

**MODEL EKUALISASI ALOKASI AIR
UNTUK SISTEM SUNGAI DAN MULTIWADUK**

DISERTASI

**PROGRAM DOKTOR TEKNIK SIPIL
MINAT SUMBER DAYA AIR**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Doktor Teknik



ANANG M. FARRIANSYAH
NIM. 167060100111003

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG**

2019

DISERTASI

MODEL EKUALISASI ALOKASI AIR
UNTUK SISTEM SUNGAI DAN MULTIWADUK

ANANG M. FARRIANSYAH
NIM. 167060100111003

telah dipertahankan di depan komisi penguji
pada tanggal 24 Juni 2019
dinyatakan telah memenuhi syarat
untuk memperoleh gelar Doktor Teknik

Komisi Pembimbing,

Pembimbing Utama,

Dr. Ir. Pitojo Tri Juwono, MT.
NIP. 19700721 200012 1 001

Pembimbing Pendamping I,

Dr. Ery Suhartanto, ST, MT.
NIP. 19730305 199903 1 002

Pembimbing Pendamping II,

Dr. Very Dermawan, ST, MT.
NIP. 19730217 199903 1 001

Universitas Brawijaya
Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil
Ketua Program Doktor Teknik Sipil,

Dr. Eng. Yulvi Zaika, MT.
NIP. 19680707 199403 2 002

JUDUL DISERTASI :
MODEL EKUALISASI ALOKASI AIR UNTUK SUNGAI DAN MULTIWADUK

Nama Mahasiswa : Anang M. Farriansyah
NIM : 167060100111003
Program Studi : Doktor Teknik Sipil
Minat : Sumber Daya Air

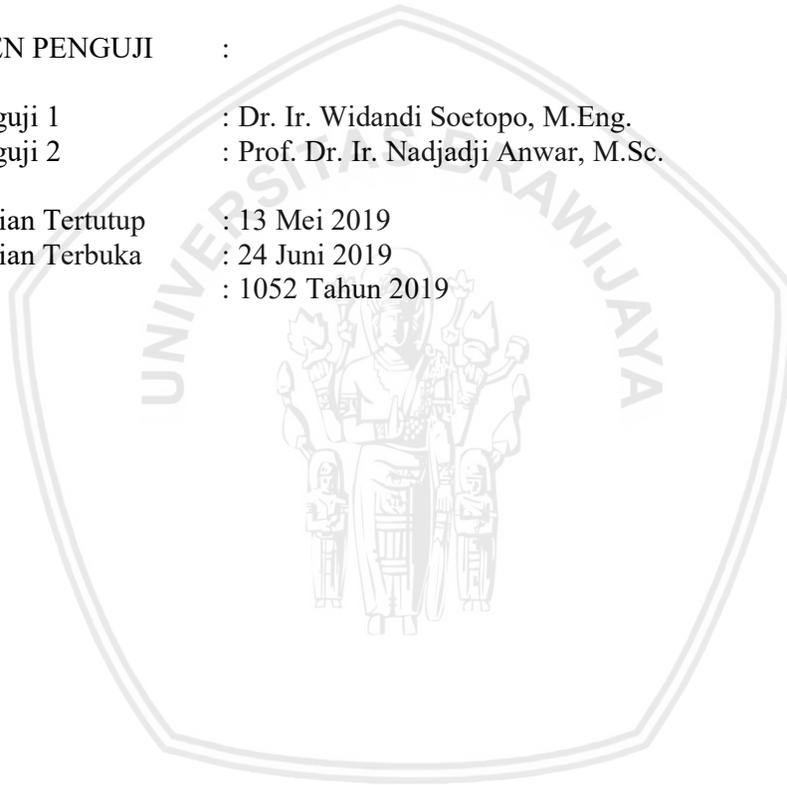
KOMISI PEMBIMBING :

Pembimbing Utama : Dr. Ir. Pitojo Tri Juwono, MT.
Pembimbing Pendamping 1 : Dr. Ery Suhartanto, ST, MT.
Pembimbing Pendamping 2 : Dr. Very Dermawan, ST, MT.

TIM DOSEN PENGUJI :

Dosen Penguji 1 : Dr. Ir. Widandi Soetopo, M.Eng.
Dosen Penguji 2 : Prof. Dr. Ir. Nadjadji Anwar, M.Sc.

Tanggal Ujian Tertutup : 13 Mei 2019
Tanggal Ujian Terbuka : 24 Juni 2019
SK Penguji : 1052 Tahun 2019





Kami yang berbahagia

PERNYATAAN ORISINALITAS DISERTASI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah Disertasi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Disertasi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Disertasi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 24 Juni 2019
Mahasiswa,



Anang M. Farriansyah
NIM. 167060100111003

TURNITIN



UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM DOKTOR



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 022 /UN10.F07.11.31/PP/2019

Sertifikat ini diberikan kepada :

ANANG M. FARRIANSYAH

Dengan Judul Disertasi :

MODEL EKUALISASI ALOKASI AIR UNTUK SISTEM SUNGAI DAN MULTIWADUK

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 5\%$, dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal 25 Juni 2019

Ketua Jurusan Teknik Sipil

Dr.Eng. Alwafi Pujiraharjo, ST., MT
NIP. 19700829 200012 1 001

Ketua Program Studi S3 Teknik Sipil

Dr.Eng. Yulvi Zaika, MT
NIP. 19680707 199403 2 002

RIWAYAT HIDUP

1. Nama : Anang M. Farriansyah
2. NIM : 167060100111003
3. Program Studi : Doktor Teknik Sipil, Sumber Daya Air
4. Tempat/Tanggal Lahir : Mataram, 10 Juli 1962
5. Asal Instansi : Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara I (BWS NT I),
Ditjen SDA, Kemen PU-PR
6. Agama : Islam
7. Alamat : Jl. Danau Toba No. 3 Pagutan Permai,
Mataram, Lombok
8. Nama Ayah/Ibu : H. Bidjuri (Alm) / Hj. Siti Rahmah
9. Nama Isteri : Baiq Maulina
10. Nama Anak : 1. Galuh Rizqi Novelia
(S1-S2, Teknik SDA, ITS Surabaya, 2013)
2. M. Yura Kafiansyah
(S1-S2, Teknik Pengairan, UB Malang, 2019)
11. Riwayat Pendidikan : 1. D3, Teknik Hidro, ITS Surabaya (1985)
2. S1, Teknik Sipil, Univ. Al Azhar Mataram (1996)
3. S2, Teknik Sumber Daya Air,
Univ. Brawijaya Malang (1998).
12. Riwayat Pekerjaan : 1. PNS, Ditjen Pengairan, Dept PU (1988)
2. Kasi Hidrologi, Subdin Pengelolaan SDA,
Dinas PU Prov NTB (2002-2006)
3. Kasi Perencanaan, Subdin Pengairan/Bidang SDA,
Dinas PU Prov NTB (2006-2010)
4. Ka Unit Alokasi Air, BWS NT I, (2010-sekarang)
13. Organisasi Profesi : 1. Sekretaris HATHI Cab. NTB (2000-2008)
2. Sertifikat Ahli Madya HATHI (2006)
14. Artikel Ilmiah terindeks Scopus:
 - The Performance of Equalization Model of Water Allocation Inter Irrigation Area in River System (seminar internasional SIBE-ITB, 2017 dan terpublikasi pada prosiding MATEC Web Conf., vol 147, 22 Januari 2018).
 - Water Allocation Computation Model for River and Multi-Reservoir System with Sustainability-Efficiency-Equity Criteria (terpublikasi pada jurnal MDPI-Water, vol 10 (11), 28 Oktober 2018).

KATA PENGANTAR

ALHAMDULILLAH, disertasi yang berjudul “MODEL EKUALISASI ALOKASI AIR UNTUK SISTEM SUNGAI DAN MULTIWADUK” diselesaikan tepat waktu, sebagai syarat kelulusan mahasiswa Program Doktor Teknik Sipil, Universitas Brawijaya. Penelitian menghasilkan model komputasi yang dinamakan “MEQAA”, untuk membuah model spesifik yang memudahkan optimasi-simulasi alokasi air di tiap sungai dengan multibendung dan multiwaduk. MEQAA dipersembahkan bagi negeri guna mewujudkan penggunaan sumber daya air yang berkelanjutan-efisien-berkeadilan.

Penulis berterima kasih kepada para dosen minat sumber daya air, teman-sahabat dan keluarga yang konsisten mendukung studi berikut urun pikir. Terima kasih pula kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Pitojo Tri Juwono, MT. (pembimbing utama), Bapak Dr. Ery Suhartanto, ST, MT. (pembimbing pendamping I) dan Bapak Dr. Very Dermawan, ST, MT. (pembimbing pendamping II).
2. Bapak Dr. Ir. Widandi Soetopo, MEng. (penguji) dan Bapak Prof. Dr. Ir. Nadjaji Anwar, M.Sc. (penguji tamu dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya).
3. Ibu Dr. Eng. Yulvi Zaika, MT. selaku Ketua Program Doktor Teknik Sipil, Universitas Brawijaya.
4. Pimpinan dan teman-sahabat di lingkungan Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara I, Ditjen Sumber Daya Air, beserta segenap profesional muda pendukung kegiatan Unit Alokasi Air.

Akhirnya, keluaran penelitian ini diharapkan menunjang penyusunan pola/rencana pengelolaan sumber daya air hingga rencana operasional di tiap wilayah sungai di Indonesia. Karya sederhana ini tiada luput dari kekurangan sehingga perlu disempurnakan dan dikembangkan pada penelitian lanjutan.

Salam hormat,

Anang M. Farriansyah
NIM. 167060100111003



Halaman ini sengaja dikosongkan.

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR SIMBOL	xv
DAFTAR SINGKATAN	xvii
RINGKASAN	xxi
SUMMARY	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	5
1.3 Rumusan Masalah	9
1.4 Lingkup Pembahasan	9
1.5 Tujuan	10
1.6 Manfaat	11
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	13
2.1 Alokasi Air	13
2.1.1 Definisi Alokasi Air	13
2.1.2 Kriteria Alokasi Air	13
2.1.3 Prioritas Penggunaan Air	14
2.1.4 Faktor-K	15
2.1.5 Sistem Alokasi Air	16
2.2 Model	18
2.2.1 Neraca Air	20
2.2.2 Optimasi-Simulasi	21
2.2.3 Verifikasi dan Validasi	22
2.3 Studi Terdahulu	23
2.3.1 Model Alokasi Air	23
2.3.2 Perkembangan Karakter MEQAA	33

BAB III KERANGKA KONSEP PENELITIAN	37
3.1 Kerangka Pikir Pemodelan	37
3.2 Konsep Ekualisasi Alokasi Air	39
3.3 Hipotesis	41
3.4 Definisi Operasional	43
BAB IV METODE PENELITIAN.....	45
4.1 Deskripsi Wilayah.....	45
4.2 Deskripsi Lokasi Uji Coba MEQAA	46
4.2.1 Uji Coba 1: Sungai Sintetik XYZ.....	48
4.2.2 Uji Coba 2: Sungai Moyot	49
4.2.3 Uji Coba 3: Sungai Kukusan.....	49
4.2.4 Uji Coba 4: Waduk Seri Batujai-Pengga Sungai Dodokan.....	51
4.2.5 Uji coba 5: Waduk Seri-Paralel Sungai Sintetik OPQ.....	52
4.2.6 Uji Coba 6: Intervensi Perlakuan di Simpul Tertentu.....	53
4.2.7 Uji Coba 7: Operasional Waktu Nyata di Sungai Jangkok.....	54
4.3 Pembangunan MEQAA.....	55
4.4 Metode Optimasi-Simulasi	56
4.5 Pelacakan Skema Sungai.....	61
4.6 Prosedur Ekualisasi	63
4.7 Evaluasi Kinerja Operasi Waduk.....	65
4.8 Ilustrasi Penyusunan Kode Pemrograman.....	65
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....	67
5.1 Unsur Pembentuk, Bentuk dan Operasional MEQAA	67
5.2 Uji Coba 1: Sungai Sintetik XYZ	72
5.2.1 Alokasi Air dengan Ekualisasi	73
5.2.2 Alokasi Air tanpa Ekualisasi	75
5.2.3 Komparasi Keluaran MEQAA dengan Ekualisasi dan tanpa Ekualisasi	76
5.3 Uji Coba 2: Sungai Moyot.....	78
5.3.1 Alokasi Air dengan Ekualisasi	79
5.3.2 Komparasi Alokasi Air dengan Ekualisasi dan Operasi Saat Ini	81

5.3.3	Alokasi air dengan Ekualisasi-	
	Tinjauan Komparasi tanpa dan dengan Kehilangan Air antar Ruas	84
5.4	Uji Coba 3: Sungai Kukusan	85
5.5	Uji Coba 4: Waduk Seri Batujai-Pengga Sungai Dodokan.....	88
5.5.1	Alokasi Air Saat Ini	88
5.5.2	Alokasi Air dengan Ekualisasi.....	92
5.6	Uji Coba 5: Waduk Seri-Paralel di Sungai Sintetik OPQ	103
5.7	Uji Coba 6: Intervensi Perlakuan di Simpul Tertentu.....	109
5.8	Uji Coba 7: Operasional Waktu Nyata di Sungai Jangkok	111
5.9	Rangkuman Hasil Uji Coba.....	114
5.10	Pemanfaatan MEQAA untuk Perencanaan Alokasi Air	117
5.10.1	Prosedur Penggunaan MEQAA dalam Pembuatan Model	
	Spesifik	119
5.10.2	Prosedur Penggunaan MEQAA dalam Perencanaan Umum.....	120
5.10.3	Prosedur Penggunaan MEQAA dalam Perencanaan Operasi Waktu	
	Nyata.....	121
5.10.4	Kondisi Insiden	124
5.10.5	Keterbatasan MEQAA.....	124
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		127
6.1	Kesimpulan.....	127
6.2	Saran	128
DAFTAR PUSTAKA		131
LAMPIRAN		139



Halaman ini sengaja dikosongkan.

DAFTAR TABEL

Nomor	Judul	Halaman
Tabel 1.1	Rekapitulasi rangkuman model alokasi air	7
Tabel 2.1	Standar K pada operasi irigasi.....	16
Tabel 2.2	Tujuan verifikasi dan validasi MEQAA	23
Tabel 2.3	Rangkuman model alokasi air	25
Tabel 2.4	Rangkuman penelitian terkait MEQAA	35
Tabel 3.1	Definisi operasional.....	43
Tabel 4.1	Variabel masukan dan variabel keputusan.....	61
Tabel 4.2	Standar kode komponen sistem di skema sungai	62
Tabel 5.1	Kriteria status terminasi	72
Tabel 5.2	Komparasi QS dan K dengan ekualisasi dan operasional saat ini di sungai Moyot	83
Tabel 5.3	Rentang data operasi waduk Batujai-Pengga.....	88
Tabel 5.4	Frekuensi periode kritis operasi waduk Batujai-Pengga.....	88
Tabel 5.5	Komparasi simpanan waduk Batujai-Pengga pada periode 1-9.....	97
Tabel 5.6	Komparasi simpanan waduk Batujai-Pengga pada periode 172-180.....	98
Tabel 5.7	Rentang keluaran MEQAA waduk Batujai-Pengga	98
Tabel 5.8	Indikator kinerja operasi waduk Batujai-Pengga saat ini	102
Tabel 5.9	Komparasi debit instruksi berdasarkan keluaran MEQAA dan debit eksekusi di S Jangkok	113
Tabel 5.10	Rangkuman hasil uji coba MEQAA.....	115
Tabel 5.10	Matriks pemanfaatan MEQAA untuk mendukung pengelolaan SDA	118



Halaman ini sengaja dikosongkan.

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Judul	Halaman
Gambar 1.1	Diagram permasalahan dan target penelitian.....	12
Gambar 2.1	Sketsa DAS dan skema sungai independen dengan simpul (versi MEQAA)	17
Gambar 2.2	Sketsa skema sungai independen dengan simpul (versi Wurbs)	17
Gambar 2.3	Ilustrasi sistem pengendalian terpusat alokasi air dengan model	18
Gambar 2.4	Proses pemodelan	19
Gambar 2.5	Masukan dan keluaran neraca air di simpul	20
Gambar 2.6	Perkembangan karakter MEQAA	33
Gambar 2.7	Embrio MEQAA, uji coba di sungai sintetik independen	34
Gambar 2.8	Embrio MEQAA, uji coba di sungai sintetik dependen	34
Gambar 3.1	Struktur dasar MEQAA	38
Gambar 3.2	Konsep ekualisasi alokasi air	39
Gambar 3.3	Diagram kerangka konsep penelitian pembangunan MEQAA	42
Gambar 4.1	Distribusi simpul alokasi air di WS Lombok, dengan lokasi uji coba MEQAA	45
Gambar 4.2	Skema ringkas sistem interkoneksi HLD di WS Lombok	47
Gambar 4.3	Kategori sistem sungai	47
Gambar 4.4	Skema sungai XYZ dengan saluran suplesi ke sungai ABC	48
Gambar 4.5	Skema sungai Moyot.....	49
Gambar 4.6	Skema sungai Kukusan	50
Gambar 4.7	Skema waduk seri Batujai-Pengga di sungai Dodokan	51
Gambar 4.8	Skema sungai sintetik OPQ	52
Gambar 4.9	Skema sungai XYZ untuk uji coba intervensi	53
Gambar 4.10	Skema sungai Jangkok	54
Gambar 4.11	Proses pembangunan MEQAA	55
Gambar 4.12	Sketsa ketersediaan air natural antar simpul	56
Gambar 4.13	Variabel pada ekualisasi alokasi air di waduk.....	60
Gambar 4.14	Standar penggambaran dan penulisan kode di skema sungai	62
Gambar 4.15	Prosedur ekualisasi menggunakan masukan data tunggal.....	63
Gambar 4.16	Prosedur ekualisasi menggunakan masukan data seri (a) dan pengaturan aliran antar simpul dan simpanan antar waktu di sistem dinamik (b).	64

Gambar 4.17	Sketsa lembar kerja Ms. Excel-VBA untuk penyusunan kode pemrograman	66
Gambar 5.1	Penggalan susunan kode pemrograman MEQAA	67
Gambar 5.2	Kotak hitam MEQAA sebagai sarana instruksional antar muka	68
Gambar 5.3	Prosedur operasi MEQAA	69
Gambar 5.4	(a) Contoh tabel ME dengan konfigurasi simpul waduk di <i>sheets</i> MACHINE, (b) <i>sheets</i> INPUT data	71
Gambar 5.5	Contoh Tabel ME dengan konfigurasi simpul hanya bendung di <i>sheets</i> MACHINE.....	71
Gambar 5.6	Skema sungai XYZ dan konfigurasi simpul dalam sebagian tabel ME di <i>sheets</i> MACHINE	73
Gambar 5.7	Keluaran metode ekualisasi di sungai sintetik	74
Gambar 5.8	Keluaran metode FCFS (tanpa ekualisasi) di sungai sintetik	76
Gambar 5.9	Komparasi klas K di skema sungai sintetik. (a) dengan ekualisasi; (b) tanpa ekualisasi; (c) standar klas K	77
Gambar 5.10	Komparasi K dan K_{+1} dengan ekualisasi dan tanpa ekualisasi.....	77
Gambar 5.11	Skema sungai Moyot dan konfigurasi simpul dalam sebagian tabel ME di <i>sheets</i> MACHINE.....	78
Gambar 5.12	Tabel ME sungai Moyot untuk ekualisasi periode 24	79
Gambar 5.13	Keluaran pada periode 24 (Sep2) di sungai Moyot	79
Gambar 5.14	Keluaran pada periode 14(Apr2) tanpa rotasi grup di sungai Moyot	80
Gambar 5.15	Keluaran pada periode 14 (Apr2) dengan rotasi grup di sungai Moyot.....	81
Gambar 5.16	Keluaran pada periode 12 (Mar2) di sungai Moyot	82
Gambar 5.17	Komparasi K dengan ekualisasi dan opsional saat ini pada periode 12 (Mar2) di sungai Moyot	82
Gambar 5.18	Keluaran pada periode 12 (Mar2) di sungai Moyot dengan Kehilangan Air antar Ruas (inset: data sintetik CL di tiap simpul)	84
Gambar 5.19	Skema sungai Kukusan dan konfigurasi simpul dalam sebagian tabel ME di <i>sheets</i> MACHINE	85
Gambar 5.20	Keluaran pada periode 11 (Jan2) di sungai Kukusan	85
Gambar 5.21	Data operasi: Simpanan waduk Batujai-Pengga	89

Gambar 5.22	Data operasi: Aliran masuk waduk Batujai dan waduk Pengga	89
Gambar 5.23	Data operasi: Kebutuhan air domestik dan irigasi waduk Batujai-Pengga	90
Gambar 5.24	Data operasi: Pasokan air waduk Batujai-Pengga.....	90
Gambar 5.25	Data operasi: Limpahan waduk Batujai-Pengga.....	91
Gambar 5.26	Data operasi: K irigasi waduk Batujai-Pengga.....	91
Gambar 5.27	Contoh data waduk Batujai-Pengga pada periode 1-9	92
Gambar 5.28	Tabel ME waduk Batujai-Pengga untuk perhitungan pada periode 180 di <i>Sheets</i> MACHINE	93
Gambar 5.29	Keluaran MEQAA waduk Batujai-Pengga pada periode 180.....	93
Gambar 5.30	Keluaran MEQAA waduk Batujai-Pengga pada periode 1-9.....	94
Gambar 5.31	Keluaran MEQAA waduk Batujai-Pengga pada periode 172-180.....	95
Gambar 5.32	Keluaran MEQAA: Simpanan waduk Batujai-Pengga	100
Gambar 5.33	Keluaran MEQAA: Pasokan air waduk Batujai-Pengga.....	100
Gambar 5.34	Keluaran MEQAA: Limpahan/kontribusi waduk Batujai-Pengga	101
Gambar 5.35	Keluaran MEQAA: K irigasi waduk Batujai-Pengga	101
Gambar 5.36	Skema sungai sintetik dengan simpul waduk seri-paralel.....	103
Gambar 5.37	Keluaran pada periode 1: CL =0 (atas) dan CL> 0 (bawah)	104
Gambar 5.38	Hasil optimasi: volume waduk dan faktor-K.....	108
Gambar 5.39	Penggunaan format painter di simpul intervensi	109
Gambar 5.40	Keluaran MEQAA pada kasus intervensi di simpul bendung.....	110
Gambar 5.41	Keluaran MEQAA pada kasus intervensi di simpul waduk.....	111
Gambar 5.42	Keluaran MEQAA pada 1 April 2019 di S Jangkok.....	112
Gambar 5.43	Komparasi debit instruksi dan eksekusi pada 1 April 2019 di S Jangkok	112
Gambar 5.44	Struktur pemanfaatan MEQAA untuk perencanaan alokasi air	117
Gambar 5.45	Prosedur penggunaan MEQAA dalam memodelkan sistem sungai dan ekualisasi alokasi air.....	119
Gambar 5.46	Prosedur pelaksanaan umpan balik dalam operasi waktu nyata pada <i>Pilot project</i> studio kendali alokasi air BWS NT I.....	122
Gambar 5.47	Prosedur pengolahan data dalam operasi waktu nyata.....	122



Halaman ini sengaja dikosongkan.

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Judul	Halaman
Lampiran 1	Gambar neraca air global WS Lombok.....	125
Lampiran 2	Tabel hasil survei perlakuan distribusi air dalam daerah irigasi (klas faktor-K) di WS Lombok	126
Lampiran 3	Tabel pola distribusi air dalam daerah irigasi di WS Lombok (existing)	130
Lampiran 4	Gambar skema sistem alokasi air sintetik dengan RIBASIM	131
Lampiran 5	Gambar skema sistem DAS Kali Kuto, Jawa Tengah dengan Ms. Excel	132
Lampiran 6	Gambar skema sistem DAS Renggung WS Lombok dengan Ms.Excel-VBA.....	133
Lampiran 7	Gambar skema sistem Serang-Lusi-Juana <i>Basin</i> dengan <i>trial-error</i> Ms.Excel	134
Lampiran 8	Gambar skema sistem DAS Sampean dengan program alokasi air Ms.Excel	135
Lampiran 9	Gambar aplikasi WRMM di Jragung-Tuntang <i>Basin</i>	136
Lampiran 10	Gambar aplikasi RIBASIM di DAS Cisadane	136
Lampiran 11	Data debit dan K operasional tiap bendung di sungai Moyot tahun 2015/2016	137
Lampiran 12	Data debit tiap bendung di sungai Kukusan tahun 2017/2018	139
Lampiran 13	Data volume dan debit operasional tahun 2014-2018 di waduk seri Batujai-Pengga	143
Lampiran 14	Keluaran MEQAA 24 periode tahun 2015/2016 di sungai Moyot	149
Lampiran 15	Keluaran MEQAA 36 periode di sungai Kukusan dengan embung Senang	151
Lampiran 16	Keluaran MEQAA 180 periode di waduk seri Batujai-Pengga	161
Lampiran 17	Keluaran MEQAA 24 periode di skema sintetik OPQ dengan CL.....	173
Lampiran 18	Keluaran MEQAA 24 periode di skema sintetik OPQ tanpa CL	175
Lampiran 19	Data dan model <i>travel time</i> antar simpul di WS Lombok	177
Lampiran 20	Gambar grafik uji model dan komparasinya dengan model Haktanir-Sezen	178
Lampiran 21	Model C_{RC} dan grafik uji model di waduk Batujai-Pengga	179

Lampiran 22	Foto lokasi bangunan utama pengambilan air di DAS	180
Lampiran 23	Foto-foto seputar kegiatan penelitian	181



DAFTAR SIMBOL

Simbol	Satuan	Besaran dasar
C	%	Porsi simpanan waduk
CL	%	Bobot estimasi kehilangan air di waduk
Dev _t	%	Defisit
ε _i	%	Gap toleransi ekualisasi antar simpul
ε _t	%	Gap toleransi ekualisasi antar waktu
f	-	Jumlah periode gagal
f _c	-	Jumlah periode gagal yang kontinyu
I	m ³	Unsur masukan
K	%	Porsi alokasi air atau faktor-K
K _{min}	%	Batas bawah porsi alokasi air
K1,K2,K3,K4,E	%	Klas faktor-K
O	m ³	Unsur keluaran
Rel	-	Indikator keandalan operasi waduk
Res	-	Indikator ketahanan operasi waduk
QA	l/dt	Debit ketersediaan air total
QC	l/dt	Debit kapasitas <i>intake</i>
QD	l/dt	Debit kebutuhan air
QE	l/dt	Jatah aliran ekosistem/pemeliharaan sungai
QL	l/dt	Debit ketersediaan air <i>local inflow/lateral flow</i>
QR	l/dt	Debit pemberian air atau lepasan
QS	l/dt	Limpahan/kontribusi
Q _{sup}	l/dt	Debit suplesi
T	-	Jumlah periode data seri
V _{beg}	m ³	Volume awal
V _{cal}	m ³	Volume terkalkulasi
V _{eff}	m ³	Volume efektif
V _{end}	m ³	Volume akhir
V _{in}	m ³	Volume masukan (inflow)
V _{loss}	m ³	Kehilangan air di waduk (evaporasi + rembesan)
V _{rel}	m ³	Volume pemberian air
V _{spill}	m ³	Volume limpahan/kontribusi
V _{stock}	m ³	Volume sinkronisasi untuk volume akhir yang diharapkan untuk periode mendatang
Vul	-	Indikator ketahanan operasi waduk
Δt	dt, hari	Rentang waktu (time step) 1, 5, 10, 15, 30 harian
ΔV	m ³	Perubahan simpanan



Halaman ini sengaja dikosongkan.

DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Arti/Keterangan
ADR/DAR	<i>Available Demand Ratio/Demand Available Ratio</i>
AMT	Awal Musim Tanam
B	Bendung
BD	Bendungan
BMKG	Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika
BPA	Bangunan Pengambilan Air
BS	Bendung pengatur suplesi (Suppletion Regulator)
BU	Bangunan Utama
B/BWS	Balai/Balai Besar Balai Wilayah Sungai
BWS NT I	Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara I
CALSIM	<i>California Simulation Model</i>
C _{RC}	<i>Rule curve coefficient</i>
DAS	Daerah Aliran Sungai
DI	Daerah Irigasi
DIRTO	<i>Direct Instruction Real-tima Operation</i>
Dirjen	Direktur Jenderal
Ditjen	Direktorat Jenderal
DM	<i>Domestic Municipal</i>
DSS	<i>Decision Support System</i>
E	Embung
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
FCFS	<i>First-Come, First-Served</i>
GIS	<i>Geographic Information System</i>
GUI	<i>Graphical User Interface</i>
HEC	<i>Hydrologic Engineering Center</i>
HLD	<i>High Level Diversion</i>
HW	<i>Headwork</i> atau <i>node/simpul</i>
IWRM	<i>Integrated Water Resources Management</i>
Kada	Kepala Daerah (Gubernur/Bupati/Walikota)
KBBI	Kamus Besar Bahasa Indonesia
KP	Kriteria Perencanaan Irigasi

CL	<i>Channel/Lateral loss coefficient</i>
LP	<i>Linear Programming</i>
ME	<i>Master Equation</i>
MEQAA	Model Ekualisasi Alokasi Air - Anang M. Farriansyah
MODSIM	<i>Model and Simulation</i>
Ms (MS)	Microsoft
MT	Musim Tanam
NFR	<i>Net Field Requirement</i> /Kebutuhan Air Tanaman di sawah
PAA	Program Alokasi Air
PDAM	Perusahaan Daerah Air Minum
Permen	Peraturan Menteri
PLTMH	Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro
POWA/POW	Pola Operasi Waduk
PP	Peraturan Pemerintah
PU-PR (PUPR)	Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
Puslitbang	Pusat Penelitian dan Pengembangan
R	<i>River</i>
RAAT	Rencana Alokasi Air Tahunan
RAAR	Rencana Alokasi Air Rinci
RDR	<i>Release Demand Ratio</i>
REALM	<i>REsource ALlocation Model</i>
RL	<i>Reservoir loss coefficient</i>
RI	Republik Indonesia
RIBASIM	<i>River Basin Simulation Model</i>
RR	<i>River Reach</i>
RPSDA	Rencana Pengelolaan Sumber Daya Air
SDA	Sumber Daya Air
S	Sungai
SIPA	Surat Ijin Penggunaan Air
SE	Surat Edaran
TKPSDA	Tim Koordinasi Pengelolaan Sumber Daya Air
UN	<i>United Nation</i>
UNESCO	<i>United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization</i>
USA/US	<i>United State of America</i>

UU	Undang-undang
UUD	Undang-undang Dasar 1945
VBA	<i>Visual Basic Application</i>
VI	Variabel Masukan
VO	Variabel Keputusan
WBALMO	<i>Water Balance Model</i>
WEAP	<i>Water Evaluation And Planning</i>
WOC	<i>Water Operation Center (sekarang Water Trip Control)</i>
WRAP	<i>Water Rights Analysis Package</i>
WRMM	<i>Water Resources Management Model</i>
WS	Wilayah Sungai





Halaman ini sengaja dikosongkan.

RINGKASAN

Anang M. Farriansyah. NIM. 167060100111003. Program Doktor Teknik Sipil - Sumber Daya Air, Universitas Brawijaya. *Model Ekualisasi Alokasi Air untuk Sistem Sungai dan Multiwaduk.* Dosen pembimbing: Dr. Ir. Pitojo Tri Juwono, MT, Dr. Ery Suhartanto, ST, MT, dan Dr. Very Dermawan, ST, MT.

Surplus dan defisit neraca air di tiap simpul bangunan utama pengambilan air di sistem sungai membutuhkan optimasi alokasi air, agar porsi alokasi air (K) sebagai rasio pemberian air dan kebutuhan air dapat setara. Jika tidak direncanakan, maka alokasi air akan mengancam keberlanjutan operasional dan tujuan bersama.

Karena Indonesia memandang air sebagai barang publik, maka digagas “Model Ekualisasi Alokasi Air” (MEQAA) agar tercapai K yang sama antar pengguna sejenis (irigasi). Pembangunan model diinspirasi dari ketidaksetaraan K antar daerah irigasi di wilayah sungai Lombok. Model menggunakan pemrograman berbasis Ms. Excel yang dibentuk dari pendekatan sistem, persamaan keseimbangan massa, dan fungsi optimasi, dengan kriteria keberlanjutan-efisiensi-keadilan.

Berdasarkan uji coba dengan berbagai skenario skema sungai yang independen sampai dependen berikut data ketersediaan air dan kebutuhan air yang tunggal sampai seri, bahwa MEQAA dapat: i) melahirkan model spesifik untuk perhitungan alokasi air, ii) menyelaraskan kinerja multiwaduk sehingga berkelanjutan, iii) menghasilkan K setara namun kontras dengan operasional yang belum terkendali, iv) menghasilkan K setara namun tidak berbeda dengan eksekusi operasional yang terkendali, dan v) menghasilkan K lebih unggul di simpul yang terintervensi.

MEQAA perlu dikembangkan untuk memodelkan sistem sungai interdependen, sekaligus meningkatkan fasilitas antarmuka. Untuk meminimumkan deviasi keluaran MEQAA dengan eksekusi operasional perlu memperhatikan faktor hirodologi, hidrolika bangunan air dan kemampuan operator lapangan.

Kata kunci: intervensi; K; keberlanjutan-efisiensi-keadilan; model; simpul; skema sungai.



Halaman ini sengaja dikosongkan.

SUMMARY

Anang M. Farriansyah. NIM. 167060100111003. Post Graduate Program in Civil Engineering – Water Resources, University of Brawijaya. *Water Allocation Equalization Model for River Systems and Multi-reservoir.* Academic Supervisor: Dr. Ir. Pitojo Tri Juwono, MT., Dr. Ery Suhartanto, ST., MT., and Dr. Very Dermawan, ST., MT.

Water surplus and deficit in every intake node in river systems require equalization of water allocation with water allocation portion indicator (K) as water release and demand ratio. If it is not planned, then water allocation will threaten operational sustainability and common goal.

Since Indonesia views water as public goods, it is initiated to create “Water Allocation Equalization Model” (MEQAA) so that K-equal between the same user (irrigation) is obtained. The model development was inspired by the inequality of K inter irrigation area in Lombok river basin. The model uses Ms. Excel-based program which is formed by system approach, water balance equations, and optimization functions, with sustainability-efficiency-equity criteria.

Based on the trial with various independent and dependent river scheme scenarios including single and serial data of water availability and water demand, it is obtained that MEQAA can: i) produce specific model for water allocation calculation, ii) harmonize the performance of multi-reservoir storage and release, iii) produce output with K-equal that contrast with uncontrolled operation, iv) produce output with K-equal but not different with controlled operational execution, and v) produce output with equal and unequal K due to the application of intervention policy of water allocation operation in specific node.

MEQAA needs to be developed to model interdependent river system and also to improve interface facilities. In order to minimize deviation of MEQAA output with operational execution, it is necessary to consider the external factors, such as hydrology, hydraulics structure, and the ability of field operators.

Keywords: intervention; K; node; river scheme; specific model; sustainability-efficiency-equity.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di sungai (S) yang memuat sebaran simpul (node) bangunan utama pengambilan air (headwork/HW) seperti bendung (*weir*)/*diversion* dan waduk/embung (reservoir) perlu optimalisasi pemanfaatan air, karena air terbatas, tak tentu, dan tak merata (Subagyono & Surmaini, 2007: 32; Roozbahani dkk, 2014: 5447). Air adalah sumber daya alam yang dikuasai negara (Hatmoko dkk, 2012: 72), sehingga pemanfaatan air diprioritaskan untuk pemenuhan kebutuhan pokok sehari-hari dan irigasi pertanian rakyat (PP RI No. 121 Tahun 2015, pasal 8). Untuk maksud tersebut, perlu penjatahan air antar pengguna dan pengguna sejenis, khususnya irigasi yang memakai air lebih dari 90% (Fulazzaky, 2014: 2008).

Karena air sebagai barang publik, maka pemanfaatannya menuntut peran pemerintah selaku pengelola wilayah sungai (WS) secara independen dan adil, agar air yang dialokasikan dapat proporsional-merata di tiap simpul. Alokasi air menjadi tugas kompleks, terdapat ego/intervensi pengguna air dan kontrol pemerintah yang tidak ketat sehingga menimbulkan konflik (Strauß, 2011: 69). Berikut beberapa masalah alokasi air:

- 1) WS Lombok termasuk daerah lumbung padi nasional dengan defisit air tinggi, terindikasi dari rasio kebutuhan air dan ketersediaan air (demand available ratio/DAR) lebih dari 250% (Hatmoko, 2014). Defisit air terjadi di 27 daerah aliran sungai (DAS) dari 52 DAS utilitas di WS Lombok (Lampiran 1). Buruknya ketahanan air irigasi di WS Lombok karena rendahnya kemampuan masyarakat mempertahankan keberlanjutan pemenuhan kebutuhan air (Hatmoko dkk, 2017: 65).
- 2) Di WS Lombok terjadi lebih dari 300 kasus/konflik antar pengguna air dalam setahun dan menyeret pemerintah sebagai aktor utamanya (Suryadi, 2006). Pernyataan ini sesuai fakta seperti: i) kepadatan simpul yang tinggi yaitu rerata 1 unit bangunan pengambilan air dalam 5 km² (BWS NT I, 2017), dan ii) operasional simpul tidak terkendali sehingga pemanfaatan air berlebihan dan menimbulkan kekurangan air bagi lainnya, dengan indikasi perilaku operasional di daerah irigasi (DI) yang tidak serupa antar DI hulu-hilir (Lampiran 2 dan 3).
- 3) Pelaksanaan alokasi air di DI tidak didukung/diawasi pemerintah dan institusi lokal sebagaimana terjadi di DAS Cicatih, Jawa Barat (Pawitan dkk, 2009).

- 4) Pemerintah membuka peluang bagi swasta untuk eksploitasi air, sehingga terjadi kompetisi antar pengguna air irigasi, domestik dan industri di Bali (Strauß, 2011: 69). Kompetisi negatif juga terjadi akibat tumpang tindih kewenangan dan ego wilayah/ego sektor (Hatmoko dkk, 2012: 71; Roozbahani dkk, 2015: 657).

Untuk persoalan lapangan seperti di atas diperlukan penjatahan air sebagai aktifitas yang mengalihkan sebagian air ke bagian lainnya dengan tidak menurunkan produktivitas, sebaliknya kelebihan air tidak meningkatkan produktivitas (Gorantiwar & Smout, 2005: 17). Melalui alokasi air yang direncanakan, maka produktivitas dan keadilan menjadi tujuan bersama (Smout & Gorantiwar, 2006: 357). Jika tidak direncanakan, maka pelaksanaan alokasi air akan: i) membahayakan lingkungan dan keberlanjutan operasi (Singh, 2015: 1222), dan ii) memicu konflik/mengancam ketahanan pangan (Mutiga dkk, 2010: 3940). Sehingga, perencanaan membutuhkan model sebagai alat hitung alokasi air optimal.

Saat ini tersedia Pedoman Pengalokasian Air oleh Ditjen Pengairan tahun 1998 sampai SE Dirjen SDA (Sumber Daya Air) No. 04/SE/D/2012 tentang Penyusunan Neraca Air dan Penyelenggaraan Alokasi Air. Aturan teknis ini mengarahkan pengelola WS sebatas menyusun neraca air dengan perhitungan secara manual, tanpa bantuan model. Aturan tidak memandu perhitungan alokasi air proporsional-merata antar simpul terlebih antar waktu.

Sementara itu, keberadaan model/perangkat lunak/sistem pendukung keputusan (decision support system/DSS) perencanaan alokasi air tidak cocok diterapkan. Seperti RIBASIM (Deltares), model berbayar ini tidak menghasilkan rencana alokasi air berorientasi kesetaraan volumetrik yang mencerminkan jatah air proporsional-merata. Uji coba RIBASIM di sungai sintetik sederhana hanya menghasilkan neraca air dengan status surplus dan defisit (Lampiran 4). RIBASIM yang digunakan untuk perencanaan alokasi air di DAS Yeh Ho di Bali (Yekti, 2017), juga tidak menghasilkan kesetaraan porsi alokasi air.

Serupa RIBASIM, berdasarkan rangkuman tinjauan model alokasi air yang didominasi produk luar negeri (Tabel 1.1) didapat karakteristik antara lain: i) berbasis DAS, terintegrasi analisis hidrologi dll (Kim dkk, 2011: 1458) sehingga perlu banyak data daripada solusi alokasi air (Mensik dkk, 2015: 134), ii) cenderung rumit, perlu operator handal dan negosiasi panjang (Hatmoko dkk, 2012: 74) karena DSS menghasilkan alternatif solusi (Haro dkk, 2012: 4060, iii) kurang memperhitungkan kemampuan waduk, sehingga operasi bermasalah di kemudian hari (Li dkk, 2016: 251), dan iv) tidak dilengkapi evaluasi kinerja operasi waduk sebagaimana Yazdeli dkk (2014: 722). Kajian perangkat lunak dapat ditemukan dalam Hatmoko dkk (2012), Li dkk (2016), Wurbs (2005), Perera, (2005), Sulis (2013).

Berikutnya adalah masalah metode porsi alokasi air. Di Indonesia diterapkan metode alokasi air mencakup: i) pertama dapat-pertama dilayani (first-come, first-served/FCFS) dengan indikator pasokan sebesar kebutuhan air maksimum, ii) proporsi tetap (fixed proportion) dengan indikator pasokan sesuai bobot yang ditetapkan, iii) proporsi kebutuhan air (demand proportion) dengan indikator pasokan sesuai rasio kebutuhan air dan total kebutuhan air. Ketiga metode ini rawan kesenjangan volumetrik, sehingga muncul metode iv) coba-banding (trial-error) dengan pasokan sesuai K yang sama antar pengguna sejenis (Hatmoko, 2006). Karena solusi coba-banding, maka metode ini cenderung sulit mendapatkan hasil. Namun, metode ini menganut K sebagai indikator kecukupan air secara proporsional-merata sebagaimana air yang berfungsi sosial (Hatmoko dkk, 2012: 72).

Sejalan metode alokasi air di atas, praktik alokasi air irigasi diatur dalam Permen PU-PR No.12/PRT/M/2015, yaitu berdasarkan rumus K sebagai rasio ketersediaan air dan kebutuhan air (available demand ratio/ADR). Versi ini rawan inefisiensi dan ketidakadilan (Kelley & Johnson III, 1989: 49 dan Hatmoko dkk, 2012: 81), karena pasokan air hanya memperhatikan air tersedia. Agar efisien, maka pasokan \leq kebutuhan air (release \leq demand) (Singh, 2015: 1221) dan karena air harus terbagi secara proporsional-merata, maka ADR perlu dikoreksi menjadi rasio pasokan dan kebutuhan air (release demand ratio/RDR) yang identik K (Farriansyah & Aribowo, 2009). Keadilan volumetrik dengan indikator K di sistem dapat diukur dari porsi pasokan dan kebutuhan air (supply/demand), sebagaimana irigasi di banyak negara (Gorantiwar & Smout, 2005; Fan dkk, 2018: 2).

Tidak semua masalah alokasi air dapat terselesaikan dengan model/metode yang ada. Sehingga perlu membuat program komputasi sendiri (Yulistianto, 2015: 3). Model hendaknya mengakomodir karakteristik sistem, kriteria dan kebijakan operasional, untuk mempelajari perilaku sistem dan pengambilan keputusan (Eriyatno, 2012: 51). “Model Ekualisasi Alokasi Air” atau MEQAA (huruf Q sebagai ekspresi logo air, Model EQUALISASI Alokasi Air oleh Anang M. Farriansyah) guna solusi alokasi air secara matematik (Farriansyah dkk, 2014-2016, 2018). Alternatif ini menekankan prinsip satu sungai-satu rencana-satu keterpaduan pengelolaan (one river-one plan-one integrated management) (Yulistiyanto & Kironoto, 2008: 2), untuk tujuan bersama di sistem (Eriyatno, 2012: 41).

MEQAA berbasis Ms. Excel-VBA (Visual Basic Application) (Wurbs, 2005: 88), dengan inspirasi perlunya: i) kriteria keberlanjutan-efisiensi-keadilan (sustainability-efficiency-equity) (UN Water, 2015: 21), ii) basis simpul di sistem (Roozbahani dkk, 2014: 5451 & 2015: 660; Haro, 2012: 4060; Hatmoko: 2006), iii) penjatahan air irigasi karena variabilitas kebutuhan air (Li dkk, 2016:251; Elmahdi dkk, 2007:6) dan pengguna air

terbesar/penopang ketahanan pangan (Singh, 2015: 1222; Fulazzaky, 2014: 2008, Hatmoko dkk, 2017: 66), v) kesetaraan antar ruang dan waktu (Fan dkk, 2018: 1), dan vi) pengondisian alokasi air antar DI agar tidak lagi terjadi ketidaksetaraan jatah mereka (Lampiran 2 dan 3). Pada inspirasi ini, kriteria *UN Water* merupakan inspirasi utama, karena pandangan: i) keberlanjutan adalah menyelaraskan kemanfaatan air untuk kehidupan manusia dan ekosistem, ii) efisiensi adalah memaksimalkan daya guna air sesuai kebutuhannya, dan iii) keadilan adalah tercapainya kesetaraan volumetrik secara proporsional. Segitiga kriteria ini akan ditekankan di tiap simpul. Untuk mewujudkan kriteria itu, akan digunakan persamaan keseimbangan massa (Wurbs, 2005: 47). Persamaan universal diyakini menghasilkan keluaran alokasi air optimal dengan K yang selama ini sebagai pemicu ketidaksetaraan.

Pengaturan penyetaraan atau ekualisasi adalah memindahkan debit/volume air tersedia, sehingga rasio pasokan dan kebutuhan air (K) dapat proporsional (Smout & Gorantiwar, 2006: 353; Wegerich dkk, 2007: 187; Fan dkk, 2018: 2). Ekualisasi memungkinkan alokasi air dengan K setara antar simpul yang menuju ruang penggunaan air (Hatmoko dkk, 2012: 73). Konsep ekualisasi K diuji coba pada generasi awal MEQAA dengan hasil proporsional-merata di tiap simpul (Farriansyah dkk, 2014, 2015, 2016). Namun, model embrio ini terdapat kelemahan: i) model tidak generik/dibentuk secara manual, ii) simpul terbatas dan hanya bendung, dan iii) meninjau pengguna air sejenis.

Karena model merupakan sintetik yang sedekat mungkin dengan sistem nyata (Eriyatno, 2012: 51), maka perlu penelitian lanjut agar MEQAA menjadi: i) model induk (main model) yang secara generik-otomatis dapat memodelkan sistem sungai independen dan dependen dengan bendung dan multiwaduk, termasuk saluran suplesi dan muara ganda, ii) bermanfaat untuk alokasi air irigasi dan domestik, iii) mempertimbangkan kehilangan air akibat infiltrasi/evaporasi di ruas antar simpul (Wurbs, 2005: 164), dan iv) pada operasi waduk dapat mengolah data runtun waktu (series/long term) dan data tunggal (single/real-time) (Hatmoko dkk, 2012: 73; Yazdeli dkk, 2014: 719).

Pemodelan sistem sungai secara dinamik merupakan kebaruan MEQAA dalam melahirkan model spesifik sebagai persamaan utama (master equation/ME), sebagaimana Mensik dkk (2015: 142). ME akan dibentuk berdasarkan skema sungai, memuat persamaan jaringan (network equation) layaknya efek domino aliran (Dutta dkk, 2015: 2042). Persamaan jaringan mencakup persamaan keseimbangan massa dan fungsi optimasi yang dielaborasi dan dikemas dalam bentuk tabel ME yang khas, untuk optimasi-simulasi.

Kebaruan kedua, MEQAA sebagai model komputasi untuk sistem sungai dan multiwaduk. Karena perubahan aliran masuk mempengaruhi simpanan, maka dibutuhkan

pendekatan *non linear* untuk menangani ketidakpastian, kompleksitas dan kriteria/kebijakan agar waduk konsisten melayani kebutuhan air (Hossain & El-shafie, 2013: 3378). Persoalan waduk adalah klasik dan menarik dipecahkan dengan model matematik secara komputasional (Sangiorgio, 2018). Walaupun banyak penelitian intensif pada model optimasi sistem waduk, namun masih terjadi kesenjangan teoritis dan implementasi di lapangan (Labadie, 2004: 94), antara lain karena tidak memasukkan faktor risiko/ketidakpastian dan kriteria/kebijakan yang bermanfaat. Lanjut Labadie (2004: 95) di waduk diperlukan pengaturan simpanan agar operasi berkelanjutan. MEQAA dengan ME yang dilahirkannya akan menerapkan pengaturan simpanan sehingga setara K dan menjamin durasi pasokan air antar periode.

Kebaruan ketiga, MEQAA dilengkapi evaluasi kinerja operasi waduk menggunakan metode Hashimoto, berupa keandalan-ketahanan-kerentanan (*reliability-resiliency-vulnerability*) (Yazdeli dkk, 2014: 722). Keandalan menunjukkan bobot kesuksesan (≤ 1) antar periode (Wurbs, 2005 : 52), ketahanan menunjukkan kecepatan menyesuaikan dari kondisi kritis (≤ 1), dan kerentanan menunjukkan frekwensi simpanan mencapai nol (≥ 0). Secara umum MEQAA akan mengatur simpanan/lepasan agar tercapai kinerja optimal, yaitu dengan indikator keandalan=1 (100%), ketahanan=1 (100%), dan kerentanan=0 (0%).

Akhirnya, kinerja MEQAA akan diuji coba dengan skenario: i) data sintetik berupa skema sungai independen dan dependen berikut data angka acak oleh MEQAA, ii) data riil berupa skema sungai independen berikut data angka sesuai kondisi lapangan, iii) mempertimbangkan kehilangan air di ruas antar simpul, dan iv) intervensi perlakuan di simpul tertentu. Uji coba untuk mengetahui: i) kemampuan MEQAA dalam pembuatan ME, ii) keluaran optimasi-simulasi, dan iii) komparasi keluaran terhadap lapangan.

MEQAA diharapkan dapat: i) berlaku generik memodelkan tiap skema sungai, karena sejak belasan tahun lalu pemodelan berubah dari spesifik menjadi generik (Wurbs, 2005: 40 dan Perera dkk, 2005: 293), ii) menghasilkan rencana alokasi air secara proporsional-merata di sistem sungai dengan bendung hingga multiwaduk dan saluran suplesi, iii) menegakkan pendekatan analisis berbasis sistem, dan v) mengubah perilaku operasional lapangan menjadi terkendali.

1.2 Identifikasi Masalah

Masalah perencanaan alokasi air adalah model yang ada pada dasarnya tidak mengakomodir K sebagai indikator alokasi air secara proporsional-merata. Selain itu, berdasarkan rangkuman model pada Tabel 1.1 dapat diidentifikasi masalah sebagai berikut:

- 1) Model impor/paket perangkat lunak menggunakan fasilitas antarmuka (graphical user interface/GUI), antara lain untuk membuat skema sistem sungai dengan cara berbasis peta DAS (overlay). Model ini terintegrasi dengan model hidrologi sehingga memerlukan banyak data dan kalibrasi koefisien pada analisis hidrologi, dan terkait analisis kualitas air. Model menjadi semakin kompleks, sulit dioperasikan, sementara solusi alokasi air optimal yang dibutuhkan sulit dihasilkan. Umumnya model menghasilkan neraca air yang menginformasikan deviasi ketersediaan dan kebutuhan air, bukan alokasi air optimal secara proporsional-setara antar simpul dan waktu.
- 2) Tampilan dan operasi model impor tidak sederhana, harga paket yang tidak murah, dan perlu operator profesional. Model tidak menghasilkan solusi optimal, melainkan sejumlah alternatif, sehingga perlu negosiasi untuk kompromi keputusan.
- 3) Model impor kurang memperhitungkan kemampuan waduk, sehingga operasional bermasalah di kemudian hari. Waduk adalah infrastruktur yang menyimpan air ketika aliran masuk tersedia (inflow) dalam kondisi surplus dan melepaskannya saat dibutuhkan. Agar alokasi air antar waktu dapat setara dan berkelanjutan, maka pasokan air harus dikondisikan. Namun, model tidak dapat dikondisikan dengan menerapkan kebijakan operasional seperti batas volume akhir. Akibatnya, operasi waduk menjadi berlebihan dan tidak dapat memenuhi kebutuhan antar periode. Demikian pula operasional multiwaduk (konfigurasi seri/paralel) yang perlu diatur sehingga volume dari waktu ke waktu antar waduk menjadi selaras, seimbang dan menguntungkan sistem.
- 4) Model lokal tampil sangat praktis menggunakan Ms. Excel. Model sederhana ini disusun secara manual hanya di skema sungai tertentu dengan bendung (tidak untuk waduk). Model tidak generik di tiap sungai. Model tidak menghasilkan alokasi air dengan K setara, kecuali solusi berupa pernyataan instruksional yang multitafsir.
- 5) Model impor dan model lokal tidak sepenuhnya menekankan kriteria IWRM (keberlanjutan-efisiensi-keadilan). Model cenderung menggunakan pendekatan perhitungan alokasi air dengan metode neraca air sederhana/metode FCFS.
- 6) Model impor dan model lokal (termasuk embrio MEQAA), tidak dilengkapi tinjauan evaluasi kinerja keberlanjutan operasi waduk berdasarkan indikator keandalan-ketahanan-kerentanan. Akibatnya, kinerja secara relatif tidak dapat diketahui sebelumnya. Selain itu, model tidak selalu mempertimbangkan kehilangan air akibat infiltrasi/evaporasi di ruas antar simpul.

Tabel 1.1. Rekapitulasi rangkuman model alokasi air

No	Model/Asal/ Tahun	Orientasi/ Fungsi	Waktu tempuh	Integrasi Analisis	Jenis/Skala/ Simpul	Hasil	Nego Hasil	Pustaka
1	HLD-WOC/ WS LOMBOK/ Tim ahli dari Inggris/ 1991	Kesetaraan/ produksi tanam/ operasional	Tidak	Hidrologi	Spesifik, skema interkoneksi, simpul terbatas (bendung & waduk)	Pasokan air, K tidak setara	Ya	Kartabrata & Marjanto (1994), Puslitbang Pengairan (1994).
2	MS. Excel MODEL/ Indonesia/ 1998 & 2006	Kesetaraan/ operasional	Tidak	Tidak	Spesifik, skema sederhana, Simpul terbatas (bendung)	Pasokan air, K tidak setara	Ya	Hatmoko (2006).
3	Program Alokasi Air (PAA)/ Indonesia/ 2010	Kesetaraan/ operasional	Tidak	Kebutuhan air irigasi	Spesifik, skema sederhana, Simpul terbatas (bendung)	Neraca air, Catatan: “d disesuaikan”	Ya	Indarto & Faisol (2010).
4	WBALMO/ Jerman/ 1970an	Prioritas/ perencanaan	Tidak	Hidrologi	Generik, DAS, <i>diversion</i> & waduk	Neraca air	Ya	Koch & Grunewald (2008).
5	REALM/ Australia/ 1980an	Prioritas/ perencanaan	Tidak	Hidrologi & kualitas air	Generik, skema sungai, simpul banyak (<i>diversion</i> & waduk)	Neraca air	Ya	Perera dkk (2005)
6	WRAP/ Texas-USACE/ 1980an	Prioritas/ perencanaan	Tidak	Hidrologi & kualitas air	Generik, DAS, simpul banyak (<i>diversion</i> & waduk)	Neraca air	Ya	Wurbs (2005), Koch & Grunewald (2008), Kim & Wurbs (2011).
7	WRMM/ Kanada/ 1981	Prioritas/ perencanaan	Ya, $T = a / Q^b$ (T =hari, Q= m^3/dt)	Hidrologi	Generik, DAS, <i>diversion</i> & waduk	Neraca air	Ya	Ilich (2000), Hatmoko (2006), Hatmoko dkk (2012).
8	RIBASIM/ Belanda/ 1985	Prioritas/ perencanaan	Tidak	Hidrologi & kualitas air	Generik, DAS, <i>diversion</i> & waduk	Neraca air	Ya	Wurbs (2005), Koch & Grunewald (2009), Kim & Wurbs (2011).

Lanjutan

No	Model/Asal/ Tahun	Orientasi/ Fungsi	Waktu tempuh	Integrasi Analisis	Jenis/Skala/ Simpulan	Hasil	Nego Hasil	Pustaka
9	CALSIM/ USA/ 1990an	Prioritas/ perencanaan	Tidak	Hidrologi & kualitas air	Generik, DAS, waduk	Neraca air	Tidak	McKinney (2004), Wurbs (2005).
10	HEC-ResSim/ USA/ 1990an	Prioritas/ perencanaan	Tidak	Hidrologi	Generik, DAS, waduk	Neraca air	Ya	Wurbs (2005), McKinney (2011).
11	MODSIM/ USA/ 1990an	Prioritas/ perencanaan	Tidak	Hidrologi & kualitas air	Generik, DAS, waduk	Neraca air	Ya	Labadie (2004), Wurbs (2005), Berhe dkk (2013).
12	RIVERWARE/ USA/ 1990an	Prioritas/ perencanaan	Tidak	Hidrologi & kualitas air	Generik, DAS, waduk	Neraca air	Ya	Zagona (1998), Wurbs (2005).
13	WEAP/ USA/ 2000an	Prioritas/ perencanaan	Tidak	Hidrologi & kualitas air	Generik, DAS, <i>diversion</i> & waduk	Neraca air	Ya	Wurbs (2005), Mutiga dkk (2010), Höllermann. dkk. (2010), Hoff dkk (2011).
14	MIKE BASIN/ Denmark/ 2008	Prioritas, defisit setara, dan titik layu tanaman/ perencanaan	Tidak	Hidrologi, air tanah & kualitas air	Generik, DAS, <i>diversion</i> & waduk	Neraca air	Ya	Wurbs (2005), Doulgeris dkk (2015).
15	AQUARIUS/ USA	Ekonomi/ perencanaan	Tidak	Hidrologi	Generik, skema sungai, <i>diversion</i> & waduk	Neraca air	Tidak	Brown dkk. (2002), Wurbs (2005).
16	Embrio MEQAA/ Lombok, Indonesia/ 2015, 2016	Kesetaraan/ perencanaan dan operasi di sungai Jangkok di WS Lombok	Tidak	Tidak	Skema sungai, simpul Terbatas (bendung). Struktur ME disusun manual.	K setara, pasokan air, limpahan dll.	Tidak	Farriansyah dkk (2015, 2016)

1.3 Rumusan Masalah

Rumusan masalah penelitian adalah:

- 1) Bagaimanakah unsur pembentuk, bentuk dan operasional MEQAA.
- 2) Bagaimanakah kinerja MEQAA pada pembuatan model spesifik optimasi-simulasi.
- 3) Bagaimanakah kinerja MEQAA pada optimasi-simulasi.
- 4) Bagaimanakah deviasi keluaran MEQAA terhadap eksekusi operasional lapangan.

1.4 Lingkup Pembahasan

Lingkup pembahasan dan asumsi pada penelitian ini sebagai berikut:

- 1) Ekualisasi adalah penyetaraan porsi alokasi air (K =rasio pasokan dan kebutuhan air) antar pengguna sejenis (irigasi) di tiap bangunan pengambilan air di sungai.
- 2) MEQAA adalah model komputasi untuk merumuskan konfigurasi simpul dan membangun ME secara otomatis berdasarkan skema sungai independen dan dependen. ME digunakan untuk optimasi-simulasi (deterministik) alokasi air antar pengguna sejenis (irigasi) secara proporsional-merata antar simpul dan waktu. MEQAA dan ME yang dihasilkannya tidak terkait model hidrologi/hidrolika.
- 3) Masukan model mencakup: i) skema sungai dengan konfigurasi simpul, ii) ketersediaan air lokal (local inflow/QL) dari daerah tangkapan air (catchment area) di ruas antar simpul yang ditentukan dari total aliran masuk (inflow/QA) dan limpahan/kontribusi (QS), iii) volume awal waduk (V_{beg}), iv) kebutuhan air irigasi dan domestik (QD), v) bobot kehilangan air akibat rembesan/evaporasi di waduk (RL), vi) bobot kehilangan air akibat infiltrasi/evaporasi di ruas antar simpul (CL), dan vii) koefisien kurva aturan operasi waduk (rule curve coefficient/ C_{RC}) dengan tinjauan data tunggal. Keluaran model mencakup: i) tabel ME, ii) K , iii) debit alokasi/pasokan/lepasan (QR), iv) debit limpahan/kontribusi (QS), v) aliran pemeliharaan sungai/ekosistem (QE), dan vi) volume akhir waduk (V_{end}).
- 4) Skema sungai mencakup independen dan dependen yang memuat simpul-simpul bangunan pengambilan air berupa bendung dan waduk. Di skema sungai independen tidak terdapat hubungan melalui saluran suplesi untuk transfer air ke sungai lainnya. Di skema sungai dependen terdapat hubungan sungai basah (wet) ke satu sungai kering lainnya (dry) melalui saluran suplesi. Simpul dapat berupa bendung/*diversion* dan waduk/embung sebagai bangunan pengambilan air di sungai.
- 5) Alokasi air irigasi/sejenis diekualisasi setelah terpenuhinya kebutuhan air domestik dan jatah ekosistem/pemeliharaan sungai (QE).

- 6) Fokus penelitian pada pembangunan MEQAA termasuk uji coba pemanfaatannya di bidang perencanaan alokasi air, dengan cakupan kegiatan: i) identifikasi pola distribusi air irigasi di WS Lombok, ii) kategorisasi sistem sungai, iii) pemodelan, iv) uji coba model, dan v) pemanfaatan konsep MEQAA dalam perencanaan alokasi air untuk menunjang instruksi operasional di WS Lombok.
- 7) Uji coba model dengan skenario mencakup: i) penggunaan data sintetik berupa skema sungai dependen kompleks hasil rekayasa dari kategori sistem sungai dengan data tunggal, ii) penggunaan data riil yaitu di S Moyot, S Kukusan, dan waduk seri Batujai-Pengga di S Dodokan berikut data seri, iii) penggunaan data sintetik berupa skema sungai independen yang memuat multiwaduk dengan data seri, iv) pengaruh kehilangan air di ruas antar simpul terhadap sistem sungai yang didominasi bendung maupun multiwaduk, v) pengaruh intervensi di simpul tertentu terhadap simpul lainnya, dan vi) komparasi keluaran model pada operasional waktu nyata di S Jangkok.
- 8) Penelitian tidak: i) meneliti/analisis hidrologi seperti ketersediaan air di ruas antar simpul, kebutuhan air irigasi/domestik, kualitas air dan perambatan aliran/banjir (routing) di sungai dan waduk, ii) menyertakan faktor jarak ruas antar simpul, iii) meneliti kehilangan air di waduk, iv) meneliti evaporasi dan infiltrasi/imbunan air tanah di ruas antar simpul, v) meneliti/memperhitungkan kehilangan air akibat pengambilan ilegal di ruas antar simpul, vi) meneliti/memperhitungkan aliran kembali (return flow) dari DI, v) meneliti/memperhitungkan waktu tiba paket air (travel time) antar simpul, dan vi) meneliti/memperhitungkan pengaruh keramba ikan/kolam di saluran irigasi.
- 9) Asumsi mencakup: i) data masukan sesuai/mencerminkan kondisi lapangan, ii) tidak terjadi aliran kembali (return flow), iii) bobot kehilangan air di waduk (RL) dan di ruas antar simpul (CL) tidak berubah antar waktu, iv) kapasitas pintu pengambilan air (intake) (QC) mampu dilalui debit sebesar kebutuhan air maksimum, v) lengkung debit di alat ukur telah valid, vi) mutu air sungai sesuai kriteria klas air untuk penggunaan air pertanian/domestik, dan vii) operator bangunan pengambilan air sudah cakap.

1.5 Tujuan

Tujuan penelitian untuk membangun MEQAA yaitu:

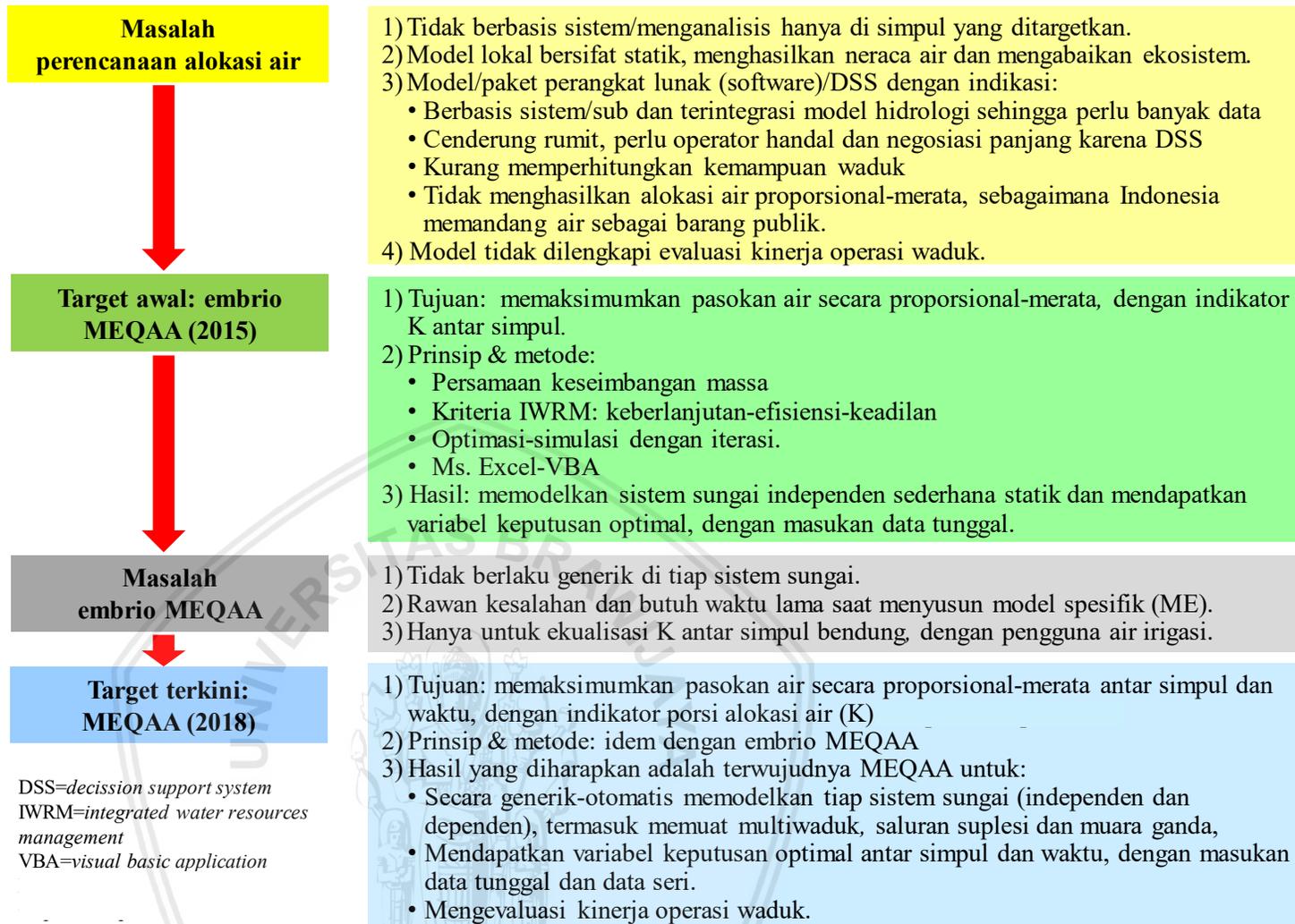
- 1) Mendapatkan unsur pembentuk, bentuk dan operasional MEQAA.
- 2) Mengetahui kinerja MEQAA pada pembuatan model spesifik optimasi-simulasi.
- 3) Mengetahui kinerja MEQAA pada optimasi-simulasi.
- 4) Mengetahui deviasi keluaran MEQAA terhadap eksekusi operasional lapangan.

1.6 Manfaat

Manfaat penelitian antara lain:

- 1) Menyediakan MEQAA guna membantu perencana/pengelola WS dalam penyusunan rencana alokasi air seperti: i) pola/rencana pengelolaan SDA, ii) rencana alokasi air tahunan (RAAT), rencana alokasi air rinci (RAAR) dan pelaksanaan operasional (direct instruction real-time operation/DIRTO), iii) rencana bangunan pengambilan air di sungai, iv) rekomendasi ijin penggunaan air di sungai, dan iv) pola operasi waduk (POW/POWA) dan rencana tahunan operasi waduk (RTOW).
- 2) Memperkaya khasanah teknik optimasi-simulasi alokasi air.





Gambar 1.1. Diagram permasalahan dan target penelitian

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Alokasi Air

2.1.1 Definisi Alokasi Air

Alokasi air terdiri dari kata “alokasi” dan “air”. Dalam KBBI, alokasi adalah: i) penentuan banyaknya barang yang disediakan untuk suatu keperluan, atau penjatahan, dan ii) penentuan penggunaan sumber daya secara matematik untuk tercapainya hasil optimal. Menurut UU Pengairan pasal 1, bahwa air adalah semua air yang terdapat di dalam dan atau berasal dari sumber-sumber air, baik yang terdapat di atas maupun di bawah permukaan tanah, tidak termasuk dalam pengertian ini air yang terdapat di laut. Dalam PP RI No. 121 Tahun 2015 pasal 1, bahwa air permukaan adalah semua air di atas permukaan tanah.

Alokasi air adalah penjatahan air, dengan mengutamakan air permukaan, untuk berbagai keperluan pada suatu WS, guna memenuhi kebutuhan air bagi para pengguna air dari waktu ke waktu, dengan memperhatikan kuantitas dan kualitas air, berdasarkan asas pemanfaatan umum, keseimbangan dan pelestarian sumber air (Permen PU-PR No. 09/PRT/2015). Alokasi air ditujukan untuk pemenuhan kebutuhan pokok sehari-hari dan irigasi pertanian rakyat (Permen PU-PR No. 06/PRT/2015).

Berdasarkan di atas, didefinisikan secara praktis bahwa alokasi air adalah jatah pasokan air optimal dari sumber air permukaan untuk pemenuhan kebutuhan pokok sehari-hari dan irigasi pertanian rakyat sesuai kriteria yang ditetapkan.

2.1.2 Kriteria Alokasi Air

Efisiensi dan kesetaraan alokasi air sulit diwujudkan (Roozbahani dkk, 2014: 5448), seperti: i) praktik irigasi di Thailand yang mengutamakan keamanan kehidupan (Ounvichit, 2011: 331), ii) klas K antar DI di WS Lombok (Lampiran 2), dan iii) jatah ekosistem di hilir waduk Batujai-Pengga di WS Lombok yang tidak diperhatikan (Lampiran 13). Semestinya alokasi air: i) menerapkan prinsip keseimbangan kebutuhan air dan ketersediaan air, dengan cara menyelaraskan volume dan waktu pemenuhannya (SE Dirjen SDA No. 05/SE/D/2016), dan ii) memperhatikan lingkungan dan sosial, karena ekosistem dan kehidupan manusia saling mempengaruhi (Hatmoko dkk, 2012: 73).

Alokasi air yang menjadi harapan bersama adalah alokasi air yang mewujudkan tujuan bersama, sehingga perlu menekankan kriteria *integrated water resources management* (IWRM) (UN Water, 2015: 21). Kriteria IWRM secara praktis diuraikan sebagai berikut:

- 1) Keberlanjutan adalah mempertahankan/meningkatkan keandalan penyediaan air untuk kehidupan manusia dan pemeliharaan sungai/ekosistem secara bersamaan (Meijer dkk, 2012: 1272; Roozbahani dkk, 2015: 658).
- 2) Efisiensi adalah menghemat pemanfaatan air tersedia, dengan memaksimalkan pasokan air yang tidak melampaui kebutuhan air (Wurbs, 2005: 60; Haro dkk, 2012: 4060).
- 3) Keadilan adalah mengalokasikan air sesuai prioritas penggunaan air dan mengalihkan sebagian air secara proporsional-merata antar pengguna sejenis (irigasi) (Hatmoko dkk, 2012: 72; Smout & Gorantiwar, 2006: 350). Keadilan dapat diidentikkan dengan kesetaraan hak (egalitarian) bagi pengguna air sejenis (Wegerich, 2007: 185).

Serupa dengan kriteria IWRM adalah kriteria evaluasi kinerja alokasi air irigasi di China (Fan dkk, 2018: 2). Kriteria ini mencakup: i) kecukupan (adequacy) adalah kemampuan memenuhi permintaan air, ii) efisiensi adalah konservasi pemanfaatan air dengan pasokan yang tidak lebih besar dari permintaan air, iii) keadilan (equity) adalah kesetaraan rasio pasokan dan permintaan air di tiap DI, dan iv) keandalan (dependability) adalah kemampuan memasok air pada waktu yang tepat dan mengekspresikan tingkat keseragaman temporal dari rasio pemberian dan permintaan.

2.1.3 Prioritas Penggunaan Air

Praktik alokasi air harus sesuai prioritas penggunaannya sebagaimana diatur dalam Permen PU-PR No. 09/PRT/2015, sebagai berikut:

- 1) Prioritas pertama adalah air baku untuk kebutuhan air domestik, yaitu untuk pemenuhan kebutuhan pokok minimal sehari-hari dengan izin/tidak izin.
- 2) Prioritas kedua adalah ekosistem dan irigasi pertanian rakyat.
- 3) Prioritas ketiga adalah untuk jenis penggunaan air selain di atas, seperti industri, tenaga listrik, dan perusahaan air. Urutan prioritas ketiga ini harus disepakati oleh pemangku kepentingan (Permen PU-PR No.06/PRT/M/2015).
- 4) Ketentuan darurat, seperti terjadinya: i) defisit air irigasi yang sangat besar, ii) kebakaran, dan iii) penggelontoran pencemaran air sungai yang membahayakan keselamatan publik/ekosistem, dengan memperhatikan prioritas pertama.

2.1.4 Faktor-K

Untuk mewujudkan keadilan (equity) alokasi air dalam konteks kebijakan kesejahteraan sosial dapat diukur dari kesetaraan (equality) tingkat kepuasan atas kebutuhan. Keadilan mencakup proporsionalitas yaitu pendistribusian sumber daya sesuai usaha dan egaliter (perlakuan yang sama) (Wegerich, 2007: 185). Nilai ekonomi tidak harus kompatibel dengan pemerataan alokasi air, karena perbedaan kemampuan produksi pengguna air (Arjoon dkk, 2016: 2036). Namun dalam konteks irigasi, kemampuan produksi sebanding dengan luas tanam/panen, sehingga pendekatan proporsional cocok diterapkan, di samping karena Indonesia memandang air sebagai barang publik (Irianto, 2004 dan Sosiawan & Subagyo, 2009: 303). Pendekatan proporsional untuk memastikan keadilan sosial atas air (Hatmoko dkk 2012: 72; Gorantiwar, 2005).

Pendekatan proporsional penting dilakukan dalam berbagi jatah air irigasi yang dipasok dari banyak simpul di sungai untuk banyak daerah irigasi (DI). Karena DI adalah kesatuan lahan pertanian yang mendapat jatah air dari satu jaringan irigasi (Permen PU-PR No. 12/PRT/M/2015), maka antar DI harus adil. Jika hanya satu DI, maka alokasi air tidak rumit antar DI. Jika terdapat beberapa DI, maka alokasi air antar mereka harus adil, (PP RI 77 tahun 2001 pasal 18). Keadilan itu dapat diindikasikan dengan K yang sama/setara (Hatmoko dkk, 2012: 81). Pendekatan proporsional digunakan sebagai indikator kesetaraan jatah air, yaitu dengan mengukur K sebagai rasio pasokan dan kebutuhan air (Kartabrata & Marjanto, 1994: 46; Wurbs, 2005: 52; Gorantiwar & Smout, 2005: 16; Fagi, 2007: 4; Hatmoko dkk, 2012: 81). K mengindikasikan: i) keandalan volumetrik di sistem SDA (Kundzewicz & Kindler, 1995: 218), dan ii) tingkat kerawanan/kelangkaan air di DI (Hatmoko dkk, 2014). K juga mencerminkan efisiensi, karena rentang $0 \leq K \leq 100\%$ agar pasokan air tidak melampaui kebutuhan air.

Selain makna K di atas, K mencerminkan penjadualan rotasi distribusi air di DI (Kelley & Johnson III, 1989: 53 dan Permen PU-PR No. 12/PRT/M/2015). Dalam alokasi air irigasi, rotasi dianjurkan untuk menstabilkan luas tanam dan menghemat air $\pm 40\%$, tanpa menurunkan produktivitas padi, dengan ketentuan perlu mempertimbangkan kandungan air tanah terhadap titik layu tanaman (Fagi, 2007: 10 dan Tongongar dkk, 2008: 478). Pada rotasi distribusi air di 4 petak sub tersier terdapat aturan (Azuan dkk, 2009: 72) yaitu: i) klas K1 (80-100%), tidak terdapat petak jeda/pasokan air terus menerus, ii) klas K2 (60-80%), 1 petak jeda, iii) klas K3 (40-60%), 2 petak jeda, dan iv) klas K4 (<40%), 3 petak jeda. Jika jumlah petak jeda semakin banyak, maka rotasi akan semakin berat.

Selanjutnya, dari aturan ini dapat diindikasikan hubungan K atau klas K dengan jeda distribusi air di DI. Nilai K dapat diklasifikasikan sebagaimana di WS Lombok, dengan standar K (Tabel 2.1) yang mempertimbangkan: i) fluktuasi debit tersedia dan dominasi bendung, ii) intensitas kerja operator pintu, iii) jumlah golongan di DI, dan iv) distribusi air terhadap jenis tanah/titik layu tanaman. Jika rentang klas K kecil, maka akan lebih selaras fluktuasi air, namun merepotkan operator untuk eksekusi, demikian sebaliknya.

Tabel 2.1. Standar K pada operasi irigasi

Klas	Rentang K	Defisit	Kategori Operasi	Jeda Distribusi Air
K1	80-100%	Nol-sangat rendah	Kontinyu	Tanpa jeda
K2	60-79%	Rendah	Rotasi ringan	Singkat
K3	40-59%	Sedang	Rotasi sedang	Sedang
K4	20-39%	Tinggi	Rotasi berat	Lama
E	< 20%	Sangat tinggi	Darurat	Prioritas grup DI

Sumber : BWS NT I (2016) dan diolah kembali.

2.1.5 Sistem Alokasi Air

Sistem didefinisikan antara lain sebagai berikut:

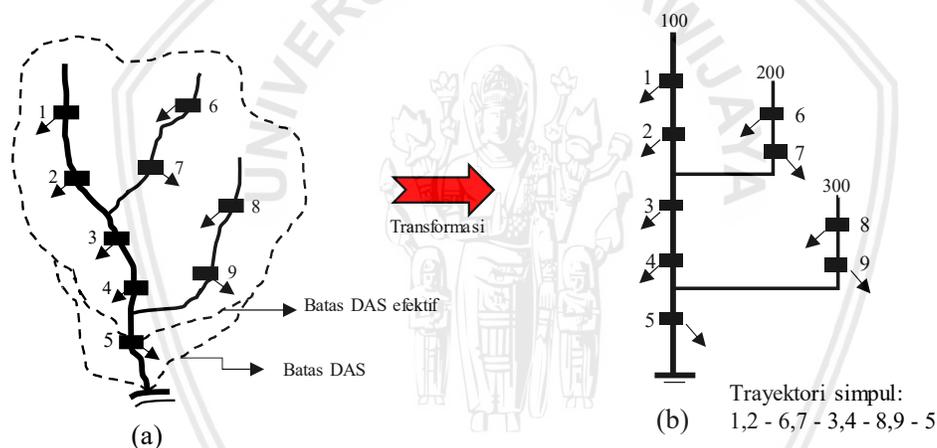
- 1) Perangkat unsur yang secara teratur saling berkaitan membentuk suatu totalitas (KBBI).
- 2) Proses interaksi dari berbagai fasilitas dunia nyata yang kompleks, yaitu kumpulan dari wujud atau komponen menuju capaian tujuan logis (Law & Kelton, 1991: 3).
- 3) Satu set elemen independen yang berinteraksi (Mays & Tung (1992: 8).
- 4) Gugus dari elemen yang berhubungan untuk mencapai tujuan atau suatu gugus dari tujuan-tujuan (Eriyatno, 2012: 8).

Berdasarkan definisi di atas, sistem adalah perangkat independen yang berinteraksi kolektif mengikuti proses operasi untuk tujuan logis atau suatu gugus dari multitujuan. Sistem dipengaruhi oleh keseimbangan masukan (input) dan keluaran (output), status sistem tertutup/terbuka, interaksi komponen, dan karakteristik sistem (Eriyatno, 2012: 35). Adapun karakteristik sistem diilustrasikan sesuai batasan sistem, interaksi masukan dan keluaran terhadap lingkungan, dan hubungan timbal balik antar komponen, masukan dan keluaran (Mays & Tung, 1992: 8 dan Eriyatno. 2012: 10).

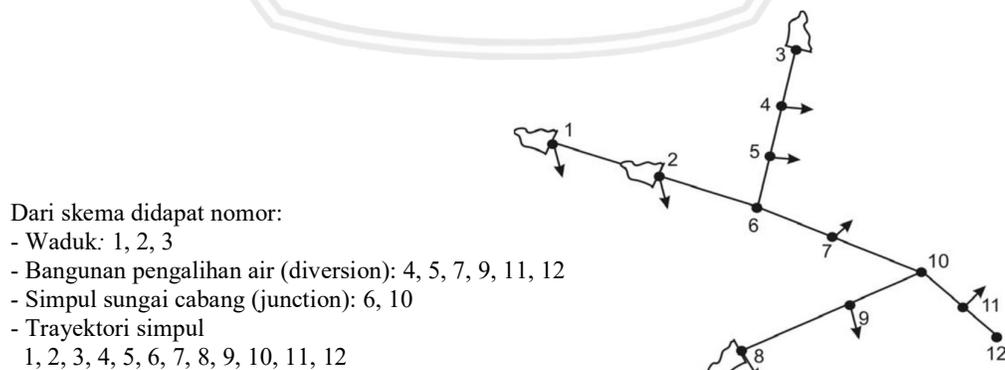
Pendekatan sistem pada sistem hidrologi/sumber daya air (SDA) adalah adanya komponen yang saling berinteraksi untuk tujuan tertentu (Mays & Tung, 1992: 3, 5). Di sungai dengan komponen berupa simpul dan ruas yang menghubungkannya membentuk sebuah sistem (Kodoatie & Syarief, 2010: 127). Sistem, dalam hal ini sistem alokasi air di

sungai diawali dan diakhiri simpul yang terhubung dengan ruas (link), membentuk trayektori, dengan aliran masuk (inflow) dari proses hidrologi di DAS dan limbah dari simpul hulu (Dutta dkk, 2015: 2041). Diketahui bahwa daerah aliran sungai/DAS (watershed, catchment area) sebagai bagian dari sistem hidrologi/SDA, merupakan media daratan yang dibatasi punggung bukit/dataran tinggi, berfungsi menerima hujan, menampung, dan mengalirkan air permukaan secara gravitasi melalui sungai ke muara (Kodoatie & Syarief, 2010: 124-128 dan Permen PU-PR No. 4/PRT/M/2015 pasal 1).

Contoh pendekatan sistem dicoba di DAS Sefidrud, Iran untuk optimasi alokasi air multitujuan yang melintasi beberapa daerah (Roozbahani dkk, 2014: 5455). Ilustrasi pendekatan sistem dengan trayektori aliran dari simpul ke simpul disajikan pada Gambar 2.1 adalah versi MEQAA (Farriansyah dkk, 2015, 2016, 2018), dan Gambar 2.2 adalah versi Wurbs (2005: 43). Kedua versi menghasilkan konfigurasi atau urutan simpul dari hulu ke hilir yang pada dasarnya serupa. Di tiap sistem sungai memiliki rumusan konfigurasi yang dinamik, karena dipengaruhi oleh sungai utama, sungai cabang dan lokasi simpul.



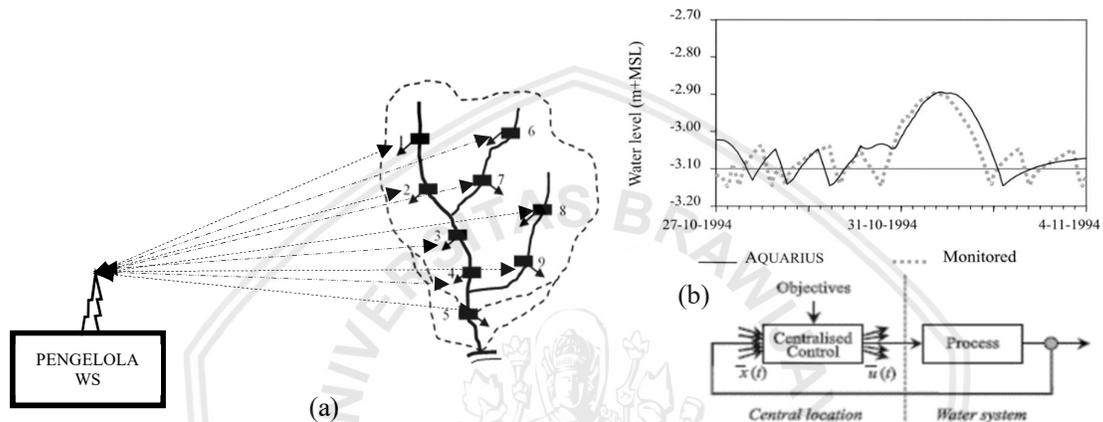
Gambar 2.1. Sketsa DAS dan skema sungai independen dengan simpul (versi MEQAA)



Gambar 2.2. Sketsa skema sungai independen dengan simpul (versi Wurbs)
Sumber: Wurbs (2005: 43).

Untuk tujuan bersama, maka sistem sungai harus dikendalikan oleh pengelola WS, dengan melibatkan para pihak (Kodoatie & Syarief, 2010: 128, Hatmoko dkk, 2012: 72, dan Roozbahani dkk, 2015: 657). Pengendalian dilakukan sejak penyusunan rencana induk sampai operasi, agar kemanfaatan air sesuai prinsip, kriteria dan kebijakan yang ditetapkan.

Dalam pengendalian operasi, di tiap simpul membutuhkan fasilitas pintu pengatur-alat ukur-operator, dan pusat kontrol (Gambar 2.3 (a)). Contoh pengendalian sistem secara umpan balik pada operasi menggunakan model Aquarius dengan hasil mendekati (Gambar 2.3 (b)) (Lobbrecht & Solomatine, 2002: 289). Proses umpan balik mencakup: i) masukan data saat ini (real-time), ii) evaluasi dan re-optimasi, iii) instruksi, dan iv) eksekusi simpul.



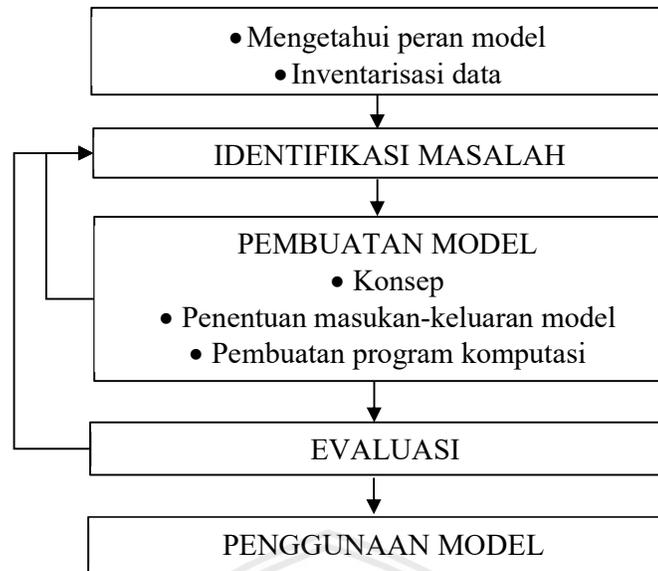
Gambar 2.3. Ilustrasi sistem pengendalian terpusat alokasi air dengan model Sumber (b): Lobbrecht & Solomatine (2002: 283-289)

2.2 Model

Mempelajari/mengevaluasi sistem harus menggunakan model dengan teknik kuantitatif, karena model adalah tiruan sistem dan di dalamnya terdapat interaksi antar komponen sistem (Eriyatno, 2012: 51). Model dibangun berdasarkan sistem untuk solusi optimal di sistem (Haro dkk, 2012: 4060 dan Marusic, 2013:83). Untuk mempelajari/mengevaluasi sistem alokasi air digunakan jenis model (Eriyatno, 2012: 53):

- 1) Model analog (diagramatik) adalah perwakilan situasi dinamik yang berubah menurut waktu, dengan mengindikasikan karakteristik kejadian yang dikaji.
- 2) Model simbolis (matematik) adalah perwakilan simbol dari realitas yang dikaji, dengan format berupa angka, notasi, dan fungsi.

Apapun jenisnya, pemodelan sistem memerlukan aktivitas rekayasa yang bertahap dan berulang (Mays & Tung, 1992: 19 dan Wurbs, 1994: 4), dengan proses berikut.



Gambar 2.4. Proses pemodelan
Sumber: Mays & Tung (1992: 19).

Karena sistem sungai dengan simpul-simpul dapat diserupakan dengan jaringan listrik, maka pendekatan menggunakan model analog adalah relevan. Model analog memerlukan formulasi matematik untuk interpretasi skema sistem dan komponennya. Model analog mengilustrasikan sistem yang dimodelkan dengan menyerupai sistem lain (Indarto, 2014: 110). Untuk MEQAA akan digabungkan model analog dan model matematik. Model analog untuk pemetaan konfigurasi sungai dan model matematik untuk optimasi alokasi air.

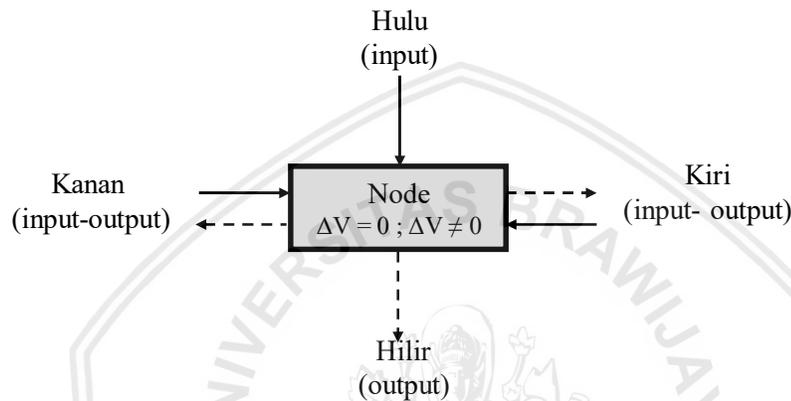
Penggunaan model matematik karena pengambilan keputusan tidak memungkinkan berdasarkan percobaan langsung di lapangan (Manonama & Soetopo, 2008: 185, 191). Hasil dari model matematik akan menjelaskan kinerja sistem (Eriyanto, 2012: 67), untuk diterapkan di lapangan. Pada model matematik, solusi optimal dapat ditentukan menggunakan teknik optimasi dan sistem pendukung keputusan (decision support system/DSS). Namun, DSS menghasilkan alternatif solusi, sehingga perlu ahli dan negosiasi panjang (Haro dkk, 2012: 4060, Hatmoko dkk, 2012: 74; Eriyatno, 2012: 82). Pilihan optimasi karena aliran di sungai hanya dapat dievaluasi dengan model deterministik yang tidak mengandung unsur acak (Soetopo, 2011: 5 dan Eriyatno, 2012: 55).

Model optimasi pada kasus alokasi air disusun dengan: i) formulasi matematik untuk mendapatkan fungsi tujuan, yaitu meminimalkan atau memaksimalkan variabel keputusan sesuai kendala, ii) menerapkan aturan/kebijakan, dan iii) mencari variabel keputusan secara otomatis (Wurbs, 2005: 59).

Karena sistem sungai memiliki trayektori dan sebaran simpul yang berbeda, maka perwujudan model spesifik (ME) oleh MEQAA dilakukan secara dinamik. Model dengan pendekatan sistem dinamik akan mengakomodir komponen sistem yang kompleks dan variatif, untuk menginformasikan perilaku sistem (Elmahdi dkk, 2007: 3).

2.2.1 Neraca Air

Basis sistem dalam MEQAA adalah meninjau neraca air menggunakan persamaan keseimbangan massa (mass balance) di tiap simpul, sebagaimana tinjauan berikut:



Gambar 2.5. Masukan dan keluaran neraca air di simpul

Persamaan keseimbangan massa dapat diterapkan pada operasi waduk dan bendung, serta neraca air DAS (Triatmodjo, 2013: 11). Persamaan ini banyak digunakan, termasuk dalam model alokasi air dan perhitungan neraca air (water accounting) (Wurbs, 2005 : 47). Bentuk umumnya (Wurbs, 2005: 47, Haro dkk, 2012: 4060; Yazdeli dkk, 2014: 722), adalah:

$$I - O = \Delta V \quad (2-1)$$

Di tiap simpul terdapat unsur: i) masukan (I /input) berupa variabel aliran masuk (inflow) (QA) atau aliran lokal (local inflow) (QL) dan kontribusi dari simpul hulu (QS_{i-1}), dan ii) keluaran (O /output) berupa variabel pasokan air (QR) sesuai kebutuhan air (QD), kehilangan air di waduk (V_{loss}), dan limpahan/kontribusi ke hilir (QS_i). Limpahan/kontribusi aliran harus memperhatikan jatah ekosistem (QE) di hilir simpul, dan mempertimbangkan kehilangan air di ruas antar simpul. Sementara itu, di waduk terjadi perubahan simpanan (ΔV) antar volume awal (V_{beg}) dan volume akhir (V_{end}) pada langkah waktu (time step/ Δt) tertentu (McMahon & Mein, 1986:136, Wurbs, 2005: 47, Fayaed dkk, 2013: 1754, Yazdeli dkk, 2014: 722). Di waduk $\Delta V \neq 0$, dengan fungsi sehingga dapat surplus atau defisit sedangkan di bendung $\Delta V=0$, tidak terdapat fungsi simpanan (Wurbs, 2005: 47).

2.2.2 Optimasi-Simulasi

Umumnya tujuan optimasi alokasi air adalah: i) memaksimalkan pasokan air, ii) memaksimalkan keuntungan, atau iii) meminimalkan limpahan selama waktu T (Labadie, 2004: 95-97; Wurbs, 2005: 60; Haro dkk, 2012: 4060). Optimasi di sistem sungai dan waduk banyak menggunakan *linear program* (LP) atau program linear (Wurbs, 2005: 66; Yazdeldi dkk, 2014: 718, Roozbahani dkk, 2015; Singh, 2015: 1220; Wang dkk, 2015: 1568). Bentuk umum model LP (Mays & Tung, 1992: 11; Wurbs, 2005: 62, 66), adalah:

1) Fungsi tujuan (maksimal atau minimal) adalah:

$$Z = \sum_{i=1}^n C_i \cdot X_i \quad (2-2)$$

2) Fungsi kendala ($\leq = \geq$), termasuk fungsi kendala non negatif $X_i \geq 0$, adalah:

$$\sum_{i=1}^n A_{ij} \cdot X_j \begin{matrix} \leq \\ = \\ \geq \end{matrix} B_j \quad (2-3)$$

Z=nilai maksimum atau minimum, A=sumber yang dialokasikan, B=potensi yang dapat dialokasikan, C= koefisien, X=variabel keputusan, $i = 1,2,3 \dots, n$ dan $j = 1,2,3 \dots, m$.

Pendekatan deterministik digunakan karena asumsi tidak terjadi ketidakpastian, sehingga masa depan analog dengan nilai-nilai sekarang (Labadie, 2004: 96; Sangiorgio & Guariso, 2018: 2). Dalam Wurbs (2005: 46-59) bahwa: i) optimasi dapat diselesaikan dengan metode simulasi dan metode standar LP, ii) optimasi dan simulasi merupakan alternatif pemodelan dengan karakter berbeda, namun disamakan, karena banyak model mengandung keduanya, iii) semua model optimasi diselesaikan dengan simulasi, dan iv) nilai optimal/nyaris optimal diperoleh dari eksekusi model simulasi dengan iterasi. Kombinasi model optimasi-simulasi cocok untuk solusi optimal, sekalipun banyak variabel. Model simulasi menggunakan skenario bagaimana-jika (what-if), dan model optimasi memberikan solusi terbaik, sehingga keduanya digabungkan (Singh, 2015, 1221).

Banyak otoritas air dunia menggunakan simulasi untuk solusi alokasi air (Perera dkk, 2005: 291 dan Koch, 2008: 1403). Keunggulan simulasi (Wurbs, 2005: 59, 79) adalah: i) dapat dibuat untuk maksud tertentu (ad hoc) yang menirukan sistem kompleks dengan strategi komputasi, ii) untuk analisis sistem, ii) dapat dibangun dengan atau tanpa prosedur pemrograman komputasi, dan iii) menggunakan iterasi untuk solusi konvergen, dengan 3 langkah solusi yaitu: i) nilai awal, ii) step iterasi, dan iii) aturan penghentian atau status terminasi (Mays & Tung, 1992: 67). Simulasi bermanfaat mengatasi aspek linear/nonlinear, termasuk kasus berbagi air di jaringan aliran (Guo dkk, 2011: 1037, Haro dkk, 2012: 4060;

Yazdeli dkk, 2014: 722). Contoh simulasi-iterasi diterapkan pada analisis sistem multiwaduk di DAS Duero, Spanyol dengan hasil memuaskan (Haro dkk, 2012: 4060).

2.2.3 Verifikasi dan Validasi

Dalam Eriyatno (2012: 58) pembangunan model memerlukan verifikasi dan validasi. Verifikasi (pembuktian) dan validasi (pengesahan) digunakan untuk memastikan kebenaran/keberlakuan model. Berikut beberapa definisi verifikasi dan validasi:

1) Mays & Tung (1992: 20):

Verifikasi dan validasi untuk mengetahui terpenuhinya kriteria logika, asumsi, batas dan perilaku yang ditampilkan.

2) Harrell dkk (2003):

- a) Verifikasi untuk memastikan model merupakan refleksi konsep model.
- b) Validasi untuk memastikan konsep model merupakan refleksi sistem nyata.

3) Soetopo (2011: 110):

- a) Verifikasi untuk menguji keluaran program komputasi telah sesuai secara logika. Sebagai pembanding, menggunakan perhitungan manual/cara lain dengan masukan data yang sama dan keluaran yang dipastikan benar.
- b) Validasi untuk mengukur keberlakuan dan kinerja program komputasi, dilakukan dengan menjalankan (run) program komputasi menggunakan data yang bervariasi.

4) Eriyatno (2012: 61-63):

- a) Verifikasi untuk membuktikan bahwa program komputasi yang disusun berdasarkan konsep model mampu melakukan simulasi dari model yang dikaji.
- b) Validasi untuk memastikan status model sebagai representasi sistem nyata.
- c) Jika model digunakan untuk mengkaji sistem yang ada/sedang berjalan, maka diperlukan uji statistik untuk mengetahui kemampuan model mereproduksi perilaku sistem. Jika model digunakan untuk merancang sistem yang belum ada (abstract system), maka tidak diperlukan uji statistik. Validitas model ditentukan berdasarkan teori, asumsi dan kriteria yang digunakan dalam menyusun model.

5) Sargent (2014: 118-124):

- a) Validasi konsep model untuk menentukan kebenaran teori dan asumsi sesuai wujud permasalahan sistem untuk mencapai tujuan model.
- b) Verifikasi program komputasi untuk menguji kebenaran susunan kode program (syntax code) dari konsep model dan implementasinya.

- c) Validasi data dibutuhkan untuk membangun model, evaluasi, percobaan dan pemanfaatan model dalam menyelesaikan masalah secara cukup dan benar.
- d) Validasi operasional untuk mengukur keluaran model sesuai standar penerapannya.

Berdasarkan tujuan penelitian yaitu membangun MEQAA dan mengetahui kinerjanya serta definisi verifikasi dan validasi di atas dapat disusun tabel berikut.

Tabel 2.2. Tujuan verifikasi dan validasi MEQAA

Verifikasi	Validasi
Memastikan keluaran susunan kode program berupa ME dll telah sesuai konfigurasi simpul di skema sungai, kriteria dan kebijakan.	<ul style="list-style-type: none"> - Mengetahui kinerja model telah sesuai tujuan pembuatannya. - Membandingkan keluaran model dengan kriteria dan kebijakan yang digunakan dalam membangun model. - Membandingkan keluaran model dengan operasi di lapangan.

2.3 Studi Terdahulu

2.3.1 Model Alokasi Air

Berikut rangkuman ilustrasi model alokasi air lokal, mencakup:

- 1) Kajian Kali Kuto, Jawa Tengah pada Lampiran 5 (Hatmoko, 1998). Dari skema sungai dimaksud, disimpulkan: i) air tidak dialokasikan untuk ekosistem di hilir, ii) menggunakan metode rasio kebutuhan air sesuai di sungai dengan simpul tunggal, dan iii) nilai K antar blok tidak setara.
- 2) Kajian sungai Renggung, Lombok pada Lampiran 6 (Setiawan, 2009: 87). Sebuah simulasi neraca air berbasis Ms. Excel-VBA dengan kesimpulan: i) defisit di sebagian DI, dan ii) disarankan membangun waduk untuk mengatasi defisit air.

Selain itu, Kim & Wurbs (2011: 1459) mengkaji model alokasi air produk luar negeri seperti WRAP, HEC-ResSim, MODSIM, RiverWare, dan MIKE BASIN, diilustrasikan:

- 1) Seluruh model termasuk kelompok *Hydrologic Modelling Inventory* (HMI), diterapkan di USA dan lainnya.
- 2) MIKE BASIN oleh Denmark Hydraulic Institute dan empat model lain dikembangkan oleh para peneliti universitas/lembaga federal di US.
- 3) Terdapat perbedaan signifikan dalam struktur organisasi, prosedur komputasi, antarmuka, dan mekanisme pengelolaan data.
- 4) *Hydrologic Engineering Center* (HEC)-ResSim berorientasi pengendalian banjir dengan langkah waktu harian/pendek.

- 5) RiverWare dan WRAP dikembangkan untuk pemodelan banjir. WRAP menerapkan disagregasi langkah waktu bulanan menjadi harian.
- 6) WRAP, HEC-ResSim, dan MIKE BASIN berdasarkan kerangka kerja komputasi *ad hoc*, MODSIM dengan LP, sedangkan RiverWare dengan prosedur *ad hoc* dan LP.
- 7) HEC-ResSim, RiverWare, dan MIKE BASIN mengikuti struktur aliran hulu-hilir dengan kriteria waduk dan pasokan air. WRAP dan MODSIM dengan prioritas oleh pengguna.
- 8) HEC-ResSim, RiverWare, dan MODSIM menyediakan grafis antarmuka (GUI).

Dari ilustrasi di atas dan Tabel 2.3, bahwa model alokasi air lokal tampil sederhana dengan keluaran berupa neraca air tanpa optimasi. Pada model alokasi air produk luar negeri secara umum: i) berbentuk DSS, ii) digunakan di banyak negara untuk optimasi berorientasi prioritas/ekonomi, seperti pembayaran alokasi air oleh petani (Roobahani dkk, 2015: 660), iii) generik di DAS independen, dengan simpul bendung dan waduk, dan iv) dioperasikan menggunakan GUI, terintegrasi analisis statistik, hidrologi, banjir, dan kualitas air.

Contoh penggunaan RIBASIM adalah pada penyusunan aturan operasi waduk untuk menghasilkan rencana tanam terbaik di DI (Yekti, 2017). Studi dilakukan di DAS Yeh Ho di Bali yang memuat banyak bendung irigasi di hulu dan hilir dari waduk Telaga Tunjung. Dari studi ini antara lain bahwa: i) tidak ditemukan rasio pasokan/kebutuhan air secara proporsional-merata, ii) distribusi air antar DI diselesaikan melalui negosiasi asosiasi petani (Subak), dan iii) tidak memperhitungkan kehilangan air akibat rembesan di tubuh bendungan dan layanan ekosistem/aliran pemeliharaan sungai. Studi ini tidak merubah pola alokasi air yang ada. Dari ilustrasi ini terdapat perbedaan RIBASIM dengan konsep MEQAA yang menekankan perlunya keadilan volumetrik dengan indikator kesetaraan K di tiap simpul.

Tabel 2.3. Rangkuman model alokasi air

1) HLD-WOC WS LOMBOK		2) Ms. EXCEL MODEL
1	Arti/asal/tahun <i>High Level Diversion-Water Operation Center</i> , Tim ahli dari Inggris, 1991	- Indonesia, 1998 dan 2006
2	Fungsi Menyusun rencana operasi dan rencana tata tanam.	Menyusun rencana operasi
3	Orientasi alokasi air Kesetaraan porsi alokasi air, dengan distribusi air merata pada pengguna sejenis (irigasi)	Kesetaraan, dengan distribusi air merata pada pengguna sejenis
4	Basis Sistem, dengan tinjauan simpul/grup simpul (water district)	Sistem, dengan simpul di sungai utama saja
5	Metode analisis Program linear, keseimbangan massa	Keseimbangan massa, coba banding pasokan air agar K setara.
6	Tipe model/skala Kaku/statis di skema sungai interkoneksi HLD antar 6 DAS basah-kering, 92 simpul/93 ruas dan areal irigasi \pm 60.000 ha	Kaku/statis dengan skema sungai
7	Kemampuan jumlah simpul/jenis simpul - Terbatas, sehingga ditempuh pendekatan grup simpul - Bendung/ <i>diversion</i>	- Sangat terbatas, 10 simpul DI - Bendung dan pompa/ <i>diversion</i>
8	GUI Tidak	Tidak
9	Langkah waktu Setengah bulanan	Setengah bulanan
10	Aliran ekosistem Tidak	Tidak
11	Kehilangan air Tidak	Tidak
12	Aliran kembali Tidak	Tidak
13	Masukan Aliran masuk dan kebutuhan air irigasi	Aliran masuk, kebutuhan air
14	Keluaran - Pasokan air, K - Prediksi pengaruh K terhadap produksi tanaman	Pasokan air, K
15	Negosiasi keputusan Ya, setiap periode langkah waktu	Ya, setiap periode langkah waktu
16	Catatan - Bahasa program: Fortran 77 - Tidak menghasilkan rencana tata tanam, tidak menghasilkan K setara. - Penilaian risiko keberhasilan tanam dikaitkan dengan K. - Kegiatan berakhir tahun 2000.	- Berbasis Ms.Excel-VBA. - Studi di DAS Cisadane, Kali Kuto, 1998 (dengan Lotus123) - Contoh: Das Serang-Lusi-Juana (Lampiran 7, dari Hatmoko 2006), bahwa dicapai K merata 0,19-0,20 di seluruh DI gravitasi, namun capaian K = 1 hanya di DI yang menggunakan pompa air.
17	Pustaka Kartabrata & Marjanto (1994), Puslitbang Pengairan (1994).	Hatmoko (2006).

Lanjutan

	3) PAA	4) WBALMO
1 Arti/asal/tahun	Program Alokasi Air (PAA), Indonesia, 2010.	<i>Water Balance Model</i> , Jerman, 1970an
2 Fungsi	Menyusun rencana operasi	Menyusun rencana taktis dan rencana induk
3 Orientasi alokasi air	Alokasi air antar DI	Prioritas
4 Basis	Sistem, dengan simpul di sungai utama saja	Sistem, dengan tinjauan simpul
5 Metode analisis	- Neraca air (available minus kebutuhan air), FCFS	- Program linear, keseimbangan massa - Terintegrasi analisis hidrologi
6 Tipe model/skala	Kaku/statis dengan skema sungai	Generik, DAS
7 Kemampuan jumlah simpul/jenis simpul	- Sangat terbatas, 9 simpul DI - Bendung/ <i>diversion</i>	- Bendung/ <i>diversion</i> dan waduk
8 GUI	Tidak	- Ya, dengan ArcView
9 Langkah waktu	Setengah bulanan	- Bulanan
10 Aliran ekosistem	Tidak	- Ya
11 Kehilangan air	Tidak	- Tidak
12 Aliran kembali	Tidak	- Ya
13 Masukan	Aliran masuk, kebutuhan air	- DAS, aliran masuk, kebutuhan air, hidrologi, waduk - Data kualitas air
14 Keluaran	Neraca air. Jika defisit, maka solusi alokasi air disebut dengan pernyataan “d disesuaikan”.	- Volume waduk, dan pasokan air. - Reliabilitas keluaran , - Kualitas air
15 Negosiasi keputusan	Ya, setiap periode langkah waktu	Tidak
16 Catatan	- Berbasis Ms.Excel, tampilan berwujud sederhana. - Studi di DAS Sampean (Lampiran 8, dari Indarto & Faisol, 2010). - Tidak menghasilkan pasokan air optimal.	- Bahasa program: Fortran
17 Pustaka	Indarto & Faisol (2010).	Koch & Grunewald (2009).

Lanjutan

	5) REALM	6) WRAP
1 Arti/asal/tahun	REsource ALlocation Model, Victoria University of Technology, Australia, 1980an.	<i>Water Rights Analysis Package</i> , Texas A&M University, USA, dimulai 1980an dan dikembangkan sejak 1997.
2 Fungsi	Menyusun rencana induk	Menyusun rencana induk
3 Orientasi alokasi air	Prioritas	Prioritas
4 Basis	Sistem, dengan tinjauan simpul	Sistem, dengan tinjauan simpul
5 Metode analisis	- Program linear, skenario bagaimana-jika, keseimbangan massa, fungsi tujuan dengan urutan prioritas - Terintegrasi analisis hidrologi dan kualitas air	- Ad hoc, program linear, keseimbangan massa - Terintegrasi analisis hidrologi, kualitas air, pengendalian banjir dan dampak pembangunan proyek terhadap DAS
6 Tipe model/skala	Generik, sistem interkoneksi	Generik, DAS
7 Kemampuan jumlah simpul/jenis simpul	- Bendung/ <i>diversion</i> dan waduk	- Bendung/ <i>diversion</i> dan waduk
8 GUI	Tidak	Ya, ArcGIS
9 Langkah waktu	Bulanan	Bulanan
10 Aliran ekosistem	Ya	Ya
11 Kehilangan air	Tidak	Ya
12 Aliran kembali	Ya	Ya
13 Masukan	- Skema sungai, aliran masuk, kebutuhan air, hidrologi, volume waduk - Data kualitas air	- DAS, aliran masuk, kebutuhan air, hidrologi, volume waduk - Data kualitas air
14 Keluaran	- Volume waduk, permintaan air dan pasokan air, transfer air antar waduk. - Konsentrasi salinitas dan kekeruhan.	- Pasokan air sebesar kebutuhan air, neraca air surplus/defisit - Jika surplus, maka direkomendasikan suplesi ke sistem lainnya - Kualitas air (salinitas) dan sistem pengendalian banjir
15 Negosiasi keputusan	- Ya	Ya
16 Catatan	- Bahasa program: Fortran - Digunakan di Victoria, termasuk Australia Barat dan Selatan.	- Bahasa program: Fortran - Digunakan di 23 DAS dalam Texas WAM dengan 3425 waduk dan 8000 ijin penggunaan air.
17 Pustaka	Perera dkk (2005), Wurbs (2005)	Wurbs (2005), Koch & Grunewald (2009), Kim & Wurbs (2011).

Lanjutan

	7) WRMM	8) RIBASIM	
1	Arti/asal/tahun	<i>Water Resources Management Model</i> , Kanada, 1981	<i>River Basin Simulation Model</i> , Deltares, Netherland, 1985
2	Fungsi	Menyusun rencana taktis dan rencana induk	Menyusun rencana taktis dan rencana induk
3	Orientasi alokasi air	Prioritas, dengan FCFS	Prioritas, dengan FCFS
4	Basis	Sistem, dengan tinjauan simpul/grup simpul (water district)	Sistem, dengan tinjauan simpul/grup simpul.
5	Metode analisis	- Program linear, skenario bagaimana-jika (what-if), keseimbangan massa - Terintegrasi analisis hidrologi - Simulasi deterministik	- Keseimbangan massa dengan skenario bagaimana-jika - Terintegrasi analisis hidrologi dan kualitas air
6	Tipe model/skala	Generik, DAS	Generik, DAS
7	Kemampuan jumlah simpul/jenis simpul	- Terbatas, sehingga ditempuh pendekatan grup simpul. - Bendung/ <i>diversion</i> dan waduk.	- Terbatas, sehingga ditempuh pendekatan grup simpul. - Bendung/ <i>diversion</i> dan waduk.
8	GUI	Ya, MapInfo	Dapat dengan ArcGIS
9	Langkah waktu	Mingguan, bulanan	Setengah bulanan
10	Aliran ekosistem	Tidak	Tidak
11	Kehilangan air	Ya	Tidak
12	Aliran kembali	Ya	Ya
13	Masukan	- DAS, aliran masuk, kebutuhan air, hidrologi, volume waduk - Data kualitas air	- Skema sungai, aliran masuk, kebutuhan air, hidrologi, volume waduk - Data kualitas air
14	Keluaran	- Pasokan air sebesar kebutuhan air - Neraca air surplus/defisit - Waktu tempuh aliran dengan $T=a/Q^b$ (T, hari dan Q, m ³ /dt)	- Pasokan air sebesar kebutuhan air, - Neraca air surplus/defisit - Kualitas air
15	Negosiasi keputusan	Ya	Ya
16	Catatan	- Bahasa program: Visual Basic - Tergantung pengguna model. - Digunakan di sebagian P Jawa, 1996 dan seluruh P. Jawa, 2000, seperti DAS Jragung - Tuntang (Lampiran 9, dari Hatmoko, 2006)	- Bahasa program: Fortran - Digunakan di sebagian P Jawa, 1995 dan P. Jawa, 2000 - Sejak UU No 7 Th. 2004 tentang SDA, digunakan dalam penyusunan rencana induk WS Progo-Opak, Serang, Sumbawa, dan Cisadane (Lampiran 10, dari Hatmoko dkk, 2012), dan WS Paguyaman (Yulistiyanto & Kironoto, 2008)
17	Pustaka	Ilich (2000), Hatmoko (2006), Hatmoko dkk (2012)	Wurbs (2005), Koch & Grunewald (2009), Kim & Wurbs (2011)

Lanjutan

	9) CALSIM	10) HEC-ResSim
1	Arti/asal/tahun <i>California Simulation Model, California Department of Water Resources and United States Bureau of Reclamation (USBR)</i>	The U.S Army Corp Of Engineers – <i>Hidrologic Engineering Center, 1990an</i>
2	Fungsi Menyusun rencana induk	Menyusun rencana induk
3	Orientasi alokasi air Prioritas	Prioritas
4	Basis Sistem, dengan tinjauan simpul	DAS dengan tinjauan simpul
5	Metode analisis Program linear	
6	Tipe model/skala Generik, DAS	Generik, DAS
7	Kemampuan jumlah simpul/jenis simpul Waduk	Tak terbatas
8	GUI Tidak	Ya
9	Langkah waktu Bulanan	Bulanan
10	Aliran ekosistem Tidak	Tidak
11	Kehilangan air Tidak	Tidak
12	Aliran kembali Ya	Tidak
13	Masukan - DAS, aliran masuk, volume waduk	- Karakteristik fisik waduk - Zona konservasi dan tampungan mati - Asumsi zona banjir - Data pengoperasian waduk
14	Keluaran - Volume waduk, pasokan air	Pasokan air
15	Negosiasi keputusan Tidak	Ya
16	Catatan Bahasa program: Fortran	- Menggunakan GUI - Memanfaatkan HEC sistem data untuk penyimpanan dan pengambilan data
17	Pustaka McKinney (2004), Wurbs (2005).	Wurbs (2005), McKinney (2011).

Lanjutan

	11) MODSIM	12) RIVERWARE
1 Arti/asal/tahun	Colorado State University, USA, 1978	CADSWES, 1990
2 Fungsi	Menganalisis jangka panjang, pengelolaan jangka menengah, dan jangka pendek	Menyusun rencana induk
3 Orientasi alokasi air	Prioritas	Prioritas
4 Basis	DAS, dengan tinjauan simpul	Simpul waduk
5 Metode analisis	- Program linear/Solver - Terintegrasi dengan analisis kualitas air	Program linear
6 Tipe model/skala	Generik, DAS	Generik, DAS
7 Kemampuan jumlah simpul/jenis simpul	Bendung/ <i>diversion</i> dan waduk	Waduk
8 GUI	Ya, MAPSIM GIS Interface	Tidak
9 Langkah waktu	Bulanan	Harian
10 Aliran ekosistem	Tidak	Tidak
11 Kehilangan air	Ya	Ya
12 Aliran kembali	Ya	Ya
13 Masukan	- Evaporasi - Kapasitas tampungan waduk - Kapasitas pembangkit listrik - Data kualitas air	- Aliran masuk - Aliran masuk keluar - Volume waduk - Data kualitas air
14 Keluaran	- Volume waduk, pasokan air, keandalan keluaran dengan kriteria irigasi > 80% dan pembangkit listrik > 90%. - Kualitas air	Perkiraan jangka panjang nilai tampungan
15 Negosiasi keputusan	Ya	Ya
16 Catatan	- Bahasa program: Visual Basic. Net - Digunakan di Sungai Platte - Terkoneksi dengan MS ACCESS - Keluaran dapat ditampilkan di ArcMAP (ArcGIS) - Menggunakan skema jaringan	- Simulasi sederhana berbasis fungsi optimasi - Tampilan familier - Dihubungkan menggunakan grafis editor - Riverware mengakses pemrograman matematika CPLEX
17 Pustaka	Wurbs (2005), Labadie (2007), Berhe dkk (2013).	Zagona (1998), Wurbs (2005).

Lanjutan

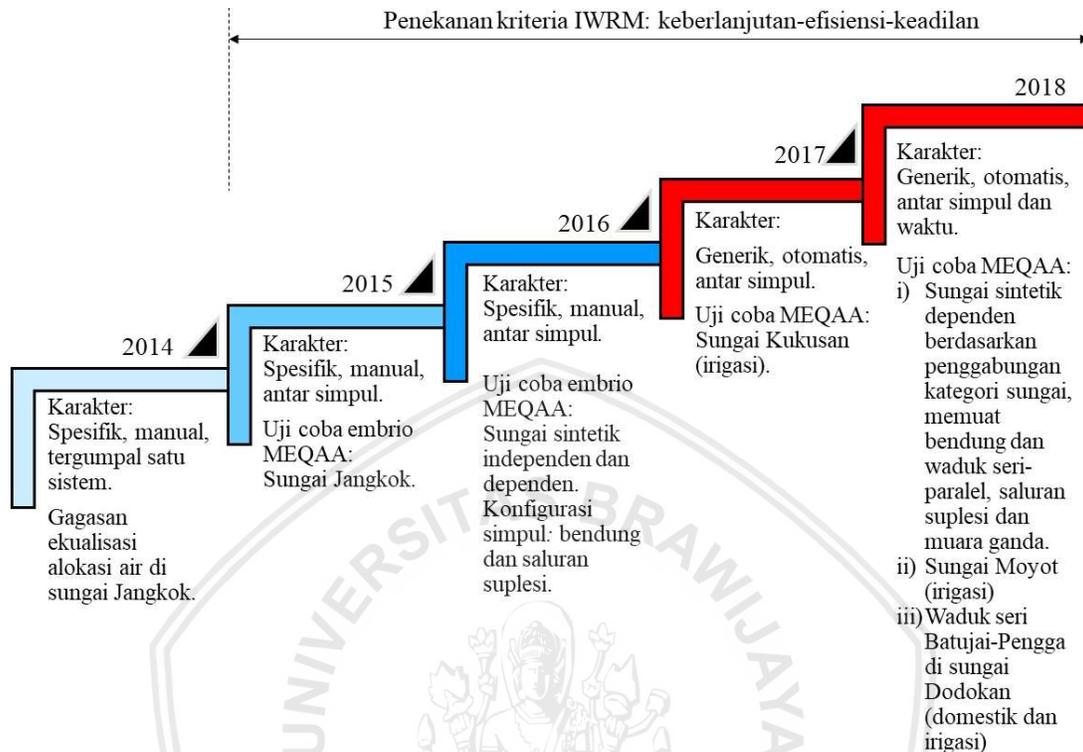
	13) WEAP	14) MIKE BASIN
1 Arti/asal/tahun	Water Evaluation And Planning, Stockholm Environmental Institute, Massachusetts, USA, sejak 2000an	Danish Hydraulic Institute (DHI), Denmark, 2008
2 Fungsi	Menyusun rencana taktis dan rencana induk	Menyusun rencana induk
3 Orientasi alokasi air	Prioritas sesuai metode FCFS	Prioritas, defisit setara, dan titik layu tanaman.
4 Basis	Sistem, dengan tinjauan simpul	DAS, dengan tinjauan simpul
5 Metode analisis	- Program linear, skenario bagaimana-jika (what-if), keseimbangan massa, - Terintegrasi analisis kualitas air	- Program linear, skenario bagaimana-jika, keseimbangan massa. - Terintegrasi analisis hidrologi, air tanah dan kualitas air
6 Tipe model/skala	Generik, DAS	Generik, DAS
7 Kemampuan jumlah simpul/jenis simpul	- Saat promosi model digratiskan hanya 3 simpul - Bendung/ <i>diversion</i> dan waduk	Bendung/ <i>diversion</i> dan waduk
8 GUI	Ya, ArcView	ArcGIS
9 Langkah waktu	Bulanan atau tahunan dengan disagregasi bulanan	Bulanan
10 Aliran ekosistem	Ya	Ya
11 Kehilangan air	Tidak	Ya
12 Aliran kembali	Ya	Ya
13 Masukan	- DAS, faktor: aliran masuk, kebutuhan air, hidrologi, volume waduk - Data kualitas air	- DAS, faktor: aliran masuk, kebutuhan air, hidrologi, volume waduk - Data kualitas air
14 Keluaran	- Pasokan air sebesar kebutuhan air - Neraca air surplus/defisit - Jika surplus, maka direkomendasi suplesi ke sistem lainnya - Kualitas air	- Volume waduk, pasokan air, pembangkit listrik - Kualitas air
15 Negosiasi keputusan	Ya, antar pemangku kepentingan	Ya
16 Catatan	- Bahasa program: Javascript - Seperti RIBASIM, Modsim - Dapat dintegrasikan dengan model hidrologi dan air tanah.	- Untuk optimasi, dapat dihubungkan dengan Ms.Excel-VBA dan Solver - Digunakan untuk kajian antar WS Bulgaria dan WS Greece.
17 Pustaka	Wurbs (2005), Mutiga dkk (2010), Höllermann. dkk. (2010), Hoff dkk (2011).	Wurbs (2005), Doulgeris dkk (2015).

Lanjutan

		15) AQUARIUS	16) Embrio MEQAA
1	Arti/asal/tahun	Colorado State University (CSU-USA)	Model Ekualisasi Alokasi Air, Lombok, Indonesia, 2014
2	Fungsi	Menyusun rencana induk	Menyusun rencana operasi, rencana taktis
3	Orientasi alokasi air	Ekonomi	Kesetaraan K antar pengguna sejenis
4	Basis	Sistem, dengan tinjauan simpul	Sistem, dengan tinjauan simpul
5	Metode analisis	- Program non linear - Program linear - Skenario bagaimana-jika	- Program linear, keseimbangan massa. - Optimasi-simulasi dengan iterasi K
6	Tipe model/skala	Generik, DAS	Kaku/statik, sistem sungai
7	Kemampuan jumlah simpul/jenis simpul	Bendung/ <i>diversion</i> dan waduk	Terbatas, bendung
8	GUI	Tidak	Tidak
9	Langkah waktu	Bulanan	Dasarian
10	Aliran ekosistem	Ya	Ya, minimal sebesar 5 % dari air tersedia.
11	Kehilangan air	Tidak	Tidak
12	Aliran balik	Tidak	Tidak
13	Masukan	DAS, aliran masuk, kebutuhan air, hidrologi, volume waduk	- Skema sungai independen, aliran lokal, kebutuhan air.
14	Keluaran	Keuntungan ekonomi	- Pasokan air, limpahan
15	Negosiasi keputusan	Tidak	Tidak
16	Catatan	- Optimasi alokasi air untuk penggunaan tradisional dan non tradisional (lingkungan dan rekreasi)	- Untuk optimasi antar pengguna sejenis (irigasi). - Telah dikomparasi dengan Solver, dengan keluaran yang sama. - Diterapkan untuk perencanaan alokasi air pada operasi di sungai Jangkok WS Lombok.
17	Pustaka	Brown dkk. (2002), Wurbs (2005).	Farriansyah dkk (2014-2016)

2.3.2 Perkembangan Karakter MEQAA

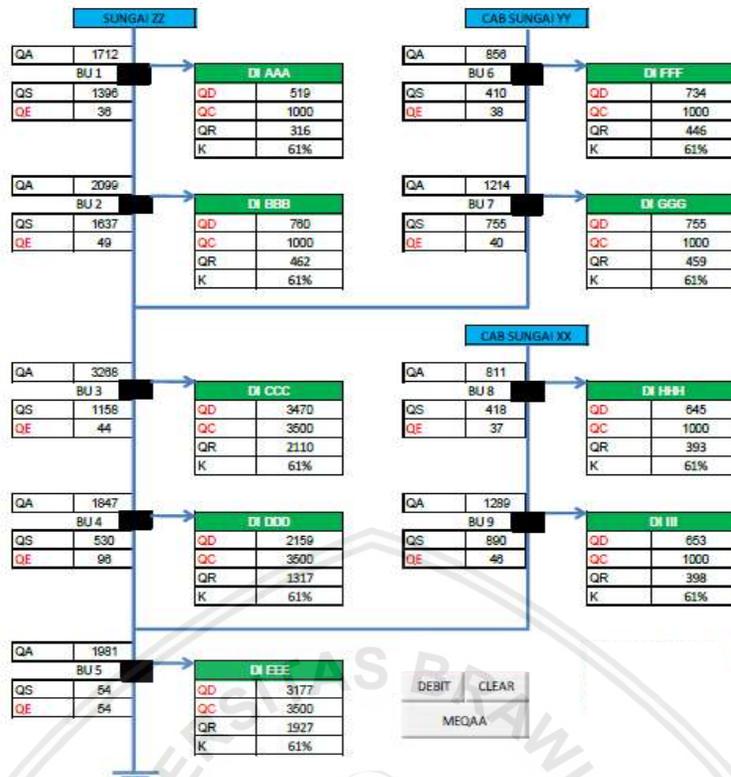
Penelitian diawali tahun 2009 ketika perlu memodifikasi K=ADR menjadi K=RDR. Kemudian, karakter MEQAA diuraikan pada sketsa berikut (disarikan dari Tabel 2.4).



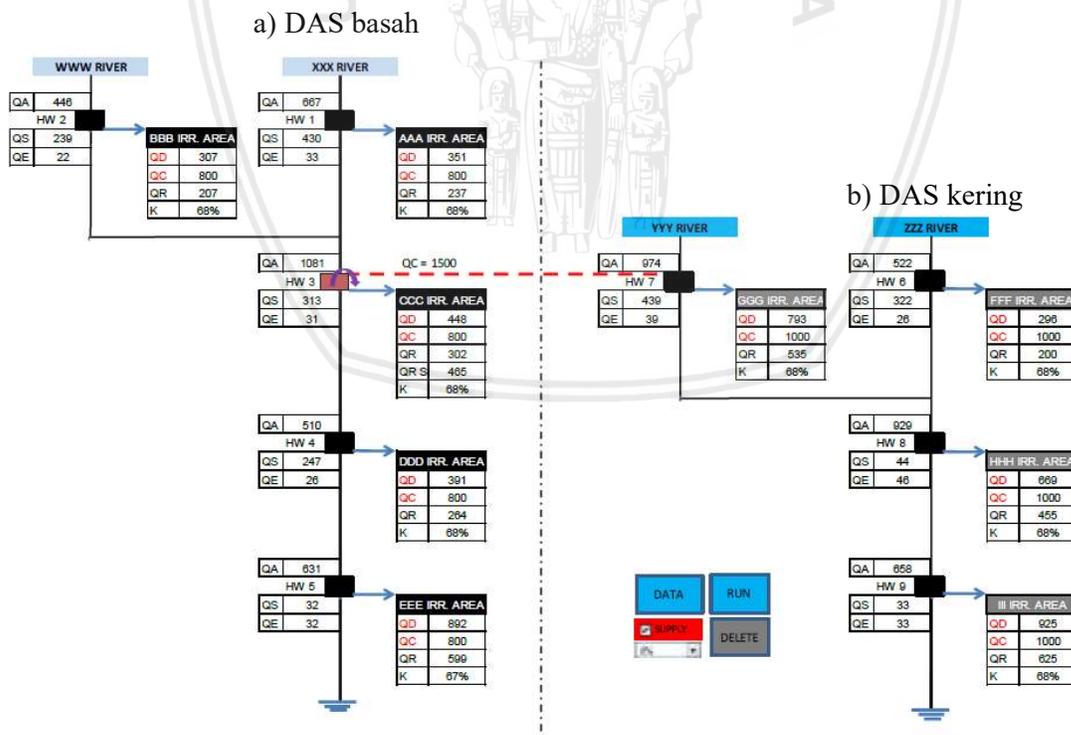
Gambar 2.6. Perkembangan karakter MEQAA
Sumber: Farriansyah dkk (2009, 2014, 2015, 2016, 2018)

Pada uji coba embrio MEQAA menggunakan skema sungai sintetik dan data angka (Gambar 2.7 dan 2.8) dengan rangkuman: i) di sungai independen memuat 9 bendung (BU 1-9) (Gambar 2.7) didapat pasokan air (QR) dengan $K=61\%$ setara dan limpahan (QS) di simpul terhilir sama dengan kebutuhan ekosistem (QE), yaitu $QS=QE=54$ l/dt, efisien, dan ii) di sungai dependen memuat 9 bendung dengan saluran suplesi dari DAS basah (HW 1-5) menuju DAS kering (HW 6-9) (Gambar 2.8) didapat QR dengan $K=68\%$ setara di tiap simpul di kedua sungai dan di simpul terhilir dengan $QS=QE=32-33$ l/dt, efisien.

Selain itu, pada uji coba dengan Ms. Excel-Solver menggunakan skema sungai sintetik memuat sedikit bendung, Solver menghasilkan K setara. Solver tidak efektif digunakan, karena: i) fungsi-fungsi harus disesuaikan tiap perubahan sistem dan data angka, ii) memiliki kapasitas 100 fungsi dan 200 variabel (Marc Kellison marc@solver.com, 2016) atau setara 10 bendung. Berdasarkan uji coba di atas, bahwa prinsip, kriteria dan metode dalam MEQAA terbukti benar dan sesuai tujuan pembuatannya.



Gambar 2.7. Embrio MEQAA, uji coba di sungai sintetik independen
 Sumber: Farriansyah dkk (2016: 722-732)



Gambar 2.8. Embrio MEQAA, uji coba di sungai sintetik dependen
 Sumber: Farriansyah dkk (2016: 722-732)

Tabel 2.4. Rangkuman penelitian terkait MEQAA

No	Pustaka	Pokok Bahasan dan Metode	Keterangan
1	Farriansyah & Aribowo (2009)	<p><u>Pokok bahasan:</u> Alokasi air di sungai dengan sejumlah simpul, studi kasus di sungai Renggung WS Lombok</p> <p><u>Metode:</u> Neraca air sederhana, dengan rasio/tanpa optimasi.</p>	<p><u>Kekuatan:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Tercetusnya ide dasar kesetaraan alokasi air antar simpul. - K identik dengan RDR. <p><u>Kelemahan:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Meninjau satu sistem secara tergumpal.
2	Farriansyah dkk (2014)	<p><u>Pokok bahasan:</u> Rencana aloaksi air dengan pendekatan tergumpal, yaitu meninjau antar gabungan simpul menjadi beberapa grup simpul (water district), di sungai Jangkok di WS Lombok.</p> <p><u>Metode:</u> Keseimbangan massa, optimasi-simulasi iterasi porsi defisit (1-K), dibantu Ms.Excel-VBA.</p>	<p><u>Kekuatan:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Ditemukannya konsep dasar ekualisasi yaitu menyamakan porsi defisit air antar grup simpul. <p><u>Kelemahan:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - ME disusun secara manual di tiap grup simpul, butuh waktu lama dan rawan kesalahan. - Jatah air tiap simpul dihitung berdasarkan rasio kebutuhan air terhadap jatah air di tiap grup simpul. - Tidak menyertakan jatah ekosistem, dan kebijakan transfer air.
3	Farriansyah dkk (2015)	<p><u>Pokok bahasan:</u> Rencana alokasi air irigasi pada operasi, di sungai Jangkok WS Lombok.</p> <p><u>Metode:</u> Keseimbangan massa, optimasi-simulasi iterasi K, dibantu Ms.Excel-VBA.</p>	<p><u>Kekuatan:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Dimulainya penerapan kriteria IWRM. - Ditemukannya mekanisme optimasi-simulasi untuk menghasilkan alokasi air dengan K setara di tiap simpul bendung. <p><u>Kelemahan:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - ME disusun secara manual di 10 simpul bendung. - Tidak menyertakan kebijakan transfer air.

Lanjutan

No	Pustaka	Pokok Bahasan dan Metode	Keterangan
4	Farriansyah dkk (2016)	<p><u>Pokok bahasan:</u> Gagasan pembangunan MEQAA sebagai model komputasi untuk ekualisasi K. Di uji coba di sistem sederhana dengan data sintetik.</p> <p><u>Metode:</u> Keseimbangan massa, optimasi-simulasi iterasi K, dibantu Ms. Excel-VBA.</p>	<p><u>Kekuatan:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Berhasil uji coba saluran suplesi transfer air. - Model menghasilkan nilai optimal di tiap simpul di sistem, dengan memenuhi kriteria IWRM. <p><u>Kelemahan:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Konfigurasi simpul sangat terbatas. - ME disusun secara manual di skema sungai statik dengan jumlah bendung terbatas. <p><u>Rekomendasi:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Perlu merancang MEQAA yang generik-otomatis di tiap sistem sungai, dengan konfigurasi simpul bendung dan waduk. - Model perlu diuji coba dan dikembangkan.
5	Farriansyah dkk (2018)	<p><u>Pokok bahasan:</u> Peningkatan kemampuan MEQAA dengan uji coba di sungai Kukusan WS Lombok, untuk perencanaan alokasi air tahunan.</p> <p><u>Metode:</u> Keseimbangan massa, optimasi-simulasi iterasi K, dibantu Ms. Excel-VBA.</p>	<p><u>Kekuatan:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Menggunakan data riil. - ME disusun secara otomatis sesuai skema sungai. - Model menghasilkan nilai optimal di tiap simpul di sistem, dengan memenuhi kriteria IWRM. <p><u>Kelemahan:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Pengguna hanya irigasi. - Tanpa ekualisasi alokasi air antar waktu. <p><u>Rekomendasi:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Perlu uji coba MEQAA: i) di sungai kompleks, dengan konfigurasi simpul bendung, multiwaduk, dilengkapi saluran suplesi dan muara ganda, dan ii) multiwaduk dengan multiguna. - Perlu uji coba untuk komparasi operasional alokasi air dan keluaran MEQAA.

BAB III

KERANGKA KONSEP PENELITIAN

3.1 Kerangka Pikir Pemodelan

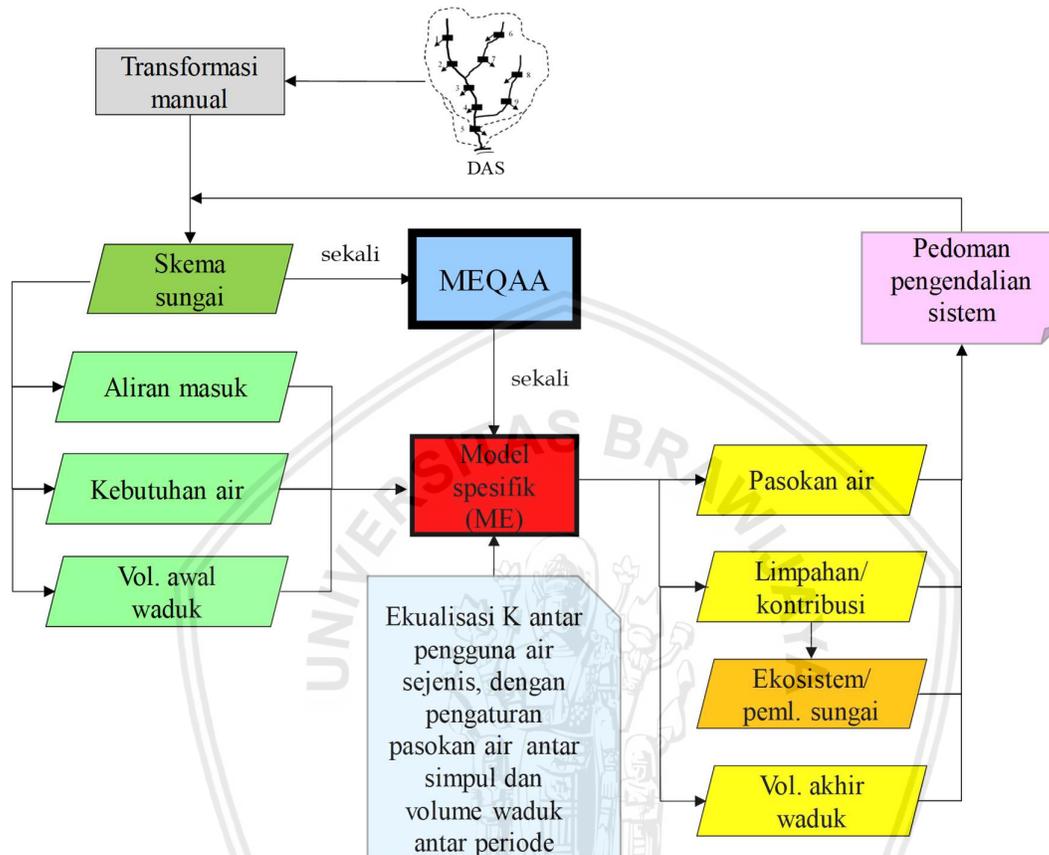
Karena air tersedia dan peningkatan kebutuhan air yang tak berimbang menimbulkan defisit air yang meluas dan tidak merata, sehingga rawan ketidakadilan alokasi air. Kondisi ini memerlukan pengendalian antar simpul dan waktu. Pengendalian sistem adalah kerja kolektif komponen aliran untuk tujuan bersama, yaitu tercapainya alokasi air optimal sesuai kriteria dan kebijakan yang ditekankan. Pengendalian pasokan air (release) akan menghasilkan porsi alokasi air (K) secara proporsional-merata dan pengendalian simpanan akan menjamin keberlanjutan operasional.

Pengendalian hendaknya berdasarkan rencana alokasi air dari model. Namun, model yang ada tidak cocok diterapkan, antara lain karena: i) tidak berorientasi/menghasilkan alokasi air secara proporsional-merata, sebagaimana air adalah barang publik yang berfungsi sosial, ii) tidak memperhatikan jatah ekosistem/pemeliharaan sungai, iii) terkait analisis hidrologi/kualitas air sehingga perlu banyak data, dan iv) prosedur kompleks dan perlu operator profesional. Sementara itu, model lokal dengan Ms. Excel, terkesan sangat sederhana, statik di sistem tertentu, dan tidak menghasilkan solusi optimal.

Berdasarkan potret model dan pentingnya pengendalian alokasi air, maka diajukan “Model Ekualisasi Alokasi Air” (MEQAA). Pembangunan model komputasi ini terinspirasi dari ketidakadilan alokasi air irigasi dan kompleksitas sistem sungai di WS Lombok. MEQAA dengan struktur dasar pada Gambar 3.1, adalah model induk yang otomatis dapat melahirkan model spesifik (master equation/ME), berdasarkan skema sungai. Karena basis Ms. Excel dan untuk memudahkan perhitungan, maka masukan, proses dan keluaran ME berwujud tabel. ME memuat: i) konfigurasi simpul sesuai trayektori aliran dari hulu ke hilir di tiap sungai cabang, sungai utama sampai muara, dan ii) elaborasi persamaan keseimbangan massa di tiap simpul, dengan kriteria dan kebijakan.

Dalam MEQAA dengan ME-nya, bahwa K sebagai indikator kecukupan air yang menggambarkan kesetaraan alokasi air sebagai tujuan bersama. Kriteria IWRM yang mencakup keberlanjutan, efisiensi dan keadilan akan diwujudkan menggunakan persamaan keseimbangan massa. Di persamaan universal ini, K diperankan sebagai faktor pengatur utama untuk menyesuaikan pasokan air di tiap simpul. ME sebagai model spesifik

memerlukan masukan data ketersediaan air, kebutuhan air dan volume waduk. ME akan mengiterasi K dan simpanan sampai konvergen pada status terminasi. Keluaran ME antara lain mencakup pasokan air, limpahan/kontribusi, jatah ekosistem, dan simpanan waduk untuk dijadikan pedoman pengendalian alokasi air.

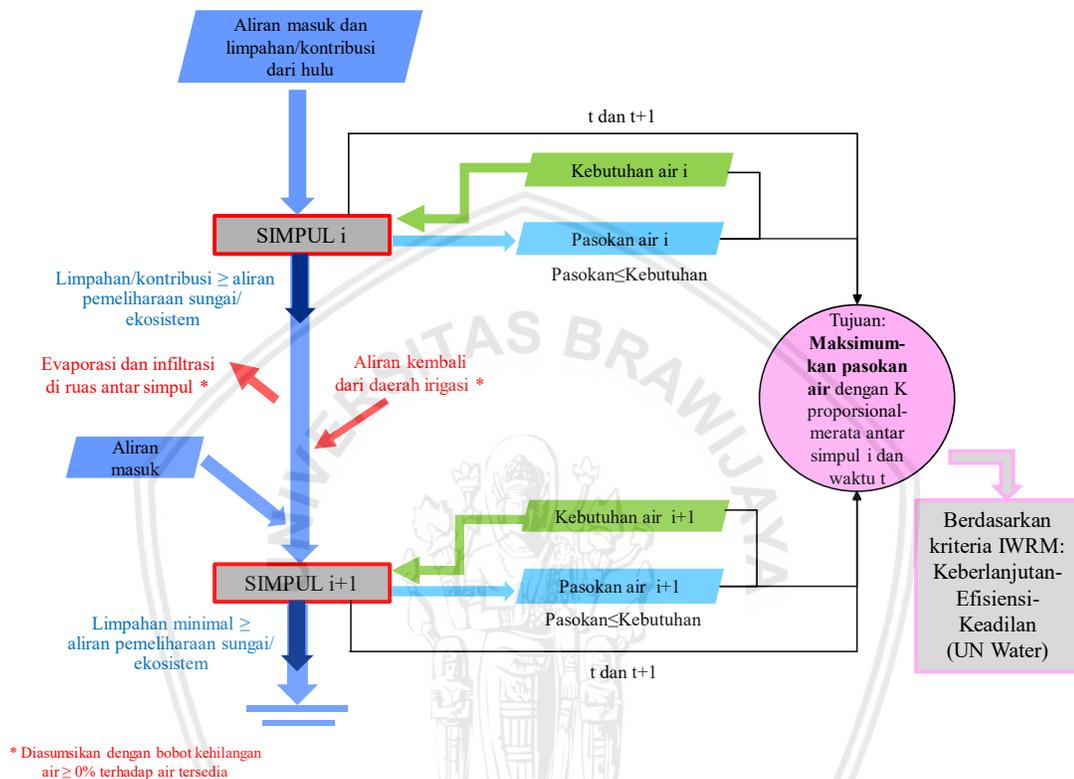


Gambar 3.1. Struktur dasar MEQAA

Karena MEQAA adalah model deterministik-dinamik, maka uji coba dapat menggunakan data sintetik dengan variabilitas skema sungai berikut data angka. Uji coba menggunakan data sintetik untuk mengetahui keberhasilan: i) susunan kode pemrograman (syntax code) dalam memetakan konfigurasi simpul menjadi ME dan ii) proses ekualisasi yang menghasilkan variabel keputusan. Adapun uji coba menggunakan data riil untuk komparasi variabel keputusan dengan operasi yang akan kontras, karena simpul di lapangan tidak terkendali. Berikutnya, uji coba MEQAA untuk mengetahui kemampuan dan pengaruh pengaruh kehilangan air di ruas antar simpul di sistem sungai yang didominasi bendung dan sistem multiwaduk (seri-paralel)

3.2 Konsep Ekualisasi Alokasi Air

Ekualisasi alokasi air dituntut agar memenuhi kriteria IWRM, yaitu: i) keberlanjutan berkaitan dengan pasokan air, kontribusi dan jatah ekosistem dan, ii) efisiensi berkaitan dengan pasokan air yang tidak lebih dari kebutuhannya dan sisa air minimal ke laut tidak kurang dari jatah ekosistem, dan iii) keadilan berkaitan dengan kesetaraan K, termasuk jatah ekosistem. Kriteria IWRM itu diterapkan antar simpul dan antar waktu.



Gambar 3.2. Konsep ekualisasi alokasi air

Di ruas antar simpul di sistem sungai dapat terjadi kehilangan air (channel loss/CL), selain itu dapat pula terdapat aliran kembali (return flow/RF) dari daerah irigasi (DI). Walaupun nilai ini sulit ditentukan, namun MEQAA akan dilengkapi perhitungan yang memungkinkan mempertimbangkannya dengan pendekatan faktor bobot terhadap ketersediaan air antar ruas. Ketersediaan air antar ruas dan terukur di simpul hilir dapat tetap atau menurun. Untuk kepraktisan: i) ketersediaan air tetap (bobot $CL=0$) adalah tidak terjadi kehilangan air dan tidak terjadi aliran kembali atau kehilangan air dan aliran kembali saling meniadakan, dan ii) ketersediaan air menurun (bobot $CL > 0$) adalah terjadi kehilangan air yang lebih besar dari aliran kembali atau tidak terjadi aliran kembali.

MEQAA adalah model induk yang melahirkan ME sebagai model spesifik dengan struktur dasar pada Gambar 3.1, mencakup fungsi: i) pelacakan simpul, ii) penyusunan ME, dan iii) ekualisasi. Melalui pelacakan simpul (tracking) akan diinventarisasi koordinat baris dan kolom dari kode simpul, pertemuan sungai (junction) dan trayektori aliran. Karena Ms. Excel identik dengan sel (cell), maka kode mereka harus dituliskan di atas gambar skema sungai yang dibuat langsung/disalin/copy di atas *spreadsheet*. Standar kode perlu disusun untuk mengetahui dinamika sistem sungai.

Selanjutnya, berdasarkan hasil pelacakan akan disusun tabel ME yang mengelaborasi persamaan keseimbangan massa menjadi sarana ekualisasi secara numerik. Persamaan diskrit ini spesifik untuk sistem sungai tertentu, tidak dapat digunakan di sungai lainnya. ME memuat variabel dan kriteria sesuai kerangka konsep (Gambar 3.2), dan persamaan dalam format Ms. Excel. Tabel ME akan menyesuaikan konfigurasi dan jenis simpul di sistem sungai. Format dasar tabel ME disusun agar memudahkan ekualisasi, mengikuti alokasi air antar simpul. Pada dasarnya ME terdiri dari: i) format sistem dengan bendung dan ii) format sistem dengan waduk. Format tabel dengan bendung tampil sederhana karena tanpa fungsi simpanan. Tidak demikian jika terdapat waduk, maka muatan tabel akan ditambah dengan variabel yang terkait fungsi simpanan. Jika terdapat simpul transfer air menuju ruang penggunaan air tertentu melalui bangunan pengatur suplesi (diversion) ke saluran suplesi/muara ganda, maka format tabel akan disesuaikan kembali dengan memuat variabel terkait berikut kriterianya. Format ME akan selalu dinamik sesuai skema sungai.

Variabel keputusan dalam optimasi dihasilkan berdasarkan penerapan kriteria, mencakup: i) kriteria IWRM termasuk kriteria jatah ekosistem, dan ii) kriteria operasional waduk. Kriteria operasional waduk diimplementasikan melalui kebijakan pengaturan pasokan dan simpanan sehingga kinerja operasional waduk dapat berkelanjutan. Ciri operasi waduk yang berkelanjutan selain tercapainya K setara antar simpul, juga tercapainya K setara/menurun perlahan antar periode. Kriteria pertama berguna untuk mewujudkan keadilan volumetrik, sedangkan kriteria kedua penting agar waduk tidak kosong sehingga durasi periode operasi dapat berlangsung lebih panjang.

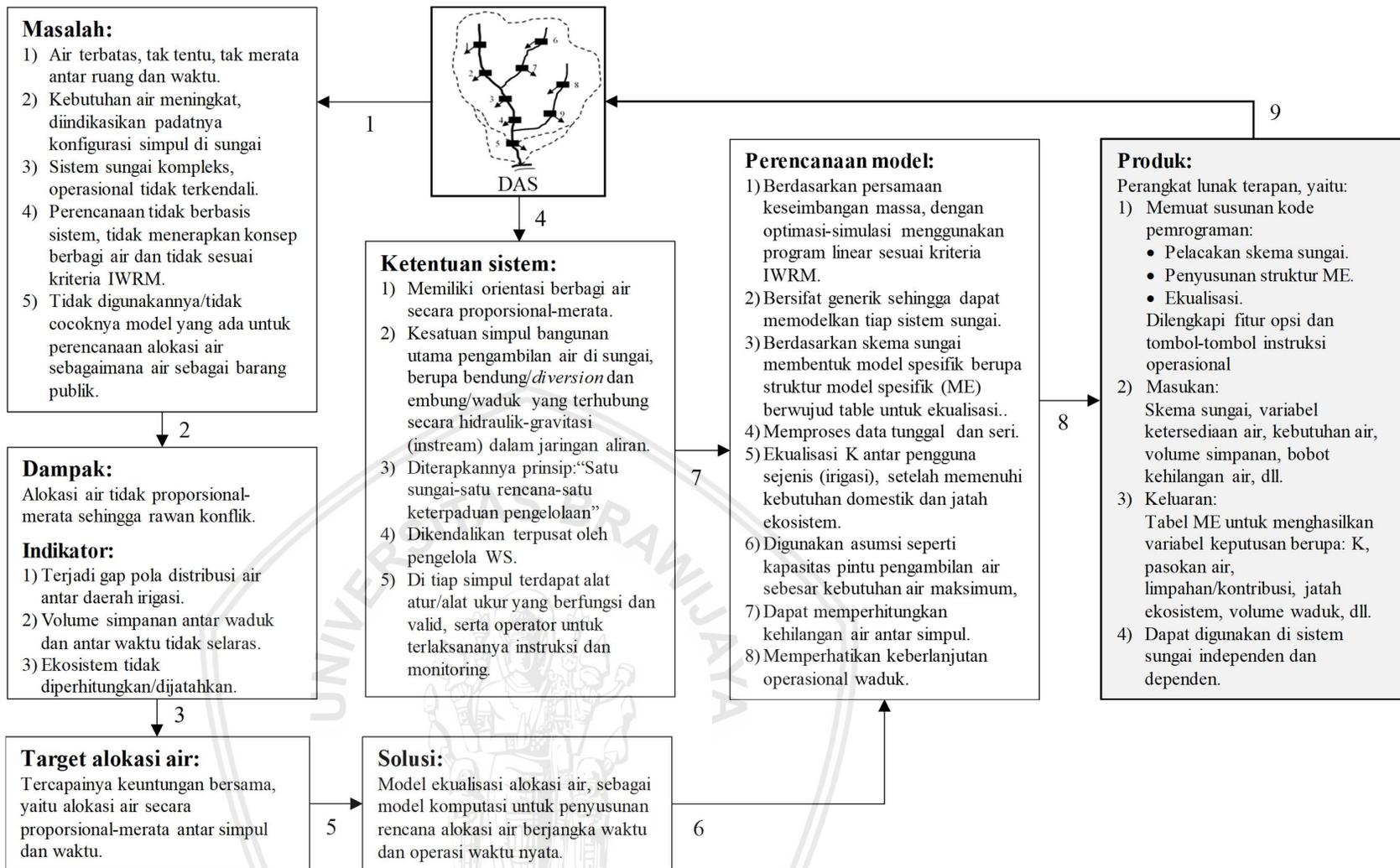
Optimasi-simulasi alokasi air dilakukan dengan mengiterasi K dan simpanan waduk menggunakan tabel ME. Perhitungan secara bertahap dari simpul ke simpul sampai konvergen pada status terminasi dalam toleransi gap tertentu. Jika terdapat waduk, maka dilakukan pengecekan gap antar waktu. Jika K di luar gap toleransi antar waktu, maka ekualisasi harus diulang sehingga simpanan waduk mencapai sinkron di batas tertentu.

Kondisi tercapainya gap K disebut status terminasi, yaitu berakhirnya optimasi-simulasi pada nilai konvergen dengan gap toleransi tertentu. Variabel keputusan pada status ini dapat berupa: i) terdistribusi seluruhnya, yaitu jika air tersedia di hulu, ii) terdistribusi sebagian, yaitu jika air tersedia di sebagian sistem, atau iii) tidak dapat terdistribusi jika di seluruh sistem tidak terdapat air.

Untuk menjalankan fungsinya, MEQAA dibantu Ms. Excel-VBA, karena: i) populer/praktis bagi programmer non profesional untuk pemodelan di bidang SDA, dengan susunan kode pemrograman (syntax code) yang relatif sedikit untuk menjalankan program besar (Wurbs, 2005: 79, 88-91 dan Soetopo, 2011: 110), ii) mempercepat perhitungan (Yulistiyanto, 2015: 101), dan iii) otomatisasi perulangan, iterasi persamaan kompleks, dan dapat berkomunikasi dengan objek Ms. Excel (Pangaribuan, 2016: 26, 30, 132, 162). Kemampuan Ms. Excel-VBA dalam ekualisasi terbukti pada uji coba embrio MEQAA yang menghasilkan K setara (Farriansyah dkk, 2014, 2015, 2016).

3.3 Hipotesis

- 1) MEQAA dapat melahirkan model spesifik (master equation/ME) di tiap skema sungai.
- 2) ME dapat digunakan untuk ekualisasi alokasi air antar simpul dan waktu dengan variabel keputusan berdasarkan kriteria IWRM yaitu keberlanjutan-efisiensi-keadilan.
- 3) Keluaran MEQAA akan kontras dengan operasi, karena alokasi air di tiap simpul tidak terkendali dan tidak menekankan penerapan kriteria IWRM.
- 4) Faktor kehilangan air di ruas antar simpul yang didominasi bendung akan menurunkan capaian K secara signifikan.



Gambar 3.3. Diagram kerangka konsep penelitian pembangunan MEQAA

3.4 Definisi Operasional

Berdasarkan konsep model, berikut didefinisikan variabel model dalam MEQAA.

Tabel 3.1. Definisi operasional

No	Nama/ Notasi/Satuan	Definisi/ Faktor yang berpengaruh
1	Skema sungai	<ul style="list-style-type: none"> - Kesatuan konfigurasi simpul bangunan utama pengambilan air (bendung/<i>diversion</i>, embung/waduk) yang terhubung secara hidraulik-gravitasi. - Dipengaruhi simpul, simpul sungai cabang dan saluran suplesi.
2	Simpul (node)	<ul style="list-style-type: none"> - Lokasi bangunan utama pengambilan air/<i>diversion</i> sebagai titik untuk kontrol aliran/simpanan di sistem. - Jumlah dan jenis simpul yang ada di lapangan atau yang direncanakan.
3	Faktor-K (K) ($0 \leq K \leq 100\%$)	<ul style="list-style-type: none"> - Indikator keandalan/kesetaraan volumetrik alokasi air. - Klas K mencakup K1, K2, K3, K4, dan E. - Dipengaruhi ketersediaan air, kebutuhan air, dan pasokan air.
4	Debit tersedia antar ruas simpul atau aliran masuk lokal (local inflow) (QL, l/dt)	<ul style="list-style-type: none"> - Air tersedia di ruas antara simpul, merupakan bagian dari total ketersediaan air di sungai. - Air natural dari mata air, sungai cabang, sungai utama menuju muara. - Dipengaruhi fisik daerah tangkapan air, jenis sungai/tanah, hujan, dan evapotranspirasi dll.
5	Debit total ketersediaan air (inflow/available) (QA, l/dt)	<ul style="list-style-type: none"> - Total air tersedia di simpul. - Dipengaruhi aliran lokal, limpahan dari hulu, suplesi, dan sumber lain, serta kehilangan air di ruas antar simpul.
6	Debit kebutuhan air irigasi (demand) (QD, l/dt)	<ul style="list-style-type: none"> - Kekurangan air dari lahan persawahan yang akan dipasok dari bangunan utama di sungai. - Dipengaruhi satuan kebutuhan air tanaman, luas tanam dan efisiensi irigasi dari simpul sampai ke sawah.
7	Debit ekosistem/ pemeliharaan sungai (QE, l/dt)	<ul style="list-style-type: none"> - Aliran yang harus disediakan di hilir simpul untuk memenuhi kebutuhan ekosistem/pemeliharaan sungai. - Jatah minimal 5% dari air tersedia. - Dipengaruhi air tersedia dan simpanan air.
8	Debit pasokan air (release) (QR, l/dt)	<ul style="list-style-type: none"> - Debit pasokan air untuk memenuhi kebutuhan air, atau dapat sebagai suplesi ke sistem lain. - Dipengaruhi air tersedia, kebutuhan air dan berbagi air.
9	Debit limpahan/ kontribusi (spill flow) (QS, l/dt)	<ul style="list-style-type: none"> - Debit melimpah di pelimpah/kontribusi ke hilir. - Dipengaruhi simpanan, air tersedia dan pasokan air.
10	Volume efektif waduk (V_{ef} , m^3)	<ul style="list-style-type: none"> - Kapasitas volume ruang waduk untuk operasional. - Dipengaruhi kapasitas total dan volume mati.
11	Volume awal-akhir waduk (V_{beg} dan V_{end} , m^3)	<ul style="list-style-type: none"> - Volume air pada kondisi awal dan akhir periode waktu. - Volume ini berubah dari waktu ke waktu berkisar antara nol sampai volume efektif. - Volume akhir dipengaruhi neraca air di waduk.

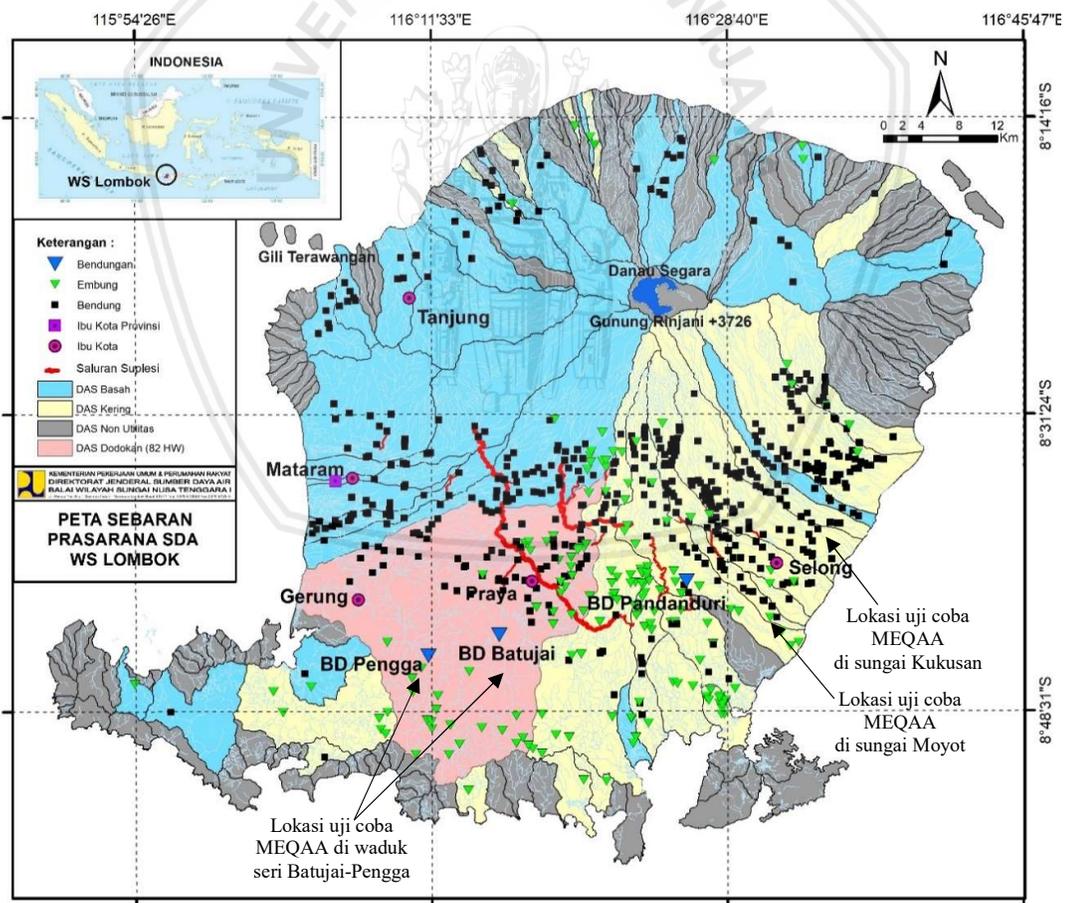
Halaman ini sengaja dikosongkan.



BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Deskripsi Wilayah

Di WS Lombok (3.43 juta jiwa) terdapat 197 DAS (luas 4738 km²) terdapat 52 DAS utilitas (luas efektif sampai simpul terhilir 2534 km²) (Gambar 4.1), dengan danau Segara Anak di gunung Rinjani (+3726 m), sebagai sumber air potensial. Kondisi hidrologi adalah DAS-DAS berbentuk memanjang, hujan 213-3153 mm/tahun, evaporasi 2.23-6.26 mm/hari, dan ketersediaan air permukaan 2.98 milyar m³/tahun. DAS-DAS basah di bagian Barat, sedangkan DAS-DAS kering dengan hamparan sawah yang luas di Lombok Tengah-Selatan-Timur. Di bagian Utara tersebar DAS independen dengan air cukup untuk irigasi/domestik.



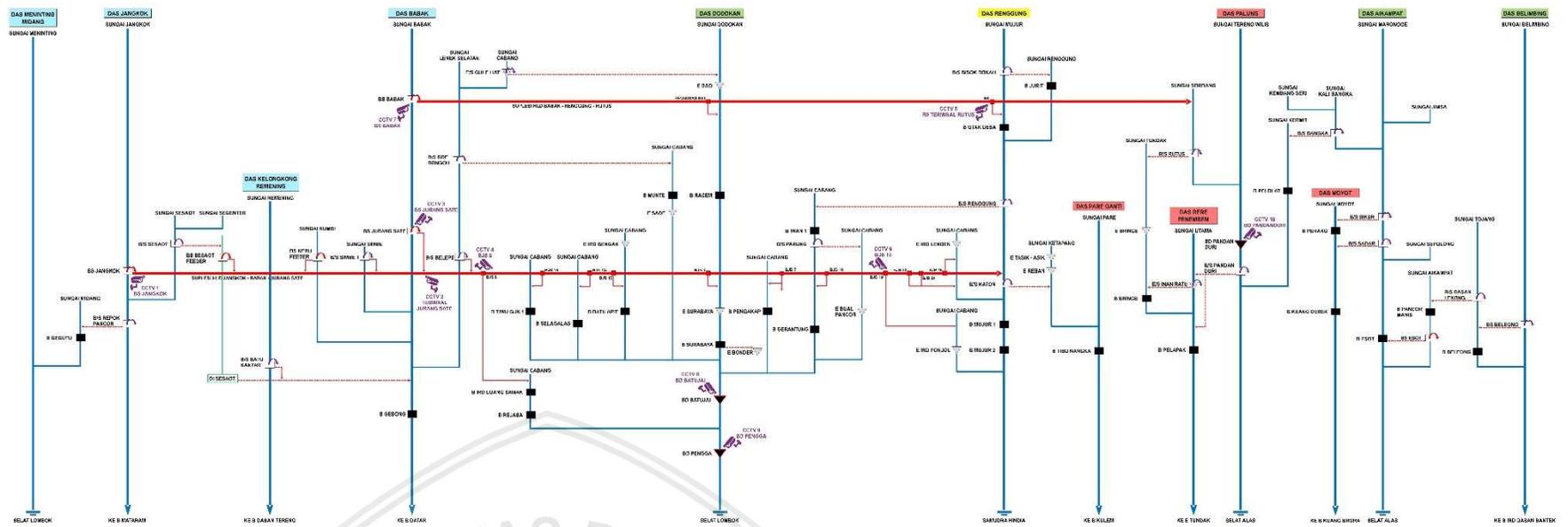
Gambar 4.1. Distribusi simpul alokasi air di WS Lombok, dengan lokasi uji coba MEQAA
Sumber: BWS NT I (2017).

Total kebutuhan air di WS Lombok 2.81 milyar m³/tahun, yaitu 96 % untuk irigasi seluas 133130 ha (padi-padi/palawija-palawija, intensitas tanam 250%). Karena air tersedia antar DAS di barat dan tengah-selatan-timur tidak merata, maka tahun 1980an dibangun saluran suplesi (sistem high level diversion/HLD). Di sistem HLD terdapat 2 saluran suplesi total panjang 60.28 km untuk transfer air 6000-12000 l/dt dengan 55 simpul. Saat ini di sistem ini dilengkapi saluran suplesi berdimensi lebih kecil sehingga menginterkoneksi 12 DAS basah-kering (Gambar 4.2), terdapat 310 bendung, 74 embung (≤ 500000 m³) dan 3 waduk besar yaitu Batujai (24800000 m³), Pengga (27100000 m³), dan Pandanduri (27200000 m³) untuk 97797 ha sawah. Sedangkan di DAS independen lainnya terdapat 186 bendung dan 26 embung (≤ 500000 m³) di 40 sungai independen untuk 35333 ha sawah. Kondisi alokasi air antar DI hulu-hilir di WS Lombok tidak adil (Lampiran 2).

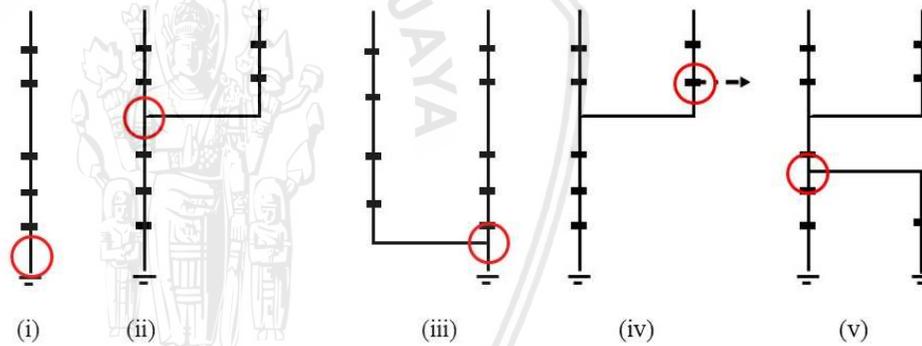
Berdasarkan skema sungai di 52 DAS utilitas (BWS NT I, 2016 & 2017) dapat dikategorikan sistem sungai sebagaimana Gambar 4.3 guna memudahkan pembangunan MEQAA. Sungai-sungai yang terinterkoneksi “dikembalikan ke bentuk semula” menjadi bentuk independen agar memudahkan kategorisasi. Tipe i adalah sungai dengan trayektori tunggal, karena simpul-simpul di sungai cabang dan atau sungai utama hanya membentuk satu trayektori aliran. Berbeda dengan simpul-simpul di sungai cabang dan sungai utama yang menghasilkan banyak trayektori aliran (tipe ii-iv). Khususnya tipe v terinspirasi dari sungai Brantas di Jawa Timur dengan lokasi sungai cabang di Mojokerto menuju muara ganda, yaitu sungai Surabaya dan sungai Porong (Sharif dkk, 2013: 1852). Hasil kategorisasi mencakup tipe: i) sungai tunggal, ii) sungai bercabang dengan simpul paling hilir di sungai utama, iii) sungai bercabang dengan simpul paling hilir di sungai cabang tidak terhubung ke simpul paling hilir di sungai utama, iv) sungai dengan bangunan pengatur saluran suplesi (diversion), dan v) sungai bercabang dengan muara ganda.

4.2 Deskripsi Lokasi Uji Coba MEQAA

Uji coba/eksperimen dilakukan untuk mengetahui kinerja MEQAA menggunakan data sintetik dan data riil. Uji coba dengan data sintetik berupa skema sungai hasil rekayasa penggabungan dari kategori 5 tipe sistem sungai (Gambar 4.3). Adapun uji coba menggunakan data riil di WS Lombok (Gambar 4.1) mencakup: i) sungai Moyot, karena operasional tidak terkendali, berikut uji coba dengan alternatif lokasi waduk di hulu dan hilir, ii) sungai Kukusan, untuk menyusun rencana alokasi air tahunan, dan iii) waduk seri Batujai-Pengga di sub sistem sungai Dodokan, karena operasional tidak didukung kurva aturan simpanan sehingga operasional keduanya berjalan tidak sinkron.



Gambar 4.2. Skema ringkas sistem interkoneksi HLD di WS Lombok.
Sumber: BWS NT I (2017).

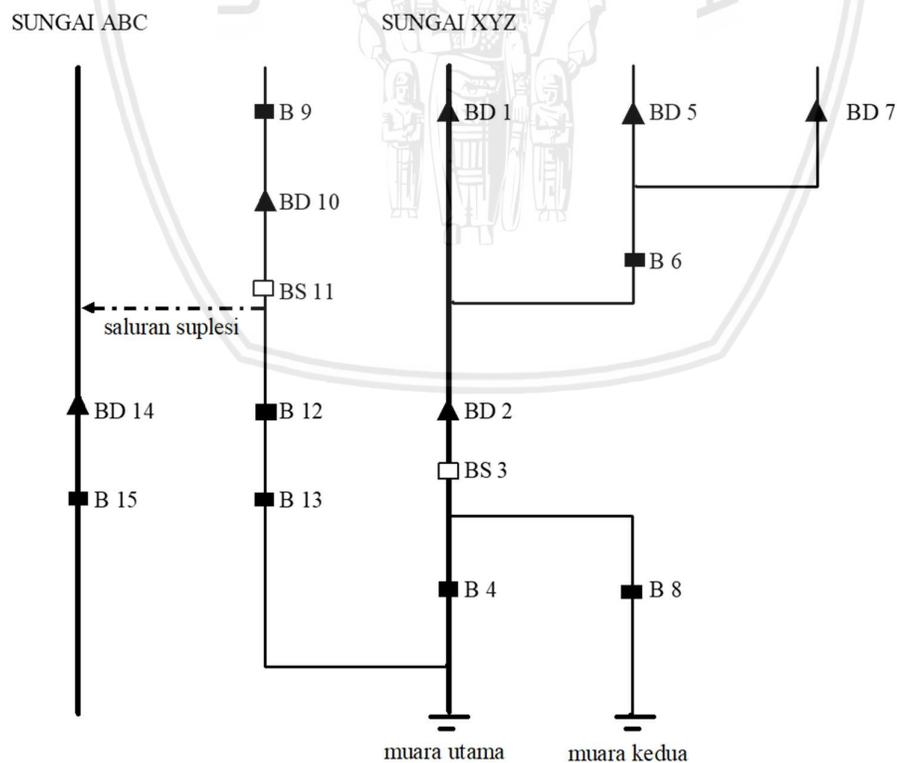


Gambar 4.3. Kategori sistem sungai

4.2.1 Uji Coba 1: Sungai Sintetik XYZ

Menggunakan skema sungai sintetik XYZ (Gambar 4.4) yang diilustrasikan dari penggabungan 5 tipe kategori sungai pada Gambar 4.3, dengan konfigurasi simpul yang kompleks. Secara umum skema sungai yang akan dimodelkan oleh MEQAA dikategorikan sistem dependen, karena terdapat saluran suplesi dari sungai basah (sungai XYZ) ke sungai kering lainnya (sungai ABC). Di skema terdapat 13 ruas antar simpul, 5 simpul sungai cabang (termasuk saluran suplesi), muara utama, muara kedua, 7 bendung (dinamakan B 6, B 8, B 4, B 9, B 15, B 12, dan B 13), 6 waduk (dinamakan BD1, BD 5, BD 7, BD 2 sebagai waduk seri-paralel, serta BD 10, BD 14 sebagai waduk tunggal) dan 2 *diversion* sebagai bangunan pengatur suplesi (*diversion*) menuju simpul di sungai ABC dan muara ganda (dinamakan BS 3 dan BS 11). Seluruh pengguna air adalah sejenis.

Sementara itu karena demo, maka data angka sintetik pada variabel masukan seperti volume efektif waduk, volume awal waduk, debit aliran masuk lokal (local inflow), dan kebutuhan air akan secara acak-otomatis diproduksi oleh MEQAA. Data ini secara rasional berdasarkan kondisi di WS Lombok. Menggunakan data tunggal (1 periode operasional) akan dilakukan komparasi hasil perhitungan alokasi air dengan metode ekualisasi secara proporsional-merata dan metode tanpa ekualisasi (*first-come, first-served/FCFS*).

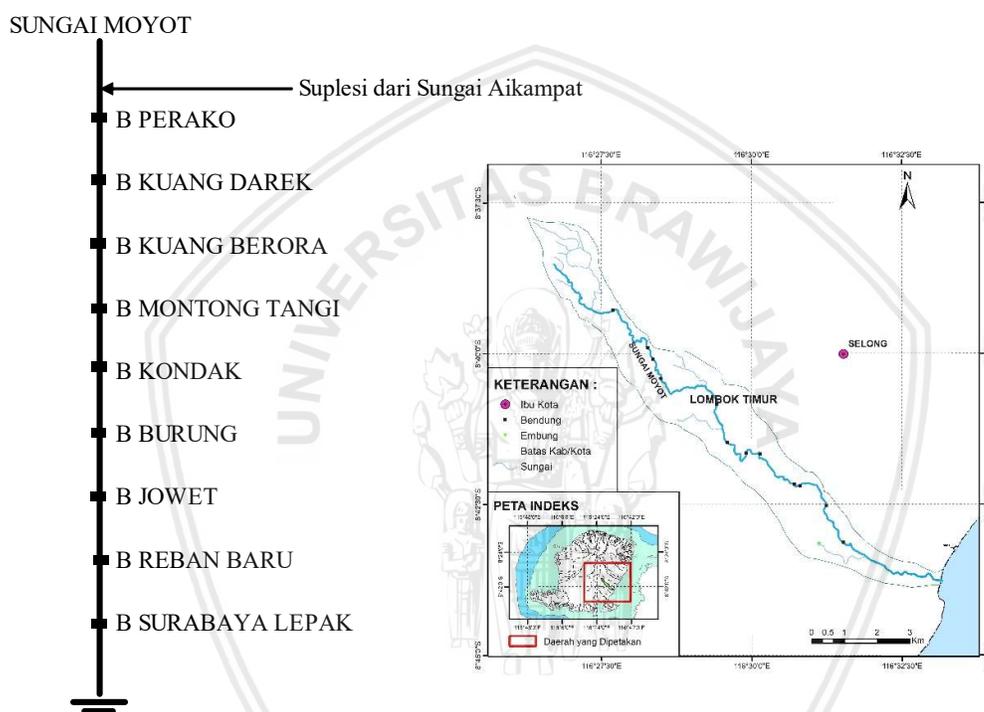


Gambar 4.4. Skema sungai XYZ dengan saluran suplesi ke sungai ABC

4.2.2 Uji Coba 2: Sungai Moyot

Sungai Moyot merupakan bagian dari 12 sungai interkoneksi di WS Lombok, dengan status neraca air global defisit (Lampiran 1). Pola distribusi air antar DI tidak adil, yaitu di DI-DI hulu dengan klas K2-K3 sedangkan di hilir K4-E (hasil survei pada Mei 1 tahun 2016). Di skema terdapat 9 simpul bendung untuk irigasi (Gambar 4.5) dengan total luas sawah 1628 ha (berkisar 105-484 ha). Aliran suplesi dari sungai Aikambat dan aliran masuk lokal dari daerah tangkapan air B Perako merupakan satu kesatuan aliran masuk total (inflow).

Pada uji coba akan membandingkan kondisi operasi dengan keluaran MEQAA berdasarkan data seri periode setengah bulanan tahun 2015/2016 (Lampiran 11 dan 14).

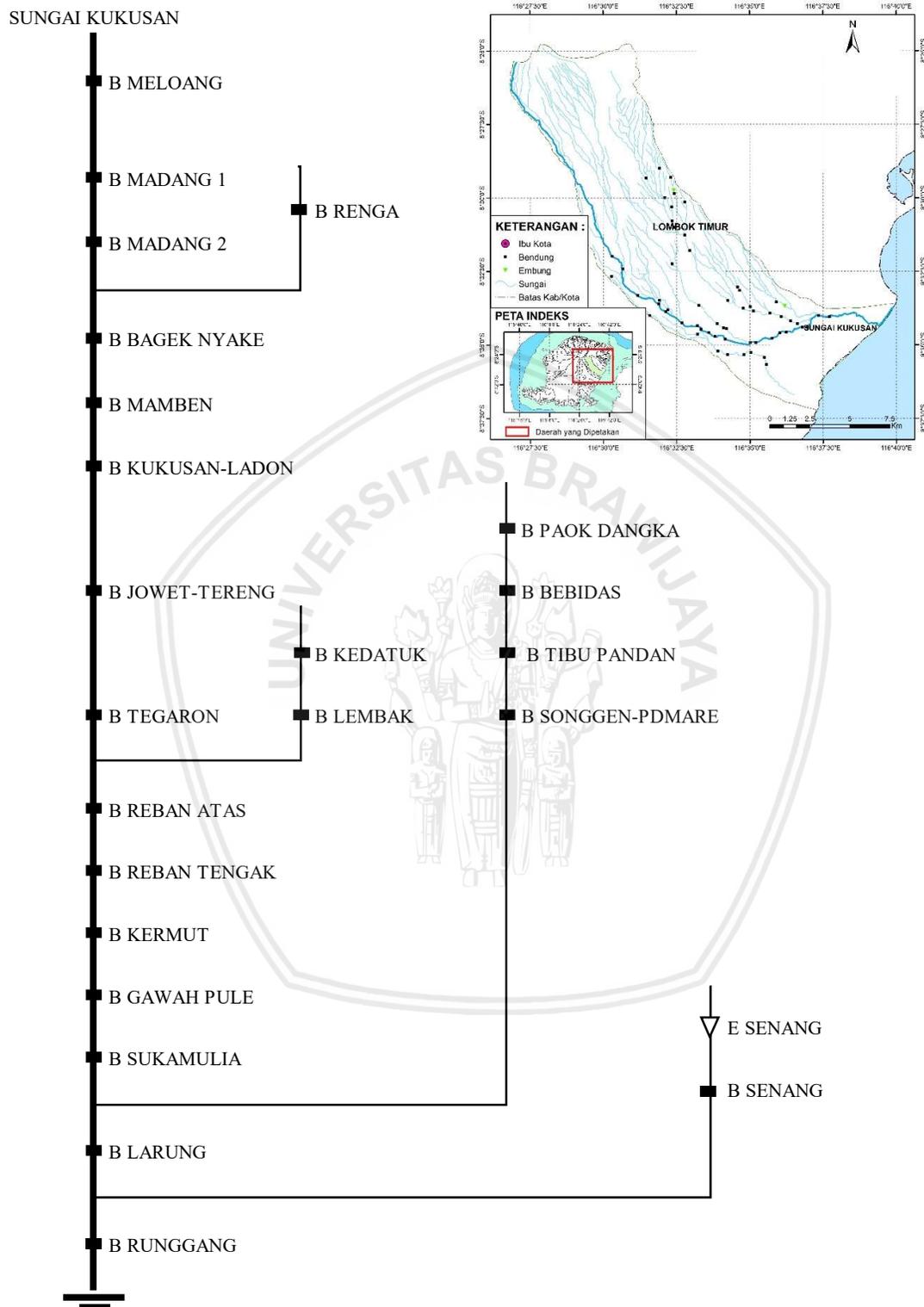


Gambar 4.5. Skema sungai Moyot

4.2.3 Uji Coba 3: Sungai Kukusan

Sungai Kukusan merupakan sungai independen (di luar sistem HLD), dengan status neraca air global surplus-defisit (Lampiran 1). Pola distribusi air antar DI di sistem ini tidak adil, yaitu di DI-DI hulu dengan klas K1-K2 sedangkan di hilir K2-K3 (hasil survei pada Mar3 tahun 2016). Di sistem ini terdapat 24 simpul (skema sungai pada Gambar 4.6), yaitu 23 bendung dan 1 embung (E Senang, $V_{\text{eff}}=262876 \text{ m}^3$) untuk pasok air irigasi seluas 3669 ha (berkisar 46-1117 ha). Uji coba untuk mengetahui kinerja MEQAA dalam menyusun

rencana alokasi air dengan masukan data seri dasarian tahun 2017/2018 (Lampiran 12), termasuk pengaruh E Senang terhadap B Senang/bagian hilirnya.



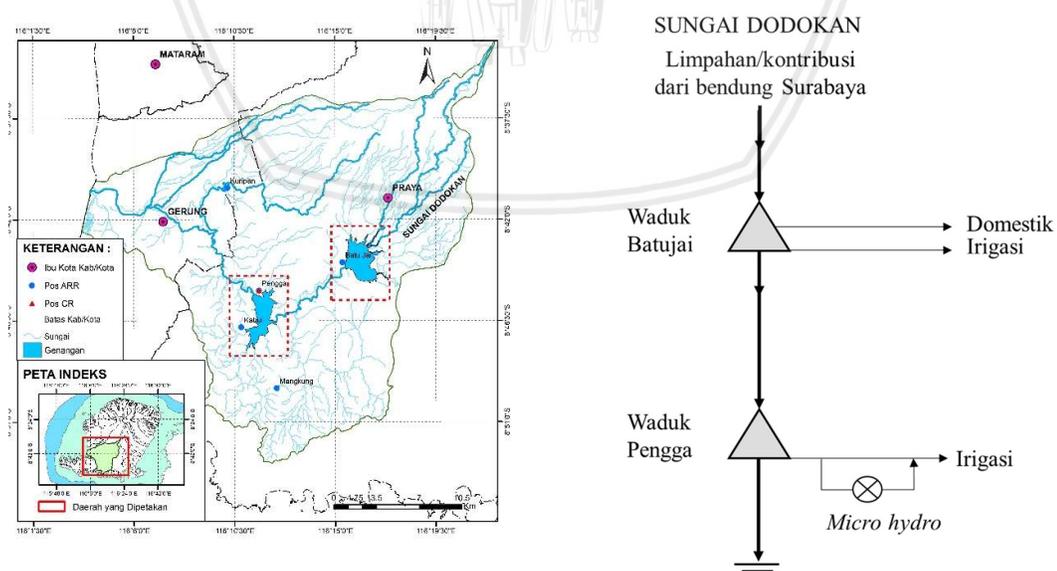
Gambar 4.6. Skema sungai Kukusan

4.2.4 Uji Coba 4: Waduk Seri Batujai-Pengga Sungai Dodokan

Waduk seri Batujai-Pengga terletak terhilir dari 82 simpul di sungai Dodokan di WS Lombok (Gambar 4.7). DAS Dodokan (581.69 km²) dengan status neraca air global defisit (Lampiran 1). Sumber air waduk Batujai (volume efektif 18200000 m³) dari aliran masuk lokal di daerah tangkapan air 37.15 km², kontribusi dari bendung Surabaya dan saluran suplesi HLD. Adapun waduk Pengga (volume efektif 21100000 m³) aliran masuk lokal dari daerah tangkapan air 176.37 km² dan kontribusi dari waduk Batujai. Air di waduk Batujai untuk domestik dan irigasi, sedangkan waduk Pengga untuk irigasi dan pembangkit listrik *micro hydro* (turbine) yang beroperasi dengan debit 1000-3000 l/dt mengikuti irigasi.

Masalah utama di kedua waduk adalah: i) inefisiensi pasokan air terhadap kebutuhan air irigasi sehingga $K > 100\%$, ii) tidak berbagi dengan jatah ekosistem diindikasikan jarangunya limpahan pada musim kemarau, dan iii) ketidakseimbangan simpanan waduk. Operasi waduk tanpa didukung kurva aturan operasi (rule curve) menghubungkan simpanan/elevasi dan waktu diperlukan sebagai target batas operasi (Wurbs, 2005 : 13).

Uji coba menggunakan masukan data seri dasarian tahun 2014-2018 (Lampiran 13), yaitu membandingkan keluaran MEQAA dengan operasi saat ini. Data pada Lampiran 13 mencakup aliran masuk Batujai, aliran masuk lokal Pengga, volume tertampung, limpahan, dan pasokan air. Selain itu, kehilangan air akibat evaporasi dan rembesan di waduk diestimasi dari koefisien kehilangan air rerata di Batujai 0.33% dan Pengga 0.15% terhadap volume awal. Diasumsikan tidak terjadi kehilangan air di ruas sungai antar waduk.

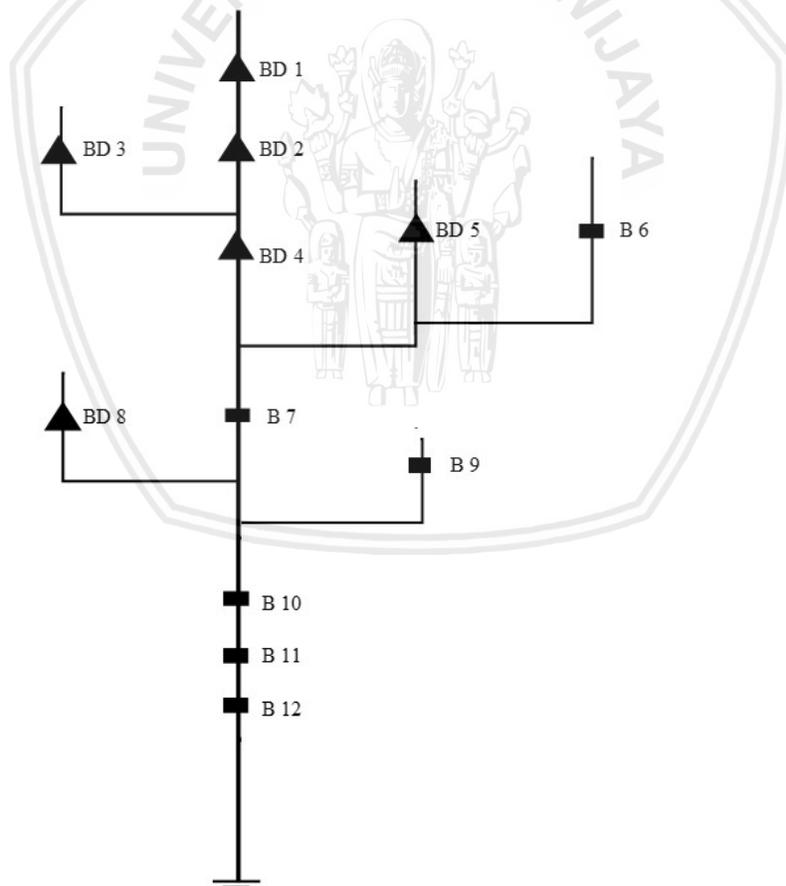


Gambar 4.7. Skema waduk seri Batujai-Pengga di sungai Dodokan

4.2.5 Uji Coba 5: Waduk Seri-Paralel Sungai Sintetik OPQ

Uji coba ini berbeda dengan uji coba sebelumnya di beberapa skema sungai di WS Lombok dan diasumsikan tanpa kehilangan air di ruas sungai. Pada uji coba kali ini akan digunakan skema sungai dengan sebaran lokasi multiwaduk yang diinspirasi dari sungai Brantas di Jawa Timur (tanpa muara ganda). Selain itu, akan diperhitungkan kehilangan air di tiap ruas antar simpul bangunan utama.

Di skema sungai (Gambar 4.8) terdapat bangunan utama berupa: i) 7 bendungan seri-paralel (BD1, BD2, BD3, BD4, BD5, BD8 dan BD9), dan ii) 4 bendung seri di sungai utama (B7, B10, B11, dan BD 12) dan bendung di sungai cabang (B 6). Seluruh pengguna air adalah sejenis. Data masukan seperti volume efektif waduk, volume awal waduk dan embung, debit aliran masuk lokal, kebutuhan air, serta bobot kehilangan air akibat evaporasi dan rembesan di waduk dan bobot kehilangan air di ruas antar simpul akan secara acak-otomatis diproduksi oleh MEQAA. Langkah waktu perhitungan dalam setengah bulanan dengan tinjauan selama 24 periode.



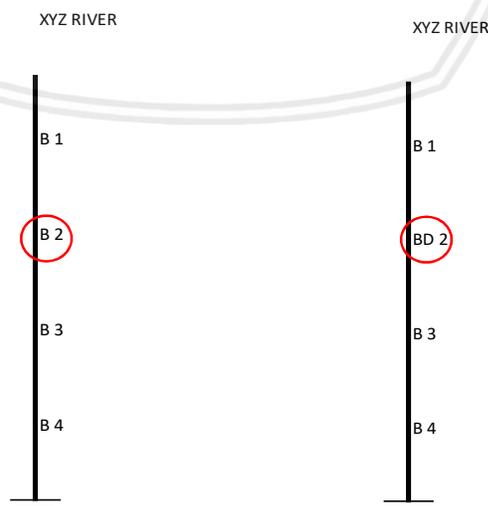
Gambar 4.8. Skema sungai sintetik OPQ

4.2.6 Uji Coba 6: Intervensi Perlakuan

Selain diperlukan rotasi ON-OFF antar simpul akibat defisit air berlebihan sehingga darurat operasional, praktik intervensi alokasi air juga dapat terjadi karena ego pengguna air. Intervensi karena ego bertentangan dengan ciri egalitarian yang memandang pengguna sejenis memiliki hak sama. Intervensi ini menyebabkan ketidaksetaraan K antar pengguna sejenis. Dengan pertimbangan: i) masa sosialisasi kesetaraan alokasi air/transisi perilaku yang tidak dapat dalam waktu singkat dan ii) tindakan penyelamatan akibat pelanggaran rencana tata tanam, maka intervensi ini dapat diberlakukan sementara waktu. Berikutnya, intervensi karena kegiatan fisik di jaringan yang wajar dilakukan dengan mengatur buka-tutup pintu selama durasi tertentu. Ketiga jenis intervensi ini hanya dapat berlaku pada tahap operasional waktu nyata, dengan memperhatikan aliran pemeliharaan sungai/ekosistem.

Uji coba MEQAA pada kasus intervensi karena ego dengan skenario: i) jika air tersedia lebih dari kebutuhan air, maka lepasan (release) sebesar kebutuhan air atau ii) jika air tersedia kurang dari kebutuhan air ($K > K_{lainnya}$), maka lepasan mengikuti ekualisasi ($K \approx K_{lainnya}$). Adapun kasus intervensi karena rehabilitasi dengan skenario buka-tutup pintu selama durasi tertentu. Durasi buka pintu dapat sama atau kurang dari langkah waktu periode (5, 10, 15, atau 30 harian), sehingga lepasan air dapat lebih besar dari normalnya.

Uji coba dilakukan menggunakan skema sungai sintetik Gambar 4.9, yaitu: i) hanya bendung (gambar kiri) dan ii) dengan waduk dan bendung (gambar kanan). Intervensi akan dilakukan di bendung B2 dan waduk BD 2. Seluruh pengguna air adalah sejenis. Data masukan seperti volume efektif waduk, volume awal waduk, debit aliran masuk lokal, kebutuhan air, serta bobot kehilangan air akibat evaporasi dan rembesan di waduk dan bobot kehilangan air di ruas antar simpul akan secara acak-otomatis diproduksi oleh MEQAA.

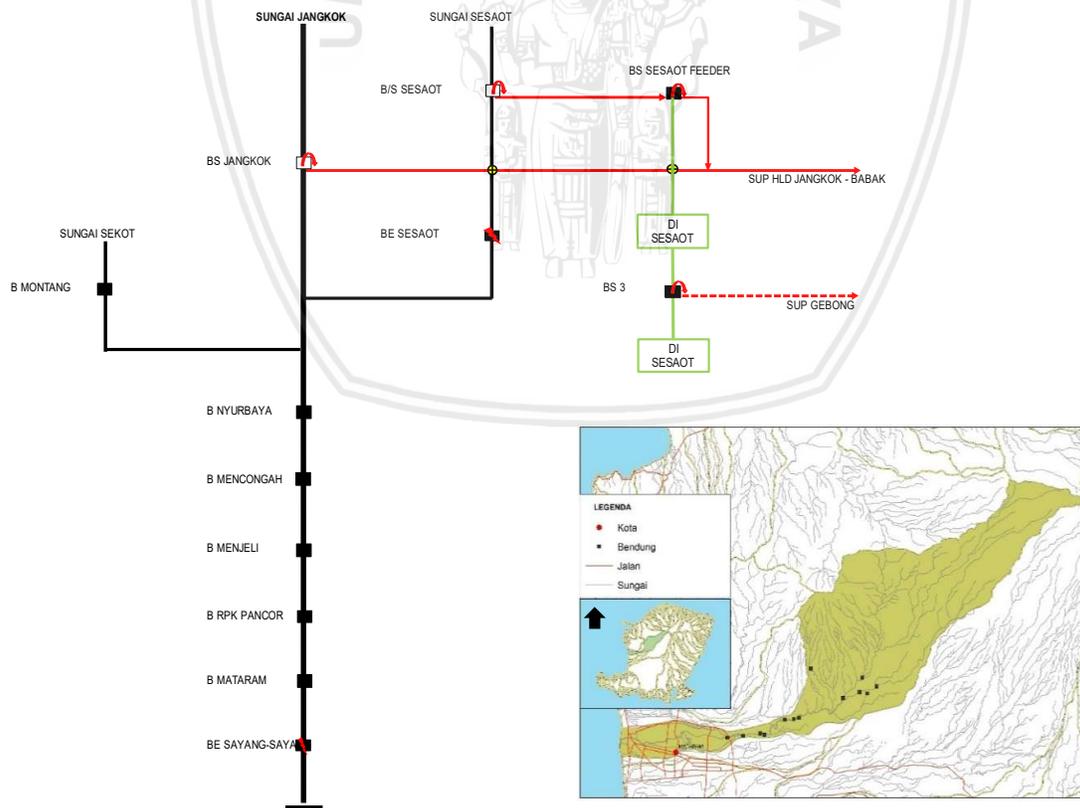


Gambar 4.9. Skema sungai XYZ untuk uji coba intervensi

4.2.7 Uji Coba 7: Operasional Waktu Nyata di Sungai Jangkok

Sejak tahun 2014 BWS NT I telah melaksanakan percontohan operasional alokasi air di S Jangkok, WS Lombok. Perencanaan alokasi air pada kegiatan tersebut menggunakan konsep dasar MEQAA, agar alokasi air dapat secara proporsional-merata antar pengguna sejenis (irigasi). Adapun proses umpan balik laporan dan instruksi dari/ke lapangan menggunakan fasilitas SMS (short message service). Berdasarkan laporan harian debit lapangan, dilanjutkan proses perhitungan, didapat keluaran debit lepasan di tiap simpul. Keluaran kemudian diinstruksikan secara periodik tiap 5 harian yaitu tanggal 1, 6, 11, 16, 21, dan 26 oleh pusat pengendali alokasi air ke tiap operator simpul di lapangan.

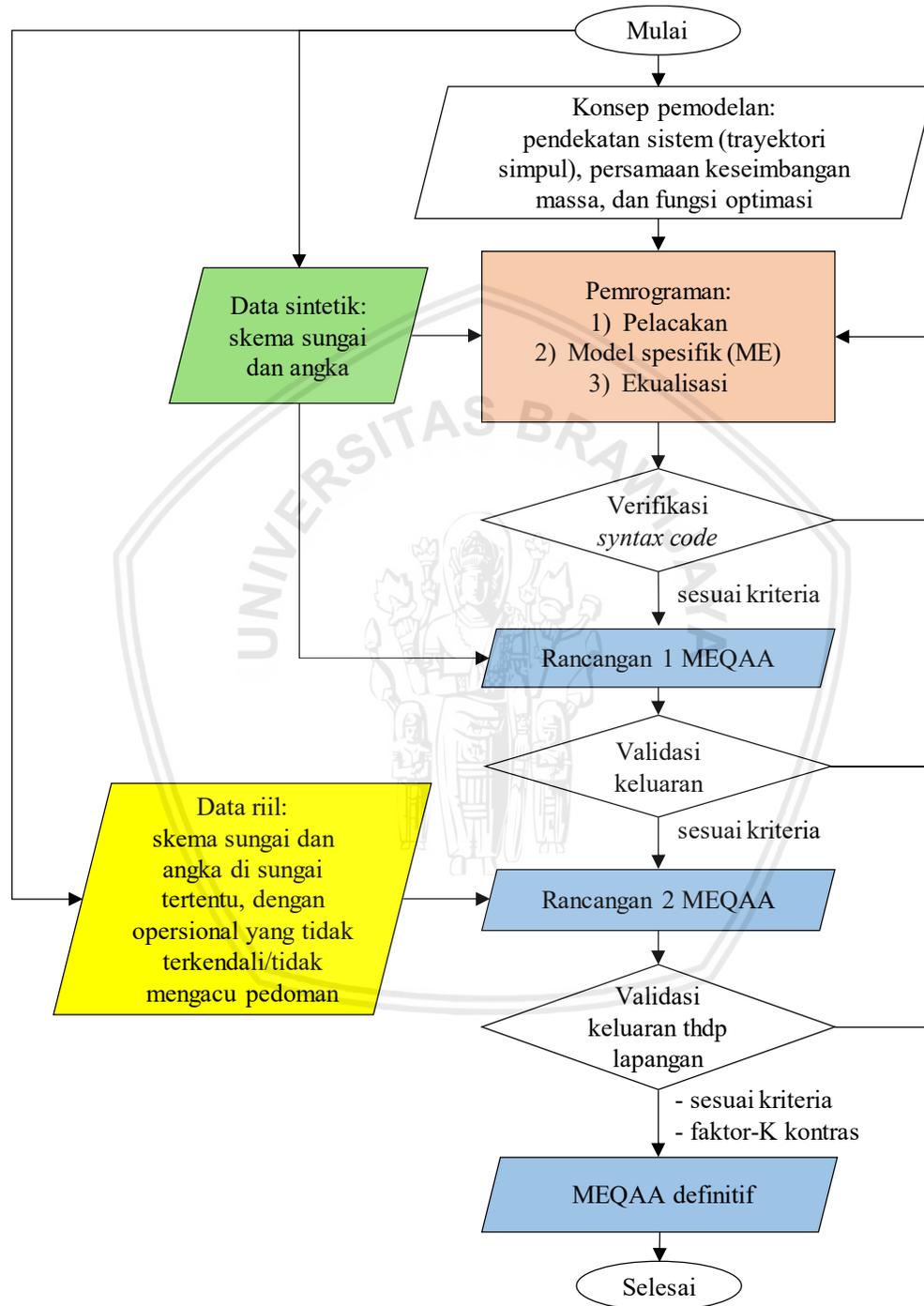
Saat ini, untuk mengetahui tingkat kecocokan keluaran MEQAA terhadap lapangan dilakukan uji coba implementasi model di S Jangkok. Sungai ini tergolong sehat, air mengalir sepanjang tahun (perennial) yang didominasi peruntukan irigasi. Adapun untuk uji coba MEQAA digunakan simpul-simpul di sungai bagian tengah-hilir, karena air di hulu diprioritaskan untuk suplesi ke Lombok bagian Selatan melalui kanal HLD. Di bagian tengah-hilir terdapat 5 buah bendung seri yang melayani sawah total seluas 1367 ha, yaitu DI Nyurbaya 443 ha, Mencongah 244 ha, Menjeli 97 ha, Repok Pancor 244 ha dan Mataram 339 ha serta bendung PLTMH Sayang-sayang, sebagaimana gambar berikut.



Gambar 4.10. Skema sungai Jangkok

4.3 Pembangunan MEQAA

Pembangunan MEQAA sebagai model induk dilakukan secara bertahap dan berulang guna menghasilkan MEQAA definitif. Prosedur tersebut sebagai berikut:



Gambar 4.11. Prosedur pembangunan MEQAA

4.4 Metode Optimasi-Simulasi

MEQAA berorientasi kesetaraan alokasi air, sesuai kriteria IWRM dan aturan/kebijakan operasional: i) prioritas alokasi air adalah domestik, ekosistem dan irigasi, ii) jika hanya terdapat bendung, maka K antar simpul harus setara melalui pengaturan pasokan air, iii) jika terdapat waduk, maka K antar simpul harus setara dan K antar waktu harus setara atau menurun secara bertahap, melalui pengaturan simpanan/lepasan. Optimasi alokasi air irigasi antar waktu dapat ditemukan dalam Smout & Gorantiwar (2006: 353).

Berdasarkan persamaan keseimbangan massa (2-1) dan fungsi optimasi (2-2 dan 2-3) akan dihitung variabel keputusan dengan fungsi tujuan memaksimalkan pasokan air:

$$Total\ QR = \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T QR_{i,t} \quad (4-1)$$

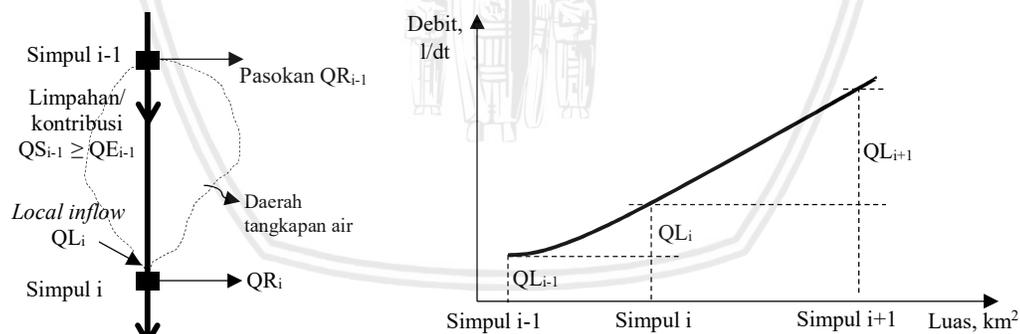
Kriteria dan fungsi kendala pada optimasi untuk ekualisasi alokasi air adalah:

1) Ketersediaan air.

- a) Air tersedia (QA) berdasarkan aliran masuk lokal/*local inflow/lateral flow* (QL) dan limpahan/kontribusi dari simpul hulu (QS_{i-1}), dihitung dengan:

$$QA_{i,t} = QL_{i,t} + QS_{i-1,t} \quad (4-2)$$

QS_{i-1} dikondisikan dari simpul hulu, batasan $QR+QS \leq QA + f(V/\Delta t)$ dan QL dari daerah tangkapan air (Nugroho, 2010: 229; Triatmodjo: 2013; 137) yang sebanding dengan luasnya (Ilich, 2000: 30-33).



Sumber: Ilich (2000: 30-33).

Gambar 4.12. Sketsa ketersediaan air natural antar simpul

- b) Kehilangan air di ruas antar simpul dan aliran kembali.

Kehilangan air akan mereduksi ketersediaan air yang terukur di simpul hilir pada rumus (4-2). Sebaliknya, aliran kembali dari DI dapat menambah ketersediaan air yang terukur di simpul hilir. Pembobotan untuk penyesuaian besarnya QA mempertimbangkan sebagai berikut:

- Kehilangan air (channel loss/lateral loss/CL) akibat pengambilan air ilegal dan evaporasi/infiltrasi sulit ditentukan sehingga diabaikan (Wurbs, 2005: 48-49). Namun dalam model WRAP, CL akibat evaporasi/infiltrasi diakomodir dengan fitur khusus (Wurbs, 2005: 164).
- Dari survei pengukuran debit di 42 ruas simpul (352-5504 m) di WS Lombok (Lampiran 19) terdapat kehilangan air di 3 ruas yaitu ruas 35 S Bentek 0.008 l/dt/m (0.25% QA), ruas 32 S Semaya 0.02 l/dt/m (0.86% QA) dan ruas 100 S Dodokan 28 l/dt/m ($\approx 14\%$ QA). Nilai ini tidak dikaitkan dengan pengaruh faktor hidrologi.
- Aliran kembali (return flow/RF) sekitar 0-50% dari pasokan air irigasi dapat kembali menjadi aliran masuk Wurbs, 2005: 28). Penelitian RF di lahan sawah di Taiwan (Kim dkk, 2009: 881-882) didapat RF rerata 25.7% (20.9-30.8%) yang dipengaruhi waktu, hidrologi, jenis tanah dan praktik irigasi. RF dari DI diasumsikan sebagai berikut: i) jika operasi irigasi sesuai perhitungan neraca air di sawah (NFR) dan efisiensi saluran, maka RF tidak terjadi, ii) jika terjadi RF, maka dapat menuju ke ruas/sungai lain sehingga sulit ditentukan.
- Dalam MEQAA, bobot CL (%) sebagai kehilangan air netto di ruas antar simpul (diasumsikan termasuk RF) terhadap ketersediaan air (QA) pada rumus (4-2).

2) Jatah ekosistem.

Jatah ekosistem (QE) adalah kriteria utama pemenuhan air domestik dan irigasi (Kim & Wurbs, 2011: 1463), agar lingkungan berkelanjutan (Mutiga dkk, 2010: 3947; Meijer dkk, 2012: 1272; Hatmoko dkk, 2012: 72; Roozbahani, 2015: 658 dan sesuai PP RI No. 121 tahun 2015). Selanjutnya, jatah ekosistem/pemeliharaan sungai ditentukan proporsional dari air tersedia (KP-02, 2013: 28, Hatmoko dkk, 2017: 67), yaitu:

$$QE_{i,t} = 5\% \cdot QA_{i,t} \quad (4-3)$$

dengan kriteria $QS \geq QE$ (Wang dkk, 2015: 1567). Sebagai informasi bahwa jatah ekosistem: i) di Iran 10% (Oktober-Maret) dan 30% (April-September) dari air tersedia (Roozbahani, 2015: 667), dan ii) di sungai Maggia, Swiss 1-15% dari air tersedia (Niayifar & Perona, 2017)

3) Faktor-K dan efisiensi daya guna air.

Keadilan berbagi air didekati dengan kesetaraan volumetrik (Wegerich, 2007: 186-187), selanjutnya dalam Fan dkk (2018: 2) diindikasikan dari rasio pasokan/kebutuhan. Porsi alokasi air ini dapat diturunkan dari kriteria pasokan $0 \leq QR \leq QD$, yaitu jika dibagi QD, maka $0 \leq K \leq 100\%$ (Farriansyah dkk, 2014-2016, 2018), atau:

$$K_{i,t} = \frac{QR_{i,t}}{QD_{i,t}} 100\% \quad (4-4)$$

- a) Dalam konteks rumus 4-4, kebutuhan air dipengaruhi kebutuhan air tanaman (net field requirement/NFR atau crop water requirement/CWR), luas tanam, dan efisiensi irigasi (KP-01, 2013). CWR tergantung dari hujan, evapotranspirasi, jenis tanah dll (Elmahdi dkk, 2007: 6; KP-01, 2013). CWR dihitung dengan metode Penman-Montheit dalam pedoman FAO-56 (Marchant dkk, 2018: 5, Fan dkk, 2018: 4). Di WS Lombok, CWR padi 0.5-1.5 lt/d/ha dan jagung/kedelai 25-40% dari padi (BWS NT I, 2016). Sementara itu, kebutuhan air domestik 60-150 lt/orang/hari (Triatmodjo, 2013: 323).
- b) Di samping itu, kriteria efisiensi daya guna air akan ditinjau di simpul terhilir, yaitu jika $K < 100\%$, maka $QS = QE$, dan jika $K = 100\%$, maka $QS \geq QE$.
- 4) Operasi waduk.

- a) Perhitungan operasi waduk berdasarkan persamaan keseimbangan air (2-3) (Wurbs, 2005: 47, Fayaed, 2013: 1754, Yazdeli, 2014: 719). Volume terkalkulasi adalah:

$$V_{cal_{i,t}} = V_{beg_{i,t}} + V_{in_{i,t}} - V_{loss_{i,t}} - V_{rel_{i,t}} - V_{spill_{i,t}} \quad (4-5)$$

dengan V_{beg} dan V_{end} =volume awal dan akhir, V_{in} =volume aliran masuk (sesuai QA), V_{loss} =kehilangan air akibat rembesan/evaporasi, V_{rel} =pasokan, V_{eff} =volume efektif dan V_{spill} =limpahan/kontribusi. Karena $0 \leq V_{end} \leq V_{eff}$, sehingga terdapat kondisi: i) jika $V_{cal} < V_{eff}$, maka $V_{end} = V_{cal}$ dan ii) jika $V_{cal} > V_{eff}$, maka $V_{spill} = V_{cal} - V_{eff}$ dan $V_{end} = V_{eff}$.

- b) Kehilangan air akibat evaporasi/rembesan dipengaruhi tinggi muka air di waduk (Mensik dkk, 2015: 137). Dari kajian waduk Pandanduri di WS Lombok (bendungan urugan tanah) didapat koefisien kehilangan air (RL) 0.7-1% dari V_{beg} (Kafiansyah, 2017), sehingga estimasi kehilangan air adalah:

$$V_{loss_{i,t}} = RL \cdot V_{beg_{i,t}} \quad (4-6)$$

- c) Pemberian air irigasi QR dibatasi $0 \leq QR \leq QD$ atau $0 \leq K \leq 100\%$ setelah terpenuhinya air domestik ($QR_{dm} = QD_{dm}$ atau $K_{dm} = 100\%$) dan jatah ekosistem QE.
- d) Langkah waktu Δt (time step) mencakup 1, 5, 10, 15, atau 30 harian.
- 5) Kesetaraan porsi alokasi air antar simpul dan waktu.

- a) Kriteria K setara antar simpul hulu (i) dan hilirnya (i+1), untuk ekualisasi menggunakan data tunggal (Farriansyah dkk, 2015, 2016, 2018), adalah:

$$K_{i,t} - K_{i+1,t} \leq \epsilon_i \quad (4-7)$$

- b) Kriteria K setara antar waktu atau periode sekarang (t) dan periode setelahnya (t+1), untuk ekualisasi menggunakan data seri (Farriansyah dkk, 2018), adalah:

$$K_{i,t} - K_{i,t+1} \leq \epsilon t \quad (4-8)$$

c) Untuk ekualisasi antar waktu sangat dipengaruhi V_{end} sebagai unsur sinkronisasi sehingga gap berada dalam toleransi, dengan aturan sebagai berikut:

- Kebijakan operasional adalah: i) jika air surplus ($K=100\%$), maka waduk terisi penuh, ii) jika air cukup-terbatas ($20\% \leq K < 100\%$), maka priotas pengguna sama dengan atau lebih dari simpanan, dan iii) jika air sangat kurang ($K < 20\%$), maka tidak ada pemberian air ($QR=0$ atau $K=FALSE$) karena diprioritaskan menyimpan air. K yang dihasilkan kemudian dikategorikan sesuai klas K standar (Tabel 2.1).

- Pengaturan lepasan agar volume akhir V_{end} tidak merosot, sebagai berikut:

i) Jika data tunggal ($T=1$ periode), maka V_{stock} sebagai V_{end} yang diharapkan harus ditentukan terlebih dahulu. Jika $0 < V_{\text{stock}} \leq V_{\text{eff}}$ dibagi V_{eff} , maka:

$$V_{\text{stock}} = C_{RC} \cdot V_{\text{eff}} \quad (4-9)$$

Koefisien aturan operasi $0 < C_{RC} \leq 100\%$ ditentukan dari pola/aturan operasi waduk yang disusun berdasarkan data seri. C_{RC} untuk prediksi 1 periode mendatang. Prediksi volume waduk dapat menggunakan metode regresi berganda (Labadie, 2004: 95; Shamim, 2015: 2). Pada ekualisasi menggunakan data tunggal, bahwa K yang dihasilkan dari ekualisasi tergantung dari V_{stock} dengan asumsi K saat ini sama dengan K pada 1 periode mendatang (K_{+1}).

ii) Jika data seri ($T > 1$ periode), maka V_{stock} diindentikkan V_{end} yang diharapkan. V_{end} akan ditentukan dengan algoritma optimasi progresif (Guo dkk, 2011: 1041). Cara ini memerlukan nilai awal iterasi dan membagi masalah multi-tahap menjadi dua-tahap yaitu periode sekarang dan berikutnya. Untuk iterasi digunakan rasio $V_{\text{end}}/V_{\text{stock}} = C$. Jika air surplus, maka $C > K$. Jika terbatas, maka $C = K$. Jika sangat terbatas, maka $C < K$. Nilai awal V_{stock} ditentukan dari rumus 4-5, kemudian diiterasi sehingga K proporsional-merata/menurun antar waktu.

6) Rotasi grup di simpul tertentu.

Jika $K < 20\%$, maka perlu rotasi grup dengan ekualisasi K , yaitu memberikan air kepada DI prioritas sesuai kelembaban tanah dan kesepakatan (Marchant dkk, 2018: 2).

7) Intervensi karena kegiatan fisik jaringan di simpul tertentu.

Operasional buka-tutup pintu selama durasi (TD) memerlukan teknik pembesaran QD dengan rasio $\Delta t/TD$ ($TD < \Delta t$) dari QD normal. Intervensi ini mengusung ekualisasi K .

8) Intervensi karena ego di simpul tertentu.

Jika $QA > QD$, maka $K=100\%$ dan $K \geq K_{\text{lainnya}}$ dan jika $QA \leq QD$, maka $K \geq K_{\text{lainnya}}$.

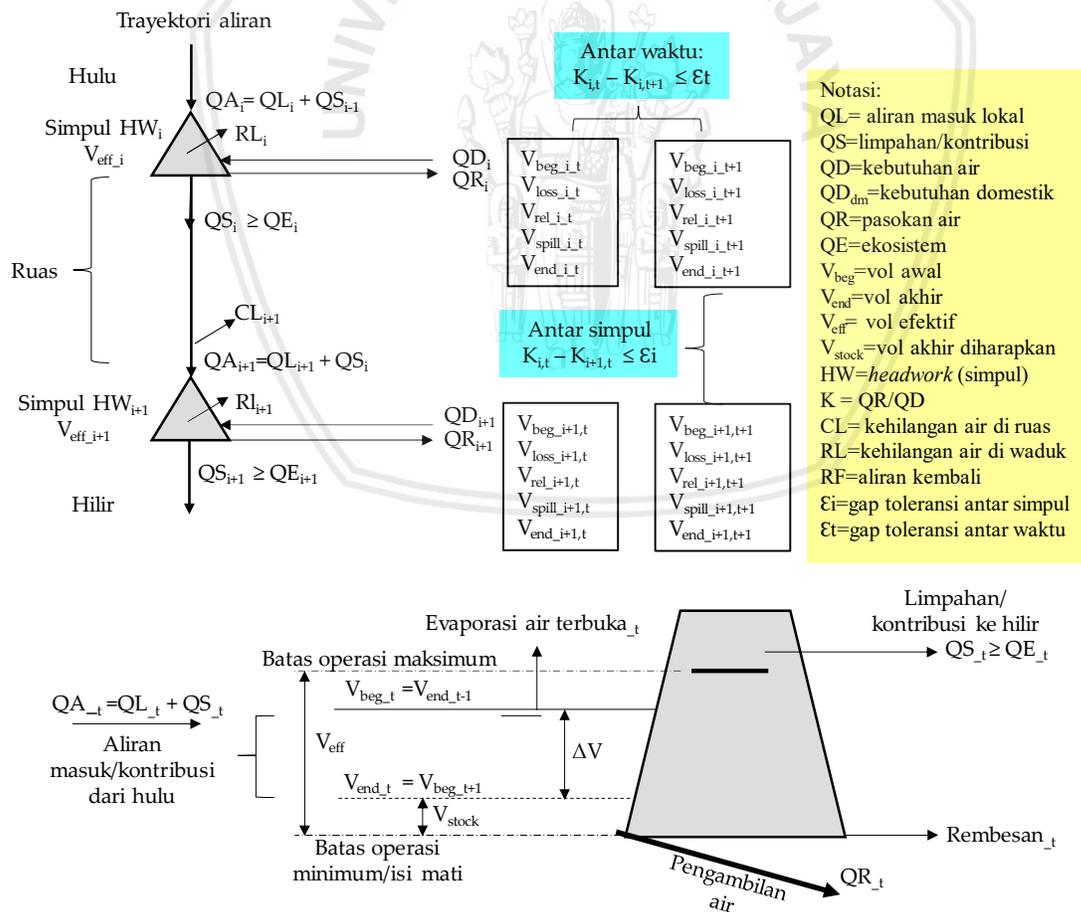
Intervensi ini mengunggulkan simpul tertentu.

9) Kapasitas pintu pengambilan air dan saluran.

Kapasitas (QC) diasumsikan dapat dilewati kebutuhan air maksimum ($QC \geq QD_{max}$).

Variabel pada rumus-rumus di atas diformulasikan dalam tabel ME sehingga kompleks, dan ditempuh simulasi dengan nilai pendekatan (approximately) (Wang dkk, 2017: 718). Simulasi dengan masukan data QL, QD dll (seperti Gambar 4.13) akan berakhir pada status terminasi, yaitu: i) tercapainya nilai konvergen dalam gap toleransi berupa gap toleransi antar simpul (ϵ_i) dan antar waktu (ϵ_t), ii) terpenuhinya kriteria optimal dan variabel non negatif (Singh & Panda, 2013: 3423, Gonzalez dkk, 2018: 363).

Meninjau rumus (4-5) adalah linear dengan unsur dan kebijakan yang nonlinear, sehingga ditempuh cara optimasi-simulasi (Haro dkk, 2012: 4060; Fayaed dkk, 2013: 1754; Yazdeli: 2014: 720), dengan sifat deterministik (Labadie, 2004: 96). Dalam simulasi ditetapkan batas toleransi yaitu: i) gap K antar ruang pada waktu yang sama $\epsilon_i=1\%$ dan ii) gap K antar waktu $\epsilon_t=5\%$ atau gap klas $K \leq 1$ klas K. Jika air tersedia sangat kurang ($K < 20\%$), maka gap antar waktu tidak diperhitungkan. Pada kondisi ini air sulit mengalir sehingga mempengaruhi terjadinya sedimentasi di saluran irigasi (KP-2013: 40).



Gambar 4.13. Variabel pada ekualisasi alokasi air di waduk

Berdasarkan uraian dan sketsa di atas, maka variabel masukan (VI) dan variabel keputusan (VO) dalam MEQAA sebagaimana tabel berikut.

Tabel 4.1. Variabel masukan dan variabel keputusan

No	Nama/ Notasi	Satuan/ Besaran	Jenis Variabel	Cara Memperoleh
1	Skema sungai dengan simpul	-	-	Diketahui
2	Faktor-K atau K	%	VO	Dihitung
3	Debit tersedia antar simpul (QL)	l/dt	VI	Diketahui
4	Total debit tersedia (QA)	l/dt	VO	Dihitung
5	Debit kebutuhan air irigasi dan domestik (QD)	l/dt	VI	Diketahui
6	Debit ekosistem (QE)	l/dt	VO	5% dari QA dan V_{beg}
7	Debit pasokan air irigasi dan domestik (QR)	l/dt	VO	Dihitung
8	Debit limbah/kontribusi (QS)	l/dt	VO	Dihitung
9	Debit suplesi transfer air (Q_{sup})	l/dt	VO	Dihitung
10	Volume efektif waduk (V_{eff})	m^3	VI	Diketahui
11	Volume awal dan akhir (V_{beg} dan V_{end})	m^3	VI VO	V_{beg} diketahui V_{end} dihitung
12	Volume kehilangan air di waduk akibat rembesan/evaporasi (V_{loss})	m^3	VI	Dihitung
13	Bobot kehilangan air di waduk akibat rembesan/evaporasi (RL)	%	-	<1% dari V_{beg} (WS Lombok)
14	Bobot kehilangan air di ruas simpul akibat rembesan/evaporasi (CL)	%	-	<14% dari QA (WS Lombok)
15	Gap toleransi K antar simpul (ϵ_i) dan antar waktu (ϵ_t). Gap toleransi klas K antar waktu ≤ 1 level klas K.	$\epsilon_i=1\%$ $\epsilon_t= 5\%$	-	Ditentukan

4.5 Pelacakan Skema Sungai

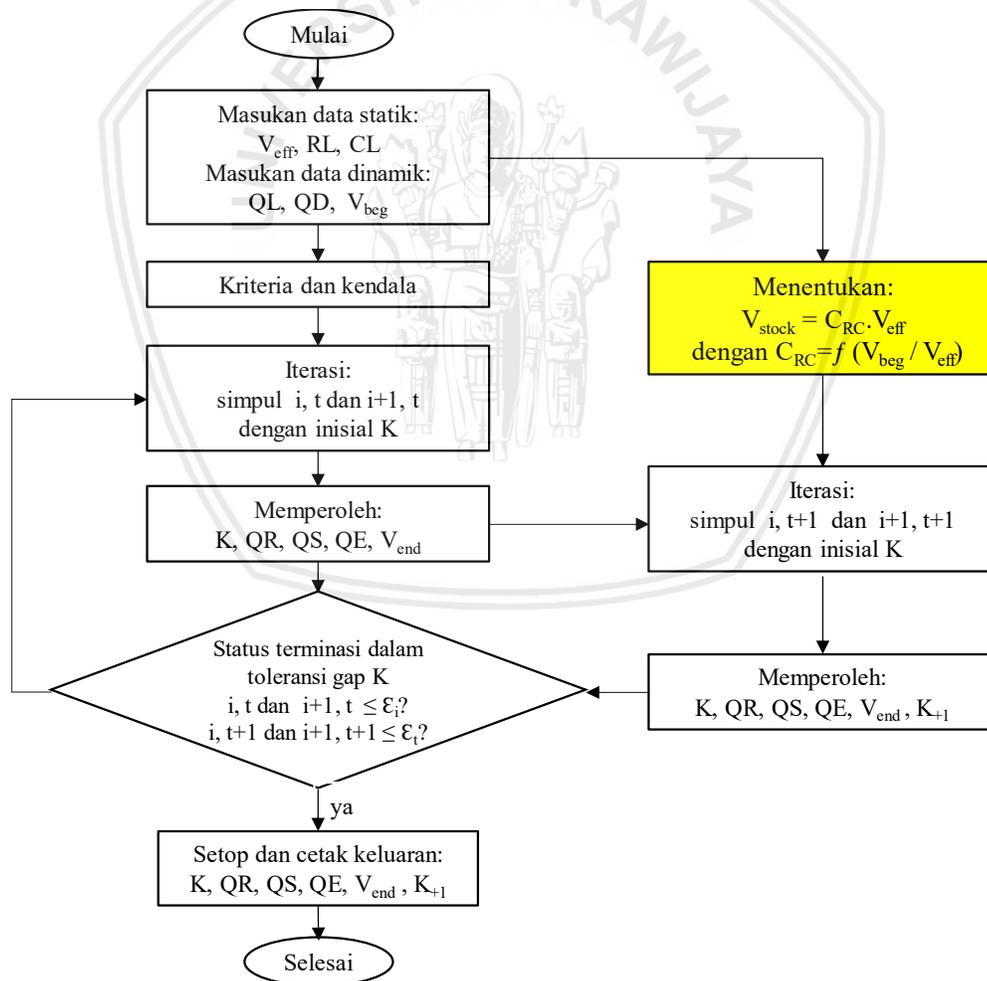
MEQAA dirancang dapat melacak dan merumuskan tiap kode di skema sungai. Skema sungai digambarkan dengan garis vertikal-horisontal (tanpa garis diagonal), untuk menyesuaikan format sel pada Ms. Excel. Skema sungai diletakkan di sel di sebelah kanan dari kotak hitam (black box). MEQAA akan menuliskan hasil pelacakan ke bentuk konfigurasi simpul sesuai efek domino untuk kemudian merumuskannya dalam bentuk ME.

Agar dapat dilacak, maka tiap dinamika di skema sungai, seperti sungai utama, sungai cabang yang terdapat simpul, simpul bangunan pengambilan air dan simpul sungai cabang harus diberikan kode di tiap sel. Kode pada Tabel 4.2 berikut berfungsi sebagai indikator letak dan jenis mereka di atas skema sungai.

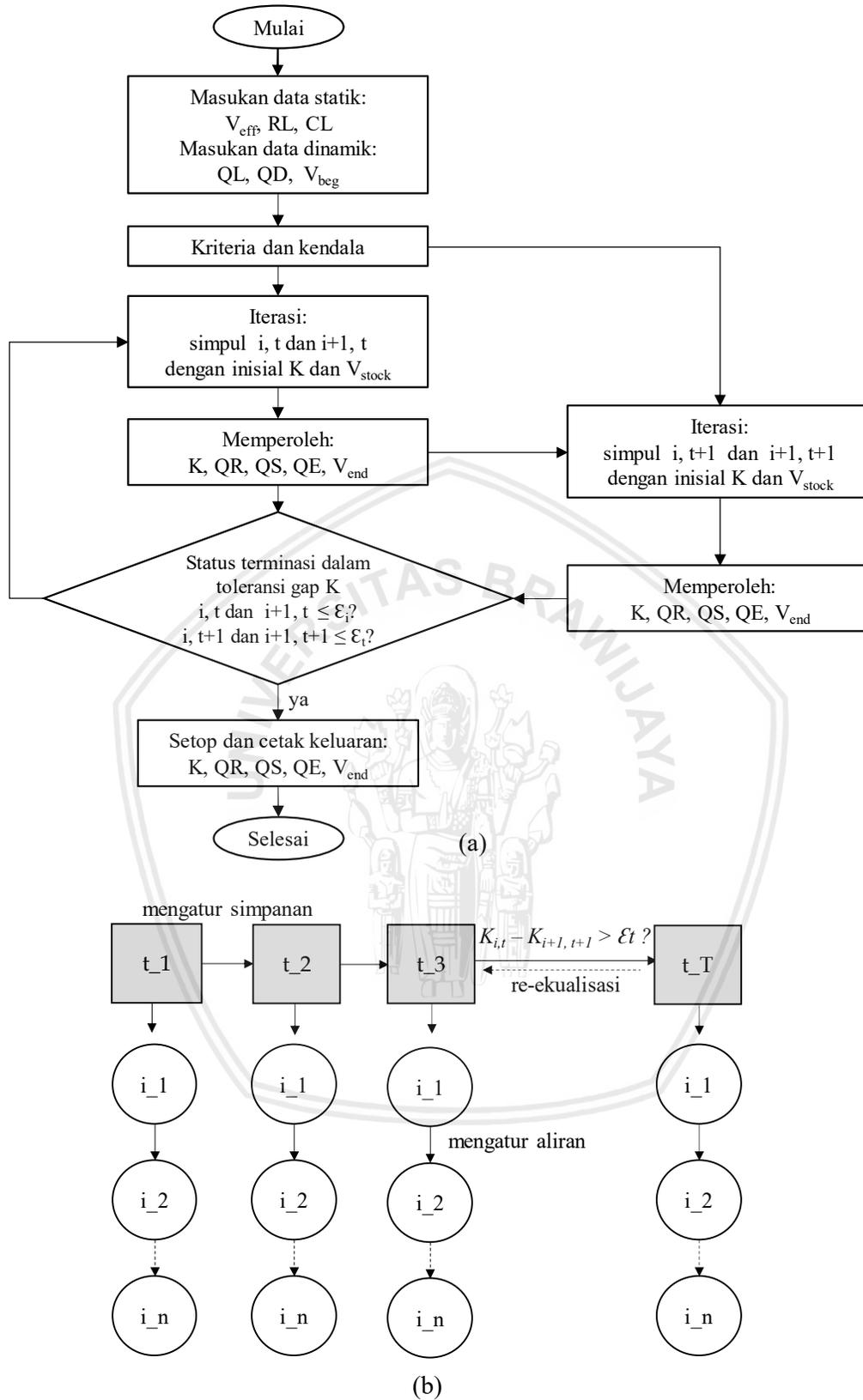
4.6 Prosedur Ekualisasi

Ekualisasi adalah optimasi-simulasi alokasi air agar K proporsional-merata antar simpul dan waktu. Ekualisasi dilakukan secara bertahap dan perulangan (looping) dengan prosedur pada Gambar 4.15 dan 4.16. Kedua prosedur tampak serupa, namun: i) pada ekualisasi dengan data tunggal (1 periode) (Gambar 4.15) terlebih dahulu menentukan V_{stock} , dan ii) pada ekualisasi dengan data seri (>1 periode) (Gambar 4.16), maka V_{stock} dihitung secara iterasi sehingga K antar waktu dapat setara atau menurun bertahap (gradually).

Prosedur ekualisasi menggunakan data tunggal lebih praktis (Gambar 4.15). Sedangkan prosedur ekualisasi menggunakan data seri (Gambar 4.16 (a) dan (b)) dengan mengatur aliran antar simpul dan simpanan antar waktu (Labadie, 2004), adalah: i) mengekualisasi antar simpul pada waktu t , ii) mengecek gap antar waktu saat ini (t) dan setelahnya ($t+1$), iii) jika melampaui gap antar waktu (ϵt), maka mengekualisasi kembali sampai kedua gap toleransi (ϵ_i dan ϵ_t) terpenuhi, dan iv) melakukan untuk seluruh data.



Gambar 4.15. Prosedur ekualisasi menggunakan masukan data tunggal



Gambar 4.16. Prosedur ekualisasi menggunakan masukan data seri (a) dan pengaturan aliran antar simpul dan simpanan antar waktu di sistem dinamik (b).

Sumber (b): Labadie (2004: 97).

Kondisi khusus seperti rotasi grup dan intervensi perlakuan alokasi air sehingga MEQAA mengeluarkan pertanyaan dalam *Message Box*. Jika setuju dengan pertanyaan *Msg Box*, maka perlu menetapkan pilihan menggunakan *Format Painter* dengan warna tertentu. Kondisi tersebut mencakup: i) status rotasi grup di simpul tertentu akan dipertanyakan setelah dilakukan ekualisasi yang menghasilkan keluaran dengan K kurang dari 20% dan ii) status intervensi di simpul tertentu akan dipertanyakan setelah memasukkan skema sungai (sebelum ekualisasi). Intervensi alokasi air dilakukan agar lebih mengunggulkan simpul tertentu daripada simpul lainnya dalam jenis penggunaan yang sama.

4.7 Evaluasi Kinerja Operasi Waduk

MEQAA dilengkapi evaluasi kinerja operasi waduk berdasarkan indikator: i) keandalan (*reliability*) adalah bobot kesuksesan terlampuinya batas $K \geq 20\%$, ii) ketahanan (*resiliency*) adalah bobot kemampuan/kecepatan bangkit dari kegagalan, dan iii) kerentanan (*vulnerability*) adalah bobot keparahan kegagalan (Wurbs 2005: 55; Yazdeli dkk, 2014: 722). Jika $K < 20\%$, maka kinerja waduk disebut gagal operasional untuk memenuhi pemenuhan air bagi penggunanya. Penetapan kegagalan pada batas $K < 20\%$, karena air akan sulit mengalir/mempengaruhi terjadinya sedimentasi di saluran (KP-2013: 40).

Indikator evaluasi kinerja keberlanjutan operasi waduk dihitung menggunakan metode Hashimoto dkk (1982), yaitu:

$$Reliability = 1 - \frac{f}{T} \quad (4-12)$$

$$Resiliency = 1 - \frac{f_c}{f} \quad (4-13)$$

$$Vulnerability = \frac{\sum_{t=1}^{f_c} Max (Dev_t)}{f_c} \quad (4-14)$$

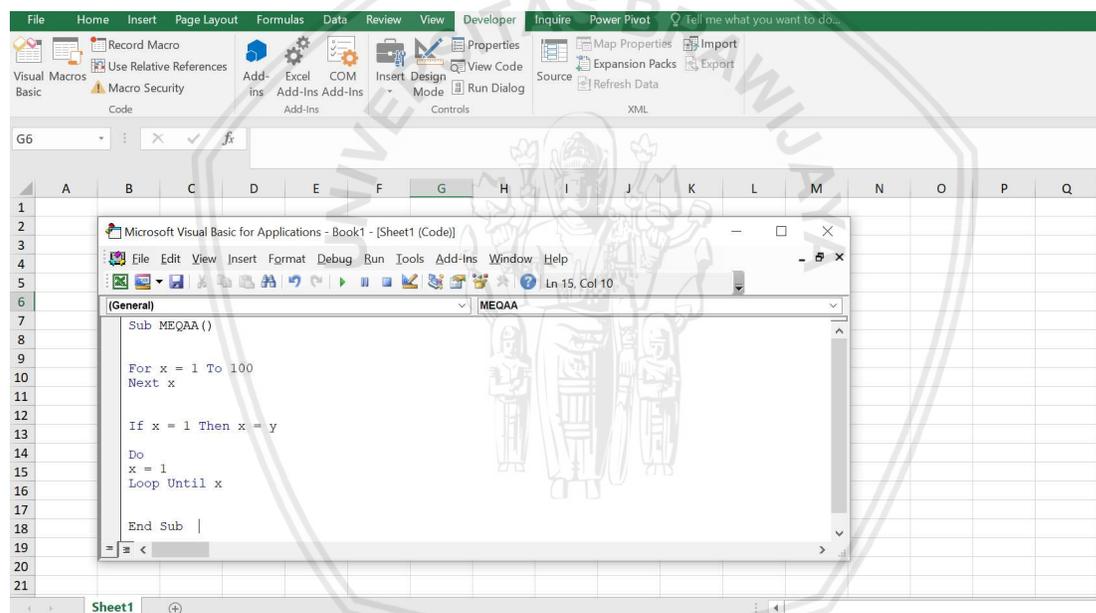
dengan *Reliability* (≤ 1), *Resiliency* (≤ 1), *Vulnerability* (≥ 0), f = jumlah periode gagal, f_c = jumlah periode gagal yang berlangsung kontinyu, Dev_t = jumlah periode defisit maksimum (dengan K terkecil) pada periode gagal yang berlangsung kontinyu, dan T = jumlah periode data. Dari hasil evaluasi dapat diindikasikan keberlanjutan kinerja waduk secara relatif. Selain itu, menurut Labadie (2004: 95) bahwa capaian nilai keandalan tertinggi adalah menggambarkan kinerja operasi waduk terbaik.

MEQAA didesain untuk mengatur simpanan (V_{end}) dan lepasan (QR) sehingga kinerja operasi waduk optimal dari waktu ke waktu, yaitu dengan batasan $K \geq 20\%$. Kinerja terbaik jika tercapai keandalan = 1 (100%), ketahanan = 1 (100%) dan kerentanan = 0 (0%).

4.8 Ilustrasi Penyusunan Kode Pemrograman

Pada dasarnya kode pemrograman terdiri dari: i) pelacakan skema sungai, ii) pembuatan ME, dan ii) ekualisasi. Penyusunan kode pemrograman untuk pembangunan MEQAA menggunakan Ms. Excel-VBA yang antar lain harus memperhatikan: i) skema sungai dengan kode simpul, sungai, serta simpul lainnya, ii) elaborasi persamaan keseimbangan masa dan optimasi berikut dengan kriteria dan kebijakan operasional, iii) koordinat sel (baris dan kolom) awal, sel target dan antar koordinat, iv) keterhubungan dan konversi ke format formula Ms. Excel, dan v) pengondisian agar iterasi berjalan konvergen.

Susunan kode yang disusun harus diverifikasi secara bertahap untuk memastikan proses, kriteria dan kebijakan, serta keluaran sesuai konsep alokasi air. Sehingga dalam penyusunan kode sangat berpotensi menemui revisi akibat kesalahan. Gambar berikut merupakan ilustrasi lembar kerja penyusunan kode.



Gambar 4.17. Sketsa lembar kerja Ms. Excel-VBA untuk penyusunan kode pemrograman

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Unsur Pembentuk, Bentuk dan Operasional MEQAA

Berdasarkan survei alokasi air di lebih dari 100 DI di WS Lombok, kondisi umum saat ini terjadi ketidaksetaraan pola distribusi air antar DI. DI-DI di simpul hulu mendapat air berlebihan-cukup sehingga operasi secara kontinyu sampai rotasi ringan, sedangkan di bagian hilir mengalami rotasi sedang sampai berat (Lampiran 2). Demikian pula di lokasi uji coba MEQAA, yaitu S Moyot, S Kukusan dan waduk seri Batujai-Pengga di S Dodokan terjadi defisit air (Lampiran 1), kecuali S Jangkok yang surplus. Defisit juga terjadi karena inefisiensi karena pasokan lebih dari kebutuhan air ($QR > QD$ atau $K > 100\%$), sehingga defisit di bagian lain (Lampiran 11). Adapun di waduk Batujai-Pengga tidak didukung pola operasi waduk sehingga K tidak setara. Selain itu, pada Jul1 2018 di Batujai terdapat air 1349320 m^3 dan Pengga 159000 m^3 mendekati isi mati (Lampiran 13). Ketidaksetaraan porsi alokasi air (K) disebabkan: i) tidak adanya pengendalian terpusat secara umpan balik dari/ke lapangan dengan model sebagai alat komputasinya, dan ii) sebagian besar DI tidak didukung alat atur-alat ukur-operator pintu.

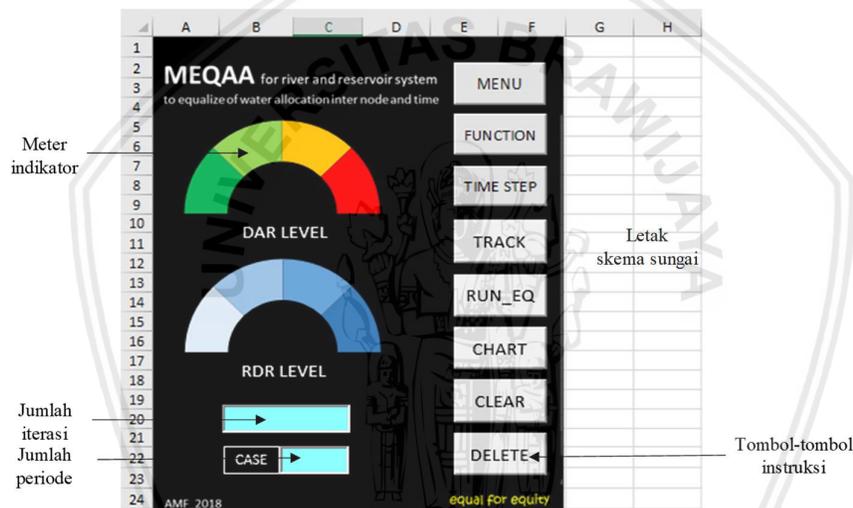
Menyikapi kondisi di atas, maka MEQAA dirancang agar mampu mengekualisasi K secara proporsional-merata. Untuk ekualisasi itu, MEQAA dibentuk dari unsur: i) pendekatan sistem (trayektori simpul sesuai efek domino aliran pada sub Bab 2.1.5), ii) persamaan keseimbangan massa (rumus 2-1), iii) fungsi optimasi (rumus 2-2 dan 2-3), dan iii) susunan kode pemrograman (syntax code) yang menerjemahkan trayektori simpul di skema sungai (seperti Gambar 2.1) dan rumus 4-1 sampai 4-11. Ketiganya dituangkan sebagaimana penggalan *coding* pada Gambar 5.1 berikut.

(General)	EQ
<pre> For Z = 1 To HW For K = 100 To 0 Step -Step_K K = Application.Round(K, 1) Range(Cells(RR + Z, CC + 3), Cells(RR + HW, CC + 3)) = K / 100 Cmax = Application.Max(Range(Cells(RR + 1, CC + 14), Cells(RR + Z, CC + 14))) * 100 If Cmax < 100 Then Cmax = 100 If K > Kmin * 100 Then KK = K - Gap * 100 If KK > Cmax Then KK = Cmax - Gap * 100 End If </pre>	

Gambar 5.1. Penggalan susunan kode pemrograman MEQAA

Susunan kode terdiri dari 3 fungsi utama yaitu: i) pelacakan, ii) penyusunan ME, dan iii) ekualisasi. Kode pelacakan dan ekualisasi dituliskan di *sheets* MACHINE, untuk melahirkan model spesifik (ME) dengan fungsi rekayasa alokasi air. ME dibangun berdasarkan skema sungai dengan simpul, termasuk variabel ketersediaan air dan kebutuhan air. Tiap fungsi dilengkapi tombol instruksi untuk operasional model. Penyusunan kode menggunakan pernyataan pemrograman seperti *for-next* dan *if-then* sehingga mencapai ± 2500 baris. Pada tiap fungsi dilakukan uji coba untuk verifikasi menggunakan data sintetik dan data riil. Jika salah, maka direvisi kembali sampai seluruh fungsi berjalan.

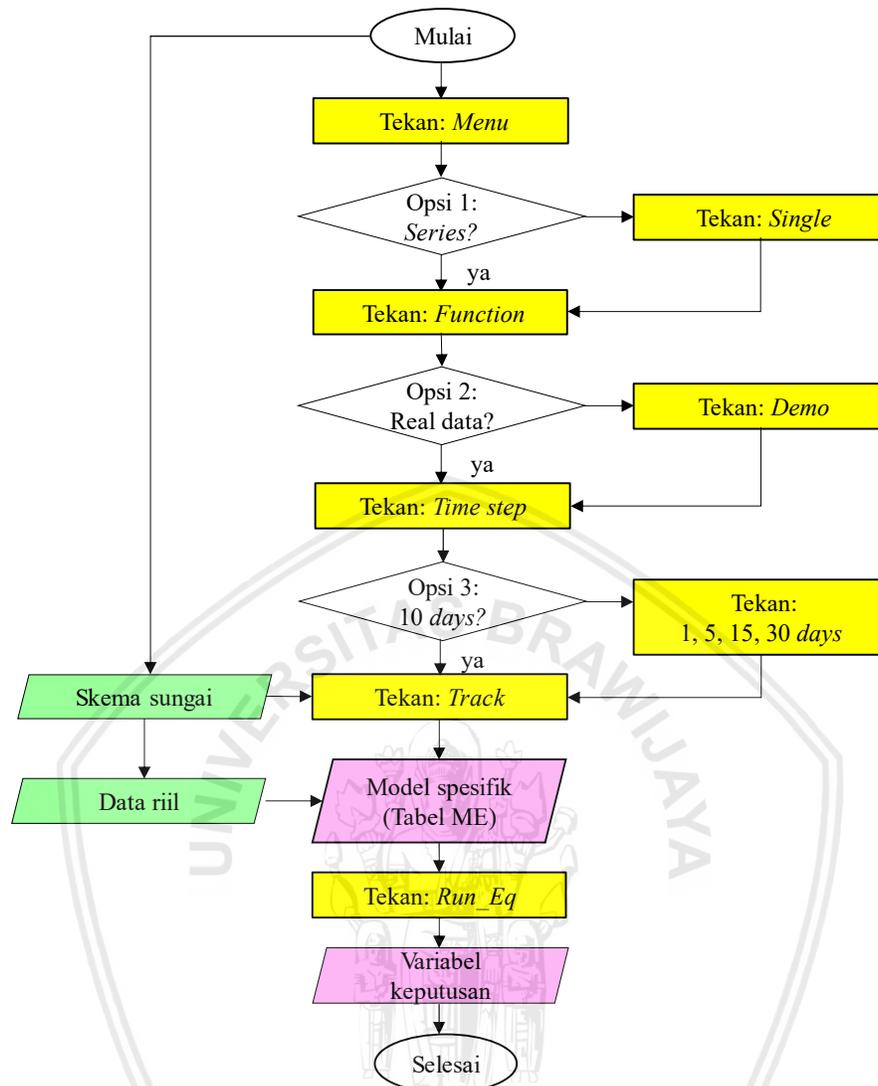
Umumnya perangkat lunak yang multianalisis menggunakan sarana instruksi antarmuka (graphical user interface/GUI) (Wurbs, 2005: 39; Hoff, 2011: 721). Sedangkan MEQAA menggunakan tombol instruksi yang dibangun dari *form controls* Ms. Excel-VBA di kotak hitam (black box) yang tersaji ketika mengaktifkan *file* model di *sheets* MACHINE.



Gambar 5.2. Kotak hitam MEQAA sebagai sarana instruksional antarmuka

Di bagian kanan kotak hitam MEQAA mulai sel H1 diletakkan skema sungai yang dimodelkan. Tombol-tombol di kotak hitam (Gambar 5.2) sebagai sarana antarmuka, mencakup: i) MENU dengan pilihan SINGLE untuk data tunggal atau SERIES untuk data seri, ii) FUNCTION dengan pilihan DEMO untuk data sintetik atau REAL DATA untuk data riil, iii) TIME STEP dengan pilihan Δt 1, 5, 10, 15, atau 30 harian, iv) TRACK untuk melacak skema sungai dan membangun ME, v) RUN_EQ untuk melaksanakan ekualisasi, vi) CHART untuk keluaran berbentuk grafik, vii) CLEAR untuk menghapus format di *sheets* (lembar kerja) MACHINE (tabel ME), INPUT (data angka), OUTPUT (keluaran berbentuk skema sungai dengan *fill* klas K dan tabel), RECAP (rangkuman keluaran) dan CHART, dan viii) DELETE untuk menghapus format dan kembali ke bentuk awal MEQAA.

Berikut prosedur operasi MEQAA yang dicontohkan dengan data riil seri 10 harian.



Gambar 5.3. Prosedur operasi MEQAA

Jika pilihan DEMO, maka data sintetik (QL, QD dll) diisi otomatis oleh MEQAA. Sedangkan pilihan REAL DATA, maka data dari luar diletakkan ke *sheets* INPUT sesuai format standar untuk diproses. Pada pilihan SINGLE, jika tercapai kondisi darurat ($K < 20\%$), maka ditampilkan pilihan rotasi ON-OFF untuk meningkatkan K di simpul tertentu. Pada pilihan CHART dengan: i) basis CASE (periode) akan ditampilkan variabel keputusan di simpul tertentu dari periode ke periode dan ii) basis NODE ditampilkan variabel keputusan pada periode tertentu dari simpul ke simpul. Selain itu, kotak hitam dilengkapi informasi: i) DAR sebagai indikator neraca air global, yaitu surplus ($< 100\%$), seimbang (100%) dan defisit ($> 100\%$), ii) RDR sebagai indikator kecukupan alokasi air global ($0-100\%$), dan iii) *iteration box* (jumlah iterasi sampai status terminasi) dan *case box* (jumlah periode data).

Untuk membentuk ME, maka skema sungai yang dilengkapi kode standar (Tabel 4.2) diletakkan di kanan kotak hitam. ME memuat persamaan matematik sesuai konfigurasi simpul dalam format formula Ms. Excel. Gambar 5.4 adalah contoh tabel ME untuk skema waduk Batujai-Pengga di sungai Dodokan yang didapat setelah menekan tombol TRACK. Di bagian pojok tabel ME di kolom N (Gambar 5.4 (a)) terdapat informasi muatan skema sungai berupa $trajectory = 1$, $junction = 0$, $node = 3$ dan $reservoir = 2$. Masih di tabel ME, simpul di kolom V mencakup simpul 1 BD Batujai dan simpul 1 berikutnya DM Batujai (keduanya menjadi satu), dan simpul 2 BD Pengga. Di waduk Pengga dengan turbin air tanpa kode simpul khusus karena debit operasinya mengikuti irigasi.

Selanjutnya, sel kosong di tabel ME di kolom O (V_{eff}), P (V_{beg}), Q (V_{loss}), U (QL), dan W (QD) akan diisi sesuai format pada *sheets* INPUT. Data masukan diletakkan secara manual di *sheets* INPUT setelah ME terbentuk. Ukuran tabel ME dapat berubah. Jika di skema terdapat simpul waduk, maka format akan berukuran panjang (Gambar 5.4 (a)), karena terdapat fungsi simpanan dan analisis menjadi lebih kompleks. Jika di skema hanya terdapat simpul bendung (misal B Batujai dan B Pengga), maka format ME akan pendek, dan perhitungan lebih singkat, karena tidak terdapat fungsi simpanan (Gambar 5.5(b)).

ME akan berfungsi jika: i) ada data statik berupa V_{eff} , V_{stock} atau V_{beg} , bobot RL (reservoir loss) dan CL (channel loss), ii) ada data dinamik berupa QD dan QL, dan iii) menekan tombol RUN_EQ. Gambar 5.4 (b) adalah *sheets* INPUT data yang dicetak otomatis sesuai konfigurasi simpul dan untuk diisi data riil. Data masukan berupa QL dan QD diisi mulai kolom E ke kanan sesuai jumlah periode. Sedangkan bobot kehilangan air (RL dan CL) di tulis hanya di kolom C ke bawah sesuai simpul.

Untuk contoh uji coba MEQAA di waduk Batujai-Pengga, maka di Gambar 5.4 (b) harus mengisi data: i) aliran masuk lokal (QL) di sel E3, E4 dan E5 dst, ii) kebutuhan air (QD) di sel E8, E9 dan E10 dst, iii) V_{eff} di sel C13 dan C15, iv) V_{beg} di sel D13 dan D15, dan v) bobot kehilangan air (RL dan CL) di sel C18 dan C23.

Sel kosong seperti kolom T (V_{stock}), X (K_{draft}), AG (C_{draft}), dan AI (C_{max}) akan terisi secara iterasi setelah menekan tombol RUN_EQ. Sel dengan *fill* warna biru muda akan terisi jumlah periode yang diproses. Jika tercapai status terminasi, maka sel variabel keputusan seperti QR, QS, QE, V_{end} , K akan terisi. Indikator status terminasi (indikator kunci) di tabel ME berupa Noneg, Stor_key, DR_key, WB, KC_key dan K_key dengan kriteria Noneg=1, Stor_key=1, WB=0, KC_key =1 dan K_key =1 sebagaimana dirinci pada Tabel 5.1. Kelima kunci itu adalah penerjemahan dari kriteria optimasi. Simulasi iterasi akan berhenti jika mencapai status itu dan MEQAA akan menyajikan keluaran variabel keputusan optimal.

Tabel 5.1. Kriteria status terminasi

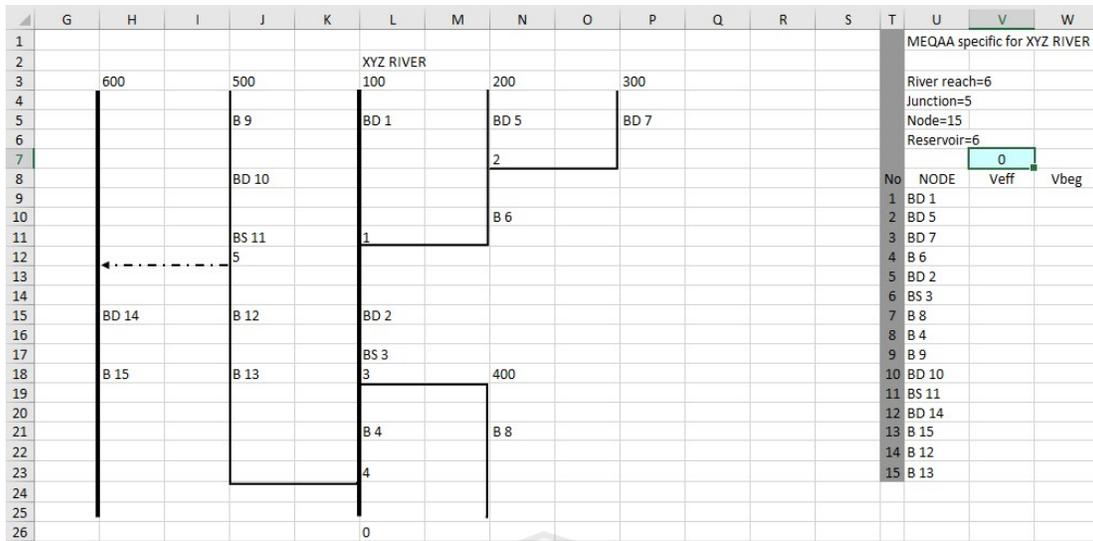
Item	Indikator kuncian	Komponen terkait	Fungsi
K _{draft}	-	QR, QD	Iterasi K, dimulai dari 100% sampai 0 dengan step $\leq 1\%$
Noneg	1	QA \geq 0, QR \geq 0, QS \geq QE, QE \geq 0	Indikator kriteria variabel keputusan tanpa nilai negatif.
Stor _{key}	1	DR _{key} mencakup V _{cal} , QA, QD, QR, QE dan KC _{key}	Indikator kriteria variabel keputusan untuk sistem waduk.
C _{draft}	-	V _{end} , V _{stock} , V _{eff}	Iterasi C, dimulai dari C _{max} sampai 0 dengan step $\leq 1\%$.
WB	0	V _{beg} , V _{loss} , V _{end} , QA, QR, QS	Indikator kriteria keseimbangan air.
C _{max}	-	V _{cal} , V _{stock} , V _{eff}	Nilai maksimum iterasi C.
KC _{key}	1	QS, QE, K, C, V _{end} , V _{eff}	Sub indikator kriteria variabel keputusan untuk sistem waduk
K _{key}	1	QR, QD, K	Indikator kriteria variabel keputusan agar antar simpul setara.

Tabel ME keluaran MEQAA yang dicontohkan pada Gambar 5.4 dan 5.5 adalah model spesifik di skema sungai tertentu. Jika ingin menambah/merubah konfigurasi simpul, maka perlu: i) menghapus ME dengan menekan tombol CLEAR, ii) memasang simpul baru di skema sungai sesuai standar kode, dan iii) menekan tombol TRACK untuk melahirkan ME baru. Jika ingin mengganti dengan skema lain, maka sebelumnya perlu menekan tombol DELETE, sehingga kembali ke bentuk awal MEQAA. Setelah itu, meletakkan skema baru dan menekan tombol TRACK kembali. Keterangan: setiap cetakan Ms. Excel dengan huruf *Calibri* merupakan keluaran MEQAA yang sengaja tidak dirubah menjadi *Time New Roman*.

5.2 Uji Coba 1: Sungai Sintetik XYZ

Bagian ini menyajikan uji coba MEQAA menggunakan masukan data sintetik berupa data skema sungai (Gambar 4.4) dan data angka tunggal (1 periode). Skema dependen yang diilustrasikan sesuai 5 tipe kategori sistem sungai (Gambar 4.3) yang menginspirasi pembangunan MEQAA, dengan pengguna air sejenis. Tombol di kotak hitam diatur pada MENU: *single*, FUNCTION: *demo*, dan TIME STEP: 10 *days*.

Di skema terdapat saluran suplesi dari trayektori RR 500 di sungai XYZ ke trayektori RR 600 di sungai lain. Setelah diberi kode sesuai kode standar (Tabel 4.2), skema diletakkan di kanan kotak hitam MEQAA (Gambar 5.2). Kemudian pelacakan dan penyusunan model spesifik (ME) dilakukan dengan menekan tombol TRACK, dan didapat keluaran berupa tabel ME kosong seperti Gambar 5.6. Pada bagian awal tabel ME ini yaitu di kolom V terdapat konfigurasi 15 simpul (6 waduk, 7 bendung dan 2 bangunan pengatur suplesi).



Gambar 5.6. Skema sungai XYZ dan konfigurasi simpul dalam sebagian tabel ME di *sheets* MACHINE

Setelah menekan tombol RUN_EQ, otomatis akan muncul data acak di tiap simpul. Data acak (QL, QD, V_{eff} dan V_{beg}) diilustrasikan sesuai kondisi WS Lombok. Data ini tercetak secara otomatis di *sheets* INPUT sebagai masukan ME, mencakup: i) QL berkisar 0-2094 l/dt, ii) QD berkisar 0-6381 l/dt, iii) V_{eff} berkisar 11000000-26000000 m³, dan iv) V_{beg} berkisar 9720000-21.320.000 m³. Sedangkan V_{stock} 4420000-20000000 m³ dihitung otomatis oleh MEQAA yang diestimasi berdasarkan karakter pola operasi waduk (POWA). Kehilangan air di waduk dengan RL = 0.7% terhadap V_{beg} masing-masing. Data tunggal QL, QD, V_{beg} dan V_{stock} dimaksud dimisalkan sebagai data operasi pada periode tertentu.

Selanjutnya dengan masukan data angka yang sama akan dilakukan komparasi keluaran metode ekualisasi terhadap metode *first-come, first-served/FCFS*. Metode FCFS/nama lain berlaku umum di Indonesia, dengan pasokan sebesar kebutuhan air.

5.2.1 Alokasi Air dengan Ekualisasi

Berdasarkan data masukan di atas didapat keluaran pada Gambar 5.7 berbentuk tabel. Secara umum pada kasus ini terjadi: i) peningkatan kebutuhan air pada periode mendatang karena V_{stock} > V_{beg} di BD 7 dan BD 2, namun sebaliknya V_{stock} < V_{beg} di waduk lain, ii) neraca air global surplus-berfluktuasi antar simpul dengan DAR=53%, iii) total sisa simpanan di akhir periode 51624146 m³, iv) total pasokan air 31369 l/dt, v) total suplesi 11362 l/dt dari masing-masing Q_{sup}*, vi) RDR=64%, dan vii) jatah ekosistem terpenuhi dari limbah/kontribusi di tiap simpul. Keluaran MEQAA dapat dikatakan valid, karena memenuhi kriteria status terminasi pada Tabel 5.1.

Karena metode ekualisasi menekankan berbagi air secara proporsional-merata, maka secara umum didapat: i) capaian K setara, ii) pasokan air tidak lebih dari kebutuhan ($QR \leq QD$), iii) suplesi ke muara ganda dan antar sungai dapat menyetarakan K, iv) di waduk terdapat K saat ini setara dengan yang akan datang ($K \approx K_{+1}$), dan v) di simpul-simpul terhilir (B4, B8, B13 dan B15) terdapat $QS = QE$ (efisien). Di tiap waduk terdapat $V_{stock} > V_{end}$ yang artinya terjadi kekurangan air, namun MEQAA dapat menghasilkan K proporsional-merata.

No	HW	Case_1	Sum_QL_12222 l/s			Sum_Vbeg_69125000 m3			Sum_QD_48833 l/s			DAR_53%		K+1	Qsup*
		It_4193801	Sum_Veff_119000000 m3	Sum_Vend_51624146 m3	Sum_QR_31369 l/s	QE	K	Class_K	RDR_64%						
1	BD 1	26000000	21320000	42640	16200000	20000000	2094	2094	5381	4359	3612	107	81%	K1	81%
2	BD 5	17000000	11220000	22440	8000000	10000000	1314	1314	4933	3946	1068	67	80%	K1	80%
3	BD 7	24000000	14880000	29760	12000000	15000000	1943	1943	2113	1690	3551	99	80%	K1	80%
4	B 6						281	4901	5874	4656	245	245	80%	K1	
5	BD 2	26000000	10860000	21720	9055800	11180000	0	3857	1911	1567	4353	194	82%	K1	81%
6	BS 3						0	4353	0	0	218	218			4135
7	B 8						1329	5464	6381	5191	273	273	81%	K1	
8	B 4						1302	1520	1002	1002	518	76	100%	K1	
9	B 9						2020	2020	5076	1919	101	101	38%	K4	
10	BD 10	11000000	9720000	19440	1906346	4420000	1500	1601	0	0	10622	81			43%
11	BS 11						0	10622	0	0	3395	531			7228
12	BD 14	15000000	11250000	2250	4462000	10000000	0	7228	5219	2296	1066	362	44%	K3	45%
13	B 15						0	1066	2358	1013	53	53	44%	K3	
14	B 12						0	3395	3981	1752	1643	170	44%	K3	
15	B 13						439	2082	4604	1978	104	104	44%	K3	

Gambar 5.7. Keluaran metode ekualisasi di sungai sintetik

Di RR 100, 200, 300 dan 400 terdapat waduk BD 1, BD 5, BD 7 dan BD 2 yang tersusun seri-paralel dengan V_{beg} kurang dari V_{eff} . Di BD 5 dan BD 7 harus berbagi air ke B 6, sehingga capaian K setara pada 80-81% (K1). Kontribusi dari BD 1 ke BD 2 dengan K sekitar 81-82%, dilanjutkan ke simpul di muara ganda melalui pengatur suplesi BS 3 dengan $Q_{sup*} = 4135$ l/dt untuk B 8 dengan $K = 81\%$. Adapun ke B 4 tidak diperlukan suplesi dari BS 3, karena di ruas BS 3-B 4 terdapat $QL = 1302$ l/dt, sehingga ketersediaan air 1520 l/dt lebih dari kebutuhan air 1002 l/dt. Akibat surplus di B 4, maka K di B 4 mencapai 100% dengan $QS = 518$ l/dt telah lebih dari $QE = 76$ l/dt. Sedangkan di B 8 terdapat $QS = QE = 273$ l/dt telah sesuai kriteria efisiensi, yaitu meminimumkan limpahan menuju muara.

Di RR 500 dan 600 terdapat BD 10 sebagai waduk pengatur (tanpa pintu pengambilan air/*intake* menuju DI) dan BD 14. Keduanya adalah waduk seri, tetapi di antaranya terdapat pengatur suplesi BS 11 untuk kontribusi menuju RR 600. RR 500 berakhir di hilir B 4, sedangkan RR 600 merupakan sungai kering dengan simpul terhilir di B 15. Di B 9 terdapat $K = 38\%$, karena QL hanya 2020 l/dt yang harus berbagi dengan kebutuhan air 5076 l/dt dan $QS = 101$ l/dt. Sementara itu, di hilir B 9 terdapat BD 10 tanpa kebutuhan air sehingga $QS = 10622$ l/dt digunakan untuk membantu kebutuhan di hilirnya dan suplesi ke RR 600 melalui BS 11 yaitu $Q_{sup*} = 7288$ l/dt. Karena di RR ini air terbatas, maka tercapai $K = 44\%$ (K3), setara. Di simpul terhilir B 13 dan B 15 masing-masing dengan $QS = QE$, efisien.

Di RR 100-400 dan RR 500-600 tercapai K setara yaitu di RR 100-400 sebesar 80-81% dan di RR 500-600 sebesar 43-45%. Pada kondisi ini di tiap waduk dengan V_{stock} hanya terpenuhi sebagian dari V_{end} saat ini atau $V_{end} < V_{stock}$, sehingga $K < 100\%$. Walau demikian, porsi alokasi air saat ini telah mempertimbangkan simpanan periode mendatang.

Pada kondisi air terbatas ($K < 100\%$) dapat saja MEQAA dirancang agar mengutamakan pasokan air saat ini, tetapi akan merugikan operasi pada periode mendatang. Kondisi demikian tidak memperhatikan keberlanjutan operasi. Berbeda jika kondisi surplus, maka waduk akan menyimpan air sebatas V_{eff} sehingga tercapai $V_{end} \geq V_{stock}$ dan $K = 100\%$. Sementara itu, karena pada contoh kasus ini tidak terdapat kondisi darurat (E) dengan $K < 20\%$, maka MEQAA tidak memunculkan informasi pilihan rotasi ON-OFF sebagai bentuk intervensi khusus. Pilihan ON menggunakan *Format Painter* dengan warna tertentu. Rotasi grup disarankan selama kekeringan, agar meningkatkan K di simpul tertentu.

Keluaran di atas diperoleh dari iterasi dengan gap toleransi antar simpul ($\epsilon_i = 1\%$) yang dikategorikan kecil untuk solusi alokasi air. Untuk optimasi pada kasus ini ditempuh 5406741 iterasi dan durasi 4312 dt (± 70 menit). Di sistem yang kompleks dan ketika neraca air defisit akan membutuhkan iterasi dalam jumlah banyak dan durasi yang semakin lama.

Dari verifikasi susunan kode pemrograman bahwa: i) konfigurasi simpul yang dimodelkan telah sesuai trayektori aliran sebagaimana Gambar 2.1, dengan efek domino antar simpul, ii) ME memuat persamaan spesifik telah berfungsi, dan iii) iterasi selalu mengarah pada nilai konvergen, dengan status terminasi sesuai kriteria sebagaimana Tabel 5.1. Selanjutnya, dari validasi keluaran bahwa: i) pasokan air mencapai maksimum, ii) jatah ekosistem terpenuhi dari limbah/kontribusi, termasuk limbah di simpul terhilir minimum namun mencukupi ekosistem, iii) K antar simpul setara, dengan memperhatikan simpanan untuk operasional periode mendatang ($K \approx K_{+1}$), dan iv) seluruh variabel keputusan adalah non negatif. Berdasarkan verifikasi dan validasi bahwa MEQAA bekerja sesuai fungsi dan tujuan pembuatannya. MEQAA telah definitif sehingga dapat digunakan untuk membangun model spesifik (master equation/ME) di sistem sungai lainnya.

5.2.2 Alokasi Air tanpa Ekualisasi

Perhitungan menggunakan metode FCFS dilakukan dengan memodifikasi tabel ME (Gambar 5.8). Agar sesuai FCFS, maka rekayasa kebijakan mencakup: i) air tersedia di simpul hulu diberikan sebesar kebutuhan air ($K \geq 100\%$), ii) kebutuhan di hilir diberikan setelah terpenuhinya kebutuhan di hulu, iii) memprioritaskan operasional waduk untuk saat ini daripada periode mendatang ($K > K_{+1}$), dan di simpul terhilir terdapat $QS < QE$.

Menggunakan masukan data yang sama, dengan metode FCFS didapat total sisa simpanan waduk di akhir periode 57061200 m³, total pasokan air 25790 l/dt, total suplesi 7270 l/dt, rerata RDR=53%, dan jatah ekosistem tidak terpenuhi di B 6, BS 3, B 8, B 9, B 15, B 12, dan B 13. Keluaran disajikan pada Gambar 5.8 dalam bentuk tabel.

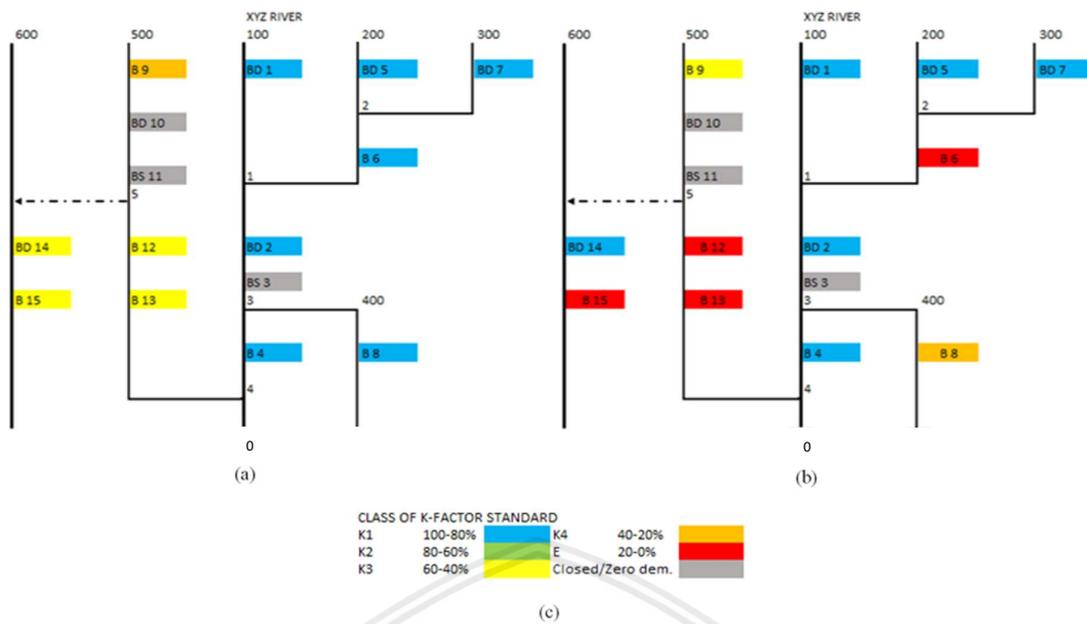
No	HW	Case_1 It 54448		Sum_QL_12222 l/s Sum_Veff_119000000 m3			Sum_Vbeg_69125000 m3 Sum_Vend_57061200 m3			Sum_QD_48833 l/s Sum_QR_25790 l/s			DAR_53% RDR_53%			
		Veff	Vbeg	Vloss	Vend	Vstock	QL	QA	QD	QR	QS	QE	K	Class K	K+1	Qsup*
1	BD 1	26000000	21320000	42640	18200000	20000000	2094	2094	5381	5381	275	107	100%	K1	91%	
2	BD 5	17000000	11220000	22440	8000000	10000000	1314	1314	4933	4933	82	67	100%	K1	80%	
3	BD 7	24000000	14880000	29760	14550000	15000000	1943	1943	2113	2113	178	99	100%	K1	97%	
4	B 6						281	541	5874	541	0	27	9%	E		
5	BD 2	26000000	10860000	21720	9391200	11180000	0	275	1911	1911	39	15	100%	K1	84%	
6	BS 3						0	39	0	0	0	2				39
7	B 8						1329	1368	6381	1368	0	68	21%	K4		
8	B 4						1302	1302	1002	1067	235	65	107%	K1		
9	B 9						2020	2020	5076	2020	0	101	40%	K3		
10	BD 10	11000000	9720000	19440	4420000	4420000	1500	1500	0	0	7612	76			100%	
11	BS 11						0	7612	0	0	381	381				7231
12	BD 14	15000000	1125000	2250	2500000	10000000	0	7231	5219	5219	418	362	100%	K1	25%	
13	B 15						0	418	2358	418	0	21	18%	E		
14	B 12						0	381	3981	381	0	19	10%	E		
15	B 13						439	439	4604	439	0	22	10%	E		

Gambar 5.8. Keluaran metode FCFS (tanpa ekualisasi) di sungai sintetik

Metode FCFS menghasilkan distribusi K tidak setara, yaitu 9-107% (K1, K3, K4 dan E). K di bagian hilir akan sulit optimal, bahkan terjadi kondisi darurat (emergency/E) seperti di B 6. Inefisiensi pengambilan air terjadi di B 4, dengan K=107% (>100%), karena QR>QD. Distribusi K₊₁ tidak setara sebesar 25-100%, karena di tiap waduk berlomba melakukan penambahan simpanan daripada keinginan mendistribusikan air. Antar K dan K₊₁ tidak setara, karena air tersedia diprioritaskan untuk operasional saat ini daripada periode mendatang. Metode FCFS tidak mengantisipasi volume untuk operasi pada periode mendatang di seluruh waduk, karena K₊₁<K. Penerapan metode FCFS akan menurunkan persediaan simpanan waduk sebelum berakhirnya siklus operasi.

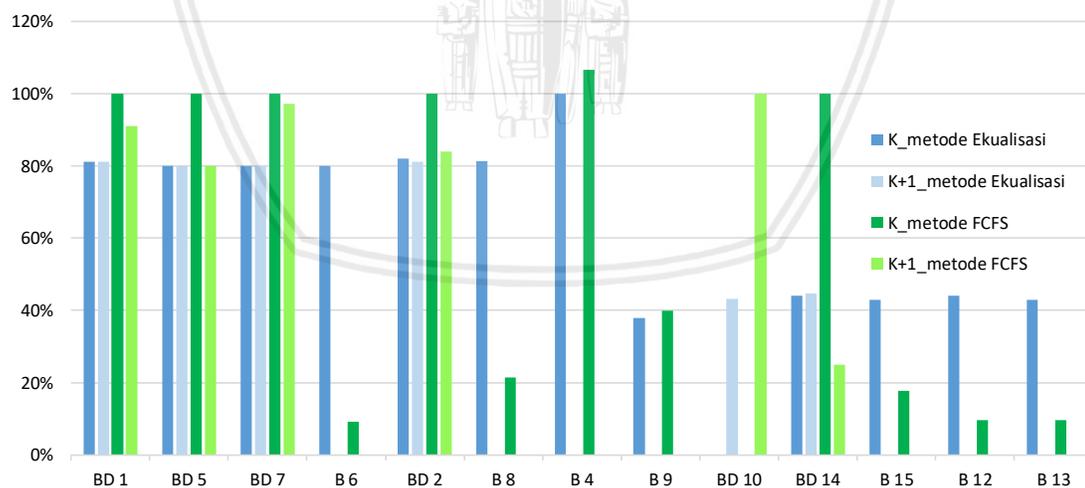
5.2.3 Komparasi Alokasi Air dengan Ekualisasi dan tanpa Ekualisasi

MEQAA secara otomatis menyajikan skema sungai dengan simpul yang diwarnai sesuai capaian klas K. Dari keluaran perhitungan dengan representasi klas K di skema sungai (Gambar 5.9), bahwa keluaran metode ekualisasi dan metode FCFS tampak kontras. Di skema sebelah kiri dengan ekualisasi (a) didapat simpul-simpul yang berwarna, yaitu biru (K1), kuning (K3) dan oranye (K4). Sementara di skema sebelah kanan tanpa ekualisasi (b) didapat simpul-simpul yang tidak berwarna, yaitu biru (K1), kuning (K3), oranye (K4) dan merah (E). Metode ekualisasi dapat meratakan porsi alokasi air K di tiap simpul bendung dan waduk. MEQAA juga dapat meratakan porsi K₊₁ antar waduk. Namun, akan terjadi kondisi sebaliknya (ketidaksetaraan) jika menerapkan metode FCFS.



Gambar 5.9. Komparasi klas K di skema sungai sintetik. (a) dengan ekualisasi; (b) tanpa ekualisasi; (c) standar klas K.

Dari grafik (Gambar 5.10) tampak perbedaan signifikan K dan K_{+1} di tiap simpul yang ditentukan dengan metode ekualisasi dan FCFS. Pada metode ekualisasi, di tiap waduk terdapat K dan K_{+1} yang setara. Sebaliknya pada metode FCFS, mengalami kondisi tidak setara, sehingga merugikan alokasi air antar ruang dan waktu.



Gambar 5.10. Komparasi K dan K_{+1} dengan ekualisasi dan tanpa ekualisasi

Metode FCFS menghasilkan pasokan air tidak efisien, tidak mempertimbangkan kebutuhan hilir termasuk jatah ekosistem, dan tidak mengantisipasi operasional pada periode

mendatang di/antar waduk. Praktik alokasi air dengan metode FCFS akan menimbulkan defisit yang berlebihan di sebagian wilayah, sehingga rawan konflik. Kontribusi air ke hilir dapat diberikan melalui negosiasi alot. Sebaliknya, dengan metode ekualisasi akan terjadi kondisi kondusif di sistem, karena mengutamakan proporsional-merata.

5.3 Uji Coba 2: Sungai Moyot

Bagian ini menyajikan uji coba MEQAA menggunakan masukan data riil sesuai operasional di sungai Moyot (Gambar 5.11), dengan pengguna air sejenis (irigasi). Uji coba terdiri dari: i) tanpa kehilangan air di ruas antar simpul ($CL=0$) dan ii) dengan kehilangan air di ruas antar simpul ($CL>0$). Tombol pada kotak hitam MEQAA diatur pada pilihan MENU: *series*, FUNCTION: *real data*, dan TIME STEP: *15 days*. Variabel keputusan yang dihasilkan oleh MEQAA akan dikomparasi dengan data operasi.

Skema sungai termasuk kategori sistem independen. Setelah diberi kode sesuai standar (Tabel 4.2), skema diletakkan di sebelah kanan kotak hitam dan dilakukan pelacakan sekaligus penyusunan model spesifik. Dengan menekan tombol TRACK didapat tabel ME kosong yang berukuran lebih pendek seperti Gambar 5.5. Pada sepotong bagian awal tabel ME di kolom N (Gambar 5.11) terdapat konfigurasi 9 simpul bendung (tanpa waduk) di satu trayektori yaitu hanya di RR 100. Urutan simpul dari hulu ke hilir adalah B Perako, B Kuang Darek, B Kuang Berora, B Montong Tangi, B Kondak, B Burung, B Jowet, B Reban Waru dan B Surabaya Lepak.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1														MEQAA specific for S MOYOT	
2									S MOYOT					Trajectory=1	
3														Junction=0	
4									100					Node=9	
5									B Perako						
6									B Kuang Darek				No	NODE	QL
7									B Kuang Berora				1	B Perako	
8									B Montong Tangi				2	B Kuang Darek	
9									B Kondak				3	B Kuang Berora	
10									B Burung				4	B Montong Tangi	
11									B Jowet				5	B Kondak	
12									B Reban Waru				6	B Burung	
13									B Surabaya Lepak				7	B Jowet	
14													8	B Reban Waru	
15													9	B Surabaya Lepak	
16															
17															
18															
19															
20															
21															
22															
23															
24															
25															

Gambar 5.11. Skema sungai Moyot dan konfigurasi simpul dalam sebagian tabel ME di *sheets* MACHINE

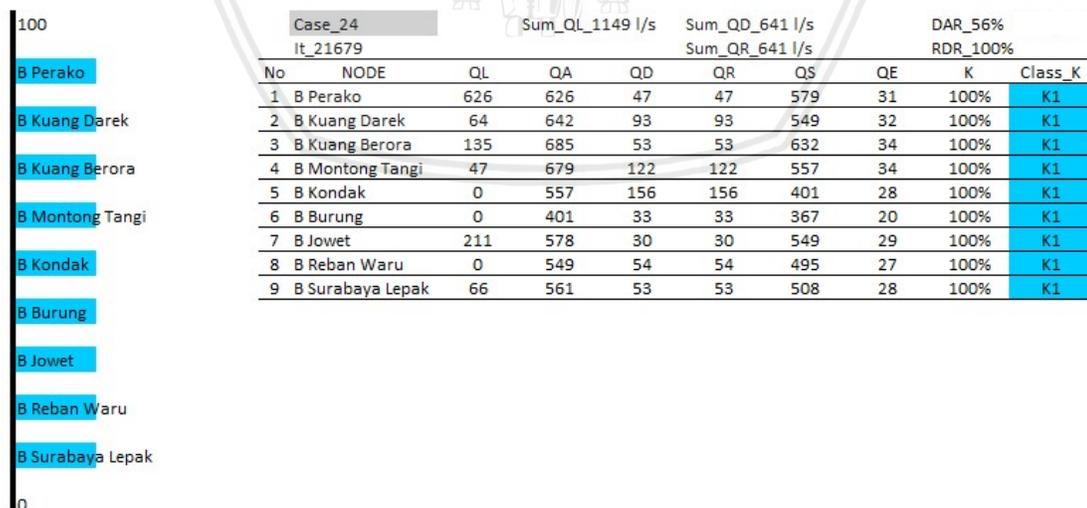
5.3.1 Alokasi Air dengan Ekualisasi

Data masukan berupa aliran masuk lokal (QL) dan kebutuhan air (QD) selama 24 periode mulai Okt1 2015 sampai Sep2 2016 (Lampiran 11). Berdasarkan ini didapat 24 keluaran (Lampiran 14), namun contoh yang disajikan hanya pada Gambar 5.12 sampai 5.15. Secara umum didapat: i) jatah ekosistem terpenuhi dan ii) pada tiap periode K setara antar simpul, namun antar periode terjadi K yang tidak setara/menurun drastis (seperti K2-K4, K3-E), karena tidak didukung waduk. Untuk perhitungan ditempuh 21679 iterasi (durasi 53 dt).

No	NODE	24	Time_53 s		Sum_QL_1149 l/s		Sum_QD_641 l/s			Sum_QR_641 l/s			DR_key	K_key
		QL	QA	QD	K_draft	QR	QS	QE	K	Noneg	WB	DAR		
1	B Perako	626	626	47	100%	47	579	31	100%	1.00	0.00	8%	1.00	1.00
2	B Kuang Darek	64	642	93	100%	93	549	32	100%	1.00	0.00	146%	1.00	1.00
3	B Kuang Berora	135	685	53	100%	53	632	34	100%	1.00	0.00	39%	1.00	1.00
4	B Montong Tangi	47	679	122	100%	122	557	34	100%	1.00	0.00	258%	1.00	1.00
5	B Kondak	0	557	156	100%	156	401	28	100%	1.00	0.00	FALSE	1.00	1.00
6	B Burung	0	401	33	100%	33	367	20	100%	1.00	0.00	FALSE	1.00	1.00
7	B Jowet	211	578	30	100%	30	549	29	100%	1.00	0.00	14%	1.00	1.00
8	B Reban Waru	0	549	54	100%	54	495	27	100%	1.00	0.00	FALSE	1.00	1.00
9	B Surabaya Lepak	66	561	53	100%	53	508	28	100%	1.00	0.00	80%	1.00	1.00

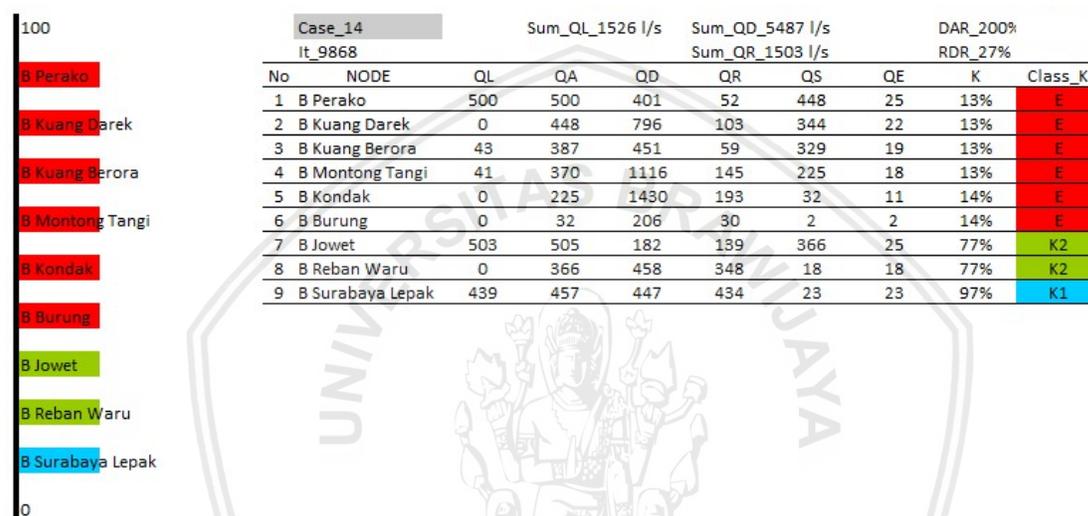
Gambar 5.12. Tabel ME sungai Moyot untuk ekualisasi periode 24

Pada contoh periode 24 (Sep2) (Gambar 5.13), karena kondisi surplus didapat: i) pasokan air sebesar kebutuhannya ($QR=QD$), ii) capaian $K=100\%$ (K1) setara di seluruh simpul, dan iii) limpahan telah memenuhi jatah ekosistem ($QS>QE$). Meninjau QS dan QE di simpul terhilir (B Surabaya Lepak) didapat $QS=508$ l/dt dan $QE=28$ l/dt, terdapat sisa air yang kembali ke laut yang semestinya dapat disimpan menggunakan waduk.



Gambar 5.13. Keluaran pada periode 24 (Sep2) di sungai Moyot

Kondisi berbeda dicontohkan periode 14 (Apr2) (Gambar 5.14) didapat: i) $DAR \geq 200\%$ (defisit berat), RDR 27%, total QR=1503 l/dt, dan QE terpenuhi dari QS, ii) 6 simpul di hulu-tengah mengalami darurat ($K < 20\%$), karena air tersedia sangat terbatas, dan iii) 3 simpul bagian hilir dengan K2 sampai K1, karena QL yang besar. Di B Jowet dengan QL=503 l/dt untuk QR=138 l/dt dan sisanya 367 l/dt ke B Reban Waru, sehingga tercapai $K=76\%$ setara. Di terhilir terletak B Surabaya Lepak dengan QL=439 l/dt dan diberikan QR=434 l/dt, sehingga tercapai $K=97\%$ karena sebelumnya harus berbagi dengan QE=23 l/dt. Meninjau QS dan QE di simpul terhilir (B Surabaya Lepak) didapat QS=23 l/dt dan QE=23 l/dt. Kondisi ini sudah optimal dan efisien, karena sisa air ke laut sebesar QE.

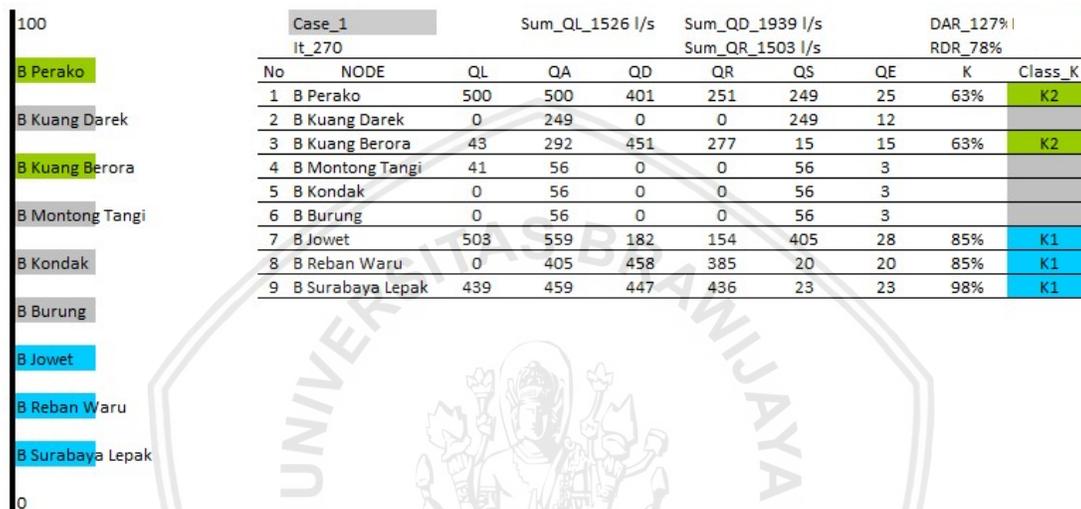


Gambar 5.14. Keluaran pada periode 14 (Apr2) tanpa rotasi grup di sungai Moyot

Karena periode 14 (Apr2) terjadi darurat (E) di 6 simpul, maka perlu rotasi grup (ON-OFF rotation) untuk meningkatkan K dari 13-14% menjadi keluar dari darurat ($K > 20\%$). Rotasi grup dilaksanakan hanya pada operasi. MEQAA akan menghitung kembali dengan memisalkan darurat terjadi saat operasi menggunakan data tunggal, sehingga tombol harus dipilih ke SINGLE. Rotasi grup dilakukan dengan memilih beberapa simpul pada status OFF (diberi *fill* warna abu, pintu pengambilan ditutup) dengan mengasumsikan QD=0 sedangkan di simpul lainnya di atur pada status ON.

Untuk solusi rotasi grup pada periode 14 (identik sebagai *case* 1) yaitu: i) status ON di B Perako dan B Kuang Berora, karena dimisalkan tanaman sedang kritis, dan ii) status OFF di B Kuang Darek, B Montong Tangi, B Kondak dan B Burung. Hasil terbaik pada Gambar 5.15 adalah: i) K di B Perako dan B Kuang Berora menjadi 63% setara (meningkat

49%), ii) K di B Jowet dan B Reban Bayu menjadi 85% setara (meningkat 9%), iii) K di B Surabaya Lepak menjadi 98% (meningkat 1%), dan iv) secara umum RDR mencapai 78% (klas K1-K2). Meninjau sisa aliran yaitu QS untuk QE di simpul terhilir (B Surabaya Lepak) didapat QS=23 l/dt sebesar QE=23 l/dt. Kondisi ini sudah optimal yaitu terpenuhinya jatah ekosistem secara efisien karena sisa air ke laut hanya sebesar QE. Sedangkan untuk lainnya, yaitu B Kuang Darek, B Montong Tangi, B Kondan dan B Burung dilakukan rotasi dengan cara yang sama.



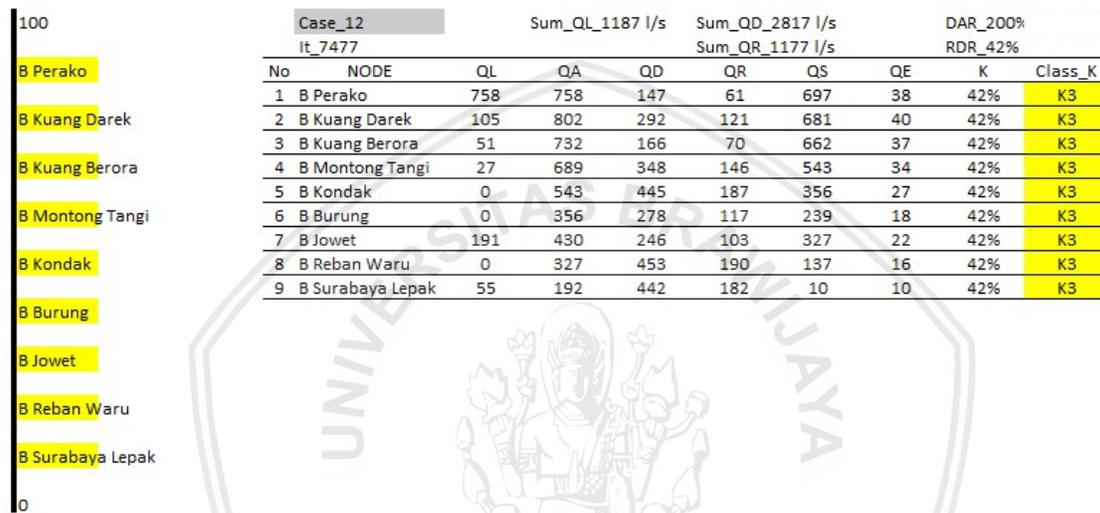
Gambar 5.15. Keluaran pada periode 14 (Apr2) dengan rotasi grup di sungai Moyot

5.3.2 Komparasi Alokasi Air dengan Ekualisasi dan Operasional Saat Ini

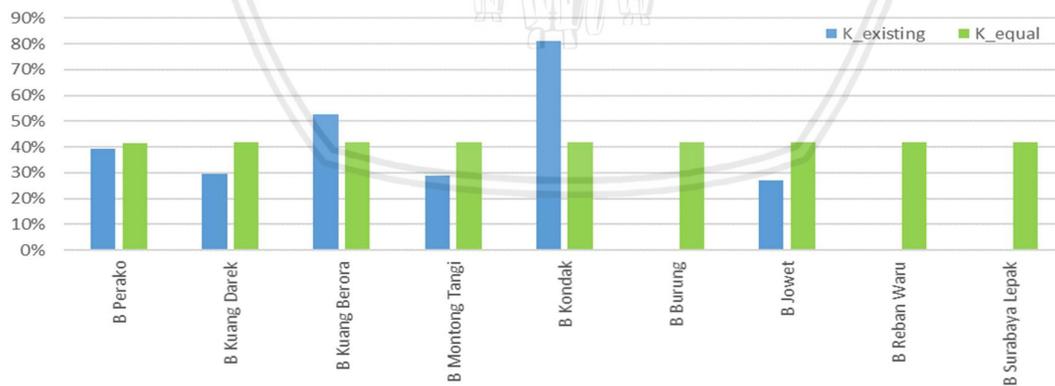
Berdasarkan keluaran MEQAA menggunakan metode ekualisasi yang dikomparasi dengan operasional saat ini (existing) menunjukkan nilai-nilai yang kontras (Tabel 5.2). Pada operasi saat ini terjadi ketidakadilan alokasi air, karena K antar simpul tidak setara pada porsi yang sama/hampir sama (dengan gap toleransi $\epsilon_i \leq 1\%$). Selain itu, terjadi $K > 100\%$ seperti pada periode 8 (Jan2) karena inefisiensi pasokan air terhadap kebutuhan air ($QR > QD$). Kondisi ini mengakibatkan segmen sungai di hilir simpul mengalami kering karena $QS=0$, sehingga jatah ekosistem tidak dialokasikan.

Pola operasi di sungai Moyot semacam ini identik dengan metode FCFS. Pola serupa banyak terjadi di WS Lombok sebagaimana hasil survei pada Lampiran 2. Metode alokasi air yang diterapkan hanya mementingkan ego bukan berbagi, sehingga berakibat rawan konflik di sistem.

Selanjutnya, dari Tabel 5.2 dibuat grafik komparasi K dengan ekualisasi dan tanpa ekualisasi (metode FCFS) yang dicontohkan pada periode 12 (Mar2) (Gambar 5.16 dan 5.17). Pada kondisi operasi dengan DAR global > 200% terjadi: i) inefisiensi ($K > 100\%$) di B Perako, B Kuang Darek, B Kuang Berora, B Montong Tangi dan B Kondak, dan ii) di simpul lainnya dengan $K=0$, karena tidak mendapat air walaupun $QD > 0$, sehingga tidak setara. Sementara itu, dengan metode ekualisasi dapat dihasilkan K setara pada porsi 42% (K_3) dan di simpul terhilir didapat jatah ekosistem/aliran pemeliharaan sungai yang dipasok dari limpahan sebesar $QS=QE=10$ l/dt, efisien.



Gambar 5.16. Keluaran pada periode 12 (Mar2) di sungai Moyot



Gambar 5.17. Komparasi K dengan ekualisasi dan operasional saat ini pada periode 12 (Mar2) di sungai Moyot

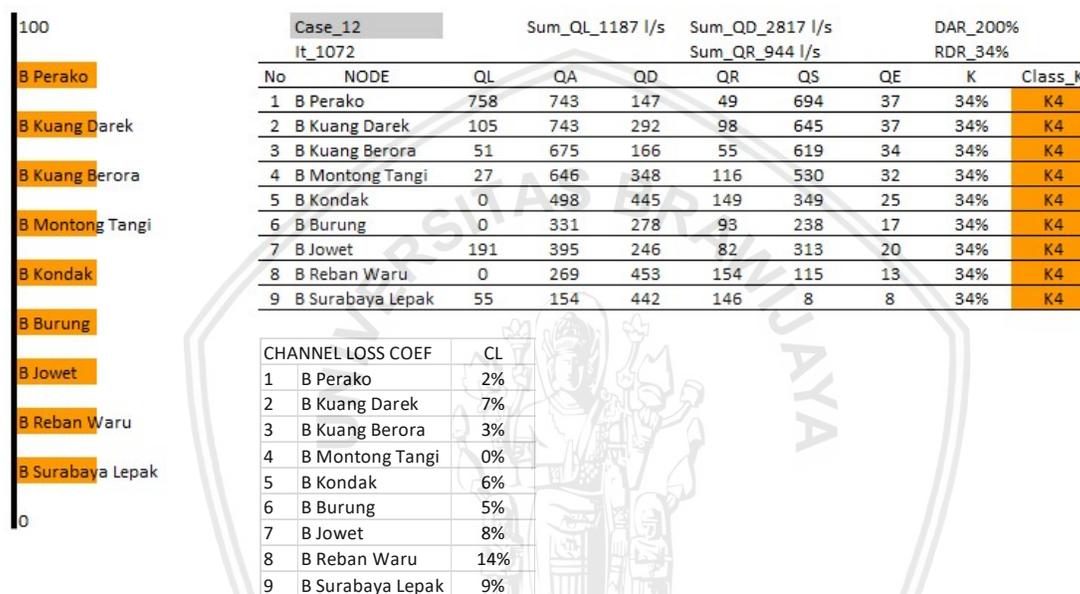
Tabel 5.2. Komparasi QS dan K dengan ekualisasi dan operasional saat ini di sungai Moyot

No	Node	Item	Okt1	Okt2	Nov1	Nov2	Des1	Des2	Jan1	Jan2	Feb1	Feb2	Mar1	Mar2	Apr1	Apr2	Mei1	Mei2	Jun1	Jun2	Jul1	Jul2	Agt1	Agt2	Sep1	Sep2
1	B Perako	QS	0	0	217	0	0	64	0	259	578	964	567	700	280	464	287	467	37	463	120	421	110	254	112	514
		K	28%	25%			16%	14%	176%	1978%	118%	61%	146%	39%	15%	9%	49%	23%	28%	35%	34%	90%	181%	323%	167%	237%
		QS	7	9	291	63	20	87	15	428	606	910	635	697	292	448	340	477	92	488	176	558	158	342	170	579
		K	7%	6%			10%	7%	3%	41%	84%	100%	90%	42%	12%	13%	16%	19%	5%	24%	11%	22%	9%	30%	31%	100%
2	B Kuang Darek	QS	0	0	113	0	0	57	0	276	747	1093	605	719	249	396	275	404	0	441	94	334	67	223	99	475
		K	15%	9%			7%	6%	100%	628%	113%	33%	62%	29%	10%	8%	42%	18%	16%	20%	23%	32%	166%	124%	80%	111%
		QS	13	12	291	135	3	74	31	547	822	858	605	681	252	344	409	410	108	452	208	513	202	366	199	549
		K	7%	6%			10%	7%	3%	41%	84%	100%	90%	42%	12%	13%	17%	19%	5%	24%	11%	22%	9%	30%	31%	100%
3	B Kuang Berora	QS	0	0			0	40	0	295	683	1165	630	683	254	400	295	344	0	415	57	297	67	223	113	491
		K	29%	24%			10%	9%	156%	1240%	200%	58%	133%	53%	13%	9%	43%	19%	13%	30%	39%	33%	132%	123%	131%	227%
		QS	23	21	308	194	2	65	46	684	864	865	689	663	265	329	476	362	128	441	246	503	240	397	261	632
		K	7%	6%			10%	7%	3%	41%	84%	100%	90%	42%	12%	13%	17%	19%	5%	24%	12%	22%	9%	30%	31%	100%
4	B Montong Tangi	QS	0	0	0	0	0	21	0	267	614	1051	616	610	188	340	231	305	0	361	26	180	15	143	112	438
		K	7%	6%	69%		4%	2%	676%	69%	46%	40%	29%	19%	9%	12%	16%	6%	13%	20%	20%	15%	139%	81%	82%	
		QS	22	21	334	232	48	17	41	812	757	633	480	546	231	225	357	314	135	318	270	378	223	405	303	557
		K	7%	6%	1%		7%	3%	41%	84%	100%	90%	42%	12%	13%	17%	19%	5%	24%	12%	22%	9%	30%	31%	100%	
5	B Kondak	QS	0	0	0	0	0	0	0	179	934	362	77	12	17	64	17	0	33	0	0	0	0	3	25	187
		K	3%	0%	5%		7%	1%	409%	166%	255%	80%	81%	27%	17%	14%	35%	2%	23%	3%	19%	1%	59%	15%	72%	
		QS	10	14	334	232	48	4	23	799	586	976	177	359	166	32	147	205	114	116	179	185	158	375	269	401
		K	7%	6%	1%		7%	3%	41%	84%	100%	90%	42%	12%	14%	17%	19%	5%	24%	12%	22%	9%	30%	31%	100%	
6	B Burung	QS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		K	0%	0%	24%		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
		QS	8	11	335	232	48	4	11	646	562	796	28	242	135	2	62	111	102	53	144	113	127	298	256	367
		K	8%	6%	1%		4%	41%	84%	100%	91%	42%	12%	14%	17%	19%	6%	24%	12%	22%	10%	30%	31%	100%		
7	B Jowet	QS	0	0	0	0	0	0	0	0	189	959	296	124	0	449	77	186	0	87	0	148	0	91	22	121
		K	0%	0%	0%		0%	0%	264%	124%	61%	27%	0%	30%	7%	14%	0%	9%	0%	10%	0%	4%	9%	305%		
		QS	6	8	335	232	48	4	1	510	796	1794	282	330	107	367	96	277	92	105	113	227	100	331	269	549
		K	8%	6%	1%		4%	41%	84%	100%	91%	42%	12%	14%	17%	19%	6%	24%	12%	22%	10%	30%	31%	100%		
8	B Reban Waru	QS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		K	0%	0%			0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
		QS	3	4	335	232	48	4	1	258	297	1635	36	139	54	18	48	123	46	34	57	115	50	166	136	495
		K	8%	6%			41%	84%	100%	91%	42%	12%	14%	17%	19%	6%	24%	12%	22%	10%	30%	31%	100%			
9	B Surabaya Lepak	QS	0	0	0	0	0	0	0	0	136	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		K	0%	0%			0%	0%	88%	6%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
		QS	0	0	335	232	48	4	1	13	25	1856	13	10	3	23	2	8	2	4	3	6	3	8	7	508
		K	8%	6%			41%	84%	100%	91%	42%	12%	14%	17%	19%	6%	24%	12%	22%	10%	30%	31%	100%			

Keterangan: i) QS dan K dengan *fill* adalah kondisi operasional saat ini (existing), dan ii) QS dan K tanpa *fill* adalah kondisi dengan ekualisasi.

5.3.3 Alokasi Air dengan Ekualisasi- Tinjauan Komparasi tanpa dan dengan Kehilangan Air antar Ruas

Berbeda dengan uji coba sebelumnya, tanpa memperhitungkan kehilangan air. Bagian ini menyajikan komparasi keluaran MEQAA menggunakan masukan data riil, dengan memperhitungkan kehilangan air di ruas antar simpul. Karena tidak dilakukan pengukuran kehilangan air, maka diestimasi secara acak dengan bobot maksimum $CL=14\%$ dari air tersedia. Contoh data yang digunakan adalah QL dan QD pada periode 12 (Mar2) sebagaimana Gambar 5.16. Adapun keluaran uji coba dengan $CL > 0$ pada gambar berikut.



Gambar 5.18. Keluaran pada periode 12 (Mar2) di sungai Moyot dengan Kehilangan Air antar Ruas (inset: data sintetik CL di tiap simpul)

Dari komparasi dengan dan tanpa kehilangan air antar ruas didapat keluaran yang berbeda signifikan, diindikasikan dari: i) capaian K tanpa CL sebesar 42% dan dengan CL sebesar 34% (menurun 8%), dan ii) total QR tanpa CL sebesar 1177 l/dt dan dengan CL sebesar 944 l/dt (menurun 20%).

Akibat kehilangan air antar di ruas sungai yang hanya terdapat bendung akan mempengaruhi capaian K. Kondisi demikian akan semakin parah ketika ketersediaan air yang terbatas terhadap kebutuhannya. Sebaliknya, jika surplus, maka dampak kehilangan air tidak signifikan mempengaruhi capaian K. Demikian pula jika terdapat waduk, maka simpanan mungkin tidak signifikan mempengaruhi capaian K. Hal ini akan dibuktikan pada bagian selanjutnya.

5.4 Uji Coba 3: Sungai Kukusan

Bagian ini menyajikan hasil uji coba MEQAA dengan ekualisasi menggunakan masukan data riil sesuai operasi di sungai Kukusan (Gambar 5.19 dan Lampiran 12), dengan pengguna air sejenis (irigasi). Tinjauan tanpa kehilangan air di ruas sungai ($CL=0$). Kotak hitam diatur pada MENU: *series*, FUNCTION: *real data*, dan TIME STEP: 10 days. Variabel keputusan keluaran MEQAA diasumsikan untuk rencana alokasi air tahunan.

Skema sungai termasuk sistem independen. Setelah diberi kode sesuai standar (Tabel 4.2), skema diletakkan di kanan kotak hitam kemudian dilakukan pelacakan sekaligus penyusunan model spesifik, dengan keluaran tabel ME kosong pada *sheets* MACHINE berbentuk seperti Gambar 5.4 (a). Pada bagian awal tabel ME (Gambar 5.19 bagian kanan) di kolom T terdapat konfigurasi 24 simpul dengan 1 buah embung, dan 4 cabang sungai, sesuai 5 trayektori di RR 100-500.

	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1		S KUKUSAN											MEQAA specific for S KUKUSAN	
2		100											Trajectory=5	
3													Junction=4	
4		B MELOANG											Node=24	
5													Reservoir=1	
6		B MADANG 1												
7				200										
8		B MADANG 2		B RENGANG								No	NODE	Veff
9												1	B MELOANG	
10		1										2	B MADANG 1	
11												3	B MADANG 2	
12		B BAGEK NYAKE										4	B RENGANG	
13												5	B BAGEK NYAKE	
14		B MAMBEN										6	B MAMBEN	
15												7	B KUKUSAN-LADON	
16		B KUKUSAN-LADON										8	B JOWET-TERENG	
17						400						9	B TEGARON	
18						B PAOK DANGKA						10	B KEDATUK	
19												11	B LEMBAK	
20		B JOWET-TERENG				B BEBIDAS						12	B REBAN ATAS	
21				300								13	B REBAN TENGAH	
22				B KEDATUK		B TIBU PANDAN						14	B KERMUT	
23												15	B GAWAH PULE	
24		B TEGARON		B LEMBAK		B SONGGEN-PDMARE						16	B SUKAMULIA	
25		2										17	B PAOK DANGKA	
26												18	B BEBIDAS	
27		B REBAN ATAS										19	B TIBU PANDAN	
28												20	B SONGGEN-PDMARE	
29		B REBAN TENGAH										21	B LARUNG	
30												22	E SENANG	
31		B KERMUT										23	B SENANG	
32												24	B RUNGGANG	
33		B GAWAH PULE						500						
34								E SENANG						
35		B SUKAMULIA												
36		3						B SENANG						
37														
38		B LARUNG												
39		4												
40														
41														
42		B RUNGGANG												
43														
44														
45		0												

Gambar 5.19. Skema sungai Kukusan dan konfigurasi simpul dalam sebagian tabel ME di *sheets* MACHINE

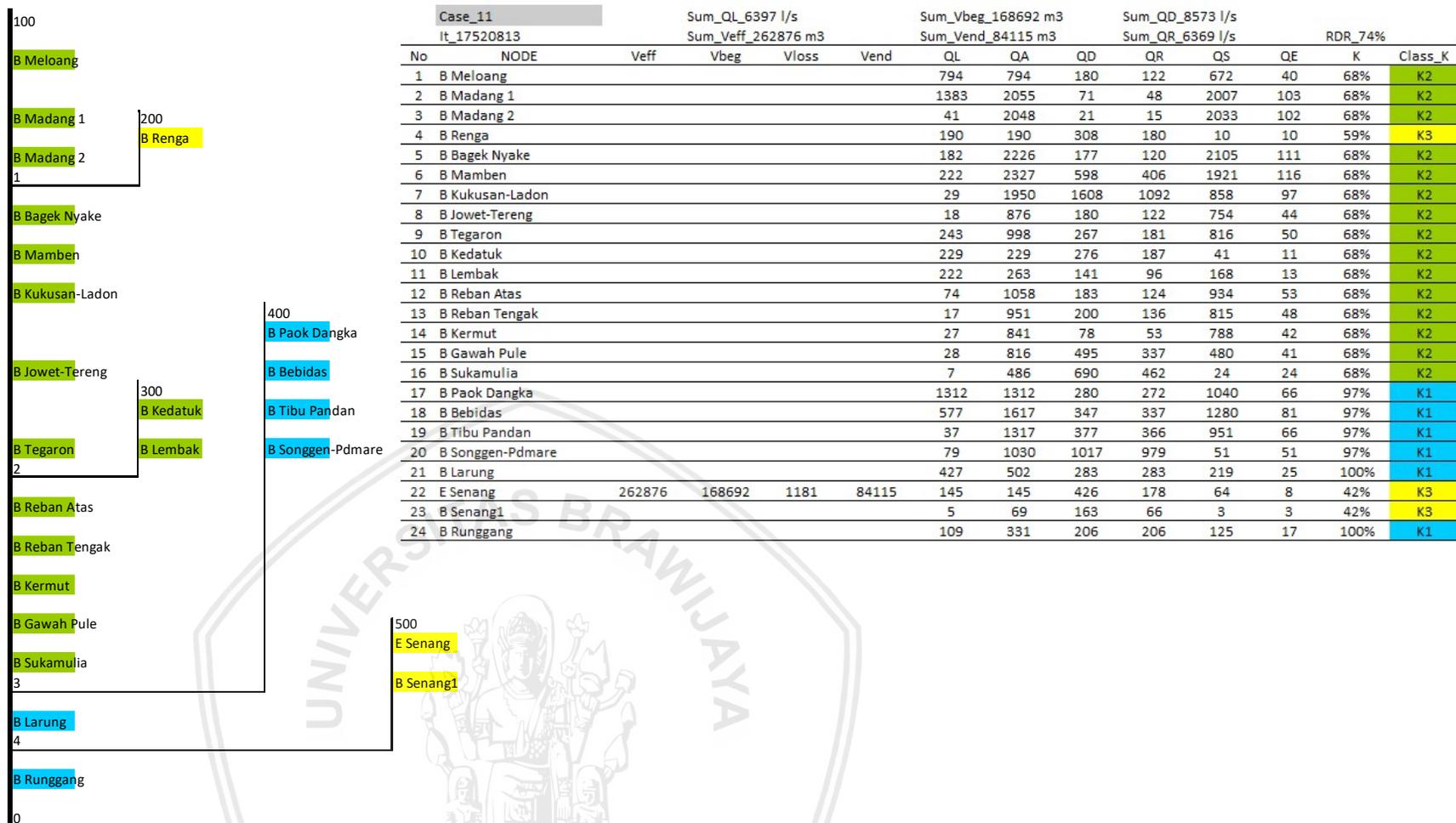
Data masukan berupa $V_{\text{eff}}=262876 \text{ m}^3$, V_{beg} pertama sebesar V_{eff} , serta QL dan QD irigasi selama 36 periode yaitu Jan1-Des3 2016 (Lampiran 12). Kehilangan air akibat evaporasi dan rembesan di embung Senang diestimasi dari bobot $RL=0.7\%$ terhadap V_{beg} . Berdasarkan data masukan, didapat keluaran yang dihitung dengan iterasi 103677911 durasi 40048 dt (Lampiran 15). Pada Gambar 5.20 adalah contoh keluaran untuk periode 11 (Jan2). Secara umum dari 36 periode didapat variabel keputusan dengan K setara dan ekosistem terpenuhi. Keluaran MEQAA dapat dikatakan valid, karena memenuhi kriteria status terminasi pada Tabel 5.1.

Dari contoh keluaran periode 11 (Jan2) pada Gambar 5.20 di tabel bagian kanan, secara umum air tersedia tidak merata di tiap segmen di trayektori RR 100-500 sehingga didapat: i) K di simpul-simpul di RR 100 dan RR 300 telah setara sebesar 68% (K2), ii) di RR 200 yaitu di B Renga yang terletak terhulu dengan $K=59\%$ (K3), iii) di RR 500 di E Senang dan B Senang setara dengan $K=40\%$ (K3) dan di B Senang $QS=QE=2 \text{ l/dt}$ (efisien), dan iv) di trayektori RR 400 dengan $K=97\%$ (K1), di B Songgen-Pdmare $QS=QE=51 \text{ l/dt}$ (efisien), sedangkan di B Larung dan B Runggang dengan $K=100\%$ (K1), karena surplus. Pada periode ini, di RR 500 di E Senang $V_{\text{beg}}=168692 \text{ m}^3$ dari $V_{\text{eff}}=262876 \text{ m}^3$ didapat $K=40\%$ dan $V_{\text{end}}=84115 \text{ m}^3$.

Meninjau kinerja E Senang dan hilirnya selama 36 periode (Lampiran 15), bahwa E Senang tidak cukup besar sebagai pengatur suplesi membantu B Senang dan simpul di hilir lainnya. Pernyataan ini diindikasikan dari periode 1, 2, 7 dan 8 dengan $V_{\text{beg}}=V_{\text{eff}}=262876 \text{ m}^3$, $K=100\%$, $QS>QE$ sehingga $V_{\text{end}}=V_{\text{eff}}$. Surplus ini dapat ditampung jika kapasitas embung lebih besar dari V_{eff} saat ini. Kontribusi dari E Senang ke B Senang sejumlah 30 periode sehingga capaian K hulu - hilir menjadi setara. Kontribusi tersebut ketika $QS>QE$ dan $K \text{ hulu} \approx K \text{ hilir}$. E Senang tidak berkontribusi pada periode 1, 2, 7 dan 8 karena di E Senang dan B Senang surplus serta periode 32 dan 35 karena air di E Senang sangat kurang.

Selain E Senang dan B Senang, di sungai kukusan terdapat simpul-simpul bendung, dengan K antar simpul yang setara. Secara umum, di B Larung dan B Runggang tercapai K yang lebih besar dari simpul-simpul lainnya, karena aliran lokal tersedia di hilir ruas 400 dan 500 cukup besar jika dibandingkan dengan kebutuhan airnya.

Kinerja embung selama 36 periode terevaluasi dari capaian indikator keandalan= 1, ketahanan=1, dan kerentanan=0. MEQAA dapat mengatur simpanan dan lepasan sehingga operasional semestinya dapat berlangsung tanpa kegagalan.



Gambar 5.20. Keluaran pada periode 11 (Jan2) di sungai Kukusan

5.5 Uji Coba 4: Waduk Seri Batujai-Pengga Sungai Dodokan

5.5.1 Alokasi Air Saat Ini

Berdasarkan data operasional 5 tahun (Jan1 2014-Des3 2018) pada (Lampiran 13), secara umum: i) kebutuhan air domestik di waduk Batujai diberikan sesuai kebutuhannya (Gambar 5.23), ii) operasi waduk tidak selaras karena pada kurva simpanan sering menyentuh volume mati (cincin merah) (Gambar 5.21), iii) terjadi inefisiensi pasokan air (Gambar 5.24) terhadap kebutuhan air (Gambar 5.23) sehingga $K > 100\%$ (Gambar 5.26), iv) pada musim kemarau, ekosistem tidak mendapat air karena limpahan $QS=0$ (Gambar 5.25), v) debit operasi turbin 1000-3000 l/dt mengikuti irigasi (122 periode dari 180 periode), dan vi) terjadi banyak frekuensi periode kritis (Tabel 5.4). Rentang data operasi pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3. Rentang data operasi waduk Batujai-Pengga

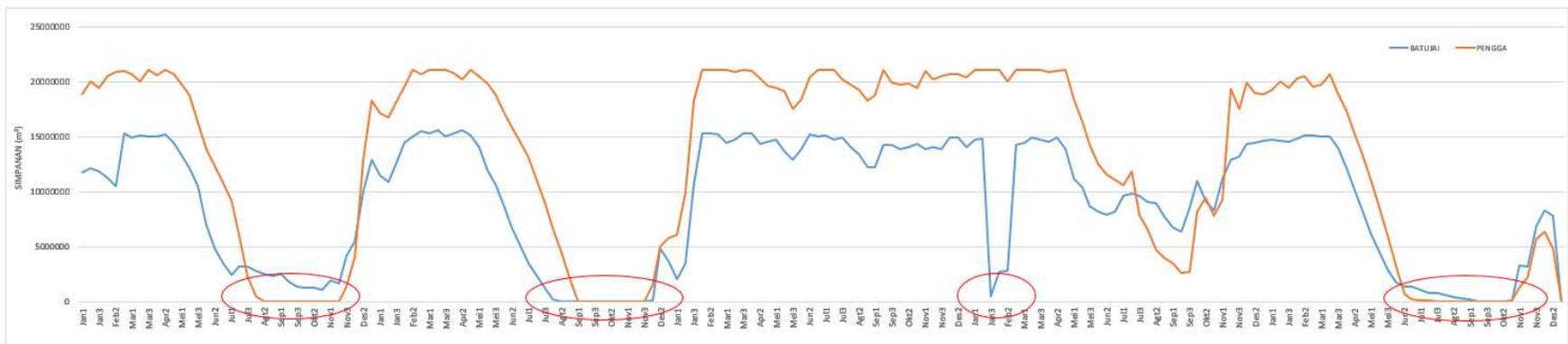
Waduk	Simpanan minimum (m ³)	Aliran masuk (l/dt)	Kebutuhan irigasi (l/dt)	Pasokan irigasi (l/dt)	Limpahan/kontribusi (l/dt)	K
Batujai	0	26045-0	4509-0	3147-0	23567-0	>100%-0
Pengga	0	15178-0	6939-0	2939-0	3472-0	>100%-0
Tinjau	Gbr. 5.21	Gbr. 5.22	Gbr. 5.23	Gbr. 5.24	Gbr. 5.25	Gbr. 5.26

Tabel 5.4. Frekuensi periode kritis operasi waduk Batujai-Pengga

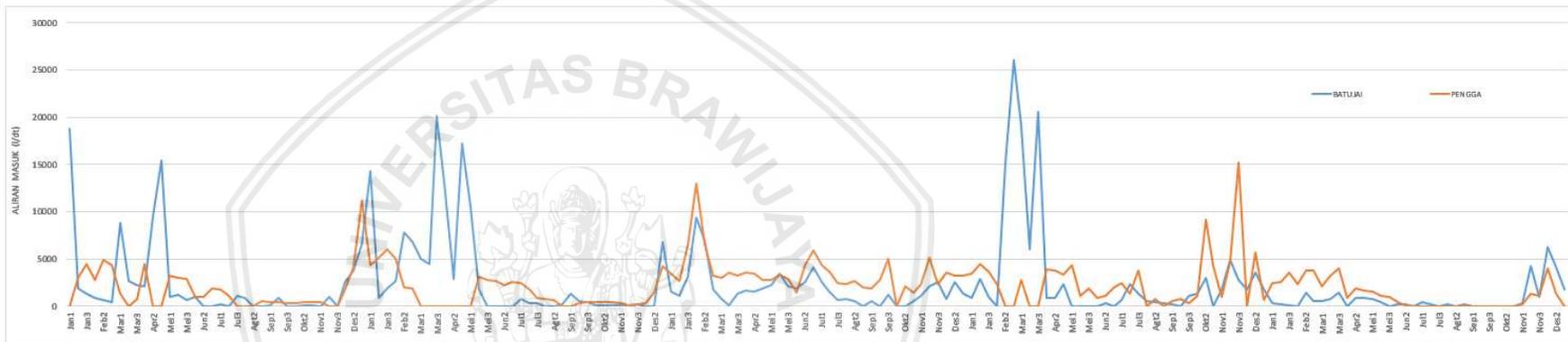
Waduk	Simpanan =0	Aliran masuk =0	Pasokan irigasi =0	Limpahan/kontribusi =0	K >100%
Batujai	7.56%	22.09%	15.70%	76.74%	44.77%
Pengga	11.05%	15.70%	18.02%	97.09%	42.44%
Tinjau	Gbr. 5.21	Gbr. 5.22	Gbr. 5.24	Gbr. 5.25	Gbr. 5.26

Dari Tabel 5.4 terindikasi bahwa: i) kedua waduk sering mengalami kehabisan simpanan ($V_{end}=0$), ii) sering tidak terjadi aliran masuk di waduk Batujai akibat buruknya sistem alokasi air di bagian hulunya, ii) sering tidak terjadi aliran masuk di waduk Pengga akibat tidak mendapat kontribusi dari waduk Batujai, iii) DI-DI sering tidak mendapat air dari waduk, sementara itu pada periode lainnya terjadi inefisiensi pemberian air sehingga $K > 100\%$, dan iv) jatah ekosistem/pemeliharaan sungai sering tidak terpenuhi.

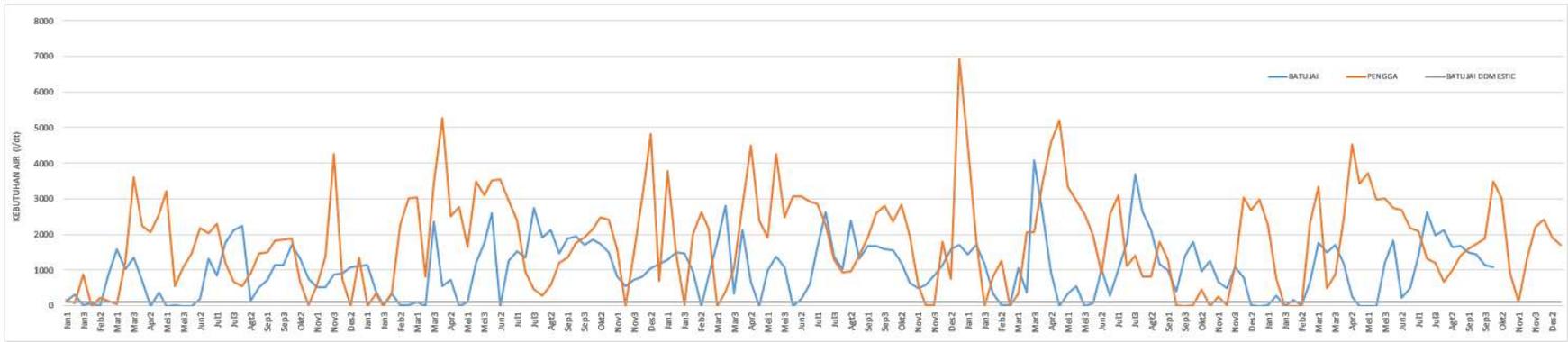
Indikasi di atas tidak menguntungkan pengguna air di sistem. Semestinya air dapat dibagi antar waduk dan dari waktu ke waktu sekaligus dihemat, namun yang terjadi adalah sebaliknya. Buruknya operasional selama ini karena tidak didukung kurva aturan simpanan waduk. Operator waduk mengatur lepasan sesuai tradisi dengan meninjau ketersediaan air sesaat sebelum pintu dioperasikan.



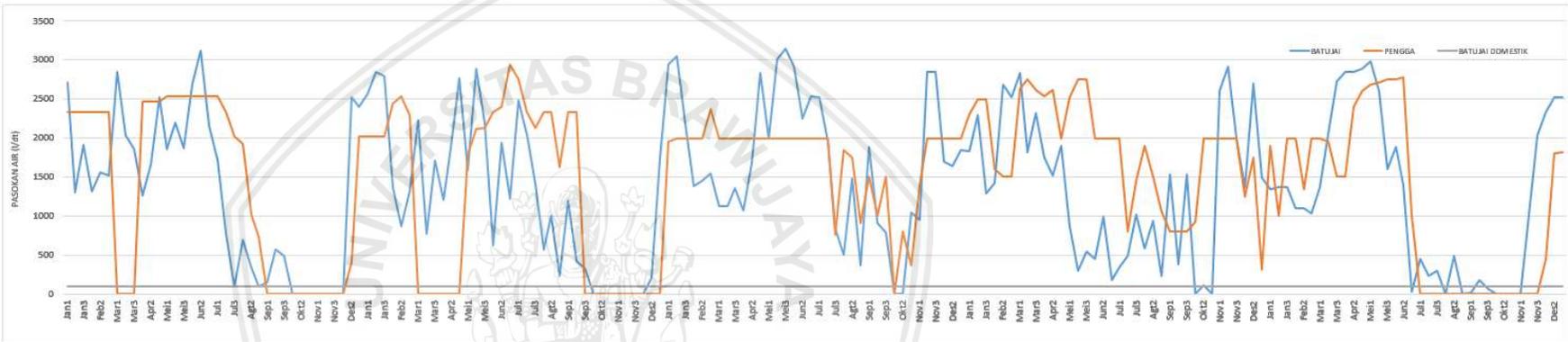
Gambar 5.21. Data operasi: Simpanan waduk Batujai-Pengga



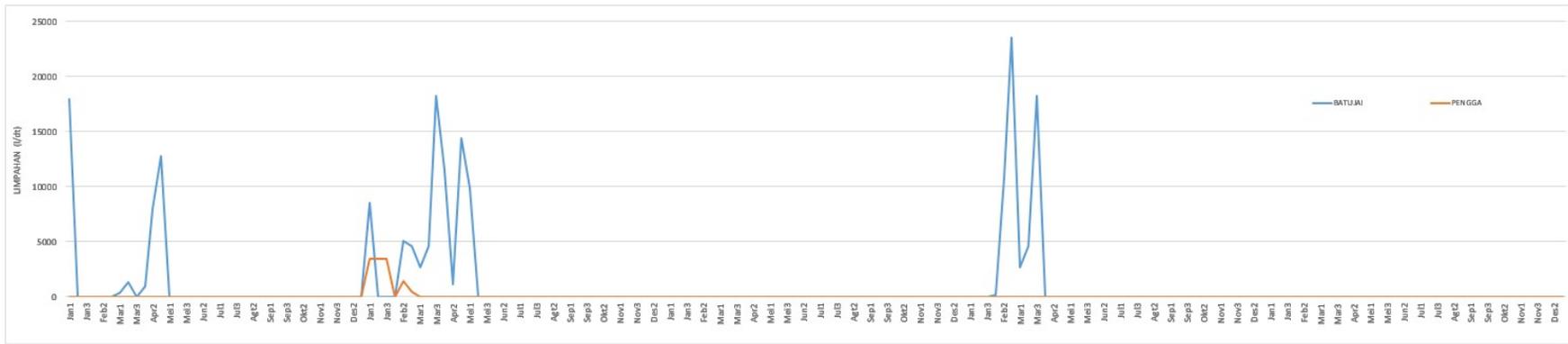
Gambar 5.22. Data operasi: aliran masuk waduk Batujai dan waduk Pengga



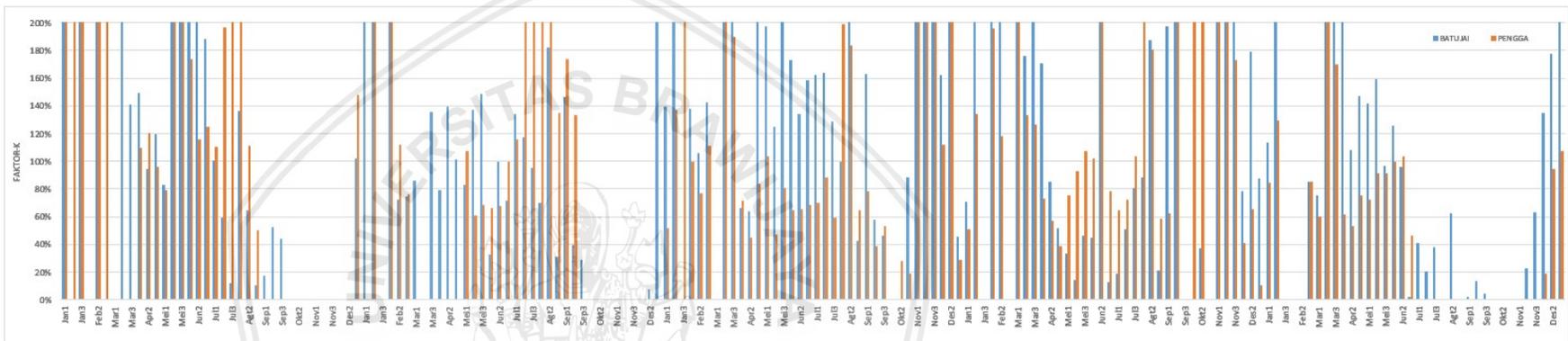
Gambar 5.23. Data operasi: Kebutuhan air domestik dan irigasi waduk Batujai-Pengga



Gambar 5.24. Data operasi: Pasokan air waduk Batujai-Pengga



Gambar 5.25. Data operasi: Limpahan waduk Batujai-Pengga



Gambar 5.26. Data operasi: K irigasi waduk Batujai-Pengga

5.5.2 Alokasi Air dengan Ekualisasi

Bagian ini menyajikan keluaran uji coba MEQAA menggunakan data riil sesuai operasional di waduk Seri Batujai-Pengga. Kedua waduk merupakan bangunan tehilir dari sekitar 90 simpul di sungai Dodokan. Air di waduk Batujai untuk domestik dan irigasi, sedangkan di waduk Pengga untuk irigasi. Kotak hitam di MEQAA diatur pada MENU: *series*, FUNCTION: *real data*, dan TIME STEP: *10 days*. Setelah pemberian kode dan pelacakan skema sungai didapat tabel ME kosong seperti Gambar 5.4 (a) dan (b).

Pada tabel ME diisi data statik mencakup: i) V_{eff} Batujai= 18200000 m³ dan V_{eff} Pengga=21100000 m³, ii) awal operasi pada Jan1 2014 dengan V_{beg} Batujai= 10941670 m³ dan V_{beg} Pengga= 19240000 m³. Data series 2014-2018 selama 5 tahun (Lampiran 13), mencakup: i) aliran masuk, ii) kebutuhan air domestik 100 l/dt di waduk Batujai, dan ii) kebutuhan air irigasi. Masukan lainnya berupa bobot kehilangan air di waduk (RL) yaitu di Batujai 0.33% dan Pengga 0.15% dari V_{beg} . Sedangkan kehilangan air di ruas antar waduk diasumsikan nol (CL=0). Contoh *sheets* INPUT data masukan pada gambar berikut.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	MEQAA DATA INPUT												
2	LOCAL INFLOW (QL)				1	2	3	4	5	6	7	8	9
					Jan1	Jan2	Jan3	Feb1	Feb2	Feb3	Mar1	Mar2	Mar3
3	1	BD BATUJAI			18818	1899	1337	836	693	396	8871	2621	2170
4	1	DM BATUJAI											
5	2	BD PENGGA			0	3032	4484	2755	4890	4314	1342	0	759
6													
7	DEMAND (QD)												
8	1	BD BATUJAI			697	0	378	0	6	0	0	201	1313
9	1	DM BATUJAI			100	100	100	100	100	100	100	100	100
10	2	BD PENGGA			164	74	873	0	212	120	52	1233	3596
11													
12	VOLUME		V_{eff}	V_{beg}									
13	1	BD BATUJAI	18200000	10941670									
14	1	DM BATUJAI											
15	2	BD PENGGA	21100000	19240000									
16													
17	RESERVOIR LOSS COEF		RL										
18	1	BD Batujai	0.0033										
19	1	DM Batujai											
20	2	BD Pengga	0.0015										
21													
22	CHANNEL LOSS COEF		CL										
23	1	BD BATUJAI											
24	1	DM BATUJAI											
25	2	BD PENGGA											

Gambar 5.27. Contoh data waduk Batujai-Pengga pada periode 1-9

Perhitungan menggunakan tabel ME dengan mengambil contoh pada periode 180. Ekualisasi alokasi air irigasi dilakukan setelah memenuhi kebutuhan air domestik di waduk Batujai sebesar 100 l/dt (K=100%). Pada gambar-gambar berikut mencakup: i) contoh tabel ME (Gambar 5.28), ii) keluaran satu periode (Gambar 5.29) dan iii) rekapitulasi keluaran antar periode (Gambar 5.30 dan 5.31).

	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL												
1		Master Equation Table for S DODOKAN																																				
2									CLASS OF K-FACTOR STANDARD																													
3		Trajectory=1								K1	100-80%				K4	40-20%																						
4		Junction=0								K2	80-60%				E	20-0%																						
5		Node=3								K3	60-40%				Closed/Zero dem.																							
6		Reservoir=2																																				
7		180	Time_31129s			Sum_QL_1750 l/s			Sum_Veff_39300000 m3			Sum_Vbeg_9787834 m3			Sum_Vend_9053027 m3			Sum_QD_2464 l/s			Sum_QR_2463 l/s																	
8	No	NODE	Veff	Vbeg	Vloss	Vcal	Vend	Vstock	QL	QA	QD	K_draft	QR	QS	QE	K	Noneg	C	Stor_key	DR_key	C_draft	WB	C_max	KC_key	K_key	DAR												
9	1	BD Batujai	18200000	3219675	10578	4709459	2673089	2354730	1737	1737	667	100%	667	1690	116	100%	1.00	114%	1.00	1.00	114%	1.00	200%	1.00	1.00	12%												
10	1	DM Batujai								1690	100	100%	100	1590	116	100%	1.00	FALSE	1.00	1.00	114%	1.00	114%	1.00	1.00	FALSE												
11	2	BD Pengga	21100000	6568158	9630	7943794	6379938	5596437	13	1603	1697	100%	1696	114	114	100%	1.00	114%	1.00	1.00	114%	1.00	142%	1.00	1.00	22%												

Gambar 5.28. Tabel ME waduk Batujai-Pengga untuk perhitungan pada periode 180 di *sheets* MACHINE

		Case_180	Sum_QL_1750 l/s				Sum_Vbeg_9787834 m3			Sum_QD_2464 l/s			DAR_19%	
		It_80587099	Sum_Veff_39300000 m3				Sum_Vend_9053027 m3			Sum_QR_2463 l/s			RDR_100%	
No	NODE	Veff	Vbeg	Vloss	Vend	QL	QA	QD	QR	QS	QE	K	Class_K	
BD Batujai	1	BD Batujai	18200000	3219675	10578	2673089	1737	1737	667	667	1690	116	100%	K1
DM Batujai	1	DM Batujai						1690	100	100	1590	116	100%	K1
BD Pengga	2	BD Pengga	21100000	6568158	9630	6379938	13	1603	1697	1696	114	114	100%	K1

Gambar 5.29. Keluaran MEQAA waduk Batujai-Pengga pada periode 180

SUMMARY RESULT		Sum_QR_491215 l/s											
No	NODE	Period	Case_1	Case_2	Case_3	Case_4	Case_5	Case_6	Case_7	Case_8	Case_9		
1	BD Batujai 18200000	Vbeg	10941670	18200000	18200000	18200000	18200000	18200000	18200000	18200000	18200000		
		Vend	18200000	18200000	18200000	18200000	18200000	18200000	18200000	18200000	17140760		
		QA	18818	1899	1337	836	693	396	8871	2621	2170		
		QD	697	0	378	0	6	0	0	201	1313		
		QR	697	0	378	0	6	0	0	201	1313		
		QS	9678	1830	896	767	618	327	8802	2351	1909		
		QE	970	124	96	71	63	49	472	160	137		
		K	100%	FALSE	100%	FALSE	100%	FALSE	FALSE	100%	100%		
		Class_K	K1		K1		K1		K1		K1		
		1	DM Batujai	QA	9678	1830	896	767	618	327	8802	2351	1909
QD	100			100	100	100	100	100	100	100	100		
QR	100			100	100	100	100	100	100	100	100		
QS	9578			1730	796	667	518	227	8702	2251	1809		
QE	970			124	96	71	63	49	472	160	137		
K	100%			100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%		
2	BD Pengga 21100000			Vbeg	19240000	21100000	21100000	21100000	21100000	21100000	21100000	21100000	21100000
				Vend	21100000	21100000	21100000	21100000	21100000	21100000	21100000	21100000	19939500
		QA	9578	4761	5280	3422	5407	4541	10044	2251	2568		
		QD	164	74	873	0	212	120	52	1233	3596		
		QR	164	74	873	0	212	120	52	1233	3595		
		QS	7229	4652	4375	3386	5159	4385	9956	982	162		
		QE	512	272	297	205	304	260	536	146	162		
		K	100%	100%	100%	FALSE	100%	100%	100%	100%	100%		
Class_K	K1	K1	K1		K1	K1	K1	K1	K1				
Sum_QR			961	174	1352	100	318	220	152	1534	5008		

RESERVOIR OPERATION PERFORMANCE FOR 180 PERIOD				
No	NODE	Reliab	Resil	Vulner
1	BD Batujai	1.0000	1.0000	0.0000
2	BD Pengga	1.0000	1.0000	0.0000

Gambar 5.30. Keluaran MEQAA waduk Batujai-Pengga pada periode 1-9

SUMMARY RESULT

No	NODE	Period	Case_172	Case_173	Case_174	Case_175	Case_176	Case_177	Case_178	Case_179	Case_180
1	BD Batujai 18200000	Vbeg	3797201	2934954	2539878	1203315	76913	1361838	517555	2745419	3219675
		Vend	2934954	2539878	1203315	76913	1361838	517555	2745419	3219675	2673089
		QA	0	0	0	345	4212	979	6236	4066	1737
		QD	1534	575	1973	2876	4509	3233	1732	1420	667
		QR	850	312	1065	1498	2385	1685	1628	1420	667
		QS	134	134	332	146	340	178	2027	2086	1690
		QE	29	29	29	46	239	78	341	232	116
		K	55%	54%	54%	52%	53%	52%	94%	100%	100%
1	DM Batujai	Class_K	K3	K3	K3	K3	K3	K3	K1	K1	K1
		QA	134	134	332	146	340	178	2027	2086	1690
		QD	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		QR	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		QS	34	34	232	46	240	78	1927	1986	1590
		QE	29	29	29	46	239	78	341	232	116
		K	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
		2	BD Pengga 21100000	Vbeg	6279471	4627294	3237178	2960634	3000130	3324646	2630555
Vend	4627294			3237178	2960634	3000130	3324646	2630555	5553876	6568158	6379938
QA	34			34	232	188	1609	1189	5963	3281	1603
QD	3496			3004	893	109	1322	2206	2414	1900	1697
QR	1900			1600	473	94	1114	1822	2244	1900	1696
QS	35			35	45	43	114	93	332	197	114
QE	35			35	45	43	114	93	332	197	114
K	55%			54%	54%	87%	85%	83%	94%	100%	100%
Class_K	K3			K3	K3	K1	K1	K1	K1	K1	K1
Sum_QR	2850			2012	1638	1692	3599	3606	3972	3420	2463

Gambar 5.31. Keluaran MEQAA waduk Batujai-Pengga pada periode 172-180

Tinjauan keluaran MEQAA dan komparasinya terhadap kondisi operasional saat ini (existing) sebagai berikut:

a) Tinjauan 1 periode (Gambar 5.29)

Contoh ini berupa tabel ME yang digunakan sebagai tabel perhitungan pada periode terakhir (180) sebagai kelanjutan dari periode sebelumnya (179), yaitu:

- 1) Di waduk Batujai $V_{\text{beg}} = 3219675 \text{ m}^3$, $QR = 667 \text{ l/dt}$, $K = 100\%$, dan $V_{\text{end}} = 2673089 \text{ m}^3$. Pemberian air irigasi ini dilakukan setelah memenuhi seluruh kebutuhan air domestik 100 l/dt ($K = 100\%$). Jatah ekosistem $QE = 116 \text{ l/dt}$ dipenuhi dari $QS = 1590 \text{ l/dt}$ karena limpahan ini sekaligus untuk kontribusi ke waduk Pengga sehingga mencapai $K = 100\%$, setara.
- 2) Di waduk Pengga $V_{\text{beg}} = 6568158 \text{ m}^3$, $QR = 1696 \text{ l/dt}$, $K = 100\%$, dan $V_{\text{end}} = 6379938 \text{ m}^3$. Jatah ekosistem disalurkan melalui $QS = QE = 114 \text{ l/dt}$, efisien.

b) Tinjauan 9 periode awal: periode 1-9 (Gambar 5.30)

Contoh ini berupa tabel rekapitulasi keluaran pada periode 1-9 (Jan1-Mar3), yaitu:

- 1) Di waduk Batujai pada periode 1 yaitu Jan1 (case 1) $V_{\text{beg}} = 10941670 \text{ m}^3$, kemudian pada periode 1-9 dengan $K = 100\%$ ($K1$), merata. Kecuali pada periode 2, 4, 6, dan 7 dengan $K = \text{FALSE}$ karena $QD = 0$. Pada periode 9 dengan $V_{\text{end}} = 17140760 \text{ m}^3$, dengan jatah ekosistem $QE = 137 \text{ l/dt}$ yang dipenuhi dari $QS = 1809 \text{ l/dt}$, karena limpahan ini sekaligus untuk kontribusi ke waduk Pengga sehingga dicapai $K = 100\%$, setara.
- 2) Di waduk Pengga pada periode 1 yaitu Jan1 (case 1) $V_{\text{beg}} = 19240000 \text{ m}^3$, kemudian pada periode 1-9 dengan $K = 100\%$ ($K1$). Kecuali pada periode 4 dengan $K = \text{FALSE}$ karena $QD = 0$. Pada periode 9 dengan $V_{\text{end}} = V_{\text{eff}} = 21100000 \text{ m}^3$ (penuh). Pada periode 1-8 jatah ekosistem di hilir waduk Pengga dengan $QS > QE$, sedangkan pada periode 9 dengan $QS \approx QE$. Jika $QS > QE$, maka dalam kondisi surplus. Jika $QS \approx QE$, maka waduk Pengga dalam kondisi berkontribusi dari waduk Batujai secara efisien.
- 3) Pada periode 1-8 tidak terjadi kontribusi dari waduk Batujai, karena air tersedia di Pengga dalam kondisi surplus.
- 4) Komparasi simpanan waduk (V_{beg}) pada kondisi saat ini dan optimal mengindikasikan peningkatan simpanan dengan deviasi 19%-73% di waduk Batujai dan 1%-12% di waduk Pengga. Pada kondisi operasi saat ini secara riil di lapangan $V_{\text{end}} < V_{\text{eff}}$, namun setelah diekuivalisasi didapat pada periode 2-9 di kedua waduk dengan $V_{\text{beg}} = V_{\text{eff}}$, sedangkan pada periode 9 didapat $V_{\text{end}} = V_{\text{eff}}$. Komparasi V_{beg} pada tabel berikut ini.

Tabel 5.5. Komparasi simpanan waduk Batujai-Pengga pada periode 1-9

Kasus ke	Periode	Batujai (existing)	Batujai (optimal)	Pengga (existing)	Pengga (optimal)
1	Jan 1	10941670	10941670	19240000	19240000
2	Jan 2	11768662	18200000	18900000	21100000
3	Jan 3	12091182	18200000	20030000	21100000
4	Feb 1	11849645	18200000	19460000	21100000
5	Feb 2	11287211	18200000	20520000	21100000
6	Feb 3	10524771	18200000	20920000	21100000
7	Mar 1	15267310	18200000	20985289	21100000
8	Mar 2	14915900	18200000	20655651	21100000
9	Mar 3	15126746	18200000	20009566	21100000

c) Tinjauan 9 periode akhir: periode 172-180 (Gambar 5.31)

Pada contoh ini berupa tabel rekapitulasi keluaran untuk periode 172-180, didapat:

- 1) Di waduk Batujai pada periode 172 $V_{\text{beg}} = 4623976 \text{ m}^3$, kemudian pada periode 172-177 dengan K menurun bertahap 55%-52% (K3) dan gap antar waktu $\leq 2\%$. Pada periode 178-180 terjadi peningkatan aliran masuk sehingga mengakibatkan peningkatan K dari 94%-100% (K1). Pada periode 180 $V_{\text{end}} = 2673089 \text{ m}^3$.
- 2) Di waduk Pengga pada periode 172 $V_{\text{beg}} = 6279471 \text{ m}^3$, kemudian pada periode 172-174 dicapai K menurun bertahap 55%-54% (K3) dan gap antar waktu $\leq 2\%$. Pada periode 175-180 terjadi peningkatan aliran masuk sehingga mengakibatkan peningkatan K dari 87%-100% (K1). Pada periode 180 $V_{\text{end}} = 6379938 \text{ m}^3$.
- 3) Jatah ekosistem/pemeliharaan sungai di hilir waduk Batujai dengan $QS=QE$, efisien.
- 4) Terjadi kontribusi dari waduk Batujai ke Pengga yaitu pada periode 174, 178-180 sehingga menghasilkan K yang sama antar waduk maupun antar waktu yaitu 55%-54% (K3).
- 5) Komparasi simpanan waduk (V_{beg}) pada kondisi saat ini dan optimal mengindikasikan fluktuasi simpanan, yaitu: i) di waduk Batujai periode 172-174 meningkat 32%-65% dan periode 175-180 menurun 46%-99% dan ii) di waduk Pengga periode 172 meningkat 4% dan periode 173-180 menurun 23%-7%. Komparasi V_{beg} pada tabel berikut ini.
- 6) Penurunan simpanan dapat terjadi karena MEQAA melakukan penyesuaian/pengaturan simpanan dan lepasan. Peninjauan kembali dilakukan antar periode secara bertahap menuju ke periode sebelumnya (backward) sehingga K dapat setara/menurun secara bertahap dalam gap toleransi. Peninjauan kembali ke periode sebelumnya membutuhkan perulangan yang berkali-kali sehingga mengakibatkan durasi perhitungan menjadi lebih lama.

Tabel 5.6. Komparasi simpanan waduk Batujai-Pengga pada periode 172-180

Kasus ke	Periode	Batujai (existing)	Batujai (optimal)	Pengga (existing)	Pengga (optimal)
172	Okt 1	2301450	3797201	6013000	6279471
173	Okt 2	2127458	2934954	5985000	4627294
174	Okt 3	1924988	2539878	5953636	3237178
175	Nov 1	2221286	1203315	6070000	2960634
176	Nov 2	5858407	76913	7247000	3000130
177	Nov 3	5817389	1361838	8200000	3324646
178	Des 1	9437514	517555	11679000	2630555
179	Des 2	10926371	2745419	12397000	5553876
180	Des 3	10382515	3219675	10841818	6568158

d) Tinjauan seluruh periode: periode 1-180 (Lampiran 16)

Dari simulasi 180 periode dengan iterasi 80587099 (durasi 31129 dt) dengan keluaran pada Lampiran 16 dapat dirangkum rentang keluaran (Tabel 5.7) dan ilustrasi grafik (Gambar 5.32 sampai 5.35) yang diikuti dengan ulasan.

Tabel 5.7. Rentang keluaran MEQAA di waduk Batujai-Pengga

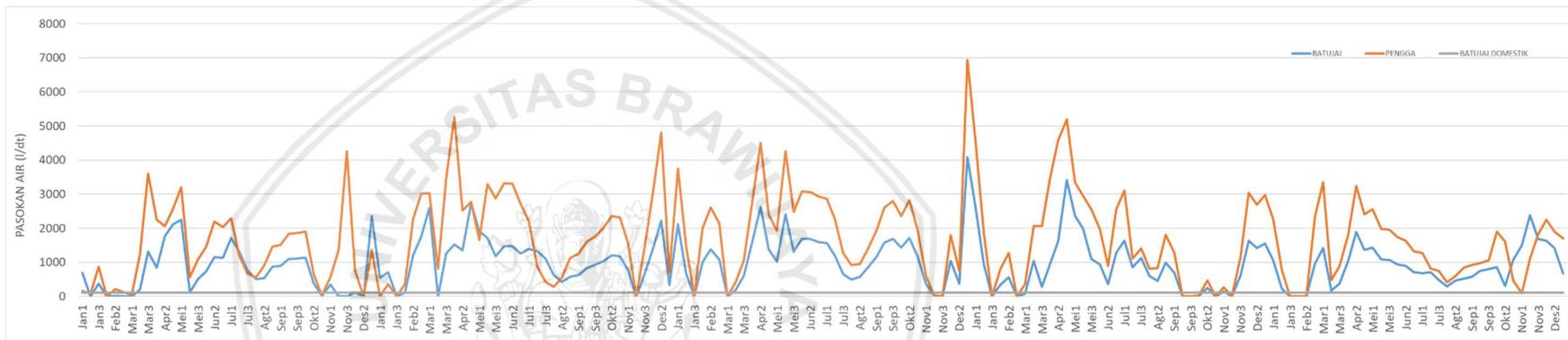
Waduk	Simpanan (m ³)	Pasokan domestik (l/dt)	Pasokan irigasi (l/dt)	Limpahan/kontribusi (l/dt)	K
Batujai	18200000-38665	100	4081-0	25875-29	100%-52%
Pengga	21100000-2630555	-	6937-0	25840-35	100%-54%
Gambar	5.32	5.33	5.33	5.34	5.35

- 1) Di waduk Batujai pada periode 1 $V_{\text{beg}} = 10941670 \text{ m}^3$, dengan capaian $K1 = 120$ kali, $K2 = 33$ kali, $K3 = 10$ kali, dan selebihnya $K = \text{FALSE}$ karena $QD = 0$. Pada periode 1-49 dengan $K = 100\%$ ($K1$), kemudian pada periode 50 dengan $K = 82\%$ ($K1$) yang menurun perlahan sampai periode 71 dengan $K = 79\%$ ($K2$). Penurunan sebesar 18% (lebih dari gap toleransi 2%) pada periode 49 ke 50 namun masih pada klas K yang sama ($K1$). Terjadinya penurunan sebesar ini karena MEQAA mengharuskan pengaturan simpanan/lepasan antar periode 50-71 (22 periode), dengan $K = 81\%$ -74%. Kemudian pada periode 72 terjadi peningkatan pasokan air dengan $K = 100\%$ sampai periode 117. Kondisi seperti periode 50 kembali terulang pada periode 118-177 (selama 60 periode), dengan $K = 93\%$ -52% (dari $K1$ ke $K3$). Selama durasi penurunan K tersebut tidak terjadi simpanan $V_{\text{end}} = 0$ (gagal). Pada periode 180 $V_{\text{end}} = 2673089 \text{ m}^3$. Simpanan minimum mencapai 3865 m^3 (periode 71), kritis.

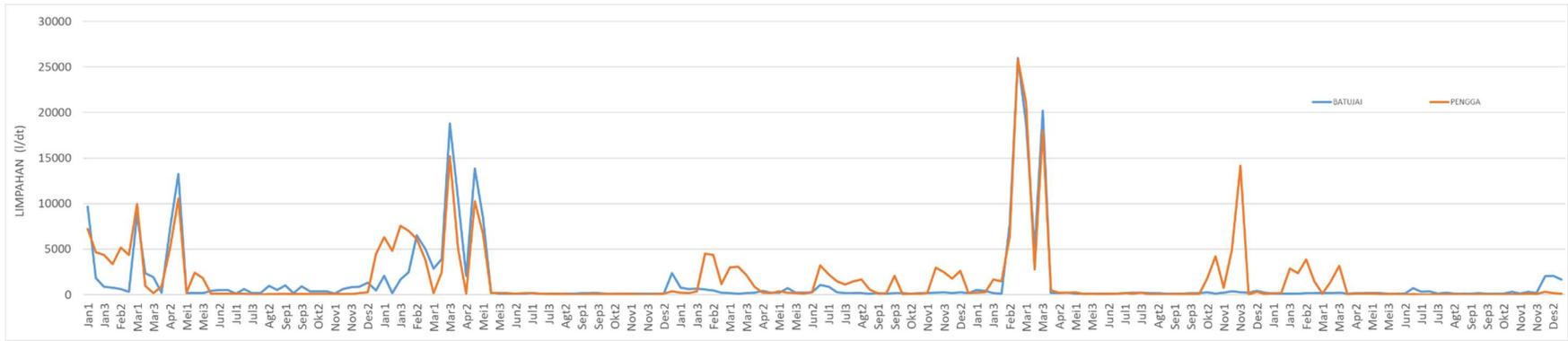
- 2) Di waduk Pengga pada periode 1 $V_{\text{beg}} = 19240000 \text{ m}^3$, dengan capaian $K1 = 146$ kali, $K2 = 15$ kali, $K3 = 6$ kali, dan selebihnya $K = \text{FALSE}$ karena $QD = 0$. Pada periode 1-49 dengan $K = 100\%$ ($K1$), kemudian pada periode 50 dengan $K = 94\%$ ($K1$) yang menurun perlahan sampai periode 63 dengan $K = 91\%$ ($K1$). Penurunan sebesar 3% (lebih dari gap toleransi 2%) pada periode 49 ke 50 namun masih pada klas K yang sama ($K1$). Terjadinya penurunan sebesar ini karena MEQAA mengharuskan pengaturan simpanan/lepasan antar periode 50-63 (14 periode), dengan K 94%-91%. Kemudian pada periode 64 terjadi peningkatan pasokan air dengan K 93% sampai periode 69 dengan K 100%, selanjutnya periode 69-153 K rata 100%. Kondisi seperti periode 50 kembali terulang pada periode 154-174 (selama 21 periode), dengan K 74%-54% (dari $K2$ ke $K3$). Selama durasi penurunan K tersebut tidak terjadi simpanan $V_{\text{end}} = 0$ (gagal), dan pada periode 180 $V_{\text{end}} = 6379938 \text{ m}^3$. Selain itu, didapat operasional turbin pada 1000-3000 l/dt sebanyak 115 kali. Simpanan minimum mencapai 2630555 m^3 (periode 177) yang dapat dimanfaatkan untuk selain irigasi, misalnya air domestik untuk kawasan Lombok bagian Selatan ± 120 l/dt.
- 3) Jika air tersedia tidak memenuhi kebutuhan air (seperti periode 177), maka jatah ekosistem/pemeliharaan sungai di hilir waduk Batujai maupun waduk Pengga sebesar $Q_S = Q_E$, efisien. Jika terjadi kontribusi dari waduk Batujai ke Pengga (seperti periode 9), maka di Batujai mengharuskan $Q_S > Q_E$, sedangkan di Pengga $Q_S = Q_E$, efisien. Jika di kedua waduk terjadi surplus (seperti periode 1), maka $Q_S > Q_E$.
- 4) Terjadi kontribusi dari waduk Batujai ke Pengga sebanyak 43 kali (24%) yaitu pada periode 9, 16-18, 20, 23-25, 27-30, 32-34, 43, 47, 72-75, 83, 86, 88, 97, 100, 109, 110, 154, 155, 162-164, 166, 168, 170, 171, 174 dan 178-180 sehingga menghasilkan K yang sama antar hulu-hilir maupun antar waktu yaitu 100%-54% ($K1$ - $K3$).
- 5) Berdasarkan evaluasi Lampiran 16 bahwa: i) kurva simpanan (Gambar 5.32), kurva pasokan air (Gambar 5.33), dan kurva K (Gambar 5.35) memiliki kecenderungan/tren yang selaras baik di setiap waduk maupun antar waduk, ii) simpanan air bergerak dari V_{eff} sampai V_{end} dan segera kembali lagi menuju V_{eff} , dengan $V_{\text{end}} > 0$ (tidak mengalami kering/waduk tidak kosong), iii) pasokan air domestik dapat dipenuhi sebesar kebutuhan 100 l/dt (100%) merata selama 180 periode, iv) pasokan air irigasi secara proporsional sesuai kebutuhannya berdasarkan capaian K , v) limpahan/kontribusi ke hilir selalu mencukupi jatah ekosistem dan kriteria efisiensi (Gambar 5.34), dan vi) ekualisasi dapat meratakan K di kedua waduk maupun dari waktu ke waktu (Gambar 5.35).



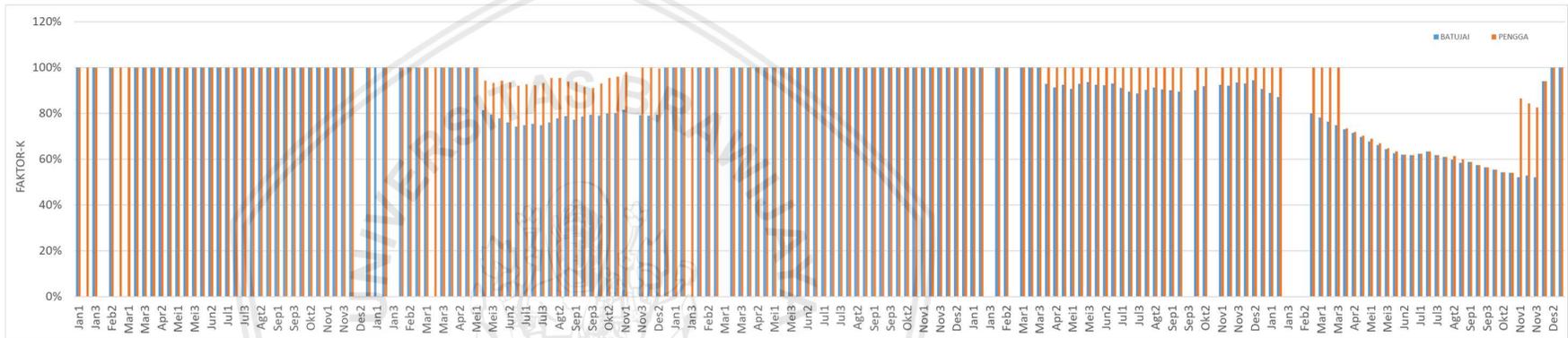
Gambar 5.32. Keluaran MEQAA: Simpanan waduk Batujai-Pengga



Gambar 5.33. Keluaran MEQAA: Pasokan air waduk Batujai-Pengga



Gambar 5.34. Keluaran MEQAA: Limpaan/kontribusi waduk Batujai-Pengga



Gambar 5.35. Keluaran MEQAA: K irigasi waduk Batujai-Pengga

e) Tinjauan komparasi keluaran dengan ekualisasi dan kondisi operasional saat ini

Karena MEQAA menerapkan: i) kriteria keberlanjutan-efisiensi-keadilan (integrated water resources management/IWRM) dan ii) kebijakan penurunan K secara bertahap/tidak lebih dari 1 level klas K, maka komparasi diuraikan sebagai berikut:

- 1) MEQAA menghasilkan indikator kinerja keberlanjutan operasi waduk mencakup keandalan =1, ketahanan=1, dan kerentanan=0 (Lampiran 16). Sebaliknya, berdasarkan kurva simpanan operasional saat ini (Gambar 5.21) bahwa: i) bentuk kurva tidak sejajar, dan ii) kurva sering mencapai nol secara tiba-tiba dalam 3-4 periode, bertahan nol selama 6-10 periode dan kembali naik dalam 3-4 periode (cepat turun, lama kritis dan lambat pulih), dan iii) indikator kinerja operasi dengan keandalan <1, ketahanan <1 dan kerentanan >0 (Tabel 5.8) sehingga tidak aman untuk keberlanjutan operasional.

Tabel 5.8. Indikator kinerja operasi waduk Batujai-Pengga saat ini

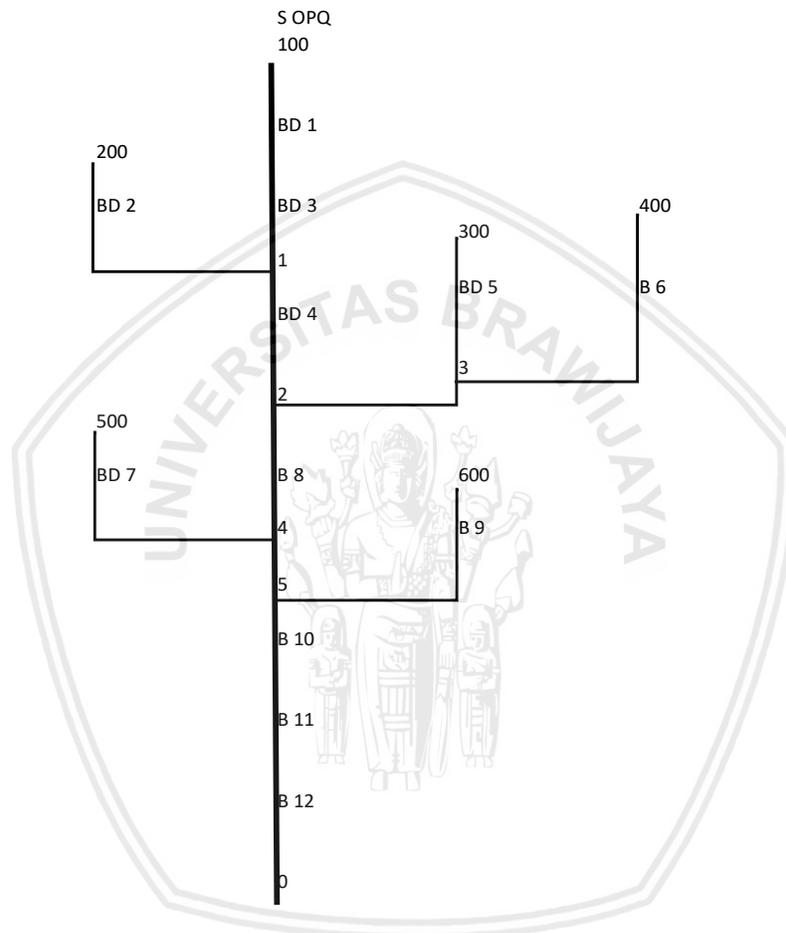
Waduk	Keandalan	Ketahanan	Kerentanan
Batujai	0.7168	0.9995	0.0465
Pengga	0.8902	0.9969	0.1176

- 2) Contoh buruknya kinerja operasi waduk dapat diketahui dengan meninjau periode 163 (Jul1 2018). Pada periode ini MEQAA menghasilkan kontribusi dari waduk Batujai ke Pengga dan V_{end} di Batujai dengan simpanan 8697153 m³ (K=62%, K2) dan Pengga 11601653 m³ (K=62%, K2). Namun, realita Jul1 2018 terukur simpanan di Batujai sekitar 1300000 m³ dan Pengga 0, karena tidak diselaraskan sejak awal operasi.
- 3) Komparasi kurva simpanan dengan MEQAA (Gambar 5.32) dan operasi saat ini (Gambar 5.21) terjadi perbedaan signifikan bentuk, yaitu gradien dan capaian nilai maksimum-minimum. Perbedaan lainnya pada Gambar 5.32 sampai 5.35 dari MEQAA yang dikomparasi dengan Gambar 5.21 sampai 5.26 dari operasi. Pada kondisi operasional saat ini dan dengan ekualisasi didapat rerata deviasi simpanan tiap periode yang berbeda signifikan, yaitu di waduk Batujai 142 % dan di Pengga 131%.

Berdasarkan komparasi diindikasikan bahwa operasional saat ini: i) kurang memanfaatkan dan menyeimbangkan air tersedia atau tanpa aturan/kebijakan, ii) tidak sesuai kriteria IWRM, iii) turbin tidak mengikuti irigasi, dan iv) sangat beresiko terhadap keberlanjutannya. Selain itu, pada kondisi dengan/tanpa ekualisasi secara umum kesehatan waduk Pengga lebih baik daripada Batujai, karena V_{eff} yang lebih besar dan kontribusi dari Batujai pada beberapa periode.

5.6 Uji Coba 5: Waduk Seri-Paralel di Sungai Sintetik OPQ

Pada bagian sebelumnya dilakukan beberapa uji coba tanpa memperhitungkan kehilangan air di ruas sungai antar simpul (CL). Sedangkan pada uji coba ini akan diberlakukan bobot CL yang dituangkan secara acak di *sheets* INPUT. Uji coba menggunakan skema sungai sintetik (dinamakan sungai OPQ) dengan multiwaduk (Gambar 5. 36). Dari skema ini MEQAA akan menelusuri tiap simpul dan menyusun rumus perhitungan alokasi air dalam ME.



Gambar 5.36. Skema sungai sintetik dengan simpul waduk seri-paralel

CL secara acak dipilih oleh MEQAA, yaitu terjadi di ruas menuju BD 3 (9.80%), BD 5 (5.30%), B 9 (6.10%), B 10 (8.00%), dan B 11 (11.30%) sedangkan di ruas lainnya tidak terjadi (CL = 0). Keluaran disajikan pada Lampiran 18 (tanpa CL) dan Lampiran 17 (dengan CL). Proses perhitungan untuk 24 periode: i) tanpa CL dengan durasi 18597 dt dan iterasi 11462709 dan ii) dengan CL dengan durasi 11206 dt dan iterasi 11429753. Perbedaan keduanya tidak signifikan. Pada Gambar 5.37 dicontohkan keluaran pada periode 1.

Case_1		Sum_QL_2086 l/s				Sum_Vbeg_108679970 m3			Sum_QD_26783 l/s			DAR_33%	
It_7828514		Sum_Veff_133000000 m3				Sum_Vend_84541171 m3			Sum_QR_19469 l/s			RDR_73%	
No	NODE	Veff	Vbeg	Vloss	Vend	QL	QA	QD	QR	QS	QE	K	Class_K
1	BD 1	28000000	23435520	328097	17698731	0	0	3342	2884	1289	44	86%	K1
2	BD 3	25000000	19616087	333473	16541037	0	1289	3140	2710	695	104	86%	K1
3	BD 2	21000000	20829897	374938	15465084	0	0	4571	3817	33	33	84%	K1
4	BD 4	16000000	15535306	310706	11686407	0	728	3697	3194	264	62	86%	K1
5	BD 5	32000000	18960686	151685	17084057	509	509	2218	1764	76	76	80%	K1
6	B 6					269	269	145	125	144	13	87%	K1
7	B 8					291	775	270	234	541	39	87%	K1
8	BD 7	11000000	10302474	72117	6065855	0	0	7351	3196	17	17	44%	K3
9	B 9					190	190	462	180	10	10	39%	K4
10	B 10					279	848	331	286	561	42	87%	K1
11	B 11					70	631	579	501	130	32	87%	K1
12	B 12					478	608	677	578	30	30	87%	K1

Case_1		Sum_QL_2086 l/s				Sum_Vbeg_108679970 m3			Sum_QD_26783 l/s			RDR_72%	
It_8257199		Sum_Veff_133000000 m3				Sum_Vend_84205576 m3			Sum_QR_19392 l/s				
No	NODE	Veff	Vbeg	Vloss	Vend	QL	QA	QD	QR	QS	QE	K	Class_K
1	BD 1	28000000	23435520	328097	17574238	0	0	3342	2864	1405	44	86%	K1
2	BD 3	25000000	19616087	333473	16444079	0	1268	3140	2694	764	103	86%	K1
3	BD 2	21000000	20829897	374938	15465084	0	0	4571	3817	33	33	84%	K1
4	BD 4	16000000	15535306	310706	11602942	0	797	3697	3172	419	65	86%	K1
5	BD 5	32000000	18960686	151685	17053377	509	482	2218	1762	75	75	79%	K2
6	B 6					269	269	145	125	144	13	86%	K1
7	B 8					291	929	270	232	697	46	86%	K1
8	BD 7	11000000	10302474	72117	6065855	0	0	7351	3196	17	17	44%	K3
9	B 9					190	178	462	169	9	9	37%	K4
10	B 10					279	922	331	285	637	46	86%	K1
11	B 11					70	627	579	499	128	31	86%	K1
12	B 12					478	606	677	576	30	30	86%	K1

Gambar 5.37. Keluaran pada periode 1: CL =0 (atas) dan CL> 0 (bawah)

Dari contoh keluaran di atas, CL tidak berakibat signifikan terhadap capaian K. Indikasi tersebut adalah: i) penurunan jumlah volume akhir Sum_V_{end} 0.42%, ii) penurunan jumlah pasokan Sum_QR 0.32%, iii) penurunan K di simpul BD 5 yaitu 1% (dari K1 menjadi K2) dan di B 9 yaitu 2% (tetap K4), dan iv) di BD 10 terjadi perbedaan capaian K ± 2%.

Berikut diuraikan keluaran MEQAA selama 24 periode di tiap waduk, yaitu:

a) Tinjauan waduk BD 1

- 1) Lokasi BD 1 terletak paling hulu di sistem sungai yaitu di RR 100 sehingga sangat mempengaruhi alokasi air di sistem.
- 2) BD 1 mempengaruhi/dipengaruhi oleh BD 3 dan BD 4 seperti periode 1-5, 8 dan 10-24 dengan gap K hulu-hilir ≤ 1%. Pada periode 7 dan 9, BD 1 dengan K= 71%, dan 82% tidak berkontribusi ke BD 3, karena di BD 3 didapat K= 92% dan 100% (K hilir > hulu).
- 3) K antar periode di BD 1 memenuhi gap toleransi ≤ 5% seperti periode 1-3, 2-3, 3-4, 5-6, 6-7, 9-10 dan 10-11. Pada periode 4-5 dan 11-12 terjadi peningkatan K karena ketersediaan air periode t+1 lebih besar dari kebutuhan airnya.
- 4) Limpan di BD 1 dipengaruhi oleh ketersediaan dan kebutuhan air di BD 3 dan BD 4. Pada periode 1-5, 13-16, 18 dan 24 terjadi kontribusi sehingga QS>QE agar gap K hulu-hilir ≤ 1%. Berbeda pada periode 17, 19 dan 20 terjadi surplus karena tampungan BD 1 sudah penuh. Selain periode di atas, QS di BD 1 hanya untuk ekosistem (QS = QE).

b) Tinjauan waduk BD 3

- 1) Lokasi BD 3 terletak di RR 100, tepatnya di hilir BD 1 dan di hulu BD 4 sehingga alokasi air BD 3 mempengaruhi alokasi air BD 4 sampai ke hilir.
- 2) BD 3 mempengaruhi/dipengaruhi oleh BD 4. Pada 22 periode selain periode 4 dan 5 terdapat gap K hulu-hilir $\leq 1\%$. periode 4 dan 5 BD 3 dengan K= 76%, dan 80% tidak berkontribusi ke BD 4, karena di BD 4 didapat K= 87% dan 82% (K hilir > hulu).
- 3) K antar periode di BD 3 telah memenuhi gap toleransi $\leq 5\%$ seperti periode 1-3, 3-4, dan 7-8. Berbeda dengan periode 4-5, 5-7 dan 8-9 terjadi peningkatan K karena ketersediaan air periode t+1 lebih besar dari kebutuhan airnya. Selain periode di atas, gap faktor K antar periode di BD 3 = 0.
- 4) Limpahan di BD 3 dipengaruhi ketersediaan dan kebutuhan air di BD 4. Pada periode 1, 7-11, 13-16, 20 dan 22-24 terjadi QS>QE agar gap K hulu-hilir $\leq 1\%$ sedangkan pada periode 12, 18, 19, dan 21 terjadi QS>QE karena tampungan BD 3 sudah penuh. Selain periode di atas, QS di BD 3 hanya untuk memenuhi kebutuhan ekosistem (QS = QE).

c) Tinjauan BD 2

- 1) Lokasi BD 2 terletak di cabang sungai RR 200. BD 2 berada di hulu BD 4 sehingga mempengaruhi alokasi air dari BD 4 sampai ke hilir.
- 2) BD 2 mempengaruhi/dipengaruhi oleh BD 4. Pada periode 1-5, 8 dan 10-24 terdapat gap K hulu-hilir $\leq 1\%$. Pada periode 7 dan 9, BD 2 dengan K= 71%, dan 82% tidak berkontribusi ke BD 4, karena di BD 4 didapat K= 92% dan 100% (K hilir > hulu).
- 3) K antar periode di BD 2 telah memenuhi gap toleransi $\leq 5\%$ seperti periode 1-3, 2-3, 3-4, 5-6, 6-7, 9-10 dan 10-11. Berbeda dengan periode 4-5 dan 11-12 terjadi peningkatan K karena ketersediaan air periode t+1 lebih besar dari kebutuhan airnya. Selain periode di atas, gap K antar periode di BD 2 = 0.
- 4) Limpahan air BD 2 dipengaruhi oleh ketersediaan dan kebutuhan air di BD 4. Pada periode 1-5, 13-16, 18 dan 24 terjadi QS>QE agar gap K hulu-hilir $\leq 1\%$ sedangkan pada periode 17, 19 dan 20 terjadi QS>QE karena tampungan BD 2 sudah penuh. Selain periode di atas, QS di BD 2 hanya untuk memenuhi kebutuhan ekosistem (QS = QE).

d) Tinjauan waduk BD 4

- 1) Lokasi BD 4 terletak di hilir BD 2, BD 3 dan di hulu B 8 sehingga mempengaruhi alokasi air di B 8 sampai ke hilir.

- 2) BD 4 mempengaruhi/dipengaruhi oleh B 8. Pada periode 1 dan 2 terdapat gap K hulu-hilir $\leq 1\%$ dengan B 8. Pada periode 3-8, BD 4 dengan K= 81%, 87%, 82%, 95%, 92% dan 88% tidak berkontribusi ke B 8, karena di BD 8 didapat K= 100% (K hilir > hulu).
- 3) K antar periode di BD 4 telah memenuhi gap toleransi $\leq 5\%$ seperti periode 1-2, 2-3, 4-5, 6-7 dan 7-8. Berbeda dengan periode 3-4, 5-6 dan 8-9 terjadi peningkatan K karena ketersediaan air periode t+1 lebih besar dari kebutuhan airnya. Selain periode di atas, gap faktor K antar periode di BD 4 rata (gap K antar periode = 0).
- 4) Limpahan air BD 4 dipengaruhi oleh ketersediaan dan kebutuhan air di B 8. Pada periode 1-5, 13-16, 18 dan 24 terjadi QS>QE agar gap K hulu-hilir $\leq 1\%$ sedangkan pada periode 17, 19 dan 20 terjadi QS>QE karena tampungan BD 4 sudah penuh. Selain periode di atas, QS di BD 4 hanya untuk memenuhi kebutuhan ekosistem (QS = QE).

e) Tinjauan BD 5

- 1) Lokasi BD 5 terletak di cabang sungai RR 300, di hulu B 8 sehingga mempengaruhi alokasi air di B 8 sampai ke hilir.
- 2) BD 5 mempengaruhi/dipengaruhi oleh B 8. Pada periode 1-2 terdapat BD 5 dengan K= 79%, 75%, 73%, 69%, 66%, 62%, 59%, 55%, 52% dan 47% tidak berkontribusi ke B 8, karena di BD 8 didapat K= 86%, 83% dan 100% (K hilir > hulu).
- 3) K antar periode di BD 5 memenuhi gap toleransi $\leq 5\%$ seperti periode 1-2 sampai 10-11, dan periode 19-20 sampai 23-24. Berbeda dengan periode 11-12, terjadi peningkatan K karena ketersediaan air periode t+1 lebih besar dari kebutuhan airnya. Selain periode di atas, capaian K antar periode di BD 5 telah setara.
- 4) Limpahan di BD 5 pada semua periode untuk memenuhi kebutuhan ekosistem (QS = QE).

f) Tinjauan waduk BD 7

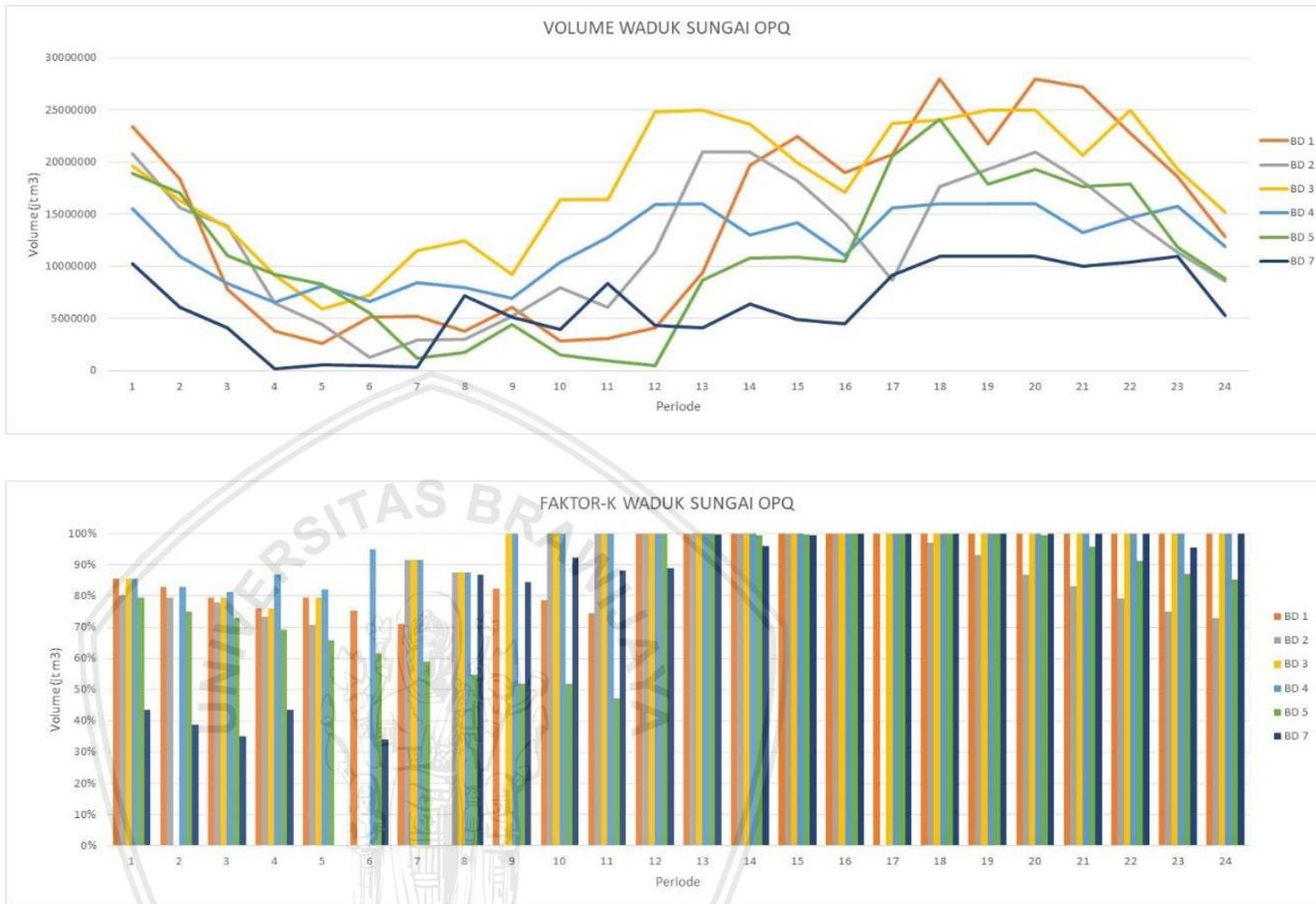
- 1) Lokasi BD 7 terletak di cabang sungai RR 500, di hulu B 10 sehingga mempengaruhi alokasi air di B 10 sampai ke hilir.
- 2) Pada semua periode BD 7 tidak terjadi kontribusi ke B 10 karena K hilir \geq hulu.
- 3) K antar periode di BD 7 telah memenuhi gap toleransi $\leq 5\%$ seperti gap periode 1-2, 2-3, 8-9, 10-11, 13-14 dan 22-23. Berbeda dengan periode 3-4, 6-8, 9-10, 11-12, 12-13, 14-15 dan 23-24 terjadi peningkatan K karena ketersediaan air periode t+1 lebih besar. Selain periode di atas, gap K antar periode di BD 7 telah setara. Limpahan di BD 7 pada semua periode untuk memenuhi kebutuhan ekosistem (QS = QE).

Dari keluaran MEQAA selama 24 periode di tiap waduk, bahwa:

- 1) Lokasi simpul sangat berpengaruh terhadap simpul-simpul lainnya.
- 2) Limpahan dipengaruhi oleh ketersediaan dan kebutuhan air termasuk memenuhi kebutuhan ekosistem ($Q_S = Q_E$).
- 3) Capaian K dapat merata antar hulu-hilir, dengan K antar waktu dapat merata/menurun perlahan dalam klas K yang sama.
- 4) Tidak terjadi $V_{\text{end}}=0$.
- 5) Rekapitulasi hasil optimasi dalam bentuk grafik volume dan K pada Gambar 5.38.

Selanjutnya, jika meninjau keluaran tiap periode pada Lampiran 18 (tanpa CL) dan Lampiran 17 (dengan CL), maka secara umum bahwa: i) jumlah pasokan Sum_QR relatif sama yaitu dari 578026 l/dt menjadi 574461 l/dt (menurun 0.01%), ii) capaian K pada tiap periode relatif sama (menurun $\leq 2\%$) atau dengan angka korelasi K adalah 0.9906-1. Kemiripan capaian K dapat karena di sistem terdapat multiwaduk. Keberadaan waduk telah memberikan kompensasi atas kehilangan air di ruas. Selain itu, didapat kebutuhan ekosistem terpenuhi secara efisien ($Q_S \approx Q_E$) ketika air tersedia tidak memenuhi kebutuhan air ($K < 100\%$).

Dalam hal evaluasi kinerja operasi waduk, MEQAA mampu melakukan ekualisasi antar waktu secara berulang (looping) sedemikian sehingga didapat indikator keandalan (reliability) = 1, ketahanan (resiliency) = 1 dan kerentanan (vulnerability) = 0. Pada status ini K yang dicapai akan merata/menurun perlahan (dalam gap toleransi sehingga klas K sama) secara temporal dari periode ke periode. Makna indikator tersebut adalah di waduk tidak terjadi tampungan (storage) yang mencapai isi mati (dead storage) dan lepasan ke irigasi dengan capaian $K > 20\%$. Hasil evaluasi ini mengindikasikan bahwa jika operasional waduk mengikuti aturan tampungan dan lepasan sebagaimana keluaran model, maka operasional ke depan relatif dapat berlangsung secara berkelanjutan.



Gambar 5.38. Hasil optimasi: volume waduk dan faktor-K

5.7 Uji Coba 6: Intervensi Perlakuan di Simpul Tertentu

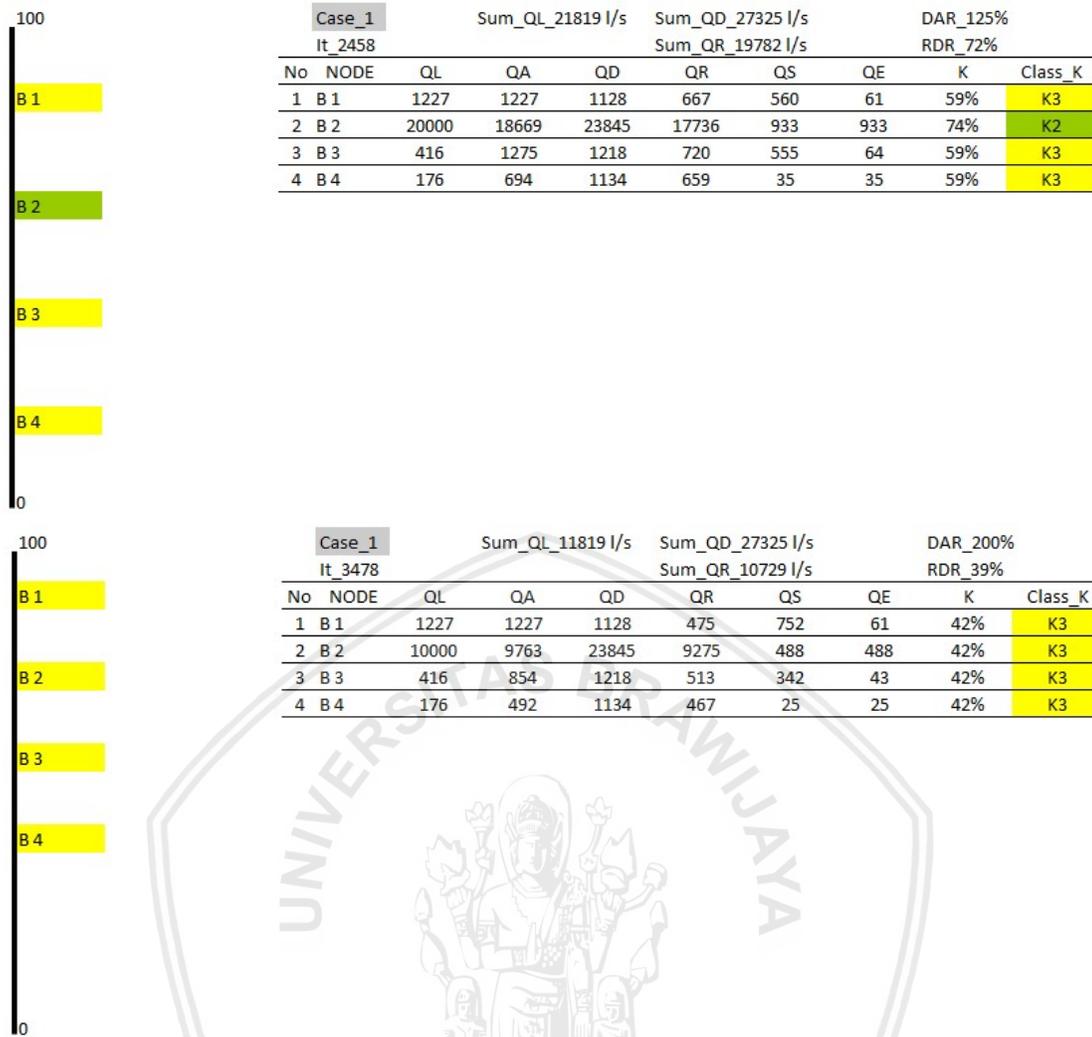
Uji coba untuk intervensi karena: i) ego pengguna air (ego intervention) dan ii) adanya kegiatan fisik jaringan (physic intervention). Demo menggunakan skema sungai sintetik (sungai ABC) pada gambar berikut. Setelah MEQAA melacak skema sungai dan menyusun tabel ME, muncul *Message Box* dengan *Any intervention?*. Jika *No*, maka ekualisasi biasa. Jika *Yes*, maka memilih simpul tertentu menggunakan *format painter* tersedia. Jika *Yes*, maka muncul *MsgBox* dengan *Ego intervention?*. Jika *No*, maka muncul *MsgBox* dengan *Physic intervention?*. Jika *Yes*, maka mengisi durasi waktu buka pintu (hari) di *cells* tersedia.

No	NODE	QL	QA	QD	K_draft	QR	QS	QE	K	Noneg	WB	DAR	DR_key
1	B 1		0			0	0	0	FALSE	1.00	1.00		1.00
2	B 2		0			0	0	0	FALSE	1.00	1.00		1.00
3	B 3		0			0	0	0	FALSE	1.00	1.00		1.00
4	B 4		0			0	0	0	FALSE	1.00	1.00		1.00

Gambar 5.39. Penggunaan *format painter* di simpul intervensi

Pada contoh pertama dengan *ego intervention* di bendung B 2 sedangkan pada contoh yang kedua dengan *physic intervention* di BD 2. Karena konfigurasi simpul dari kedua contoh terdapat perbedaan, maka rumusan matematika dalam tabel ME akan berbeda. Pada contoh pertama MEQAA secara otomatis memunculkan data sintetik debit (l/dt) QL, QD dan koefisien kehilangan air di ruas antar simpul terhadap QA (CL, %). Sedangkan pada contoh kedua akan muncul data volume (m^3) berupa V_{eff} , $V_{beg_{t-1}}$, V_{beg_t} , koefisien kehilangan air di waduk terhadap volume awal (RL, %), dan koefisien kehilangan air di ruas antar simpul terhadap QA (CL, %). Data sintetik akan digunakan pada kedua contoh ini.

Pada contoh pertama dengan masukan QL=20000 l/dt dan DAR=125% didapat keluaran MEQAA di B 2 dengan K=74% (K2) sedangkan di hulu (B 1) dan hilirnya (B 3 dan B 4) dengan K =59% merata (Gambar 5.40 atas). Sedangkan jika tidak dilakukan intervensi B 2, maka dicapai K= 72% (K2) merata di tiap simpul. Sementara itu, jika di B 2 air tersedia menurun menjadi QL=10000 l/dt dan tingkat defisit global menurun dengan DAR > 200% didapat di tiap simpul dengan K merata pada 42% (K3) (Gambar 5.40 bawah).



Gambar 5.40. Keluaran MEQAA pada kasus intervensi di simpul bendung

Dari contoh kasus di atas, bahwa ketika defisit maka K di simpul intervensi lebih besar dari K_lainnya, bahkan dapat mencapai 100% sedangkan K_lainnya <100%. Ketika sangat defisit ($DAR > 200\%$), maka K di simpul intervensi \approx K_lainnya. Intervensi jenis ini menguntungkan simpul tertentu daripada simpul lainnya, sehingga K tidak setara. Intervensi tidak menguntungkan sistem dan keberlanjutan operasional waduk, karena tidak sesuai dengan kriteria IWRM. Intervensi analog dengan metode *first-come, first-served* (FCFS).

Pada contoh kedua adalah intervensi karena adanya kegiatan fisik di jaringan di BD 2, dengan data sintetik $V_{eff} = 45000000 \text{ m}^3$, $V_{beg_t} = 38061556 \text{ m}^3$, $V_{beg_t-1} = 31123112 \text{ m}^3$, $RL=2\%$, dan koefisien persamaan regresi untuk limitasi tampungan C_{RC} adalah $a=0.0226$, $b = 0.9087$ dan $c=0.0339$. Adapun durasi waktu buka pintu *intake* (TD)=3 hari dari normalnya 10 harian.

Untuk kasus ini ekualisasi menggunakan pendekatan kesamaan volume pemberian air secara normal 10 hari menjadi 3 hari, sehingga secara praktis QD harus dibesarkan dari semula 23845 l/dt menjadi 79483 l/dt ($\Delta t/TD \approx 3.3$ kali). Berdasarkan perbesaran semu nilai QD ini didapat keluaran MEQAA pada Gambar 5.41, yaitu di BD 2 didapat $V_{\text{end}}=4576901$ m³, QR=47660 l/dt dan K=60% (K2) sedangkan di B 1, B 3 dan B 4 dengan K=60%. Sementara itu, jika tanpa intervensi di BD 2 didapat $V_{\text{end}}= 24634586$ m³ dan QR= 23130 l/dt, sedangkan K=97-98% setara di tiap simpul. Hasil keduanya (dengan dan tanpa intervensi) berbeda signifikan.

Case_1		Sum_QL_21819 l/s				Sum_Vbeg_31123112 m3			Sum_QD_82963 l/s			DAR_145%	
It_25059		Sum_Veff_45000000 m3				Sum_Vend_4576901 m3			Sum_QR_49780 l/s			RDR_60%	
No	NODE	Veff	Vbeg	Vloss	Vend	QL	QA	QD	QR	QS	QE	K	Class_K
B 1	1 B 1					1227	1227	1128	677	550	61	60%	K2
	2 BD 2	45000000	31123112	622462	4576901	20000	18660	79483	47660	1004	1004	60%	K2
	3 B 3					416	1342	1218	753	589	67	62%	K2
BD 2	4 B 4					176	727	1134	691	36	36	61%	K2
	B 3												
	B 4												

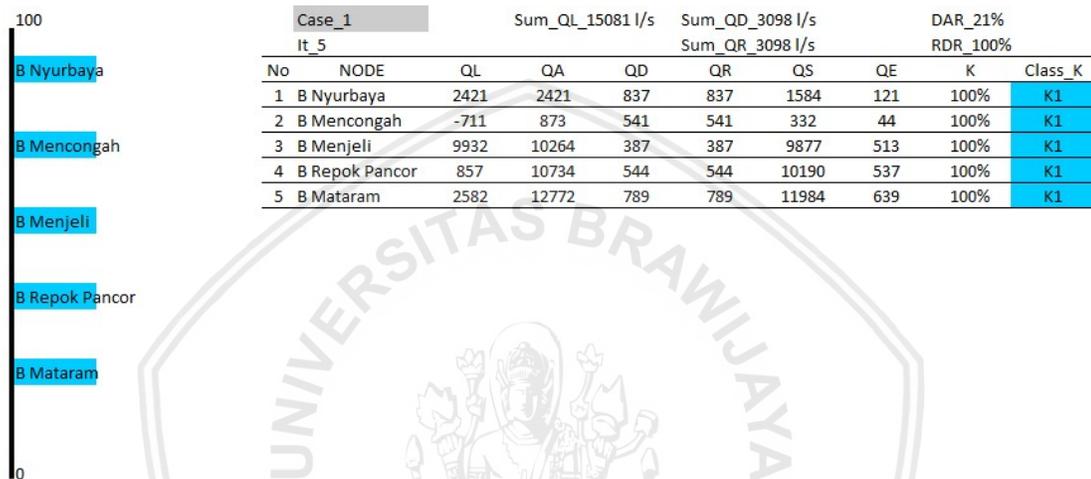
Gambar 5.41. Keluaran MEQAA pada kasus intervensi di simpul waduk

5.8 Uji Coba 7: Operasional Waktu Nyata di Sungai Jangkok

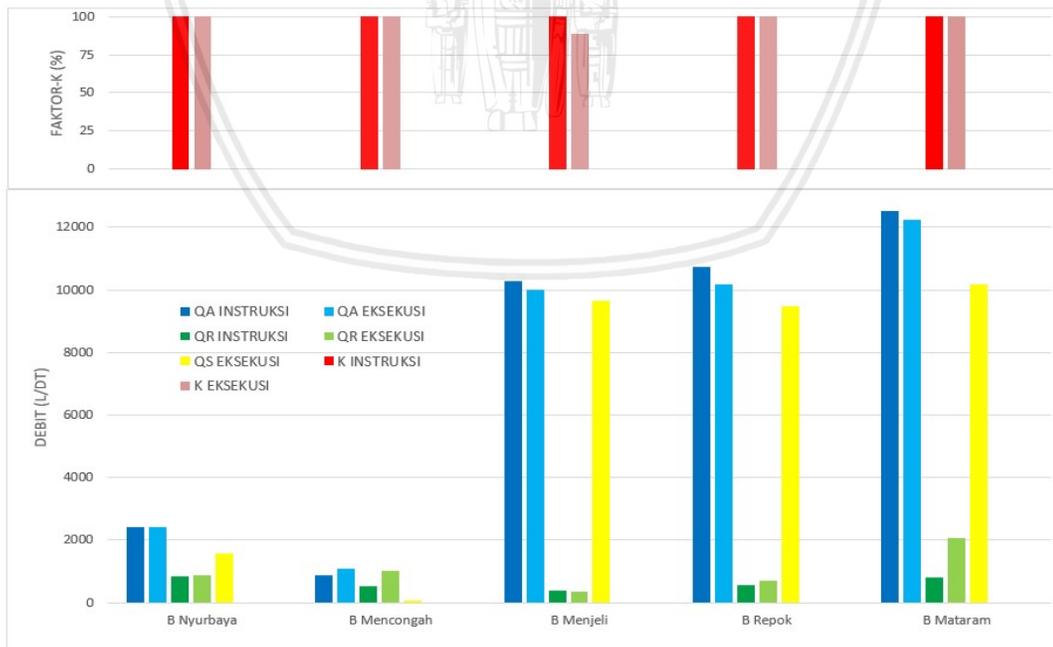
Pada bagian ini disajikan hasil uji coba operasional di S Jangkok (total 5 bendung) untuk mengetahui deviasi antara keluaran MEQAA berupa debit instruksi dengan debit tereksekusi. Ekualisasi menggunakan data debit tiap bendung (Tabel 5.9 kolom “sebelum”) berdasarkan laporan QR_i dan QS_i, sehingga QA_i=QR_i+QS_i (Tabel 5.9). Masukan QL_i dihitung dari (QA_i-QS_{i-1}) dan kebutuhan air irigasi QD_i merupakan hasil perhitungan berdasarkan laporan tanam saat itu. Adapun simpul pada tabel diurutkan sesuai hulu-hilir yaitu B Nyurbaya (443 ha), B Mencongah (244 ha), B Menjeli (97 ha), B Repok Pancor (244 ha), dan B Mataram (339 ha). Total luas tanam padi 1318 ha dari luas sawah 1367 ha.

Dari contoh tinjauan komparasi pada tanggal 1 April 2019 sebagaimana keluaran MEQAA (Gambar 5.42) dan rekapitulasi pada Tabel 5.9 yang diuraikan sebagai berikut: i) di B Nyurbaya terdapat deviasi yang tergolong kecil yaitu deviasi debit tersedia QA=0% karena terletak di terhulu, deviasi debit lepasan QR=3%, dan deviasi limpahan QS=-1%, ii) di B Mencongah terdapat deviasi QA=24% karena faktor hidrologi/adanya kehilangan air di ruas B Nyurbaya-B Mencongah, iii) terdapat deviasi QR di B Mencongah (89%) dan B Repok Pancor (30%) karena di saluran irigasi banyak keramba ikan berikut kolam ikan yang

membutuhkan aliran cukup besar, kontinyu dan tinggi tekan aliran (head), iv) di B Menjeli terjadi peningkatan K dari 63% menjadi 88% dan terdapat deviasi QR=12% dan QS=-2% yang dapat disebabkan oleh rendahnya akurasi alat ukur debit/kesalahan operator, namun QR tersebut masih dalam klas K yang sama (K1), v) deviasi QR di B Mataram (163%) karena Pemerintah Kota Mataram memfungsikan saluran irigasi sebagai saluran drainase/penggelontoran kota, dan vi) terjadinya deviasi QA di B Mencongah s/d B Mataram dimungkinkan karena adanya imbuan air, kehilangan air, dan atau perambatan aliran akibat waktu tiba paket air (travel time).



Gambar 5.42. Keluaran MEQAA pada 1 April 2019 di S Jangkok



Gambar 5.43. Komparasi keluaran MEQAA dan eksekusi pada 1 April 2019 di S Jangkok

Tabel 5.9. Komparasi keluaran MEQAA dan eksekusi operasional di S Jangkok

No	Simpul bendung (luas tanam)	Item	1-Apr-19				6-Apr-19				11-Apr-19				16-Apr-19			
			Sebelum	Keluaran	Eksekusi	Deviasi	Sebelum	Keluaran	Eksekusi	Deviasi	Sebelum	Keluaran	Eksekusi	Deviasi	Sebelum	Keluaran	Eksekusi	Deviasi
1	B Nyurbaya (443 ha dari 443 ha)	QA (l/dt)	2421	2421	2421	0%	2131	2131	2131	0%	2601	2601	2601	0%	1750	1041	1750	68%
		QD (l/dt)	837	837	837		837	837	837		837	837	837		837	837	837	
		QR (l/dt)	560	837	860	3%	560	837	818	-2%	560	837	879	5%	560	837	892	7%
		QS (l/dt)	1861	1584	1561	-1%	1571	1294	1313	1%	2041	1764	1722	-2%	1190	913	858	-6%
		K	67%	100%	100%	0%	67%	100%	98%	-2%	67%	100%	100%	0%	67%	100%	100%	0%
2	B Mencongah (195 ha dari 244 ha)	QA (l/dt)	1150	873	1080	24%	1120	1315	1418	8%	1175	1652	1793	9%	1160	1041	1157	11%
		QD (l/dt)	541	541	541		541	541	541		541	541	541		541	541	541	
		QR (l/dt)	1120	541	1020	89%	1120	541	1120	107%	1120	541	1120	107%	1120	541	1120	107%
		QS (l/dt)	30	73	60	-18%	0	774	298	-61%	55	1111	673	-39%	40	501	38	-92%
		K	100%	100%	100%	0%	100%	100%	100%	0%	100%	100%	100%	0%	100%	100%	100%	0%
3	B Menjeli (97 ha dari 97 ha)	QA (l/dt)	9962	10264	9992	-3%	3010	3783	2926	-23%	5488	6544	5749	-12%	3010	3402	2675	-21%
		QD (l/dt)	387	387	387		387	387	387		387	387	387		387	387	387	
		QR (l/dt)	242	387	342	-12%	172	387	372	-4%	242	387	362	-7%	172	387	372	-4%
		QS (l/dt)	9720	9877	9650	-2%	2838	3396	2554	-25%	5246	6157	5387	-13%	2838	3015	2303	-24%
		K	63%	100%	88%	-12%	44%	100%	96%	-4%	63%	100%	93%	-7%	44%	100%	96%	-4%
4	B Repok Pancor (244 ha dari 244 ha)	QA (l/dt)	10577	10734	10171	-5%	3061	3619	2863	-21%	5616	6527	6491	-1%	3438	3615	3249	-10%
		QD (l/dt)	544	544	544		544	544	544		544	544	544		544	544	544	
		QR (l/dt)	907	544	707	30%	907	544	709	30%	907	544	709	30%	907	544	717	32%
		QS (l/dt)	9670	10190	9464	-7%	2154	3075	2154	-30%	4709	5982	5783	-3%	2531	3071	2531	-18%
		K	100%	100%	100%	0%	100%	100%	100%	0%	100%	100%	100%	0%	100%	100%	100%	0%
5	B Mataram (339 ha dari 339 ha)	QA (l/dt)	12253	12772	12253	-4%	4953	5873	5152	-12%	8312	9585	8109	-15%	5637	6177	5637	-9%
		QD (l/dt)	789	789	789		789	789	789		789	789	789		789	789	789	
		QR (l/dt)	2078	789	2078	163%	2078	789	1825	131%	1927	789	1724	119%	1724	789	1724	119%
		QS (l/dt)	10175	11984	10175	-15%	2875	5085	3327	-35%	6385	8797	6385	-27%	3913	5388	3913	-27%
		K	100%	100%	100%	0%	100%	100%	100%	0%	100%	100%	100%	0%	100%	100%	100%	0%

Keterangan:

Sebelum = debit laporan dari lapangan sebelum dilakukan ekualisasi (run model), digunakan sebagai masukan MEQAA

Keluaran = debit keluaran MEQAA yang diinstruksikan kepada operator simpul

Eksekusi = debit lapangan ketika pelaksanaan eksekusi pengaturan bukaan pintu pengambilan oleh operator simpul

Deviasi = bobot perbedaan antara keluaran dan eksekusi

Notasi QA = ketersediaan air, QD=kebutuhan air irigasi, QR=lepasan di pintu pengambilan, QS=limpahan, dan K=QR/QD.

Fill kuning = QR eksekusi > QR keluaran karena termasuk untuk memenuhi kebutuhan keramba ikan masyarakat di saluran irigasi

Fill hijau = QR eksekusi > QR keluaran karena untuk saluran irigasi difungsikan sebagai saluran drainase/penggelontoran kota Mataram

Karena sifat model adalah deterministik untuk optimasi dengan keluaran tidak mengandung unsur random. Namun karena keluaran dipengaruhi masukan, maka dapat terjadi deviasi atau kesalahan (error) antara keluaran model yang diinstruksikan dengan eksekusi di lapangan. Untuk kasus yang berbeda, dapat dilakukan uji deviasi guna mengetahui pengaruh data masukan akibat faktor eksternal.

Deviasi dimungkinkan terjadi (>0%) karena faktor eksternal mencakup hidrologi, struktur fisik bangunan air dan kesalahan operator antara lain: i) asumsi tidak terdapatnya kehilangan air (channel losses, CL=0) maupun aliran kembali (return flow, RF=0) di ruas antar simpul, ii) tidak diperhitungkannya waktu tiba paket air antar simpul (travel time), iii) terdapatnya kesalahan perhitungan kebutuhan air irigasi, iv) tidak akuratnya pengaturan tinggi bukaan pintu akibat faktor hidrolika/beda tinggi muka air, v) terdapatnya kesalahan pada alat ukur debit, vi) adanya perubahan kondisi aliran sungai akibat gap waktu (time lag) sejak inventarisasi dan evaluasi data masukan, *run* model, pengiriman SMS instruksi sampai eksekusi pintu air, dan vii) adanya darurat permintaan air oleh pembudidaya ikan di saluran.

5.9 Rangkuman Hasil Uji Coba

Berdasarkan uji coba dengan berbagai skenario dan variabilitas data angka yang tunggal sampai seri, termasuk bobot kehilangan air di ruas antar simpul dapat disusun rangkuman (Tabel 5.10). Dari tabel tersebut, dapat diuraikan sebagai berikut:

- 1) Ilustrasi hasil uji coba antara lain: i) K setara dengan gap antar simpul ≤ 1 % dan antar waktu ≤ 5 %, ii) aliran pemeliharaan sungai/ekosistem terpenuhi, iii) limpahan di simpul terhilir minimum/efisien, iv) simpanan waduk tidak menyentuh volume mati dengan kinerja yang berkelanjutan, yaitu keandalan=100%, ketahanan=100%, kerentanan=0%, v) K kontras pada operasi yang tidak terkendali, vi) Klas K sama pada operasi yang terkendali, namun terdapat deviasi debit, dan vii) K di simpul terintervensi lebih unggul namun tidak setara
- 2) Secara verifikasi, bahwa MEQAA yang dibangun menggunakan susunan kode pemrograman dapat beroperasi, terindikasi dari: i) trayektori simpul membentuk konfigurasi sesuai efek domino aliran di sistem sungai, ii) bentuk ME dinamik sesuai skema sungai, memuat persamaan keseimbangan massa dan fungsi optimasi, dan iii) simulasi-iterasi dengan variabel keputusan yang konvergen menuju status terminasi.
- 3) Secara validasi, bahwa MEQAA menghasilkan keluaran berupa variabel keputusan sesuai fungsi optimasi yang terindikasi dari variabel keputusan selalu memperhatikan kriteria IWRM dan kebijakan.

Tabel 5.10. Rangkuman uji coba MEQAA

Tinjauan	1) Sungai Sintetik (XYZ)	2) Sungai Moyot	3) Sungai Kukusan	4) Sungai Dodokan
Fungsi/jenis data angka	Demo/sintetik	Riil	Riil	Riil
Menu/jenis masukan data	Tunggal	Seri	Seri	Seri
Langkah waktu	10 harian	15 harian	10 harian	10 harian
Jenis skema sungai	Dependen	Independen	Independen	Independen
Cakupan	Seluruh simpul	Seluruh simpul	Seluruh simpul	Waduk Seri Batujai-Pengga
Jumlah simpul	15 buah	9 buah	24 buah	2 buah
Jenis simpul	B/BD/Sup/MG	B	B/E	BD
Konfigurasi waduk	Seri/pararel (5 bh)	-	Tunggal/di cabang	Seri
Jenis penggunaan air	Sejenis	Irigasi	Irigasi	Irigasi/domestik
Kehilangan air di ruas antar simpul	Tidak diperhitungkan	Tidak/dan diperhitungkan	Tidak diperhitungkan	Tidak diperhitungkan
Susunan kode program (syntax code) sejumlah ± 2500 line	Berfungsi	Berfungsi	Berfungsi	Berfungsi
Porsi alokasi air atau porsi pasokan air/kebutuhan air (K)	Setara antar simpul dan prediksi setara 1 periode yad	Setara antar simpul	Setara antar simpul dan setara/menurun antar waktu	Setara antar simpul dan setara/menurun antar waktu
Jatah ekosistem/pemeliharaan sungai	Terpenuhi	Terpenuhi	Terpenuhi	Terpenuhi
Limpahan di simpul terhilir	Efisien	Efisien	Efisien	Efisien
Kriteria IWRM	Terpenuhi	Terpenuhi	Terpenuhi	Terpenuhi
Kriteria status terminasi	Terpenuhi	Terpenuhi	Terpenuhi	Terpenuhi
Durasi iterasi (core i7)	± 120 menit	<0.5 menit	± 660 menit	± 510 menit
Evaluasi kinerja waduk	-	-	1, 1, 0 (Berkelanjutan)	1, 1, 0 (Berkelanjutan)
Keterangan	Kontras dengan metode FCFS	Kontras dengan operasi dan jika $CL > 0$, maka terjadi penurunan capaian K	-	Kontras dengan operasi

lanjutan

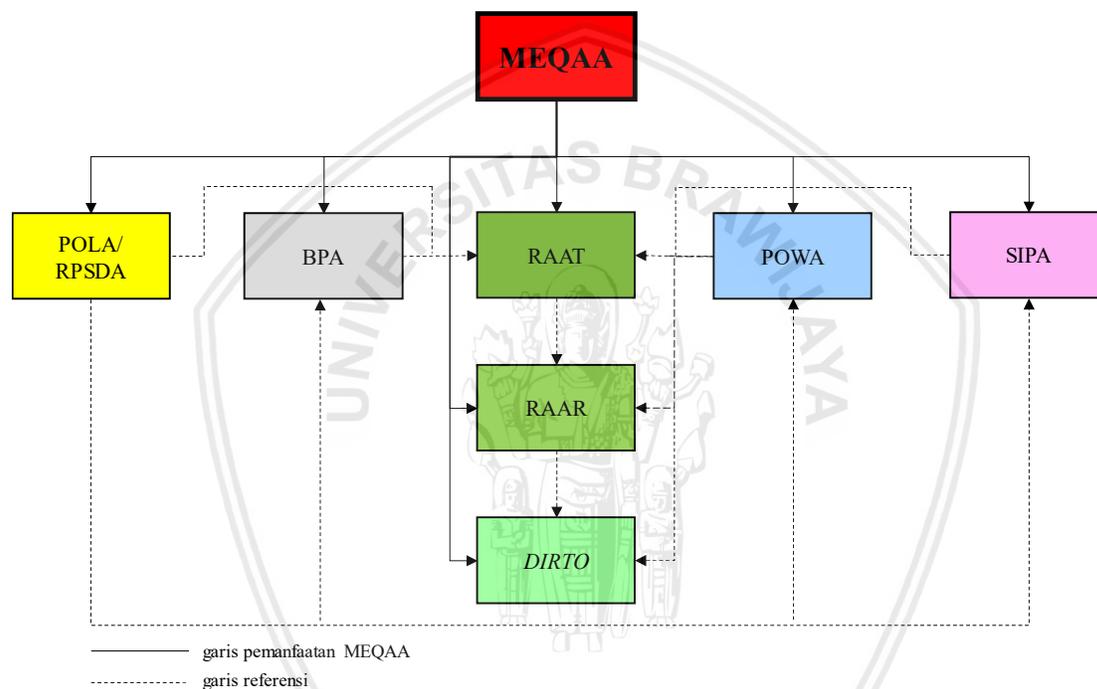
Tinjauan	5) Sungai Sintetik (OPQ)	6a) Intervensi di bendung	6b) Intervensi di waduk	7) Operasional S Jangkok
Fungsi/jenis data angka	Demo/sintetik	Demo/sintetik	Demo/sintetik	Riil
Menu/jenis masukan data	Seri	Seri	Seri	Seri
Langkah waktu	15 harian	10 harian	10 harian	5 harian
Jenis skema sungai	Independen	Independen	Independen	Independen
Cakupan	Seluruh simpul	Seluruh simpul	Seluruh simpul	Seluruh simpul
Jumlah simpul	12 buah	4 buah	4 buah	5 buah
Jenis simpul	BD/B	B	BD/B	B
Konfigurasi waduk	Seri/pararel (6 bh)	Seri (4 bh)	Tunggal	Seri
Jenis penggunaan air	Sejenis	Sejenis	Sejenis	Irigasi
Kehilangan air di ruas antar simpul	Diperhitungkan	Diperhitungkan	Diperhitungkan	Tidak diperhitungkan
Susunan kode program (syntax code) sejumlah ± 2500 line	Berfungsi	Berfungsi	Berfungsi	Berfungsi
Porsi alokasi air atau porsi pasokan air/kebutuhan air (K)	Setara antar simpul dan setara/menurun antar waktu	Tidak setara antar simpul	Tidak setara antar simpul dan waktu	Setara antar simpul
Jatah ekosistem/pemeliharaan sungai	Terpenuhi	Terpenuhi	Terpenuhi	Terpenuhi
Limpahan di simpul terhilir	Efisien	Efisien	Efisien	Efisien
Kriteria IWRM	Terpenuhi	Terpenuhi	Terpenuhi	Terpenuhi
Kriteria status terminasi	Terpenuhi	Terpenuhi	Terpenuhi	Terpenuhi
Durasi iterasi (core i7)	± 310 menit	<0.5 menit	<0.5 menit	<0.5 menit
Evaluasi kinerja waduk	1, 1, 0 (Berkelanjutan)	-	-	-
Keterangan	-	K di simpul intervensi > K lainnya	K di simpul intervensi > K lainnya.	Deviasi debit instruksi dan debit eksekusi berada dalam toleransi

B = bendung, BD=bendungan, E=embung, Sup= suplesi, MG=muara ganda, CL = kehilangan air di ruas antar simpul (channel loss)

FCFS=*first come-first served*, IWRM=*integrated water resources management*

5.10 Pemanfaatan MEQAA untuk Perencanaan Alokasi Air

Dalam pengelolaan SDA terdapat tujuan “mewujudkan kemanfaatan SDA yang berkelanjutan”. Untuk tujuan tersebut, MEQAA sebagai salah satu DSS yang dapat membantu pengelola WS/perencana dalam penyusunan rencana alokasi air sebagai upaya pendayagunaan SDA (Gambar 5.44), seperti: i) pola/rencana pengelolaan sumber daya air (RPSDA), ii) rencana bangunan pengambilan air (simpul BPA), iii) rencana alokasi air tahunan (RAAT), rencana alokasi air rinci (RAAR) dan pelaksanaan operasional (direct instruction real-time operation/DIRTO), iv) pola operasi waduk (POW/POWA), dan v) rekomendasi teknis (rekomtek) penerbitan surat izin penggunaan air (SIPA).



Gambar 5.44. Struktur pemanfaatan MEQAA untuk perencanaan alokasi air

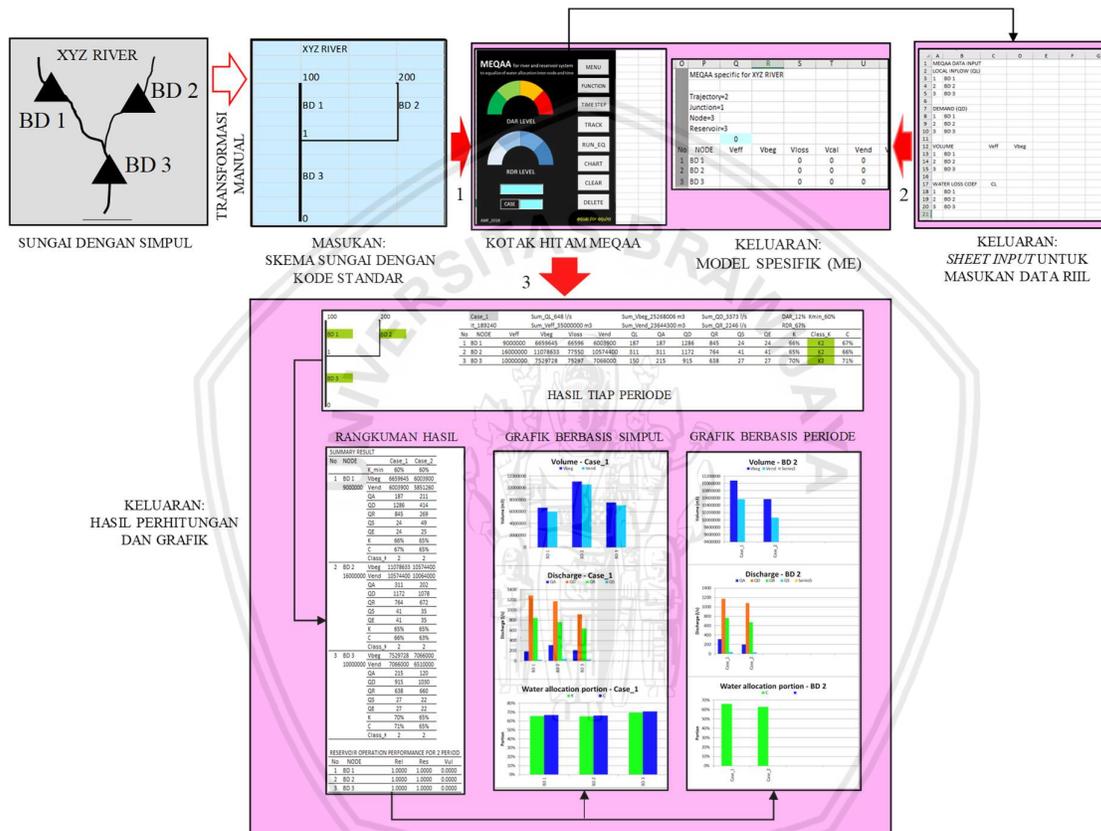
MEQAA dalam mendukung pengambilan keputusan di berbagai tahap penyusunan rencana alokasi air relevan digunakan karena: i) mudah dioperasikan/diintegrasikan dengan sesama Ms. Excel, ii) tidak membutuhkan banyak jenis data masukan, iii) perhitungan alokasi air berbasis sistem dan berorientasi proporsional-merata, iv) dapat diintegrasikan dengan analisis hidrologi seperti ketersediaan air, kebutuhan air dan banjir di waduk, v) dapat diintegrasikan optimasi rencana tanam irigasi, vi) dapat diintegrasikan dengan SMS (short message service) untuk komunikasi data dari dan ke operator simpul, dan vii) dapat diintegrasikan dengan sistem basis data.

Tabel 5.11. Matriks pemanfaatan MEQAA untuk mendukung pengelolaan SDA

Kegiatan penyusunan	Ilustrasi	Fungsi MEQAA (untuk menghitung)
Pola/RPSDA	<ul style="list-style-type: none"> - Dokumen rencana induk yang berjangka 10-20 tahun. - Direkomendasikan oleh TKPSDA WS. - Ditetapkan oleh Menteri PU-PR/Kada. - Disosialisasikan kepada pemangku keputusan. 	Alokasi air tiap periode di seluruh simpul yang ada/direncanakan, untuk gambaran kelayakan neraca air jangka panjang di DAS utilitas.
Rencana BPA	<ul style="list-style-type: none"> - Dokumen rencana teknis simpul BPA. - Disusun sesuai program pembangunan infrastruktur. - Ditetapkan oleh Kepala B/BWS. 	Alokasi air tiap periode di simpul rencana, untuk simulasi kelayakan operasi di seluruh BPA di sungai (20-50 tahun)
RAAT	<ul style="list-style-type: none"> - Dokumen rencana alokasi air multisektor. - Disusun tiap tahun berdasarkan prediksi BMKG yang dikonversi. - Direkomendasikan oleh TKPSDA WS. - Ditetapkan oleh Menteri PU-PR/Kada. - Diterbitkan sebelum awal musim tanam. - Disosialisasikan kepada pemangku keputusan dan pengguna air. 	Alokasi air tiap periode selama 1 tahun hidrologi ke depan di tiap simpul yang ada, untuk rencana tanam/rencana pengambilan air dan sebagai acuan RAAR dan <i>DIRTO</i> .
RAAR	<ul style="list-style-type: none"> - Disusun tiap dua bulan berdasarkan prediksi BMKG yang dikonversi. - Ditetapkan oleh Kepala B/BWS. - Disosialisasikan kepada pemangku keputusan dan pengguna air. 	Alokasi air tiap periode selama 2 bulan ke depan, untuk memutakhirkan/ tindak lanjut RAAT dan sebagai acuan <i>DIRTO</i> .
<i>DIRTO</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Pemantauan/evaluasi tiap hari berdasarkan data operasional terukur. - Eksekusi tiap periode tertentu (5-15 harian), atau pada kondisi darurat. - Jika terjadi darurat alokasi air, maka dilaksanakan rapat pemangku keputusan. - Dilengkapi dengan studio pusat kendali. - Ditetapkan oleh Kepala B/BWS. 	Alokasi air waktu nyata (real-time), untuk evaluasi dan instruksi eksekusi buka/tutup pintu di simpul. Jika kondisi darurat, maka keluaran MEQAA sebagai bahan rapat forum alokasi air.
POW/POWA	<ul style="list-style-type: none"> - Disusun tiap 5 tahun berdasarkan data operasional terukur atau data rencana (pada waduk baru). - Ditetapkan oleh Kepala B/BWS. - Dilengkapi rencana tahunan operasi waduk (RTOW) yang terkait erat dengan RAAT. 	Limitasi simpanan (rule curve) tiap periode selama 5 tahun, untuk acuan RTOW dan <i>DIRTO</i> . Kurva limitasi ditentukan secara regresi berdasarkan keluaran MEQAA.
Rekomtek SIPA	<ul style="list-style-type: none"> - Disusun atas permohonan calon pengguna air untuk tujuan komersil/non komersil (listrik, PDAM, air minum kemasan dll). - Ditetapkan oleh Menteri PU-PR/Kada. - Sebagai masukan penyusunan RAAT. 	Alokasi air tiap periode selama 1 tahun probabilitas, untuk rekomendasi penerbitan SIPA/penolakannya.

Dikutip dan diolah kembali dari berbagai sumber seperti peraturan Menteri PU-PR/ Surat Edaran Dirjen SDA Kementerian PU-PR yang terkait alokasi air.

Untuk melaksanakan fungsi sebagaimana Tabel 5.11 di atas, MEQAA dapat digunakan sebagai alat komputasi perencanaan alokasi air pada tahap perencanaan sebagaimana umumnya maupun tahap perencanaan operasional. Adapun prosedur penggunaan MEQAA pada tahap perencanaan disajikan pada gambar berikut, adalah: i) masukan data statik berupa skema sungai yang dimodelkan menjadi model spesifik (master equation/ME, ii) setelah ME terbentuk diperlukan masukan data kebutuhan air (QD), aliran masuk (QL), volume efektif (V_{eff}), dan simpanan awal (V_{beg}), dan iii) *run* ME untuk mendapatkan variabel keputusan optimal.



Gambar 5.45. Prosedur penggunaan MEQAA dalam memodelkan sistem sungai dan ekualisasi alokasi air

5.10.1 Prosedur Penggunaan MEQAA dalam Pembuatan Model Spesifik

Jika pengelola WS/perencana SDA telah memiliki aplikasi MEQAA, maka aplikasi itu dapat digunakan untuk penyusunan perencanaan pada berbagai tahap sebagaimana Gambar 5.44. Sebelum perhitungan ekualisasi alokasi air, maka prosedur pertama yang dilakukan adalah membentuk model spesifik (tabel ME) berdasarkan skema sungai dengan langkah sebagai berikut:

- 1) Mulai.
- 2) Menyiapkan gambar skema sungai (independen atau dependen), dalam bentuk Ms. Excel dengan konfigurasi simpul-simpul sesuai kondisi lapangan dan atau yang akan dikembangkan pada waktu mendatang.
- 3) Menuliskan kode standar MEQAA di skema sungai pada butir 2, dari hulu ke hilir berupa: i) nama sungai utama, ii) nomor sungai utama dengan 100, iii) nomor sungai cabang yang terdapat simpul dengan 200, 300, 400 dst., iv) nomor simpul sungai utama-sungai cabang dan simpul sungai cabang-sungai cabang dengan 1, 2, 3, dst. secara berurutan sesuai nomor sungai (dengan formula kode pada Tabel 4.2), v) muara utama dengan angka 0, dan vi) nama simpul bangunan pengambilan air dengan inisial huruf yaitu B (bendung), BD (bendungan), E (embung), dan DM (domestik), serta bangunan pengatur suplesi (diversion) ke sungai tertentu atau muara ganda (BS).
- 4) Mendapatkan skema sungai dengan kode standar MEQAA.
- 5) Meletakkan skema sungai butir pada butir 4 di sebelah kanan kotak hitam MEQAA.
- 6) Menekan tombol instruksional yaitu: i) MENU (untuk memilih masukan data tunggal atau seri), ii) FUNCTION (untuk memilih penggunaan MEQAA sebagai demo atau perhitungan dengan masukan data riil), iii) TIME STEP (untuk memilih periode tinjau biasanya 5, 10 dan 15 harian), dan iv) TRACK (untuk melacak skema sungai sebagaimana butir 4 sekaligus membentuk model spesifik/ME).
- 7) Mendapatkan model spesifik berupa tabel ME yang dilengkapi *sheets* INPUT data (jika menggunakan data riil).
- 8) Selesai.

5.10.2 Prosedur Penggunaan MEQAA dalam Perencanaan Umum

Bermodalkan ME yang dibangun berdasarkan skema sungai, akan digunakan sebagai tabel perhitungan untuk mendapatkan variabel keputusan optimal. Untuk perhitungan menggunakan data seri pada tahap perencanaan umum (biasanya untuk menyusun rencana/prediksi ke depan dan mengevaluasi operasional lapangan), dengan langkah sebagai berikut:

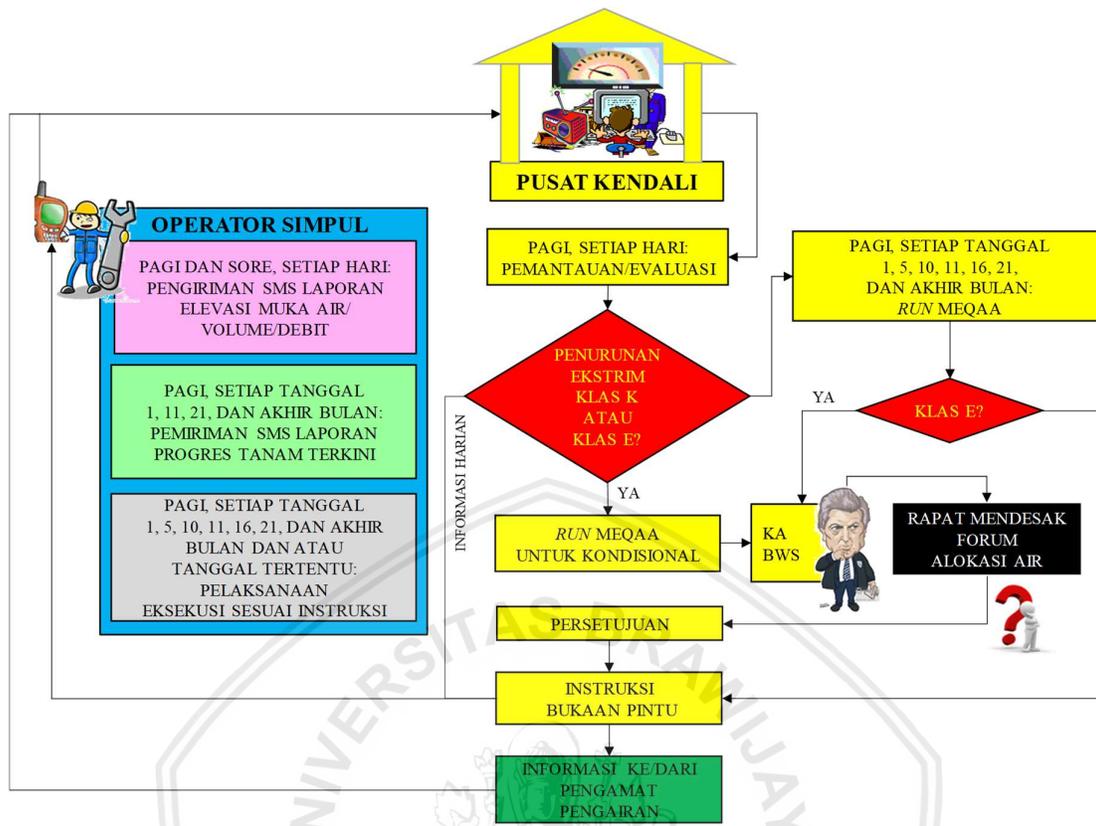
- 1) Mulai.
- 2) Menyiapkan data seri dari periode ke periode mencakup: i) aliran masuk lokal (QL) dan ii) kebutuhan air (QD). Selain itu, menyiapkan: i) volume efektif (V_{eff}), ii) volume simpanan pada periode pertama operasi (V_{beg}) yang dapat sebesar V_{eff} atau kurang, dan

- iii) koefisien kehilangan air di waduk (RL) untuk estimasi V_{loss} berdasarkan V_{beg} . Perhitungan QL dan QD dilakukan dengan proses tersendiri di luar MEQAA.
- 3) Memasukkan data QL, QD, V_{beg} , dan V_{eff} pada butir 2 sesuai format *sheets* INPUT yang tercetak secara otomatis ketika menyusun ME. Awal periode data dimulai dengan bulan pertama misal Oktober (Okt/Oct1). Penulisan data QL dan QD dimulai dari kolom E ke arah kanan. Sedangkan penulisan data V_{eff} , V_{beg} di kolom C dan D, serta data RL dan CL di kolom C sesuai dengan masing-masing waduk.
 - 4) Menekan tombol instruksional RUN_EQ untuk menjalankan perhitungan ekualisasi alokasi air.
 - 5) Menunggu proses iterasi seluruh periode data seri pada butir 4 sampai berakhir yaitu terdengar suara “*optimum result, end*”.
 - 6) Meninjau rangkuman hasil/keluaran di *sheets* RECAP yang diarahkan secara otomatis oleh MEQAA.
 - 7) Memilih *sheets* OUPUT untuk meninjau keluaran di tiap periode.
 - 8) Memilih tombol instruksional CHART untuk meninjau keluaran dalam bentuk grafik yang berbasis simpul atau periode tertentu.
 - 9) Memilih *sheets* MACHINE untuk kembali ke tabel ME.
 - 10) Menerapkan keluaran MEQAA sebagai rencana yang dimaksudkan.
 - 11) Selesai.

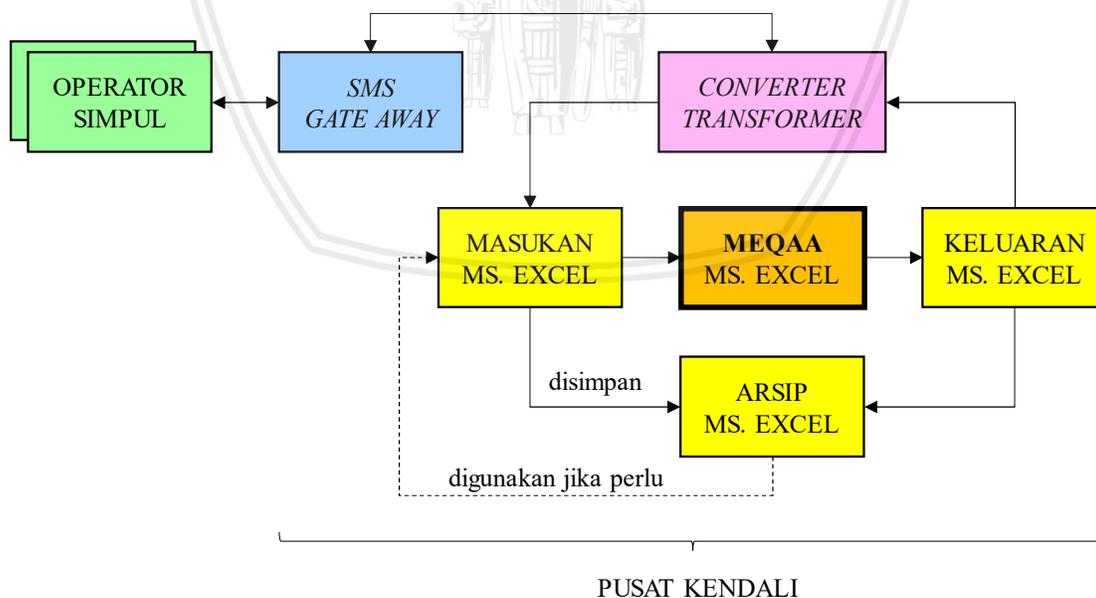
5.10.3 Prosedur Penggunaan MEQAA dalam Perencanaan Operasi Waktu Nyata

Sesuai Gambar 2.3, kinerja simpul di lapangan harus rutin dipantau/ dikondisikan dengan proses umpan balik oleh pusat kendali/pengelola WS. MEQAA dapat dimanfaatkan untuk mendukung pengendalian operasional waktu nyata, dengan ketentuan data masukan berbasis data angka. Diagram pelaksanaan umpan balik pada Gambar 5.46.

Sebagaimana diketahui, setelah terbentuknya ME berdasarkan skema sungai, diperlukan masukan data dinamik seperti V_{beg} , QA, QR dan QD yang berubah dari waktu ke waktu. Oleh operator simpul, data lapangan dilaporkan ke pusat kendali sesuai waktu yang ditentukan menggunakan SMS. Dari format huruf (string) yang dihasilkan *SMS gate away* kemudian dikonversi menjadi format angka (value) berbasis Ms. Excel untuk evaluasi/proses selanjutnya. Demikian pula sebaliknya ketika instruksional.



Gambar 5.45. Prosedur pelaksanaan umpan balik dalam operasi waktu nyata pada *pilot project* studio kendali alokasi air BWS NT I.



Gambar 5.46. Prosedur pengolahan data dalam operasi waktu nyata

Perhitungan alokasi air menggunakan data tunggal akan diterapkan pada tahap perencanaan operasi waktu nyata (real-time). Tahap ini akan mengevaluasi data masukan dan mendapatkan variabel keputusan untuk instruksi eksekusi lapangan pada saat itu pula (tiap 1, 5, 10, 15 atau 30 harian). Langkah yang dilakukan sebagai berikut:

- 1) Mulai.
- 2) Menerima laporan dari operator simpul di lapangan berupa data tunggal pada periode saat itu mencakup: i) pasokan air yang terukur (QR), ii) limpahan/kontribusi ke hilir yang terukur (QS), iii) elevasi muka air waduk yang terukur kemudian dikonversi menjadi volume simpanan waduk (V_{beg}), dan iv) kebutuhan air lapangan (QD_{lap}) yang diindikasikan dari pantauan jenis, umur dan luas tanam serta tingkat kebasahan tanah sawah dll. Oleh operator di pusat kendali perlu dilakukan konfirmasi QD_{lap} dengan rencana kebutuhan air yang telah disahkan (QD_{plan}) untuk penyesuaian (jika perlu).
- 3) Menyiapkan data tunggal pada periode saat itu mencakup: i) aliran lokal (QL) sesuai masukan QR dan QS, ii) V_{beg} , dan iii) kebutuhan air (QD) sebagaimana butir 2. Selain itu, menyiapkan: i) volume efektif waduk (V_{eff}) dan ii) prediksi volume cadangan (V_{stock}) berdasarkan bobot C_{RC} ($\leq 100\%$). V_{stock} dihitung dari model fungsional aturan limitasi operasi waduk dari periode ke periode yaitu $C_{RC} = f(V/V_{eff})$, dengan memasukkan koefisien regresi berganda yang ditentukan sebelumnya. Perhitungan QL dan QD dilakukan dengan proses tersendiri di luar MEQAA.
- 4) Memasukkan data QL, QD, V_{beg} , V_{eff} , dan koefisien regresi C_{RC} pada butir 2 sesuai format *sheets* INPUT yang tercetak secara otomatis ketika menyusun ME. Penulisan data QL dan QD dimulai dari kolom E ke arah kanan. Penulisan data V_{eff} , $V_{beg_{t-1}}$ dan V_{beg_t} di kolom C, D dan E, data RL dan CL di kolom C, dan data koefisien regresi C_{RC} (koefisien a, b, c) di kolom C, D, dan E sesuai dengan masing-masing waduk.
- 5) Menekan tombol instruksional RUN_EQ untuk menjalankan perhitungan.
- 6) Menunggu proses iterasi pada butir 5 sampai berakhir yaitu terdengar suara “*optimum result*”. Durasi menunggu tergantung kompleksitas sungai, simpul dan kondisi neraca air. Semakin defisit dan variatif antar simpul dibutuhkan waktu semakin lama.
- 7) Meninjau rangkuman keluaran di *sheets* RECAP yang diarahkan secara langsung.
- 8) Memilih *sheets* OUPUT untuk meninjau keluaran pada periode yang bersangkutan.
- 9) Jika didapat nilai K yang sangat kecil ($K < 20\%$), maka secara manual perlu dilakukan intervensi rotasi grup dengan menentukan ON/OFF simpul sesuai prioritas saat itu. Alternatif ON/OFF dan keluaran model perlu dibahas dalam rapat forum alokasi air untuk mendapat keputusan.

- 10) Kembali ke butir 4, sampai didapat $K > 20\%$ atau $K > K$ minimum tertentu.
- 11) Memilih tombol instruksional CHART untuk meninjau keluaran dalam bentuk grafik yang berbasis simpul atau periode tertentu.
- 12) Memilih *sheets* MACHINE untuk kembali ke tabel ME.
- 13) Menerapkan variabel keluaran MEQAA sebagai bahan instruksi eksekusi kepada operator simpul.
- 14) Mengarsipkan variabel keluaran di *file* arsip.
- 15) Mengulangi langkah pada butir 2 sampai 11 untuk operasional pada periode mendatang.
- 16) Selesai.

5.10.4 Kondisi Insiden

Ketika menggunakan MEQAA dapat ditemui insiden eksternal (disebabkan dari luar MEQAA) dan insiden internal (disebabkan dari dalam/stuktur MEQAA). Jika terjadi insiden eksternal pada tahap perencanaan operasional sehingga data lapangan tidak dilaporkan/tidak masuk karena masalah teknis/non teknis (seperti sinyal, kerusakan SMS gate away, converter transformer atau pribadi operator), sementara harus dilakukan perhitungan/evaluasi, maka ditempuh cara rekayasa data. Pada kondisi ini *file* arsip data (Gambar 5.46) dipanggil/dibuka kembali secara manual untuk proses estimasi/rekayasa data masukan.

Sementara itu, jika terjadi insiden internal pada tahap perencanaan umum dan perencanaan operasional sehingga tidak membuahkan variabel keluaran atau MEQAA mengalami gagal kerja, maka ditempuh cara: i) cek/pastikan skema sungai dari jenis skema independen atau dependen, ii) cek kode, nama dan jenis simpul di skema sungai, dan iii) periksa besaran/format data. Jika masih gagal, maka perlu menghubungi anangmf62@gmail.com untuk konsultasi atau peninjauan/penyempurnaan/perbaikan susunan kode pemrograman.

5.10.5 Keterbatasan MEQAA

Tiap model tidak luput dari keterbatasan, karena adanya pendekatan, asumsi dan lingkup. Dalam penerapan MEQAA dengan kemampuan sebagaimana kinerja pada uji coba, masih terdapat keterbatasan/kelemahan antara lain sebagai berikut:

- 1) MEQAA tidak dapat digunakan untuk memodelkan sistem sungai independen dengan saluran suplesi internal (hubungan sungai utama-cabang atau sebaliknya) dan interdependen dengan saluran suplesi eksternal (hubungan lebih dari 2 sungai utama).

- 2) Jumlah cabang sungai (junction) yang terdapat simpul bangunan pengambilan air (headwork) maksimum 99 buah.
- 3) Jika di ruas antar simpul terdapat pengambilan air ilegal (seperti penggunaan pompa air), maka MEQAA tidak memberikan keluaran yang riil. Kecuali pengambilan tersebut dilegalkan oleh Pengelola WS sehingga menjadi simpul resmi.





Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

- 1) MEQAA dibentuk dari: i) pendekatan sistem dengan trayektori simpul dari hulu ke hilir di sungai utama dan sungai cabang, ii) persamaan keseimbangan massa, iii) fungsi tujuan dan fungsi kendala optimasi, dan iv) susunan kode pemrograman (syntax code) yang mengelaborasi butir i, ii dan iii. MEQAA berbentuk perangkat lunak aplikatif berbasis Ms. Excel. MEQAA dioperasikan menggunakan tombol-tombol instruksi untuk: i) melahirkan model spesifik dan ii) mengekualisasi alokasi air antar simpul dan waktu sesuai neraca kebutuhan air dan ketersediaan air, termasuk memperhitungkan kehilangan air di ruas antar simpul.
- 2) MEQAA secara otomatis dapat membentuk model spesifik (master equation) untuk ekualisasi alokasi air bagi pengguna air sejenis (irigasi) berdasarkan skema sungai independen dan dependen yang memuat simpul bendung dan waduk secara seri dan paralel. Model spesifik disajikan dalam bentuk format tabel optimasi-simulasi yang memuat formulasi matematika yang dinamis sesuai konfigurasi sistem sungai.
- 3) Dalam optimasi-simulasi air, bahwa MEQAA mampu melakukan ekualisasi yang menghasilkan keluaran alokasi air dengan skenario sebagai berikut:
 - a) Menggunakan data sintetik berupa skema sungai dan data tunggal dengan penggunaan air sejenis, bahwa: i) MEQAA dapat memodelkan sungai dependen kompleks, ii) MEQAA dapat mengekualisasi alokasi air antar simpul, dan iii) keluaran MEQAA kontras dengan keluaran metode “pertama dapat-pertama dilayani” (first-come, first-served /FCFS).
 - b) Menggunakan data riil berupa skema sungai dan data seri dengan penggunaan air irigasi, bahwa: i) MEQAA dapat memodelkan sungai independen dengan bendung dan waduk/embung, ii) MEQAA dapat mengekualisasi alokasi air antar simpul dan waktu, dan iii) keluaran kontras dengan operasi.
 - c) Menggunakan data riil berupa skema sungai dan data seri dengan penggunaan air irigasi dan domestik, bahwa: i) MEQAA dapat memodelkan sungai dengan waduk seri, ii) MEQAA dapat mengalokasikan air irigasi setelah air domestik, iii) MEQAA

dapat mengekualisasi alokasi air antar simpul dan waktu, dan iv) keluaran MEQAA kontras dengan operasional yang tidak terkendali.

- d) Menggunakan data sintetik berupa skema sungai dan data seri dengan penggunaan air sejenis, bahwa: i) MEQAA dapat memodelkan sungai independen dengan konfigurasi multiwaduk dan bendung dan ii) MEQAA dapat mengekualisasi alokasi air antar simpul dan waktu.
 - e) MEQAA dapat mereduksi ketersediaan air di simpul hilir akibat bobot kehilangan air di ruas antar simpul, yaitu: i) K menurun signifikan di sistem yang didominasi bendung, ii) capaian K tidak menurun/menurun tidak signifikan di sistem yang didominasi waduk karena terdapatnya fungsi simpanan, dan iii) capaian K dipengaruhi ketersediaan air di tiap simpul.
 - f) Mengatur simpanan dan lepasan dari waktu ke waktu sehingga evaluasi kinerja operasi waduk mencapai indikator: i) keandalan = 100% (1), ii) ketahanan = 100% (1), dan iii) kerentanan = 0% (0), sehingga operasi dapat berjalan berkelanjutan.
 - g) Menggunakan data sintetik berupa skema sungai dan data tunggal dengan penggunaan air sejenis bahwa MEQAA dapat dikondisikan sesuai kebijakan intervensi operasional alokasi air di simpul tertentu.
- 4) Dari uji coba pengendalian alokasi air pada operasional waktu nyata bahwa K yang diinstruksikan terhadap eksekusi di lapangan tidak berbeda (klas K sama), namun terdapat deviasi debit karena faktor hidrologi, fisik bangunan air dan kesalahan pembacaan *peilschaal* oleh operator lapangan, serta dwifungsi saluran irigasi.

6.2 Saran

- 1) Untuk perencanaan alokasi air khususnya menunjang operasional waktu nyata perlu: i) meminimumkan deviasi debit keluaran MEQAA terhadap eksekusi lapangan dengan meneliti/mempertimbangkan faktor hidrologi, fisik bangunan air dan kesalahan pembacaan *peilschaal*, ii) meneliti/membangun formula koefisien kehilangan air dan aliran kembali (return flow), iii) meneliti/membangun formula koefisien kehilangan air di waduk, iv) melengkapi keputusan alokasi air antar simpul dengan estimasi waktu tempuh paket air, misalnya menggunakan model fungsional $T=f(Q, L)$ (dicontohkan pada Lampiran 19: ruas antar simpul di WS Lombok), vi) menyiapkan limitasi/aturan operasi waduk, misalnya menggunakan model fungsional prediksi simpanan waduk dengan koefisien $C_{RC}=f(V/V_{eff})$ (dicontohkan pada Lampiran 20: waduk seri Batujai-Pengga di WS Lombok), v) mengintegrasikan MEQAA dengan SMS *gate away* dan

konverter data sehingga kompatibel untuk mampu berkomunikasi umpan balik dan menghitung secara otomatis, vi) melaksanakan tertib operasional lapangan (termasuk petani keramba/kolam ikan di saluran irigasi) dengan melengkapi/menyehatkan alat atur-alat ukur-operator serta sosialisasi perubahan perilaku pengguna air. Intervensi alokasi air di simpul tertentu hanya diperkenankan pada masa: i) darurat defisit air atau rotasi *on-off*, ii) rehabilitasi/perbaikan/pemeliharaan jaringan, dan iii) transisi perilaku pengguna air yang ego menjadi egalitarian.

- 2) MEQAA perlu dikembangkan untuk: i) memodelkan sistem sungai independen dengan suplesi internal dari sungai utama ke sungai cabang dan sebaliknya, ii) memodelkan sistem sungai interdependen, dan iii) memodelkan sistem sungai yang terdapat waduk pembangkit tenaga listrik. Selain itu perlu: i) meningkatkan tampilan MEQAA agar lebih informatif/*user friendly*, ii) mengintegrasikan MEQAA dengan model optimasi rencana tata tanam untuk menentukan awal musim tanam dan intensitas tanam daerah irigasi, iii) mengakomodir akibat fungsi waduk untuk operasional banjir terhadap alokasi air, dan iv) mengakomodir akibat penurunan kualitas air di ruas antar simpul terhadap alokasi air.
- 3) Untuk membuktikan keluaran MEQAA terhadap percobaan praktik alokasi air perlu dibangun model fisik hidrolika dilengkapi pintu air dan alat ukur debit.

Halaman ini sengaja dikosongkan.



DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim. Keputusan Menteri Kimpraswil No. 360/KPTS/M/2004 tentang Pedoman Pengoperasian Waduk Tunggal.
2. Anonim. *Kriteria Perencanaan Irigasi KP-02 (Bangunan Utama) dan KP-03 (Saluran)*, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Departemen Pekerjaan Umum: Jakarta, Indonesia, edisi revisi 2013.
3. Anonim. Peraturan Pemerintah RI No. 77 Tahun 2001 tentang Irigasi.
4. Anonim. Peraturan Pemerintah RI No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran.
5. Anonim. Peraturan Pemerintah RI No. 121 Tahun 2015 tentang Pengusahaan Sumber Daya Air.
6. Anonim. Permen PU-PR No. 04/PRT/M/2015 tentang Kriteria dan Pembagian Wilayah Sungai.
7. Anonim. Permen PU-PR No. 06/PRT/2015 tentang Eksploitasi dan Pemeliharaan Sumber Air dan Bangunan Pengairan.
8. Anonim. Permen PU-PR No. 09/PRT/2015 tentang Penggunaan Sumber Daya Air.
9. Anonim. Permen PU-PR No.12/PRT/M/2015 tentang Eksploitasi dan Pemeliharaan Jaringan Irigasi.
10. Anonim. *Rencana Alokasi Air Tahunan 2016/2017 dan Rencana Alokasi Air Tahunan 2017/2018 Wilayah Sungai Lombok*; Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara I (BWS NT I): Mataram, Lombok, Indonesia, 2016 & 2017.
[<http://alokasiair-bwsnt1.com>]
11. Anonim. Surat Edaran Dirjen SDA, Kementerian PU No. 04/SE/D/2012 tentang Penyusunan Neraca Air dan Penyelenggaraan Alokasi Air.
12. Anonim. Surat Edaran Dirjen SDA, Kementerian PU-PR No. 05/SE/D/2016 tentang Pedoman Penyelenggaraan Kegiatan Operasi dan Pemeliharaan Prasarana Sungai Serta Pemeliharaan Sungai.
13. Anonim. Undang-Undang RI No. 11 Tahun 1974 tentang Pengairan.
14. Arjoon, D, Tilmant,A , Herrmann, M. 2016. Sharing water and benefits in transboundary river basins. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 20, 2135–2150.
[CrossRef] <https://doi.org/10.5194/hess-20-2135-2016>
15. Azuan, Rudi. Peningkatan Kinerja Operasi Waduk Jepara Lampung dengan cara Rotasi Pemberian Air Irigasi. *Media Teknik Sipil*, Vol.IX, No. 1, Hal 71-75. 2009
16. Doulgeris, C.; Georgiou, P.E.; Papamichail, D.M. 2015. *Water allocation under deficit irrigation using Mike Basin model for the mitigationof climate change*. *Irrig Sci* (2015) 33:469–482
[CrossRef] doi 10.1007/s00271-015-0482-4
17. Dutta, D., Kima, S.; Vazea, J.; Hughesa, J.; Yanga, A. Water accounting for sustainable water resources management-role of hydrological modelling. 21st International Congress on Modelling and Simulation, Canberra, Australia, 2015. *a CSIRO Land and Water*; 2040-2046.
[www.mssanz.org.au/modsim2015/L2/dutta.pdf]
18. Elmahdi, A.; Malano, H.; Etchells, T. Using system dynamics to model water-reallocation. *Environmentalist* 2007, 27, 3–12.
[CrossRef] <https://doi.org/10.1007/s10669-007-9010-2>
19. Eriyatno. *Ilmu Sistem-Meningkatkan Mutu dan Efektivitas Manajemen*; Guna Widya: Surabaya, Indonesia, 2012.

20. Fagi, A.M. Menyiasati Pengelolaan Sumber Daya Air untuk Pertanian Masa depan. Iptek Tanaman Pangan. 2007.
21. Fan, Y.; Gao, Z.; Wang, S.; Chen, H., Liu, J. Evaluation of the Water Allocation and Delivery Performance of Jiamakou Irrigation Scheme, Shanxi, China. *Water* 2018, 10(5), 654. [CrossRef] <https://doi:10.3390/w10050654>
22. Farriansyah, A.M.; Aribowo, G.G. Adaptasi alokasi air akibat indikasi perubahan iklim dan kompleksitas sistem sumber daya air di Wilayah Sungai Pulau Lombok. In Proceedings of the 26th Indonesian Association of Hydraulic Engineers Annual Conference (PIT HATHI), Banjarmasin, Indonesia, 23-25 October 2009. [CrossRef] <https://doi.org/10.1051/mateconf/201814703005>
23. Farriansyah, A.M.; Corsel, A.R.; Novelia, G.R. Rekayasa model alokasi air tahunan Wilayah Sungai Lombok (Studi DAS Jangkok). In Proceedings of the 31st Indonesian Association of Hydraulic Engineers Annual Conference (PIT HATHI), Padang, Indonesia, 22-24 August 2014.
24. Farriansyah, A.M.; Novelia, G.R.; Husnan, B. Alokasi air real time (kasus: Sungai Jangkok). In Proceedings of the 32nd Indonesian Association of Hydraulic Engineers Annual Conference (PIT HATHI), Malang, Indonesia, 6-8 November 2015.
25. Farriansyah, A.M.; Novelia, G.R.; Husnan, B. The Development of Equalization Model of Water Allocation. In Proceedings of the 5th International Seminar HATHI, Bali, Indonesia, 2016.
26. Farriansyah, A.M.; Juwono, P.T.; Suhartanto, E.; Dermawan, V.; Alyaminy, R.S.Z. The Performance of Equalization Model of Water Allocation Inter Irrigation Areas in River System. The Third International Conference on Sustainable Infrastructure and Built Environment, ITB, Bandung, Indonesia, 26-27 September 2017. *MATEC Web Conf.* 22 January 2018, 147, Article Number 03005. [CrossRef] https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/abs/2018/06/mateconf_sibe2018_03005/mateconf_sibe2018_03005.html
27. Fayaed, S.S.; El-Shafie, A.; Jaafar, O. Reservoir-system simulation and optimization techniques. *Stoch. Environ. Res. Risk Assess.* 2013, 27, 1751–1772. [CrossRef] <https://doi.org/10.1007/s00477-013-0711-4>
28. Fulazzaky, M.A. Review - Challenges of integrated water resources management in Indonesia. *Water* 2014, 6, 2000-2020. [CrossRef] <https://doi.org/10.3390/w6072000>
29. Gonzalez, J. F.; Decker, C.A.; Hall, J.W. A linear programming approach to water allocation during a drought. *Water* 2018, 10, 363. [CrossRef] <https://doi.org/10.3390/w10040363>
30. Gorantiwar, S.D.; Smout, I.K. *Performance Assessment Of Irrigation Water Management Of Heterogeneous Irrigation Schemes: 1. A Framework For Evaluation. Irrigation and Drainage Systems*; Loughborough University's Institutional Repository: Leicestershire, UK, 2005. [https://dspace.lboro.ac.uk/dspace-jspui/bitstream/2134/3613/1/IDS-Perf-684.pdf]
31. Guo, S.; Chen, J.; Li, Y.; Liu, P.; Li, T. Joint operation of the multi-reservoir system of the Three Gorges and the Qingjiang cascade reservoirs. *J. Energies* 2011, 4, 1036-1050. [CrossRef] <https://doi.org/10.3390/en4071036>
32. Haro, D.; Paredes, J.; Solera, A.; Andreu, J. A model for solving the optimal water allocation problem in river basins with network flow programming when introducing non-linearities. *Water Resour Manage.* 2012, 26, 4059–4071. [CrossRef] <https://doi.org/10.1007/s11269-012-0129-7>

33. Harrell, C., Ghosh, B.K. & Bowden, R.O., Jr. 2003. *Simulation Using Promodel, 2nd ed.* Singapore: McGraw-Hill.
34. Hashimoto, T., Loucks, D, P., Stedinger J,R,. Reliability, Resiliency, Robustness, and Vulnerability Criteria For Water Resource Systems. Reprinted from *Water Resources Research*, volume 18 number 1 (1982).
35. Hatmoko, W. Modeling of real time water allocation planning in Indonesia. In Proceeding of the 3rd Asian Regional Conference-ICID, Kuala Lumpur, Malaysia, 2006. [https://www.academia.edu/12087336/Modeling_of_RealTime_Water_Allocation_Planning_in_Indonesia]
36. Hatmoko, W.; Triweko, W.; Yudianto, D. Sistem pendukung keputusan untuk perencanaan alokasi air secara partisipatoris pada suatu wilayah sungai. *Jurnal Teknik Hidraulik Puslitbang Sumber Daya Air-Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia (ISBN 2087-361)*. 2012, 3, 1, 71-86. [https://www.academia.edu/12086929/sistem_pendukung_keputusan_untuk_perencanaan_alokasi_air_secara_partisipatoris_pada_suatu_wilayah_sungai]
37. Hatmoko, W. Indeks kelangkaan air irigasi. In Paper Conference of Indonesia's ICID, Palembang, Indonesia, 2014; Vol. 1. [www.academia.edu/28419152/Indeks_Kelangkaan_Air_Irigasi]
38. Hatmoko, W.; Radhika; Firmansyah, R; Fathoni, A. Ketahanan Air Irigasi pada Wilayah Sungai di Indonesia (Irrigation Water Security at River Basin Areas in Indonesia). *Jurnal Irigasi*. 2017, Vol. 12, No. 2, 65-76.
39. Hoff, H.; Bonzi, C.; Joyce, B.; Tielbörger, K. A water resources planning tool for the Jordan River Basin. *Water* 2011, 3, 718-736. [[CrossRef](https://doi.org/10.3390/w3030718) <https://doi.org/10.3390/w3030718>]
40. Hossain, M.S & El-shafie, A. Intelligent Systems in Optimizing Reservoir Operation Policy: A Review. *Water Resour Manage* (2013) 27:3387 – 3407. [[CrossRef](https://doi.org/10.1007/s11269-013-0353-9) <https://doi.org/10.1007/s11269-013-0353-9>]
41. Ilich, E.R. Enhancements Of The Water Resources Management Model (Wrmm) Through An Improved Communication With Users, Tesis. 2000.
42. Indarto. 2014. *Hidrologi – Dasar Teori dan Contoh Aplikasi Model Hidrologi*. Jakarta: Bumi Aksara.
43. Irianto, G. 2004. "Proportional Water Sharing" untuk Mencegah Penguasaan Absolut Sumber Mata Air. Kompas. 22 Juli 2004. www.litbang.pertanian.go.id/artikel/one/276/pdf/
44. Kartabrata, M.; Marjanto, W.D. Penggunaan computer model untuk distribusi air dan alokasi air pada Water Operation Centre (WOC) Unit - Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Nusa Tenggara Barat (NTB). *Jurnal Informasi Teknik, Direktorat Jenderal Pengairan-Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia (ISSN: 0215-1928)*. 1994, 14, 46-60.
45. Kafiansyah, M.Y. *Simulasi Pola Operasi Waduk Pandanduri dengan Optimasi Faktor-K Irigasi*. Skripsi. Universitas Brawijaya. Malang, 2017.
46. Kelley, T.; Johnson III, S.H. Technical Communication: Use of Factor-K Water Allocation System in Irrigation Management: Theory and Application in Indonesia. *Water Resour Manage*. 1989, 3, 49-71. [[CrossRef](https://doi.org/10.3390/w9120911) <https://doi.org/10.3390/w9120911>]
47. Kim, T.J.; Wurbs, R.A. Modeling river/reservoir system management with the expanded WRAP. *KSCE Journal of Civil Engineering* 2011, 15(8), 1457-1467. [[CrossRef](https://doi.org/10.1007/s12205-011-0968-4) <https://doi.org/10.1007/s12205-011-0968-4>]

48. Kim, H.K.; Jang, T.I.; Im, S.J.; Park, S.W. Estimation of irrigation return flow from paddy fields considering the soil moisture. *Agricultural Water Management*. 2009, 96, 875-882.
[CrossRef] <https://doi:10.1016/j.agwat.2008.11.009>
49. Koch, H.; Grunewald, U. A comparison of modelling systems for the development and revision of water resources management plans. *Water Resour Manage*. 2008, 23, 1403-1422.
[CrossRef] <https://doi.org/10.1007/s11269-008-9333-x>
50. Kodoatie, R. & Syarief, R. 2010. *Tata Ruang Air*. Yogyakarta: Andi.
51. Kundzewicz, Z.W.; Kindler, J. Multiple criteria for evaluation of reliability aspects of water resource systems. Modelling and Management of Sustainable Basin-scale Water Resource Systems (Proceedings of a Boulder Symposium), July 1995. IAHS Publ, No. 231; 217-224.
[http://hydrologie.org/redbooks/a231/iahs_231_0217.pdf]
52. Labadie, J.W.; Optimal Operation of Multireservoir Systems: State-of-the-Art Review. *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 130, No. 2, March 1, 2004. hal. 94-111.
[CrossRef] doi: 10.1061/(ASCE)0733-9496 (2004) 130:2 (93)
53. Law, A.M. & Kelton, W.D. 1991. *Simulation Modeling & Analysis*. Singapore: McGraw-Hill.
54. Li, Xuemin; Huo, Zailin; Xu, Bing. *Optimal Allocation Method of Irrigation Water from River and Lake by Considering the Field Water Cycle Process*. *Water* 2017, 9, 911; [CrossRef] doi:10.3390/w9120911
55. Lobbrecht, A.H., Solomatine, D.P. 2002. Machine learning in Real-Time Control of Water Systems. *Urban Water* 4, 2002, 283-289.
[CrossRef] [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(2005\)131:2\(135\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(2005)131:2(135))
56. Marchant, D, J.; Peña, A, G.; Tamas, M.; Harou, J, J. Simulating Water Allocation and Cropping Decisions in Yemen's Abyan Delta Spate Irrigation System. *Water* 2018, 10, 121. [CrossRef] doi:10.3390/w10020121.
57. Marusic, G. 2013. A Study On The Mathematical Modeling Of Water Quality In "River-Type" Aquatic Sistem. *WSEAS Transactions on Fluid Mechanics*. E-ISSN: 2224-347X Issue 2, Volume 8.
58. Mays, L.W & Tung, Y.K. 1992. *Hydrosystems Engineering & Management*. Singapore: McGraw-Hill.
59. McKinney, D.C. 2004. *International Survey Of Decision Support System For Integrated Water Management*. Technical Report. Romania: IRG PROJECT NO: 1673-000. [http://www.ce.utexas.edu/prof/mckinney/Romania/DSS-Report\(Final\).pdf](http://www.ce.utexas.edu/prof/mckinney/Romania/DSS-Report(Final).pdf) (diakses Jan 2017)
60. McKinney, D.C. 2011. *HEC ResSim Model Of Lancang Cascade Dams*. http://n-h-i.org/wp-content/uploads/2017/02/McKinney_HEC_ResSim_Model_of_Lancang_Cascade_Dams.pdf. (diakses Jan 2017).
61. McMahan, T.A. & Mein, R.G. 1986. *River and Reservoir Yield*. Colorado: Water Resources Publication.
62. Mensik, P; Sary, M; Marton, D. Water management software for controlling the water supply function of many reservoirs in a watershed. *Water Resources* 2015, 41(1), 133-145.
[CrossRef] <https://doi.org/10.1134/S0097807815010078>

63. Meijer, K.S.; Krogt van der, W.N.M.; Beek van, E. A new approach to incorporating environmental flow requirements in water allocation modeling. *Water Resour Manage.* 2012, 26, 1271–1286.
[CrossRef] <https://doi.org/10.1007/s11269-011-9958-z>
64. Mutiga, J.K., Mavengano, S.T., Zhongbo, S., Woldai, T., Becht, R. 2010. Water Allocation as a Planning Tool to Minimise Water Use Conflicts in the Upper Ewaso Ng'iro North Basin Kenya. *Water Resour Manage.* 24:3939–3959. DOI 10.1007/s11269-010-9641-9. © Springer Science+Business Media B.V.
65. Niayifar, A. & Perona, P. Dynamic water allocation policies improve the global efficiency of storage systems. *Advances in Water Resources.* 2017, 104, 55-64.
[CrossRef] <https://doi.org/10.1029/96WR03745>
66. Pawitan, H., Setiawan, B.I., Kartiwa, B., Subagyo, K., Rejeki, P. 2009. *Model Pengelolaan Air Partisipatif Berbasis Kearifan Lokal untuk Keberlanjutan Pengembangan Sumber Daya Air DAS*. Laporan Akhir Penelitian Kerja Sama Kemitraan Penelitian Pertanian dengan Perguruan Tinggi (KKP3T). <http://www.litbang.pertanian.go.id/ks/one/329/file/model-pengelolaan-air.pdf>.
67. Perera, B.J.C.; James, B.; Kularathna, M.D.U. Computer software tool REALM for sustainable water allocation and management. *Journal of Environmental Management* 2005, 77, 291–300.
[CrossRef] <https://doi.org/10.1007/s11269-013-0384-2>
68. Roozbahani, R.; Abbasi, B.; Schreider, S.; Ardakani, A. A multi-objective approach for transboundary river water allocation. *Water Resour Manage.* 2014, 28, 5447–5463.
[CrossRef] <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0812-y>
69. Roozbahani, R.; Abbasi, B.; Schreider, S. Optimal allocation of water to competing stakeholders in a shared watershed. *Ann Oper Res.* 2015, 229, 657–676.
[CrossRef] <https://doi.org/10.1007/s10479-015-1806-8>
70. Sargent, R.G. Verifying and validating simulation models. In proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference, Department of Electrical Engineering and Computer Science, Syracuse University, New York, USA, 2014.
<https://simulation.su/uploads/files/default/2014-sargent.pdf>
71. Sangiorgio, M.; Guariso, G.; NN-Based Implicit Stochastic Optimization of Multi-Reservoir Systems Management. *Water* 2018, 10, 303.
[CrossRef] [doi:10.3390/w10030303](https://doi.org/10.3390/w10030303)
72. Setiawan, E. 2009. *Simulation Of Water Allocation On Serial Waterworks Based On Water Balance*. *Jurnal Teknik REKAYASA*. Universitas Mataram. Volume 10 No 1, Juni. Hal: 87-94).
73. Sharif, M, Hamid, A,T, Husain, A. 2013. Simulation of Karangates Reservoir Operation. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. Volume 2, Issue 5, May 2013. P. 1850-1857. ISSN: 2319-8753.
74. Shamim, M.A.; Hassan, M.; Ahmad, S.; Zeeshan, M. A Comparison of Artificial Neural Networks (ANN) and Local Linear Regression (LLR) Techniques for Predicting Monthly Reservoir Levels. *KSCE Journal of Civil Engineering* 2015, 00(0):1-8.
[CrossRef] <https://doi.org/10.1007/s12205-015-0298-z>
75. Singh, A & Panda, S, N. 2013. Optimization and Simulation Modelling for Managing the Problems of Water Resources. *Water Resour Manage* (2013) 27:3421 – 3431.
[CrossRef] <https://doi.org/10.1007/s11269-013-0355-7>
76. Singh, A. Review: Computer-based models for managing the water-resource problems of irrigated agriculture. *Hydrogeology Journal* 2015, 23, 1217–1227.
[CrossRef] <https://doi.org/10.1007/s10040-015-1270-1>

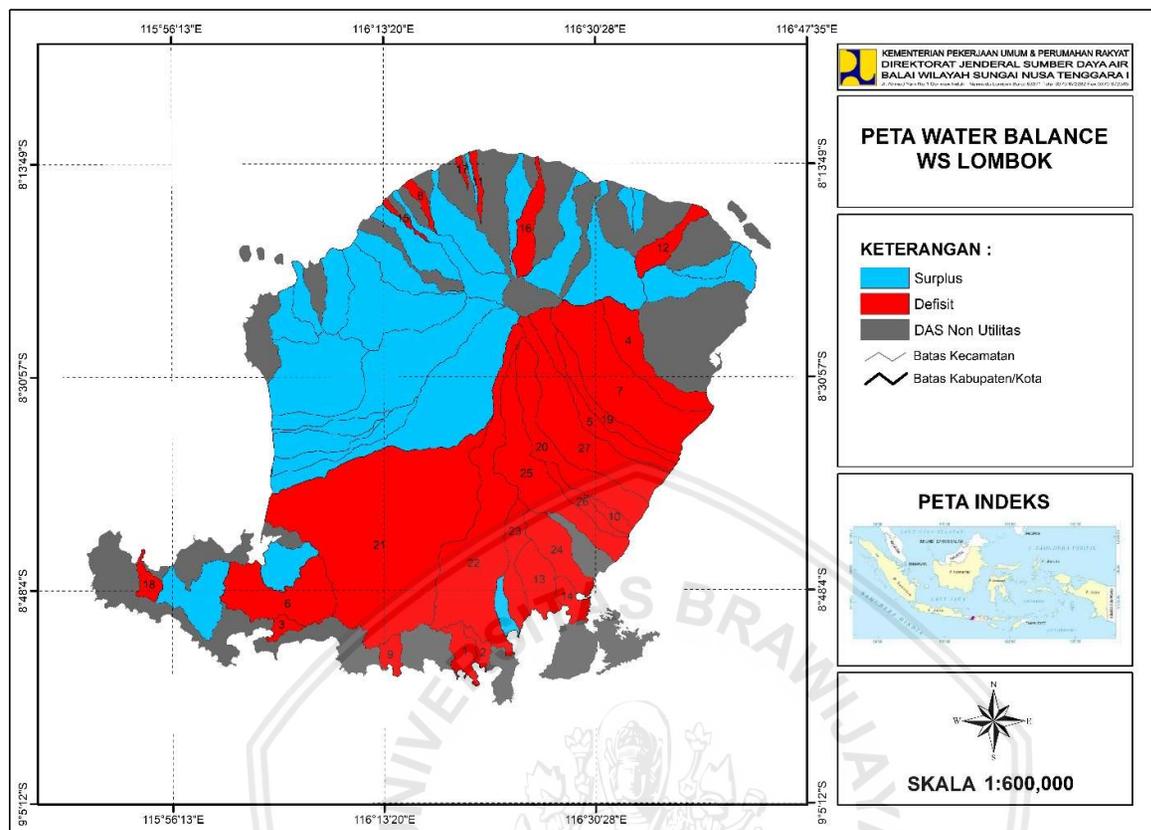
77. Smout, I.K & Gorantiwar, S.D. 2006. Productivity and Equity of Different Irrigation Schedules under Limited Water Supply. *J. Irrig. Drain Eng.*, 132(4): 349-358.
[CrossRef] [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2006\)132:4\(349\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2006)132:4(349))
78. Soetopo, W. 2011. *Model-model Simulasi Deterministik untuk Sistem Sumber Daya Air*. Malang: Citra Malang.
79. Sosiawan, H. & Subagyono, K. 2009. Strategi Pembagian Air Secara Proporsional Untuk Keberlanjutan Pemanfaatan Air. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. *Pengembangan Inovasi Pertanian* 2 (4).
[//pustaka.litbang.pertanian.go.id/publikasi/ip024098.pdf](http://pustaka.litbang.pertanian.go.id/publikasi/ip024098.pdf) (diakses Jan 2016).
80. Strauß, S. Water conflicts among different user groups in South Bali, Indonesia. *Hum Ecol.* 2011, 39, 69–79.
[CrossRef] <https://doi.org/10.1007/s10745-011-9381-3>
81. Subagyono, K. & Surmaini, E. 2007. Pengelolaan Sumberdaya Iklim dan Air untuk Antisipasi Perubahan Iklim. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*. Volume 8 No. 1. Hal. 27 – 41. ISSN 1411 - 3082.
[//puslitbang.bmkg.go.id/jmg/index.php/jmg/article/download/5/5](http://puslitbang.bmkg.go.id/jmg/index.php/jmg/article/download/5/5)
82. Suryadi, S. 2006. Kekeringan dan Hak Guna Air. Pokja Air Minum dan Penyehatan Lingkungan (AMPL)-LP3ES dari Koran Kompas Edisi 09 Agustus 2006.
<http://www.ampl.or.id/digilib/read/kekeringan-dan-hak-guna-air/21763>
83. Sulis, A; Sechi, G.M. Comparison of generic simulation models for water resource systems. *Environmental Modelling & Software* 2013, 40, 214-225.
[CrossRef] <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.09.012>
84. Tongongar, B., Kan, C.E. & Chen, J.H. 2008. Distribution Factor Technique for Water Allocation in Rotational Irrigation. Pingtung University of Science and Technology, Taiwan. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 3 (3). ISSN 1818-6769.
[//www.idosi.org/aejaes/jaes3\(3\)/25.pdf](http://www.idosi.org/aejaes/jaes3(3)/25.pdf) (diakses Mar 2016)
85. UN Water. *World Water Development Report 2015 “Water for a Sustainable World”*; Paris, France, 2015.
[\[https://www.unescap.org/sites/default/files/WWDR-2015.pdf\]](https://www.unescap.org/sites/default/files/WWDR-2015.pdf)
86. Wang, T.; Fang, G.; Xie, X.; Liu, Y.; Ma, Z. A multi-dimensional equilibrium allocation model of water resources based on a groundwater multiple loop iteration technique. *Water* 2017, 9, 718.
[CrossRef] <https://doi.org/10.3390/w9090718>
87. Wegerich, K. A critical review of the concept of equity to support water allocation at various scales in the Amu Darya Basin. *Irrig. Drainage Syst.* 2007, 21, 185–195.
[CrossRef] <https://doi.org/10.1007/s10795-007-9035-1>
88. Wurbs, R.A. *Comparative Evaluation of Generalized Reservoir/River System Models- Technical Report No. 282*; Texas Water Resources Institute The Texas A&M University System College Station, Texas, USA 2005.
[\[http://oaktrust.library.tamu.edu/handle/1969.1/6092\]](http://oaktrust.library.tamu.edu/handle/1969.1/6092)
89. Yazdeli, Y.B.; Haddad, O.B.; Mehdipour, E.F.; Mariño, M.A. Evaluation of real-time operation rules in reservoir systems operation. *Water Resour Manage.* 2014, 28, 715–729.
[CrossRef] <https://doi.org/10.1007/s11269-013-0510-1>
90. Yekti, M.I. *Role of reservoir operation in sustainable water supply to Subak irrigation schemes in Yeh Ho River Basin*. Dissertation, Wageningen University. CRC Press/Balkema, Netherlands. 2017.
[CrossRef] <http://dx.doi.org/10.18174/404538>

91. Yulistiyanto, B. & Kironoto, B. A. Kajian Pengembangan Pengelolaan Sumberdaya Air pada WS Paguyaman dengan RIBASIM. *Media Teknik*, Volume 2, Tahun XXX, Mei 2008: 1 – 12.
https://www.researchgate.net/publication/265521561_ANALISA_PENDAYAGUNAA_N_SUMBERDAYA_AIR_PADA_WS_PAGUYAMAN_DENGAN_RIBASIM
92. Yulistiyanto, B. *Metode Numerik: Aplikasi untuk Teknik Sipil*. Yogyakarta: UGM Press. 2015
93. Zagona, E.A.; Fulp, T.J.; Goranflo, H.M.; Shane, R.M. Riverware: A General River And Reservoir Modeling Environment. *Reprinted from the Proceedings of the First Federal Interagency Hydrologic Modeling Conference*, Las Vegas, Nevada, April 1998:19-23, pp. 5-113-120.
<http://www.riverware.org/PDF/RiverWare/vegas98.pdf>.



Halaman ini sengaja dikosongkan.





Keterangan nomor peta DAS status defisit

NO	NAMA DAS	LUAS km ²
1	Balak	25
2	Bangketlamin	11
3	Bengkang	11
4	Desa	73
5	Geres Serodang	62
6	Kelep	111
7	Kukusan	185
8	Lebah Pebali	10
9	Mawun	15
10	Menangapaok	12
11	Menangen	8
12	Nangka	33
13	Peak (Jerowaru)	47
14	Pemokong	20
15	Penggolong	5
16	Reak	38
17	Rembat	3
18	Siung	15
19	Tojang	40
20	Aikampat (HLD)	103
21	Dodokan (HLD)	582
22	Renggung Perempung (HLD)	226
23	Pare Ganti (HLD)	46
24	Rere Penembem (HLD)	54
25	Palung (HLD)	129
26	Moyot (HLD)	24
27	Belimbing (HLD)	142

Lampiran 1. Gambar neraca air global WS Lombok
Sumber: BWS NT I (2017).

Lampiran 2. Tabel hasil survei perlakuan distribusi air dalam daerah irigasi (klas faktor-K) di WS Lombok

NO	DAS	NODE	LUAS DI (HA)	AMT I	JENIS TANAMAN	LUAS TANAM (ha)	KLAS	
							FAKTOR - K	
							MAR IV	MEI I
1	JANGKOK (HLD)	BS JANGKOK		-	-	-	-	-
		B/S NYURBAYA	443	NOV I	PADI	443	K1	K1
		B MENCONGAH	244	NOV I	PADI	244	K1	K1
		B MENJELI	97	NOV I	PADI	97	K1	K1
		B/S REPOK PANCOR	224	NOV I	PADI	224	K1	K1
		B MATARAM	346	DES I	PADI	346	K1	K1
2	KELONGKONG REMENING (HLD)	B BATU KANTAR	9	NOV I	PADI	9	K1	K1
		B DASAN TERENG	220	NOV I	PADI	220	K1	K1
		B JUWET	476	NOV II	PADI - PAL	452	K1	K1
		B BENGKEL	33	NOV II	PADI	33	K1	K1
3	BABAK (HLD)	B LANTAN	150	DES II	PADI - PAL	143	K1	K1
		BS BABAK		-	-	-	-	-
		B/S JURANG SATE	10258	NOV II	PADI	14885	K2	E
		B GEBONG	1785	DES I	PADI	1785	K1	K2
		B DATAR	434	DES I	PADI	434	K1	K2
		B BATU RITI	558	DES II	PADI	558	K1	K2
4	DODOKAN (HLD)	E DAO	400	NOV II	PADI	400	K1	K2
		B PAOK DENGKOL	300	NOV II	PADI	300	K1	K3
		B TAIN PETUK	363	DES II	PADI	363	K2	K2
		B MUNCAN	324	DES II	PADI	324	K2	K2
		E MUNCAN	316	DES II	PADI	288	K2	K2
		B SURABAYA	2880	DES I	PADI	2880	K1	K2
		BD BATUJAI	2890	JAN II	PADI	2890	K1	K1
		BD PENGGA	3181	DES II	PADI	3181	K1	K1
5	RENGGUNG PEREMPUNG (HLD)	B NYEREDEP	88	DES II	PADI	88	K2	K2
		B LENDANG TELAGE	158	DES II	PADI	158	K2	K2
		B PENGANAK PEKAT	158	DES II	PADI	158	K2	K2
		B PAOK RENGGE	416	DES II	PADI	416	K2	K2
		B/S BISOK BOKAH	37	DES II	PADI	37	K2	K2
		B OTAK DESA	299	DES II	PADI	299	K2	K2
		B/S RENGUNG	1291	DES II	PADI	1291	K2	K2
		B/S KATON	1885	NOV I	PADI	1885	K3	K3
		B MUJUR 1	815	DES I	PADI	815	K3	K3
		B MUJUR 2	3229	DES I	PADI	3229	K3	K3

Lanjutan

NO	DAS	NODE	LUAS DI (HA)	AMT I	JENIS TANAMAN	LUAS TANAM (ha)	KLAS	
							FAKTOR - K	
							MAR IV	MEI I
6	PARE GANTI (HLD)	E PAJERUK	63	DES I	PADI	63	K2	K3
		E PEROK	35	DES I	PADI	35	K2	K3
		E LOANG MAKA	100	DES I	PADI	100	K2	K3
		B TIBU NANGKA	2284	JAN I	PADI	2284	K3	K3
		B KULEM	1118	JAN I	PADI	518	K3	K3
		B PETANEM						
		B KEMEANG						
		E PARE						
		B PARE	600	JAN I	PADI	600	K3	K3
		B PARE BERIGI	115	JAN I	PADI	115	K3	K3
7	RERE PENEMBEM (HLD)	E BATU NAMPAR	25	JAN I	PADI	25	K3	K3
		E INAN RATU	100	DES I	PADI	25	K2	K3
		B PELAPAK	673	NOV I	PADI	405	K2	K3
		E TUNDAK	825	NOV I	PADI	221	K2	K3
		B PENENDEM	973	NOV I	PADI	512	K3	K3
		B PELAMBIK	422	JAN I	PADI	312	K3	K3
		E JEROWARU	263	JAN I	PADI	263	K3	K3
8	PALUNG (HLD)	B GEGE 1	67	OKT II	PADI	67	K1	K1
		B GEGE 2	157	OKT I	PADI	157	K2	K2
		B GEGE 3	145	OKT I	PADI	145	K2	K2
		B SELAK EAT	144	OKT I	PADI	144	K2	K2
		B TETE KOPONG	302	OKT I	PADI	302	K3	K3
		B LEKAK	79	OKT I	PADI	79	K3	K3
		B TEMUSIK	648	OKT I	PADI	648	K3	K3
		BD PANDAN DURI	-	-	-	-	-	-
		B/S PANDAN DURI	3012	OKT II	PADI	2417	K3	K3
		B SWANGI TH 1916	3151	OKT II	PADI	845	K3	K3
9	MOYOT (HLD)	B PERAKO	108	DES II	PADI	108	K2	K2
		B KUANG DEREK	217	DES II	PADI	27	K3	K3
		B KWANG BERORA	105	DES II	PADI	12	K3	K3
		B MONTONG TANGI	290	DES II	PADI	25	K3	K3
		B KONDAK	484	JAN I	PADI	5	K3	K3
		B BURUNG	125	JAN II	PADI	11	K3	K3
		B REBAN WARU	197	OKT I	PADI	197	-	E
		B SURABAYA	190	OKT I	PADI	190	-	E

Lanjutan

NO	DAS	NODE	LUAS DI (HA)	AMT I	JENIS TANAMAN	LUAS TANAM (ha)	KLAS	
							FAKTOR - K	
							MAR IV	MEI I
10	AIKAMPAT (HLD)	B BOROK LELET	575	OKT I	PADI	572	K2	K2
		B RUNGKANG	639	OKT I	PADI - PAL	630	K2	K2
		B SIKUR	757	NOV I	PADI	752	K2	K2
		B ENDUT	176	NOV II	PADI - PAL	174	K2	K2
		B SADAR	276	DES II	PADI	276	K2	K3
		B PONDOL	111	DES II	PADI	111	K2	K3
		B PERESAK SIREN	142	DES II	PADI	110	K2	K3
		B LENTING	201	DES II	PADI	101	K3	K3
		B DENGGEN	80	FEB I	PADI	10	K2	K3
		B LEDANG	290	FEB I	PADI	25	K3	K3
		B PENEDA 1A	269	FEB I	PADI	8	K3	K3
		B PENEDA 1B						
		B PENEDA 2	185	FEB I	PADI	4	K3	K3
		B ESOT	187	JAN I	PADI	40	K2	K2
11	BELIMBING (HLD)	B PENGADANGAN	769	OKT I	PADI - PAL	395	K1	K2
		B SUKETIEN						
		B MENCERIT	180	OKT I	PADI - PAL	160	K1	K2
		B TEMPASAN	490	OKT I	PADI	480	K2	K2
		B PRINGGESELE	550	OKT II	PADI - PAL	427	K2	K2
		B GAPUK	438	OKT II	PADI - PAL	260	K2	K3
		B ANJANI	288	OKT II	PADI - PAL	43	K2	K2
		B TEBABAN	259	OKT II	PADI - PAL	52	K2	K2
		B KRONGKONG	650	OKT II	PADI - PAL	50	K2	K3
		B DAMAR JENGGANG	44	OKT I	PADI - PAL	33	K2	K1
B BELEONG	238	OKT I	PADI - PAL	180	K2	K1		

Lanjutan

NO	DAS	NODE	LUAS DI (HA)	AMT I	JENIS TANAMAN	LUAS TANAM (ha)	KLAS	
							FAKTOR - K	
							MAR IV	MEI I
12	KUKUSAN TANGGEK	B MELOANG	168	SEP II	PADI - PAL	162	K1	K2
		B MADANG 1	138	SEP II	PADI - PAL	130	K1	K2
		B MADANG 2	46	SEP II	PADI	46	K1	K2
		B BAGEK NYAKE	189	OKT II	PADI - PAL	172	K2	K2
		B MAMBEN	477	OKT II	PADI - PAL	453	K2	K2
		B KUKUSAN	1117	OKT II	PADI - PAL	1055	K2	K2
		B JOWET	100	OKT II	PADI - PAL	96	K2	K2
		B TEGARON	202	OKT II	PADI - PAL	192	K2	K2
		B REBAN AJI	129	OKT II	PADI - PAL	124	K3	K2
		B KERUMUT	58	OKT II	PADI	58	K3	K2
		B SUKAMULIA	513	OKT II	PADI - PAL	480	K3	K3
		B BATU YANG	532	OKT I	PADI - PAL	517	K2	K2
13	DESA	B GRENGGENGAN	165	DES II	PADI	6	K2	K3
		B SUBAK BARU	155	DES II	PADI	10	K3	K3
		B SUNTALANGU	260	DES II	PADI	24	K3	E
		B BANDE	80	DES II	PADI	17	K3	E
		B BATU PUTEK	66	DES II	PADI	2	K3	E
		B DINING	75	DES II	PADI	11	K3	E
14	TOJANG	B LOANG GALI	156	OKT I	PADI - PAL	90	K1	K1
		B BATU MALANG	488	OKT I	PADI - PAL	226	K2	K2
		B AS MALANG	243	OKT I	PADI - PAL	84	K2	K2
		B PELEMENG	255	OKT II	PADI - PAL	1	K2	K2
		B ORONG ATAS	137	OKT II	PADI - PAL	42	K2	K2

Sumber: Survei dan BWS NT I (2016).

Keterangan:

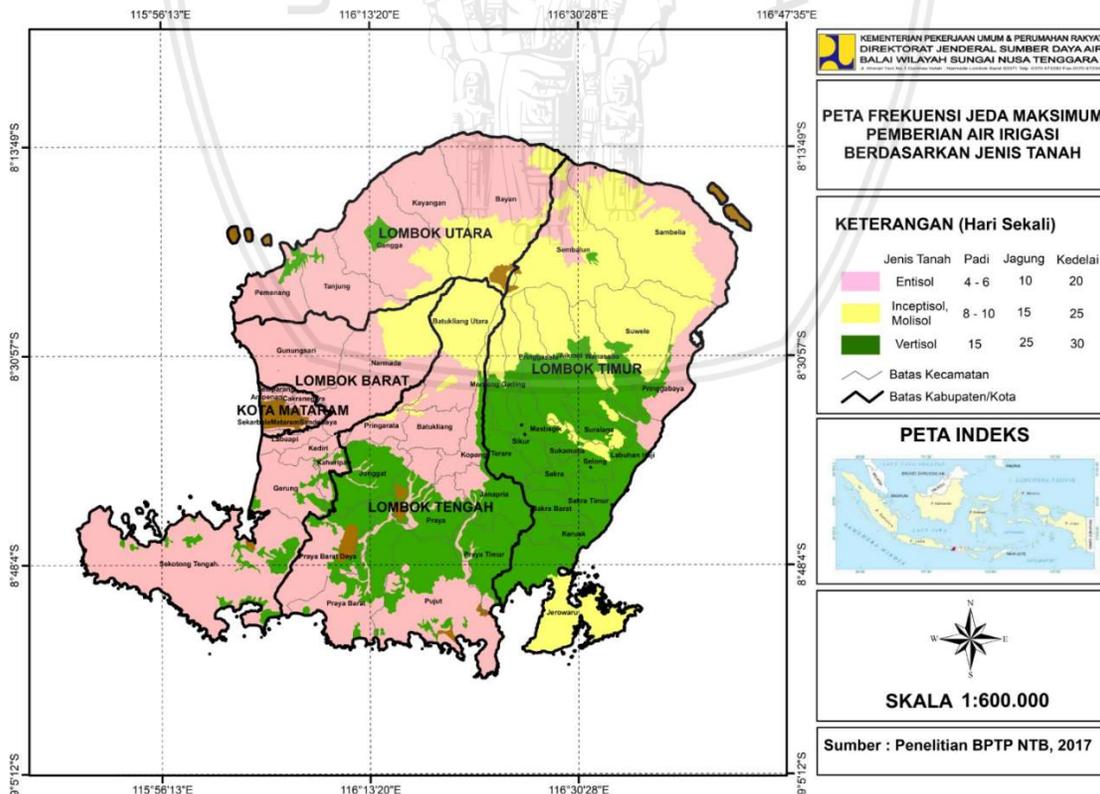
- 1) B= bendung, B/S= bendung suplesi, BD= bendungan (reservoir), E= embung (small/traditional reservoir).
- 2) DAS nomor 1 sampai 11 adalah DAS di sistem interkoneksi HLD.
- 3) DAS nomor 12 sampai 14 adalah DAS di sistem independen.
- 4) *Node* bangunan utama terletak di sungai utama, disusun berurutan dari hulu ke hilir.
- 5) Pola distribusi air dalam DI dengan kategori klas faktor-K, yaitu:
K1 = terus menerus, K2 = rotasi ringan, K3 = rotasi sedang, K4 = rotasi berat.
E=*emergency*.
- 6) Survei wawancara kepada operator lapangan dan Pengamat Pengairan, pada 25-27 Maret (MAR IV) dan 1-3 Mei (MEI I) 2016. Survei dilakukan secara serentak pada waktu yang sama, mengingat untuk menghindari perubahan/perbedaan pola operasi distribusi air.
- 7) Ketidakadilan alokasi air diindikasikan dari klas faktor-K yang tidak sama antar hulu-hilir.

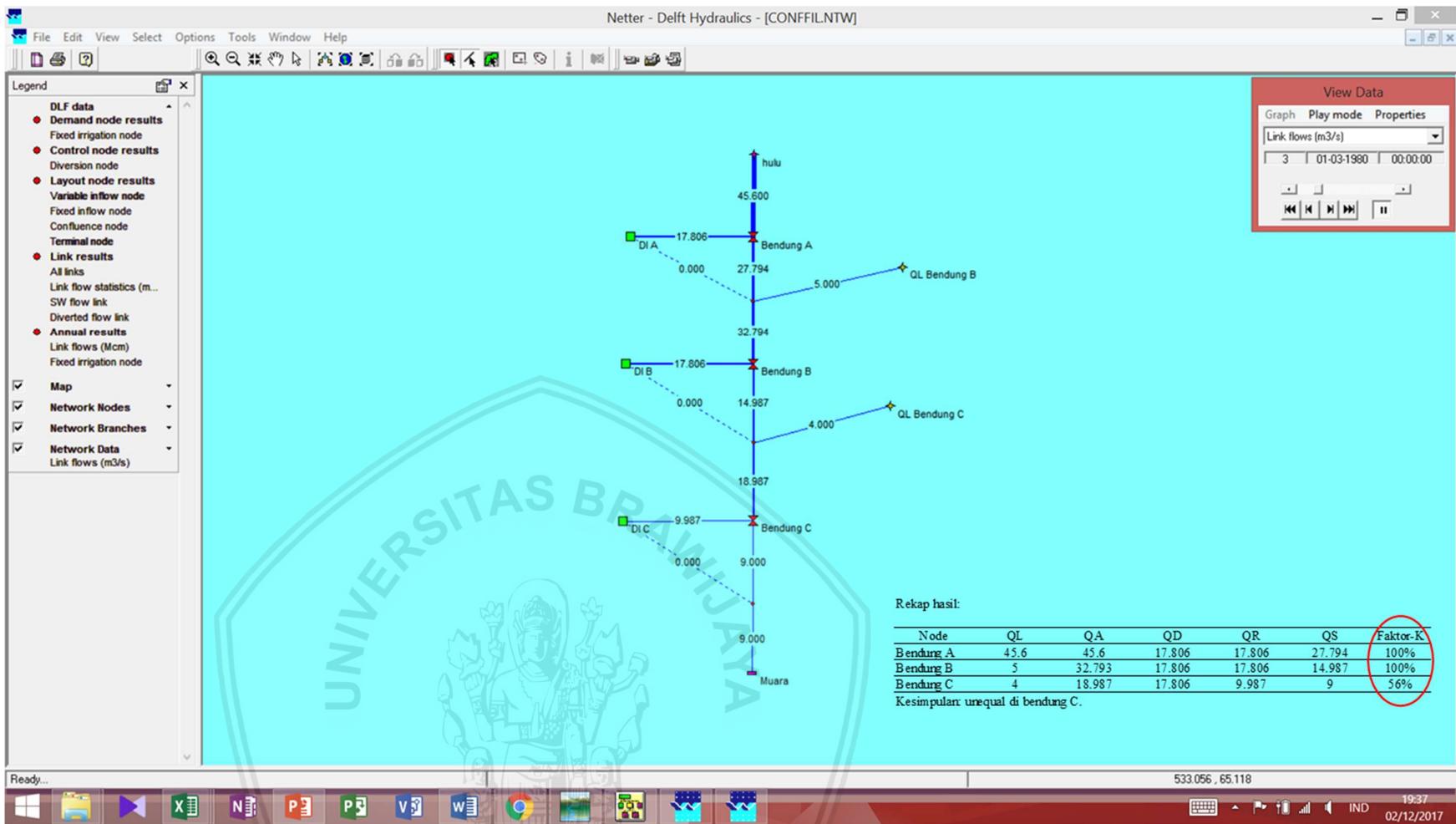
Lampiran 3. Tabel pola distribusi air dalam DI di WS Lombok (existing)

		DISTRIBUSI AIR DALAM DAERAH IRIGASI							
KLAS	FAKTOR-K	1 GOLONGAN		2 GOLONGAN		3 GOLONGAN		4 GOLONGAN	
		JEDA (HARI)	BUKA	JEDA (HARI)	BUKA	JEDA (HARI)	BUKA	JEDA (HARI)	BUKA
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
K1*	100%	0	1	0	2	0	3	0	4
K1	<100% - 80%	0	1	0	2	0	3	0	4
K2	<80% - 60%	1-3	1	1-3	1	1-4	2	1-5	3
K3	<60% - 40%	4-6	1	4-6	1	5-8	1	6-10	2
K4	<40% - 20%	7-9	1	7-9	1	9-12	1	11-15	1
E	<20%	16-30	1	16-30	1	16-30	3	16-30	4

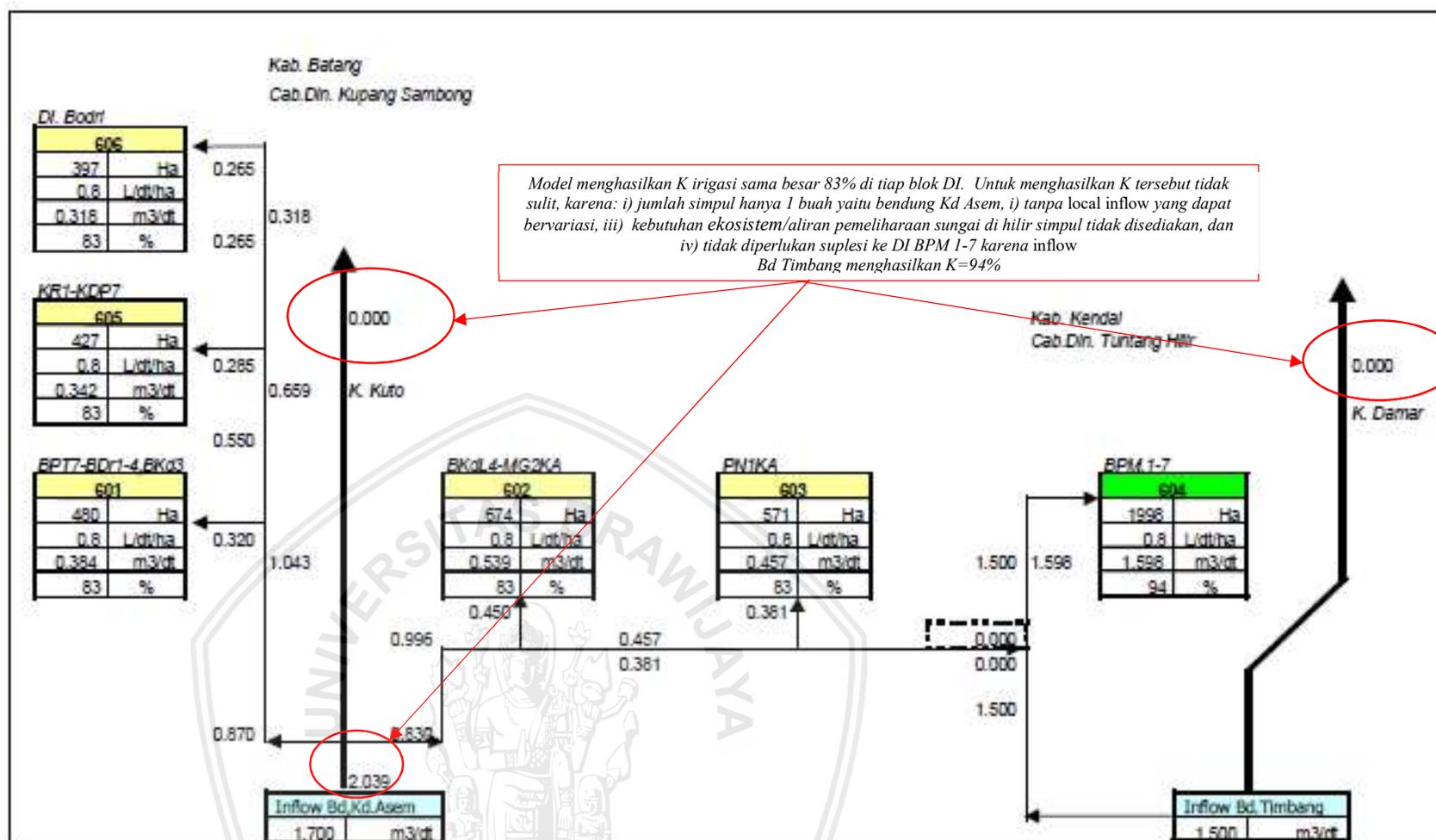
Keterangan:

- 1) Hasil wawancara kepada Pengamat Pengairan di WS Lombok, pada 27 Februari - 6 Maret 2017.
- 2) Jeda maksimum pemberian air sesuai peta jenis tanah yang mengindikasikan titik layu tanaman.
- 3) Basis waktu operasional setengah bulanan (15 hari).
- 4) E = *emergency*

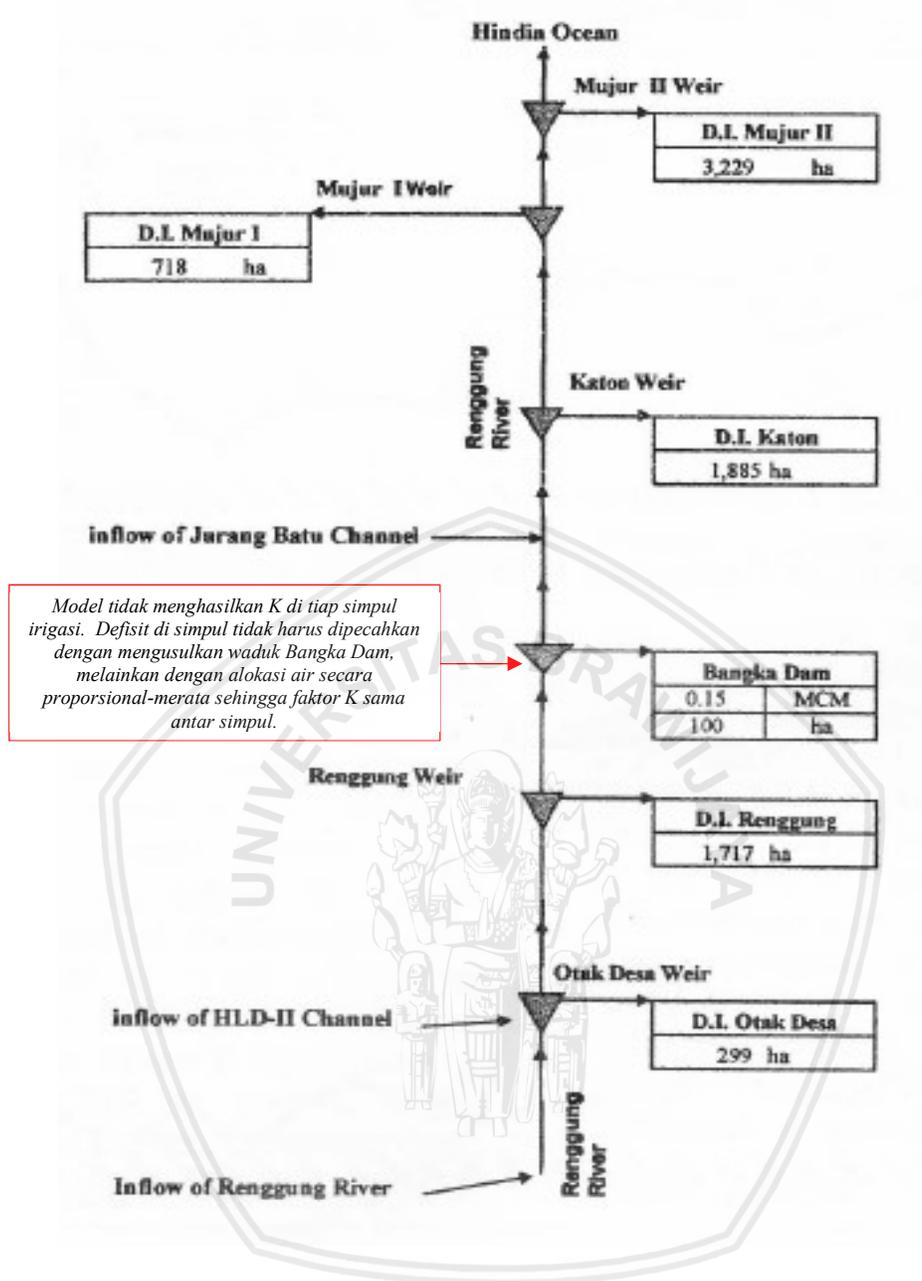




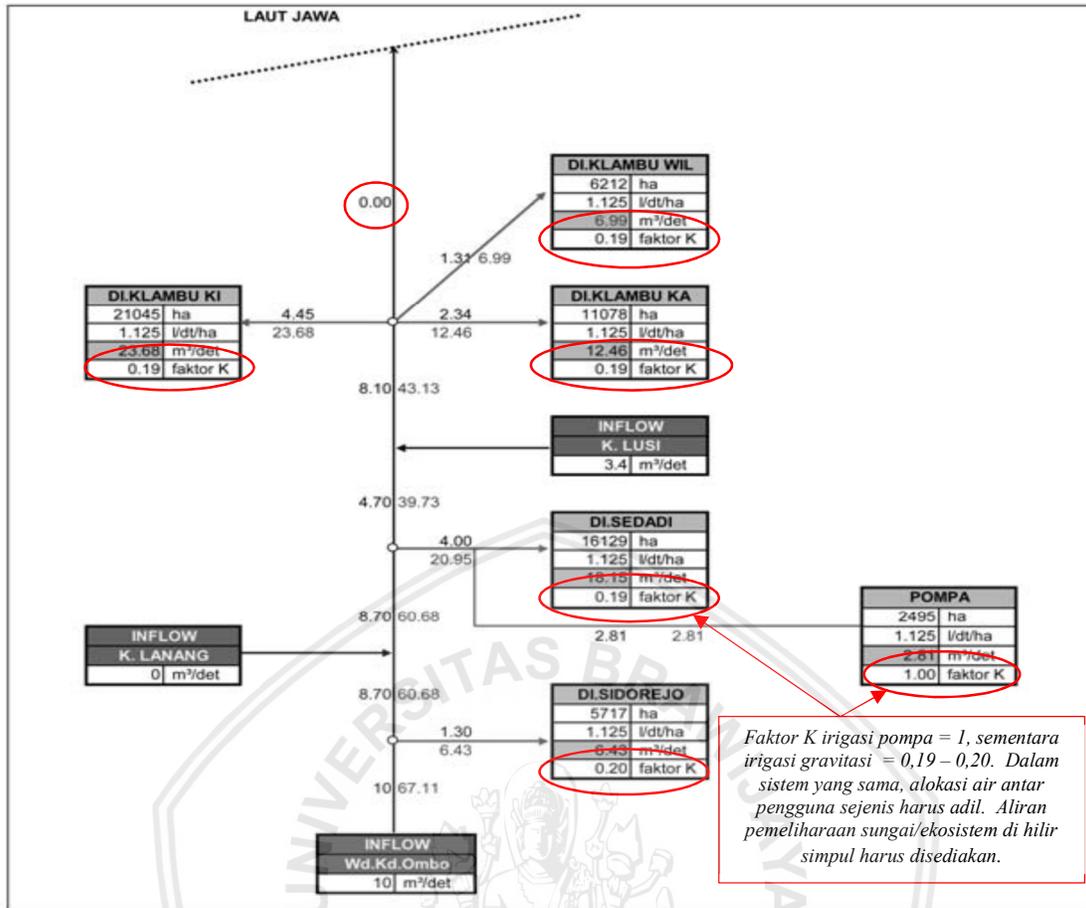
Lampiran 4. Gambar skema sistem alokasi air sintetik dengan RIBASIM



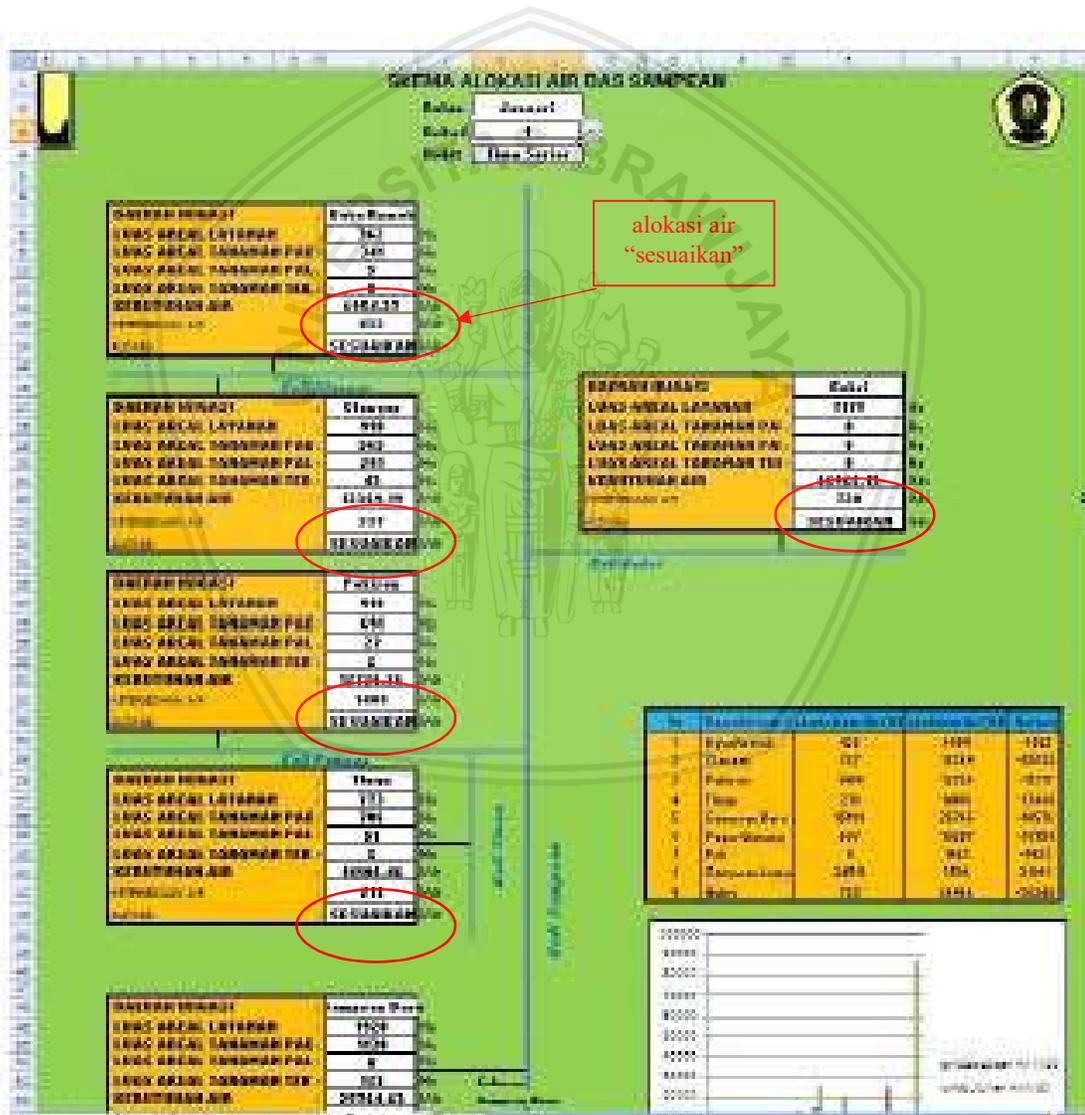
Lampiran 5. Gambar skema sistem DAS Kali Kuto, Jawa Tengah dengan Ms. Excel
Sumber: Hatmoko (1998).



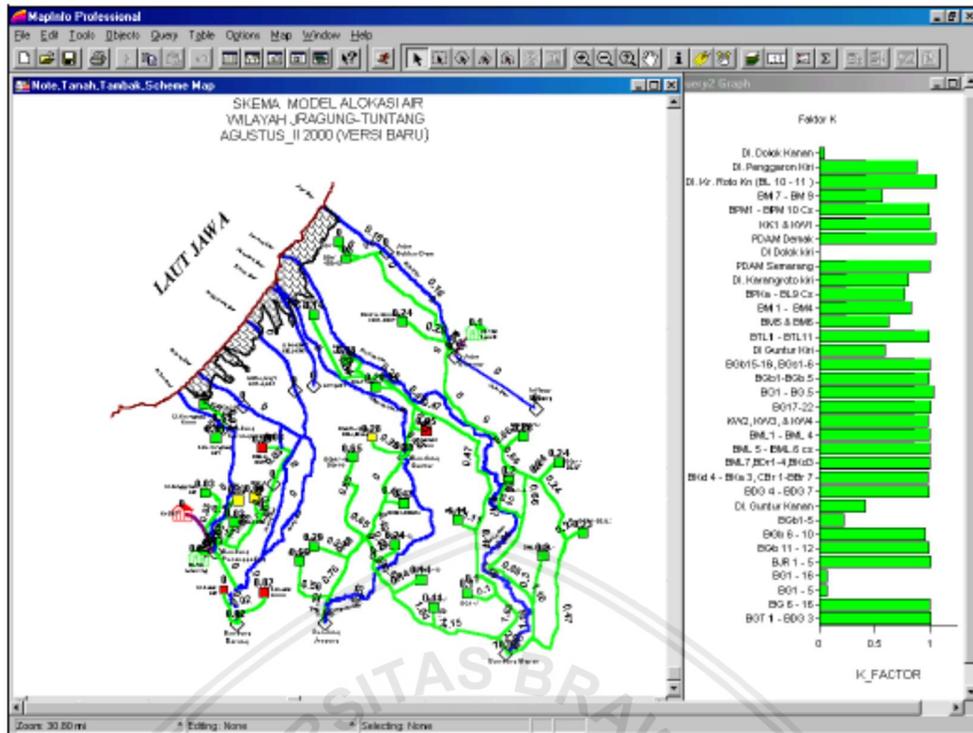
Lampiran 6. Gambar skema sistem DAS Renggung WS Lombok dengan Ms. Excel-VBA
 Sumber: Setiawan (2009: 87).



Lampiran 7. Gambar skema sistem Serang-Lusi-Juana Basin dengan *trial-error* Ms.Excel
Sumber: Hatmoko (2006: 11).



Lampiran 8. Gambar skema sistem DAS Sampean dengan program alokasi air Ms. Excel
 Sumber: Indarto & Faisal (2010).



Lampiran 9. Gambar aplikasi WRMM di Jragung - Tuntang *Basin*
Sumber: Hatmoko (2006).



Lampiran 10. Gambar aplikasi RIBASIM di DAS Cisadane
Sumber: Hatmoko dkk (2012)

Lampiran 11. Data debit dan K operasional tiap bendung di sungai Moyot tahun 2015/2016

Local inflow (l/dt)

No Simpul	Okt1	Okt2	Nov1	Nov2	Des1	Des2	Jan1	Jan3	Feb1	Feb2	Mar1	Mar2	Apr1	Apr2	Mei1	Mei2	Jun1	Jun2	Jul1	Jul2	Agt1	Agt2	Sep1	Sep2
1 B Perako	10	11	291	63	51	107	15	432	674	1047	744	758	337	500	366	519	103	539	203	600	160	350	183	626
2 B Kuang Darek	11	8	0	72	45	28	17	126	350	218	188	105	49	0	121	17	39	65	86	40	49	42	55	64
3 B Kuang Berora	12	12	17	59	35	16	15	141	118	161	207	51	63	43	97	0	34	45	70	37	41	41	77	135
4 B Montong Tangi	9	6	27	38	46	16	17	137	103	0	142	27	15	41	70	36	40	35	94	26	34	31	68	47
5 B Kondak	0	0	0	0	0	66	11	0	98	640	147	0	0	0	32	0	20	0	0	0	0	0	0	0
6 B Burung	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7 B Jowet	0	0	0	0	0	0	0	0	254	1158	385	191	0	503	108	250	0	109	0	179	0	100	25	211
8 B Reban Waru	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9 B Surabaya Lepak	0	0	0	0	0	0	0	0	212	376	216	55	0	439	0	39	0	38	0	0	0	0	0	66

Kebutuhan air irigasi (l/dt)

No Simpul	Okt1	Okt2	Nov1	Nov2	Des1	Des2	Jan1	Jan3	Feb1	Feb2	Mar1	Mar2	Apr1	Apr2	Mei1	Mei2	Jun1	Jun2	Jul1	Jul2	Agt1	Agt2	Sep1	Sep2
1 B Perako	36	45	0	0	324	314	9	9	81	137	122	147	390	401	160	228	235	215	245	198	28	30	43	47
2 B Kuang Darek	72	89	0	0	643	622	17	17	161	271	241	292	775	796	318	453	466	428	487	394	55	59	85	93
3 B Kuang Berora	41	50	0	0	365	353	10	10	91	154	137	166	439	451	180	257	264	242	276	223	31	34	48	53
4 B Montong Tangi	134	104	128	0	0	927	897	24	250	232	390	348	421	1116	1147	458	653	671	616	702	567	79	85	122
5 B Kondak	172	133	164	0	0	1188	1149	31	320	297	500	445	539	1430	1469	586	836	860	789	899	727	102	109	156
6 B Burung	31	53	8	0	0	0	353	378	28	181	164	278	261	206	511	511	214	264	306	336	322	256	42	33
7 B Jowet	27	47	7	0	0	0	312	335	25	160	145	246	231	182	453	453	189	234	271	298	285	226	37	30
8 B Reban Waru	36	68	0	0	0	0	0	617	594	159	272	453	444	458	290	834	830	295	485	521	526	549	431	54
9 B Surabaya Lepak	35	66	0	0	0	0	0	601	579	155	265	442	433	447	283	814	809	287	473	509	513	535	420	53

Limpahan (l/dt)

No Simpul	Okt1	Okt2	Nov1	Nov2	Des1	Des2	Jan1	Jan3	Feb1	Feb2	Mar1	Mar2	Apr1	Apr2	Mei1	Mei2	Jun1	Jun2	Jul1	Jul2	Agt1	Agt2	Sep1	Sep2
1 B Perako	0	0	217	0	0	64	0	259	578	964	567	700	280	464	287	467	37	463	120	421	110	254	112	514
2 B Kuang Darek	0	0	113	0	0	57	0	276	747	1093	605	719	249	396	275	404	0	441	94	334	67	223	99	475
3 B Kuang Berora	0	0	61	0	0	40	0	295	683	1165	630	683	254	400	295	344	0	415	57	297	67	223	113	491
4 B Montong Tangi	0	0	0	0	0	21	0	267	614	1051	616	610	188	340	231	305	0	361	26	180	15	143	112	438
5 B Kondak	0	0	0	0	0	0	0	0	179	934	362	77	12	17	64	17	0	33	0	0	0	3	25	187
6 B Burung	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7 B Jowet	0	0	0	0	0	0	0	0	189	959	296	124	0	449	77	186	0	87	0	148	0	91	22	121
8 B Reban Waru	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9 B Surabaya Lepak	0	0	0	0	0	0	0	0	0	136	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Lanjutan

Faktor-K

No Simpul	Okt1	Okt2	Nov1	Nov2	Des1	Des2	Jan1	Jan3	Feb1	Feb2	Mar1	Mar2	Apr1	Apr2	Mei1	Mei2	Jun1	Jun2	Jul1	Jul2	Agt1	Agt2	Sep1	Sep2
1 B Perako	28%	25%			16%	14%	176%	1978%	118%	61%	146%	39%	15%	9%	49%	23%	28%	35%	34%	90%	181%	323%	167%	237%
2 B Kuang Darek	15%	9%			7%	6%	100%	628%	113%	33%	62%	29%	10%	8%	42%	18%	16%	20%	23%	32%	166%	124%	80%	111%
3 B Kuang Berora	29%	24%			10%	9%	156%	1240%	200%	58%	133%	53%	13%	9%	43%	19%	13%	30%	39%	33%	132%	123%	131%	227%
4 B Montong Tangi	7%	6%	69%			4%	2%	676%	69%	46%	40%	29%	19%	9%	12%	16%	6%	13%	20%	20%	15%	139%	81%	82%
5 B Kondak	3%	0%	5%			7%	1%	409%	166%	255%	80%	81%	27%	17%	14%	35%	2%	23%	3%	19%	1%	59%	15%	72%
6 B Burung	0%	0%	24%				0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
7 B Jowet	0%	0%	0%				0%	0%	264%	124%	61%	27%	0%	30%	7%	14%	0%	9%	0%	10%	0%	4%	9%	305%
8 B Reban Waru	0%	0%						0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
9 B Surabaya Lepak	0%	0%						0%	0%	88%	6%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%



Lampiran 12. Data debit tiap bendung di sungai Kukusan tahun 2017/2018

Local inflow (l/dt)

No	Simpul	Jan1	Jan2	Jan3	Feb1	Feb2	Feb3	Mar1	Mar2	Mar3	Apr1	Apr2	Apr3	Mei1	Mei2	Mei3	Jun1	Jun2	Jun3
1	B Meloang	1057	1020	916	1036	981	1109	1061	993	843	864	794	705	634	571	467	462	416	375
2	B Madang 1	1849	1774	1586	1803	1717	1951	1887	1749	1473	1515	1383	1230	1107	996	815	807	726	654
3	B Madang 2	62	58	52	58	55	63	61	55	45	45	41	37	33	30	24	24	22	20
4	B Renga	270	255	227	257	245	281	278	251	205	212	190	170	153	138	113	112	101	91
5	B Bagek Nyake	267	250	223	252	241	275	273	244	197	202	182	163	147	132	108	107	96	87
6	B Mamben	332	311	276	312	298	340	338	300	242	247	222	199	179	161	132	131	117	106
7	B Kukusan-Ladon	49	45	40	45	43	47	47	40	33	32	29	26	24	21	17	17	15	14
8	B Jowet-Tereng	31	29	26	29	27	30	30	25	21	20	18	16	15	13	11	11	10	9
9	B Tegaron	418	390	341	384	362	399	394	337	273	270	243	219	197	177	145	144	129	116
10	B Kedatuk	304	284	252	289	281	329	333	302	245	257	229	205	185	166	136	135	121	109
11	B Lembak	325	304	268	306	294	338	339	302	242	249	222	200	180	162	132	131	118	106
12	B Reban Atas	132	125	104	121	113	123	120	102	83	82	74	67	60	54	44	44	39	35
13	B Reban Tengah	31	30	24	29	27	29	28	24	19	19	17	16	14	13	10	10	9	8
14	B Kermut	48	46	37	44	41	45	43	37	30	30	27	24	22	19	16	16	14	13
15	B Gawah Pule	52	50	39	48	44	48	46	39	32	31	28	25	23	21	17	17	15	14
16	B Sukamulia	12	12	9	11	10	11	11	9	7	7	7	6	5	5	4	4	3	3
17	B Paok Dangka	1713	1613	1429	1651	1599	1863	1869	1706	1400	1466	1312	1174	1056	951	778	770	693	624
18	B Bebidas	746	696	616	713	696	820	835	757	615	649	577	517	465	419	343	339	305	275
19	B Tibu Pandan	50	47	41	48	46	54	56	50	40	42	37	34	30	27	22	22	20	18
20	B Songgen-Pd Mare	125	99	86	111	101	125	137	102	79	86	79	75	71	67	58	61	58	55
21	B Larung	698	562	444	625	554	683	753	551	430	450	427	406	385	366	316	330	314	298
22	Em Senang	236	191	148	213	188	231	255	187	146	152	145	137	131	124	107	112	106	101
23	B Senang	10	8	5	9	7	9	9	7	5	6	5	5	5	5	4	4	4	4
24	B Runggang	194	164	103	176	143	171	185	134	110	115	109	103	98	93	81	84	80	76

Lanjutan

Local inflow (l/dt)

No	Simpul	Jul1	Jul2	Jul3	Agt1	Agt2	Agt3	Sep1	Sep2	Sep3	Okt1	Okt2	Okt3	Nov1	Nov2	Nov3	Des1	Des2	Des3
1	B Meloang	337	303	248	246	221	181	179	161	145	131	118	96	95	86	77	267	289	346
2	B Madang 1	588	530	433	429	386	316	313	281	253	228	205	168	166	150	135	387	453	569
3	B Madang 2	18	16	13	13	12	9	9	8	8	7	6	5	5	4	4	7	10	14
4	B Renga	82	73	60	59	53	44	43	39	35	32	28	23	23	21	19	35	49	67
5	B Bagek Nyake	78	70	57	57	51	42	41	37	34	30	27	22	22	20	18	24	40	59
6	B Mamben	95	86	70	69	62	51	51	46	41	37	33	27	27	24	22	20	41	67
7	B Kukusan-Ladon	13	11	9	9	8	7	7	6	5	5	4	4	4	3	3	3	2	6
8	B Jowet-Tereng	8	7	6	6	5	4	4	4	3	3	3	2	2	2	2	2	1	3
9	B Tegaron	105	94	77	76	69	56	56	50	45	41	37	30	30	27	24	22	19	27
10	B Kedatuk	98	88	72	72	64	53	52	47	42	38	34	28	28	25	22	37	55	78
11	B Lembak	95	86	70	70	63	51	51	46	41	37	33	27	27	24	22	20	38	65
12	B Reban Atas	32	29	23	23	21	17	17	15	14	12	11	9	9	8	7	7	6	5
13	B Reban Tengah	7	7	5	5	5	4	4	4	3	3	3	2	2	2	2	2	1	1
14	B Kermut	11	10	8	8	8	6	6	5	5	4	4	3	3	3	3	2	2	2
15	B Gawah Pule	12	11	9	9	8	7	6	6	5	5	4	3	3	3	3	3	2	2
16	B Sukamulia	3	3	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
17	B Paok Dangka	561	505	413	409	368	301	298	268	242	217	196	160	159	143	128	234	334	473
18	B Bebidas	247	223	182	180	162	133	131	118	106	96	86	71	70	63	57	91	136	198
19	B Tibu Pandan	16	14	12	12	11	9	9	8	7	6	6	5	5	4	4	4	8	12
20	B Songgen-Pd Mare	52	50	43	45	42	37	38	36	35	33	31	27	28	27	25	40	42	54
21	B Larung	283	269	232	243	231	199	208	198	188	179	170	147	153	145	138	137	200	268
22	Em Senang	96	91	79	82	78	67	71	67	64	60	57	50	52	49	47	44	66	90
23	B Senang	4	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
24	B Runggang	72	69	59	62	59	51	53	50	48	46	43	37	39	37	35	33	32	40

Lanjutan

Kebutuhan air irigasi (l/dt)

No	Simpul	Jan1	Jan2	Jan3	Feb1	Feb2	Feb3	Mar1	Mar2	Mar3	Apr1	Apr2	Apr3	Mei1	Mei2	Mei3	Jun1	Jun2	Jun3
1	B Meloang	0	44	69	50	73	4	0	60	133	133	180	219	186	226	205	186	188	144
2	B Madang 1	0	52	60	56	54	0	0	106	244	118	71	193	189	188	175	160	141	73
3	B Madang 2	0	17	20	16	10	0	0	31	75	35	21	55	60	58	53	48	43	22
4	B Renga	0	112	133	106	99	2	0	111	240	225	308	344	308	371	342	310	309	241
5	B Bagek Nyake	0	83	98	77	96	3	0	0	173	325	177	160	273	266	244	221	246	197
6	B Mamben	0	229	251	236	295	74	17	58	327	584	598	595	523	690	657	594	636	555
7	B Kukusan-Ladon	11	666	685	704	936	273	69	254	937	1654	1608	1712	1464	1849	1804	1630	1719	1536
8	B Jowet-Tereng	27	46	89	71	108	42	15	75	47	102	180	225	196	159	203	180	192	194
9	B Tegaron	40	57	162	90	165	78	38	115	77	157	267	316	280	229	294	255	271	278
10	B Kedatuk	34	99	168	115	189	0	0	71	176	248	276	440	397	330	374	338	381	341
11	B Lembak	20	43	107	60	109	39	19	56	103	144	141	202	189	163	194	170	180	167
12	B Reban Atas	25	33	114	53	106	53	28	74	52	104	183	200	183	148	192	162	173	177
13	B Reban Tengah	30	43	138	68	128	70	40	92	64	117	200	220	205	172	216	184	196	201
14	B Kermut	11	12	55	19	46	24	14	32	23	45	78	82	76	63	80	66	72	74
15	B Gawah Pule	71	86	389	137	312	184	120	224	164	294	495	514	484	409	517	428	463	473
16	B Sukamulia	84	135	377	177	351	48	5	216	153	332	690	805	679	538	675	582	653	662
17	B Paok Dangka	0	95	118	63	115	0	0	9	136	242	280	308	223	291	253	234	273	236
18	B Bebidas	0	129	159	89	151	0	0	17	172	303	347	380	283	366	322	288	342	293
19	B Tibu Pandan	0	130	178	114	197	8	0	33	197	364	377	402	320	417	383	343	381	333
20	B Songgen-Pd Mare	58	213	638	234	543	118	43	212	410	744	1017	1031	887	915	991	840	933	889
21	B Larung	0	58	186	54	148	41	18	31	153	257	283	238	209	271	262	217	240	215
22	Em Senang	0	92	310	89	253	81	37	57	232	384	426	343	316	409	398	328	360	325
23	B Senang	0	34	107	32	86	24	11	18	86	145	163	135	118	154	149	123	136	122
24	B Runggang	0	70	118	73	122	47	18	38	117	193	206	186	167	213	208	182	193	173

Lanjutan

Kebutuhan air irigasi (l/dt)

No	Simpul	Jul1	Jul2	Jul3	Agt1	Agt2	Agt3	Sep1	Sep2	Sep3	Okt1	Okt2	Okt3	Nov1	Nov2	Nov3	Des1	Des2	Des3
1	B Meloang	99	75	83	102	149	137	155	145	152	156	113	72	26	66	107	74	132	80
2	B Madang 1	22	47	110	115	131	134	139	127	120	125	64	0	0	113	195	79	44	63
3	B Madang 2	6	14	34	36	41	39	44	39	41	40	20	0	0	0	31	25	14	19
4	B Renga	160	121	140	170	243	225	257	243	261	262	198	127	51	116	197	160	241	145
5	B Bagek Nyake	103	31	78	157	165	168	188	178	189	189	186	89	0	0	143	240	142	45
6	B Mamben	402	199	202	259	402	428	434	446	451	451	472	296	131	0	255	471	495	296
7	B Kukusan-Ladon	1146	573	548	688	1055	1173	1157	1232	1181	1210	1308	843	380	13	672	1313	1363	832
8	B Jowet-Tereng	172	127	68	60	78	120	116	125	130	138	147	139	82	31	0	77	154	130
9	B Tegaron	252	185	97	86	110	170	161	181	187	202	210	198	120	51	0	123	228	193
10	B Kedatuk	267	180	139	100	102	133	143	134	156	163	160	115	64	26	112	186	221	218
11	B Lembak	140	92	75	70	85	120	114	125	127	134	138	99	60	25	63	122	114	118
12	B Reban Atas	161	118	62	55	70	108	101	118	120	132	133	125	77	34	0	82	148	126
13	B Reban Tengah	183	138	74	67	83	127	120	138	140	153	155	146	90	42	0	90	163	139
14	B Kermut	68	49	26	23	29	45	41	49	50	56	57	52	32	16	0	36	63	54
15	B Gawah Pule	444	333	174	157	196	299	277	326	329	371	371	354	212	112	0	230	400	343
16	B Sukamulia	581	421	243	215	278	415	413	423	484	527	516	489	285	127	0	259	539	447
17	B Paok Dangka	153	71	96	123	191	192	209	185	222	235	217	141	56	0	103	153	209	110
18	B Bebidas	193	91	120	153	236	240	260	235	283	292	275	176	73	0	135	213	270	144
19	B Tibu Pandan	236	113	128	163	252	265	275	268	295	301	295	187	79	0	156	270	302	174
20	B Songgen-Pd Mare	736	449	325	348	501	625	609	656	695	754	743	584	304	88	244	648	797	571
21	B Larung	165	78	78	100	154	168	160	180	179	194	191	121	53	0	121	234	212	131
22	Em Senang	252	120	99	113	174	190	180	208	200	219	217	133	61	0	203	398	353	220
23	B Senang	94	45	35	38	59	65	61	69	69	75	73	46	20	0	70	134	122	75
24	B Runggang	134	68	65	81	124	134	130	146	139	145	150	94	43	0	86	170	160	100

Lampiran 13. Data volume dan debit operasional tahun 2014-2018 di waduk seri Batujai-Pengga

No	Simpul/ Veff (m3)	Item	Satuan	Case_1	Case_2	Case_3	Case_4	Case_5	Case_6	Case_7	Case_8	Case_9	Case_10	Case_11	Case_12	Case_13	Case_14	Case_15
				Jan1	Jan2	Jan3	Feb1	Feb2	Feb3	Mar1	Mar2	Mar3	Apr1	Apr2	Apr3	Mei1	Mei2	Mei3
1	BD Batujai 18200000	Vbeg	m ³	10941670	11768662	12091182	11849645	11287212	10524771	15267310	14915900	15126746	15056464	14986182	15197028	14449725	13415537	12159191
		Vend	m ³	11768662	12091182	11849645	11287212	10524771	15267310	14915900	15126746	15056464	14986182	15197028	14449725	13415537	12159191	10506319
		QL	l/dt	18818	1899	1337	836	693	396	8871	2621	2170	2097	9474	15454	983	1165	647
		QD	l/dt	697	0	378	0	6	0	0	201	1313	842	1772	2115	2243	119	506
		QR	l/dt	2719	1309	1913	1317	1563	1518	2849	2039	1854	1260	1670	2527	1858	2200	1873
		QS	l/dt	17964	0	0	0	0	0	0	366	1355	0	904	7964	12753	0	0
2	BD Pengga 21100000	Vbeg	m ³	19240000	18900000	20030000	19460000	20520000	20920000	20985289	20655651	20009566	21060000	20610000	21100000	20740000	19850000	18770000
		Vend	m ³	18900000	20030000	19460000	20520000	20920000	20985289	20655651	20009566	21060000	20610000	21100000	20740000	19850000	18770000	16280000
		QL	l/dt	0	3032	4484	2755	4890	4314	1342	0	759	4420	0	0	3271	3044	2885
		QD	l/dt	164	74	873	0	212	120	52	1233	3596	2246	2060	2567	3205	560	1084
		QR	l/dt	2340	2340	2340	2340	2340	2340	0	0	0	2472	2472	2472	2539	2539	2539
		QS	l/dt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Lanjutan

No	Simpul/ Veff (m3)	Item	Satuan	Case_16	Case_17	Case_18	Case_19	Case_20	Case_21	Case_22	Case_23	Case_24	Case_25	Case_26	Case_27	Case_28	Case_29	Case_30
				Jun1	Jun2	Jun3	Jul1	Jul2	Jul3	Agt1	Agt2	Agt3	Sep1	Sep2	Sep3	Okt1	Okt2	Okt3
1	BD Batujai 18200000	Vbeg	m ³	10506319	6910450	4857792	3428597	2420373	3185341	3224550	2832460	2531596	2348359	2479843	1865112	1393006	1299394	1205782
		Vend	m ³	6910450	4857792	3428597	2420373	3185341	3224550	2832460	2531596	2348359	2479843	1865112	1393006	1299394	1205782	1023361
		QL	l/dt	932	0	0	203	0	1044	879	0	0	89	864	0	0	40	48
		QD	l/dt	731	1154	1141	1708	1312	756	505	531	869	901	1095	1113	1136	388	9
		QR	l/dt	2690	3116	2152	1722	780	93	687	344	94	154	570	488	0	0	0
		QS	l/dt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	BD Pengga 21100000	Vbeg	m ³	16280000	13870000	12310000	10750000	9100000	6050000	2340000	490000	0	0	0	0	0	0	0
		Vend	m ³	13870000	12310000	10750000	9100000	6050000	2340000	490000	0	0	0	0	0	0	0	0
		QL	l/dt	1012	958	1843	1750	1112	0	0	0	586	365	365	365	337	368	368
		QD	l/dt	1459	2192	2036	2291	1187	672	560	909	1464	1511	1827	1858	1896	655	26
		QR	l/dt	2539	2539	2539	2539	2332	2021	1920	1012	736	0	0	0	0	0	0
		QS	l/dt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Lanjutan

No	Simpul/ Veff (m3)	Item	Satuan	Case_61	Case_62	Case_63	Case_64	Case_65	Case_66	Case_67	Case_68	Case_69	Case_70	Case_71	Case_72	Case_73	Case_74	Case_75	
				Sep1	Sep2	Sep3	Okt1	Okt2	Okt3	Nov1	Nov2	Nov3	Des1	Des2	Des3	Jan1	Jan2	Jan3	
1	BD Batujai 18200000	Vbeg	m ³	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	110098	4857792	3675051	2027500	3510213	
		Vend	m ³	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	110098	4857792	3675051	2027500	3510213	10692898
		QL	l/dt	1328	559	469	123	136	136	133	134	151	0	0	6857	1564	1143	3067	
		QD	l/dt	813	1063	1161	1299	1499	1462	955	0	857	1775	2806	337	2114	674	0	
		QR	l/dt	1189	419	331	0	0	0	0	0	0	0	207	1741	2947	3049	2188	
		QS	l/dt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	BD Pengga 21100000	Vbeg	m ³	2085000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1568000	4963636	5782000	6095000	9870909	
		Vend	m ³	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1568000	4963636	5782000	6095000	9870909	18301000
		QL	l/dt	18	293	366	365	366	366	338	83	243	273	1483	4194	3478	2626	6423	
		QD	l/dt	1343	1756	1917	2145	2475	2414	1577	0	1483	3061	4830	690	3790	1458	18	
		QR	l/dt	2339	2339	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1950	2000	2000	
		QS	l/dt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Lanjutan

No	Simpul/ Veff (m3)	Item	Satuan	Case_76	Case_77	Case_78	Case_79	Case_80	Case_81	Case_82	Case_83	Case_84	Case_85	Case_86	Case_87	Case_88	Case_89	Case_90	
				Feb1	Feb2	Feb3	Mar1	Mar2	Mar3	Apr1	Apr2	Apr3	Mei1	Mei2	Mei3	Jun1	Jun2	Jun3	
1	BD Batujai 18200000	Vbeg	m ³	10692898	15337592	15337592	15197028	14432018	14708522	15337592	15337592	14362892	14501144	14777648	13680872	12876780	13884785	15197028	
		Vend	m ³	15337592	15337592	15197028	14432018	14708522	15337592	15337592	14362892	14501144	14777648	13680872	12876780	13884785	15197028	15056464	
		QL	l/dt	9331	6894	1709	716	80	1269	1702	1564	1866	2194	3479	2118	1909	2515	4106	
		QD	l/dt	1000	1372	1084	0	181	605	1620	2617	1379	1011	2402	1317	1686	1679	1596	
		QR	l/dt	1380	1452	1543	1125	1125	1358	1068	1682	2834	1999	3007	3147	2915	2251	2531	
		QS	l/dt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	BD Pengga 21100000	Vbeg	m ³	18301000	21100000	21100000	21100000	21100000	20926364	21100000	21019000	20300000	19657000	19465000	19134545	17553000	18365000	20441000	
		Vend	m ³	21100000	21100000	21100000	21100000	20926364	21100000	21019000	20300000	19657000	19465000	19134545	17553000	18365000	20441000	21100000	
		QL	l/dt	12967	6624	3235	2992	3500	3169	3599	3485	2768	2809	3303	2875	1481	4367	5935	
		QD	l/dt	1997	2611	2136	0	414	1054	2791	4495	2391	1925	4263	2470	3079	3068	2932	
		QR	l/dt	2000	2000	2375	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
		QS	l/dt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Lanjutan

No	Simpul/ Veff (m3)	Item	Satuan	Case_121	Case_122	Case_123	Case_124	Case_125	Case_126	Case_127	Case_128	Case_129	Case_130	Case_131	Case_132	Case_133	Case_134	Case_135
				Mei1	Mei2	Mei3	Jun1	Jun2	Jun3	Jul1	Jul2	Jul3	Agt1	Agt2	Agt3	Sep1	Sep2	Sep3
1	BD Batujai 18200000	Vbeg	m ³	13907442	11195062	10382512	8710659	8148167	7899352	8184064	9633414	9791146	9598171	9055310	8985684	7713762	6782691	6338621
		Vend	m ³	11195062	10382512	8710659	8148167	7899352	8184064	9633414	9791146	9598171	9055310	8985684	7713762	6782691	6338621	8604829
		QL	l/dt	0	0	0	0	346	0	682	2313	1335	514	460	301	201	0	1070
		QD	l/dt	2616	2133	1169	1006	395	1374	1795	951	1261	666	500	1089	773	3	0
		QR	l/dt	868	298	542	451	987	179	340	486	1020	587	939	228	1528	382	1529
		QS	l/dt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	BD Pengga 21100000	Vbeg	m ³	21100000	18405000	16340000	14286000	12506000	11567778	11056000	10621250	11803636	7930000	6596000	4760000	3979000	3440000	2592000
		Vend	m ³	18405000	16340000	14286000	12506000	11567778	11056000	10621250	11803636	7930000	6596000	4760000	3979000	3440000	2592000	2665000
		QL	l/dt	4313	1109	1896	812	1046	1950	2443	1304	3778	0	721	0	502	750	273
		QD	l/dt	3344	2950	2558	1966	897	2559	3103	1107	1400	813	831	1804	1282	7	0
		QR	l/dt	2525	2750	2750	2000	2000	2000	2000	800	1455	1900	1500	1055	800	800	800
		QS	l/dt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Lanjutan

No	Simpul/ Veff (m3)	Item	Satuan	Case_136	Case_137	Case_138	Case_139	Case_140	Case_141	Case_142	Case_143	Case_144	Case_145	Case_146	Case_147	Case_148	Case_149	Case_150
				Okt1	Okt2	Okt3	Nov1	Nov2	Nov3	Des1	Des2	Des3	Jan1	Jan2	Jan3	Feb1	Feb2	Feb3
1	BD Batujai 18200000	Vbeg	m ³	8604829	10992965	9121779	8280224	11131840	12861980	13198186	14372693	14470038	14612208	14704614	14672183	14501288	14824374	15150366
		Vend	m ³	10992965	9121779	8280224	11131840	12861980	13198186	14372693	14470038	14612208	14704614	14672183	14501288	14824374	15150366	15105661
		QL	l/dt	1366	3029	0	1754	4921	2741	1813	3592	1754	342	182	133	0	1392	522
		QD	l/dt	11	280	0	156	4	659	1759	1509	1705	1186	258	0	0	0	1209
		QR	l/dt	0	104	0	2605	2915	1991	1375	2704	1498	1350	1375	1375	1100	1100	1031
		QS	l/dt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	BD Pengga 21100000	Vbeg	m ³	2665000	8138000	9392727	7752000	9250000	19308000	17494000	19922000	18989091	18877000	19253000	20054545	19465000	20333333	20510000
		Vend	m ³	8138000	9392727	7752000	9250000	19308000	17494000	19922000	18989091	18877000	19253000	20054545	19465000	20333333	20510000	19587000
		QL	l/dt	1132	9190	4212	935	4658	15178	14	5636	661	2403	2561	3524	2366	3797	3795
		QD	l/dt	25	470	0	265	9	1155	3043	2689	2967	2255	771	0	0	0	2341
		QR	l/dt	920	2000	2000	2000	2000	2000	1250	1750	318	1900	1000	2000	2000	1350	2000
		QS	l/dt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Lampiran 14. Keluaran MEQAA 24 periode tahun 2015/2016 di sungai Moyot

SUMMARY RESULT

No	Simpul	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6	Case 7	Case 8	Case 9	Case 10	Case 11	Case 12	Case 13	Case 14	Case 15	Case 16	Case 17	Case 18	Case 19	Case 20	Case 21	Case 22	Case 23	Case 24	
		K_min	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	
1	B Perako	QA	10	11	291	63	51	107	15	432	674	1047	744	758	337	500	366	519	103	539	203	600	160	350	183	626
		QD	36	45	0	0	324	314	9	9	81	137	122	147	390	401	160	228	235	215	245	198	28	30	43	47
		QR	3	2	0	0	32	22	0	4	68	137	109	61	45	52	26	42	12	51	28	43	2	9	13	47
		QS	7	9	291	63	19	85	15	428	606	910	635	697	292	448	340	477	92	488	175	558	158	341	170	579
		QE	1	1	15	3	3	5	1	22	34	52	37	38	17	25	18	26	5	27	10	30	8	18	9	31
		K	7%	6%	FALSE	FALSE	10%	7%	3%	41%	84%	100%	90%	42%	12%	13%	17%	19%	5%	24%	12%	22%	9%	30%	31%	100%
		Class_K	5	5			5	5	5	3	1	1	1	3	5	5	5	5	5	4	5	4	5	4	4	4
2	B Kuang Darek	QA	18	17	291	135	64	113	32	554	956	1128	823	802	341	448	461	494	131	553	260	598	207	383	225	642
		QD	72	89	0	0	643	622	17	17	161	271	241	292	775	796	318	453	466	428	487	394	55	59	85	93
		QR	5	5	0	0	61	44	0	7	135	271	217	121	89	103	52	84	23	100	56	85	5	18	26	93
		QS	13	12	291	135	3	69	31	547	821	858	605	681	252	344	408	410	108	452	204	513	202	366	199	549
		QE	1	1	15	7	3	6	2	28	48	56	41	40	17	22	23	25	7	28	13	30	10	19	11	32
		K	7%	6%	FALSE	FALSE	10%	7%	3%	41%	84%	100%	90%	42%	12%	13%	17%	19%	5%	24%	12%	22%	9%	30%	31%	100%
		Class_K	5	5			5	5	5	3	1	1	1	3	5	5	5	5	5	4	5	4	5	4	4	4
3	B Kuang Berora	QA	25	24	308	194	38	85	46	688	939	1019	812	732	315	387	505	410	142	498	274	551	243	407	276	685
		QD	41	50	0	0	365	353	10	10	91	154	137	166	439	451	180	257	264	242	276	223	31	34	48	53
		QR	3	3	0	0	36	25	0	4	77	154	123	70	53	59	30	48	13	57	32	48	3	10	15	53
		QS	23	21	308	194	2	61	46	684	862	865	689	662	262	329	476	362	128	441	243	503	240	397	261	632
		QE	1	1	15	10	2	4	2	34	47	51	41	37	16	19	25	20	7	25	14	28	12	20	14	34
		K	7%	6%	FALSE	FALSE	10%	7%	3%	41%	84%	100%	90%	42%	12%	13%	17%	19%	5%	24%	12%	22%	9%	30%	31%	100%
		Class_K	5	5			5	5	5	3	1	1	1	3	5	5	5	5	5	4	5	4	5	4	4	4
4	B Montong Tangi	QA	32	27	335	232	48	77	63	821	965	865	831	689	277	370	546	398	168	476	337	529	274	428	329	679
		QD	134	104	128	0	0	927	897	24	250	232	390	348	421	1116	1147	458	653	671	616	702	567	79	85	122
		QR	9	6	128	0	0	65	22	10	210	232	351	146	51	145	189	85	36	158	71	151	51	24	26	122
		QS	22	21	207	232	48	12	41	811	755	633	480	543	227	225	356	314	132	318	266	378	223	404	303	557
		QE	2	1	17	12	2	4	3	41	48	43	42	34	14	18	27	20	8	24	17	26	14	21	16	34
		K	7%	6%	100%	FALSE	FALSE	7%	3%	41%	84%	100%	90%	42%	12%	13%	17%	19%	6%	24%	12%	22%	9%	30%	31%	100%
		Class_K	5	5	1			5	5	3	1	1	1	3	5	5	5	5	4	5	4	5	4	4	4	4
5	B Kondak	QA	22	21	207	232	48	78	52	811	853	1273	627	543	227	225	388	314	153	318	266	378	223	404	303	557
		QD	172	133	164	0	0	1188	1149	31	320	297	500	445	539	1430	1469	586	836	860	789	899	727	102	109	156
		QR	12	7	164	0	0	74	34	13	269	297	453	187	65	193	242	108	46	202	91	193	69	30	34	156
		QS	10	14	43	232	48	4	17	798	584	976	174	356	162	32	146	205	107	116	175	185	154	374	269	401
		QE	1	1	10	12	2	4	3	41	43	64	31	27	11	11	19	16	8	16	13	19	11	20	15	28
		K	7%	6%	100%	FALSE	FALSE	7%	3%	41%	84%	100%	91%	42%	12%	14%	17%	19%	6%	24%	12%	22%	10%	30%	31%	100%
		Class_K	5	5	1			5	5	3	1	1	1	3	5	5	5	5	4	5	4	5	4	4	4	4

Lanjutan

No	Simpul	Case_1	Case_2	Case_3	Case_4	Case_5	Case_6	Case_7	Case_8	Case_9	Case_10	Case_11	Case_12	Case_13	Case_14	Case_15	Case_16	Case_17	Case_18	Case_19	Case_20	Case_21	Case_22	Case_23	Case_24	
	K_min	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	
6	B Burung	QA	10	14	45	232	48	4	17	798	584	976	174	356	162	32	146	205	107	116	175	185	154	374	269	401
	QD	31	53	8	0	0	0	353	378	28	181	164	278	261	206	511	511	214	264	306	336	322	256	42	33	
	QR	2	3	8	0	0	0	11	155	23	181	148	117	31	30	84	95	12	63	35	72	31	77	13	33	
	QS	8	11	36	232	48	4	7	644	561	796	26	239	131	2	62	111	95	53	140	113	124	297	256	367	
	QE	1	1	2	12	2	0	1	40	29	49	9	18	8	2	7	10	5	6	9	9	8	19	13	20	
	K	8%	6%	100%	FALSE	FALSE	FALSE	3%	41%	84%	100%	91%	42%	12%	14%	17%	19%	6%	24%	12%	22%	10%	30%	31%	100%	
	Class_K	5	5	1				5	3	1	1	1	3	5	5	5	5	5	4	5	4	5	4	4	1	
7	B Jowet	QA	8	11	36	232	48	4	7	644	815	1954	411	430	131	505	170	361	95	161	140	291	124	397	281	578
	QD	27	47	7	0	0	0	312	335	25	160	145	246	231	182	453	453	189	234	271	298	285	226	37	30	
	QR	2	3	7	0	0	0	7	137	21	160	131	103	28	139	75	86	10	56	31	64	27	68	11	30	
	QS	6	8	29	232	48	4	0	506	794	1794	280	327	103	366	95	275	84	105	109	227	97	329	269	549	
	QE	0	1	2	12	2	0	0	32	41	98	21	22	7	25	8	18	5	8	7	15	6	20	14	29	
	K	8%	6%	100%	FALSE	FALSE	FALSE	3%	41%	84%	100%	91%	42%	12%	77%	17%	19%	6%	24%	12%	22%	10%	30%	31%	100%	
	Class_K	5	5	1				5	3	1	1	1	3	5	2	5	5	5	4	5	4	5	4	4	1	
8	B Reban Waru	QA	6	8	29	232	48	4	0	506	794	1794	280	327	103	366	95	275	84	105	109	227	97	329	269	549
	QD	36	68	0	0	0	0	0	617	594	159	272	453	444	458	290	834	830	295	485	521	526	549	431	54	
	QR	3	4	0	0	0	0	0	253	499	159	246	190	53	348	48	158	46	71	56	115	50	165	134	54	
	QS	3	4	29	232	48	4	0	254	295	1635	33	137	50	18	47	116	39	34	53	113	47	164	136	495	
	QE	0	0	1	12	2	0	0	25	40	90	14	16	5	18	5	14	4	5	5	11	5	16	13	27	
	K	8%	6%	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	41%	84%	100%	91%	42%	12%	77%	17%	19%	6%	24%	12%	22%	10%	30%	31%	100%	
	Class_K	5	5						3	1	1	1	3	5	2	5	5	5	4	5	4	5	4	4	1	
9	B Surabaya Lepak	QA	3	4	29	232	48	4	0	254	507	2011	249	192	50	457	47	155	39	72	53	113	47	164	136	561
	QD	35	66	0	0	0	0	0	601	579	155	265	442	433	447	283	814	809	287	473	509	513	535	420	53	
	QR	3	4	0	0	0	0	0	241	482	155	237	182	48	434	45	147	37	68	50	107	45	156	129	53	
	QS	0	0	29	232	48	4	0	13	25	1856	12	10	2	23	2	8	2	4	3	6	2	8	7	508	
	QE	0	0	1	12	2	0	0	13	25	101	12	10	2	23	2	8	2	4	3	6	2	8	7	28	
	K	8%	6%	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	41%	84%	100%	91%	42%	12%	97%	17%	19%	6%	24%	12%	22%	10%	30%	31%	100%	
	Class_K	5	5						3	1	1	1	3	5	1	5	5	5	4	5	4	5	4	4	1	

Lampiran 15. Keluaran MEQAA 36 periode di sungai Kukusan dengan embung Senang

SUMMARY RESULT

No	Simpul	Case_1	Case_2	Case_3	Case_4	Case_5	Case_6	Case_7	Case_8	Case_9	Case_10	Case_11	Case_12	Case_13	Case_14	Case_15	Case_16	Case_17	Case_18	
1	B Meloang	QA	1057	1020	916	1036	981	1109	1061	993	843	864	794	705	634	571	467	462	416	375
		QD	0	44	69	50	73	4	0	60	133	133	180	219	186	226	205	186	188	144
		QR	0	44	69	50	73	4	0	60	133	118	122	117	98	104	73	74	63	47
		QS	1057	977	847	986	908	1105	1061	933	709	747	672	588	536	466	394	389	353	327
		QE	53	51	46	52	49	55	53	50	42	43	40	35	32	29	23	23	21	19
		K	FALSE	100%	100%	100%	100%	100%	FALSE	100%	100%	88%	68%	53%	53%	46%	35%	40%	34%	33%
		Class_K		K1	K1	K1	K1	K1		K1	K1	K1	K2	K3	K3	K3	K4	K3	K4	K4
2	B Madang 1	QA	2906	2751	2433	2789	2624	3056	2948	2683	2182	2262	2055	1818	1643	1463	1210	1196	1080	981
		QD	0	52	60	56	54	0	0	106	244	118	71	193	189	188	175	160	141	73
		QR	0	52	60	56	54	0	0	106	244	104	48	103	100	87	62	63	47	24
		QS	2906	2700	2373	2733	2570	3056	2948	2576	1938	2157	2007	1715	1543	1376	1148	1133	1032	957
		QE	145	138	122	139	131	153	147	134	109	113	103	91	82	73	60	60	54	49
		K	FALSE	100%	100%	100%	100%	FALSE	FALSE	100%	100%	88%	68%	53%	53%	46%	35%	40%	34%	33%
		Class_K		K1	K1	K1	K1			K1	K1	K1	K2	K3	K3	K3	K4	K3	K4	K4
3	B Madang 2	QA	2968	2758	2425	2791	2626	3119	3010	2631	1982	2203	2048	1752	1576	1406	1172	1157	1054	976
		QD	0	17	20	16	10	0	0	31	75	35	21	55	60	58	53	48	43	22
		QR	0	17	20	16	10	0	0	31	75	31	15	30	32	27	19	19	14	7
		QS	2968	2741	2404	2775	2616	3119	3010	2600	1908	2172	2033	1722	1544	1379	1153	1138	1040	969
		QE	148	138	121	140	131	156	150	132	99	110	102	88	79	70	59	58	53	49
		K	FALSE	100%	100%	100%	100%	FALSE	FALSE	100%	100%	88%	68%	53%	53%	46%	35%	40%	34%	33%
		Class_K		K1	K1	K1	K1			K1	K1	K1	K2	K3	K3	K3	K4	K3	K4	K4
4	B Renga	QA	270	255	227	257	245	281	278	251	205	212	190	170	153	138	113	112	101	91
		QD	0	112	133	106	99	2	0	111	240	225	308	344	308	371	342	310	309	241
		QR	0	112	133	106	99	2	0	111	195	198	180	161	145	131	107	106	96	80
		QS	270	142	94	150	147	280	278	141	10	13	10	9	8	7	6	6	5	11
		QE	14	13	11	13	12	14	14	13	10	11	10	9	8	7	6	6	5	5
		K	FALSE	100%	100%	100%	100%	100%	FALSE	100%	81%	88%	59%	47%	47%	35%	31%	34%	31%	33%
		Class_K		K1	K1	K1	K1	K1		K1	K1	K1	K3	K3	K3	K4	K4	K4	K4	K4
5	B Bagek Nyake	QA	3505	3134	2721	3177	3003	3673	3560	2985	2115	2387	2226	1894	1699	1518	1268	1251	1141	1067
		QD	0	83	98	77	96	3	0	0	173	325	177	160	273	266	244	221	246	197
		QR	0	83	98	77	96	3	0	0	173	286	120	86	145	123	86	87	83	65
		QS	3505	3050	2623	3100	2907	3671	3560	2985	1942	2101	2105	1809	1554	1395	1181	1163	1058	1002
		QE	175	157	136	159	150	184	178	149	106	119	111	95	85	76	63	63	57	53
		K	FALSE	100%	100%	100%	100%	100%	FALSE	FALSE	100%	88%	68%	53%	53%	46%	35%	40%	34%	33%
		Class_K		K1	K1	K1	K1	K1			K1	K1	K2	K3	K3	K3	K4	K3	K4	K4

Lanjutan

No	Simpul	Case_19	Case_20	Case_21	Case_22	Case_23	Case_24	Case_25	Case_26	Case_27	Case_28	Case_29	Case_30	Case_31	Case_32	Case_33	Case_34	Case_35	Case_36	
1	B Meloang	QA	337	303	248	246	221	181	179	161	145	131	118	96	95	86	77	267	289	346
		QD	99	75	83	102	149	137	155	145	152	156	113	72	26	66	107	74	132	80
		QR	37	39	46	51	49	31	34	28	24	22	15	10	7	38	19	18	30	32
		QS	300	264	202	195	172	150	145	134	121	109	103	86	88	48	58	249	259	313
		QE	17	15	12	12	11	9	9	8	7	7	6	5	5	4	4	13	14	17
		K	38%	53%	55%	50%	33%	22%	22%	19%	16%	14%	13%	14%	28%	58%	18%	24%	23%	41%
		Class_K	K4	K3	K3	K3	K4	K4	K4	E	E	E	E	E	K4	K3	E	K4	K4	K3
2	B Madang 1	QA	888	794	635	624	558	466	458	415	374	337	308	254	254	197	192	636	712	882
		QD	22	47	110	115	131	134	139	127	120	125	64	0	0	113	195	79	44	63
		QR	8	25	61	58	43	30	31	24	19	17	8	0	0	65	35	19	10	26
		QS	880	769	575	566	514	436	427	391	355	319	300	254	254	132	157	617	702	856
		QE	44	40	32	31	28	23	23	21	19	17	15	13	13	10	10	32	36	44
		K	38%	53%	55%	50%	33%	22%	22%	19%	16%	14%	13%	FALSE	FALSE	58%	18%	24%	23%	41%
		Class_K	K4	K3	K3	K3	K4	K4	K4	E	E	E	E	FALSE	FALSE	K3	E	K4	K4	K3
3	B Madang 2	QA	898	785	588	579	526	446	436	399	362	326	306	259	259	136	161	624	712	870
		QD	6	14	34	36	41	39	44	39	41	40	20	0	0	0	31	25	14	19
		QR	2	7	19	18	14	9	10	7	7	6	3	0	0	0	6	6	3	8
		QS	895	777	569	561	512	437	427	392	356	320	303	259	259	136	156	618	709	862
		QE	45	39	29	29	26	22	22	20	18	16	15	13	13	7	8	31	36	44
		K	38%	53%	55%	50%	33%	22%	22%	19%	16%	14%	13%	FALSE	FALSE	FALSE	18%	24%	23%	41%
		Class_K	K4	K3	K3	K3	K4	K4	K4	E	E	E	E	FALSE	FALSE	FALSE	E	K4	K4	K3
4	B Renga	QA	82	73	60	59	53	44	43	39	35	32	28	23	23	21	19	35	49	67
		QD	160	121	140	170	243	225	257	243	261	262	198	127	51	116	197	160	241	145
		QR	60	64	57	56	50	42	41	37	33	30	26	18	14	20	18	33	47	59
		QS	21	9	3	3	3	2	2	2	2	2	3	5	9	1	1	2	2	8
		QE	4	4	3	3	3	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	2	3
		K	38%	53%	41%	33%	21%	19%	16%	15%	13%	11%	13%	14%	28%	17%	9%	21%	20%	41%
		Class_K	K4	K3	K3	K4	K4	E	E	E	E	E	E	E	K4	E	E	K4	K4	K3
5	B Bagek Nyake	QA	995	856	629	621	567	481	470	431	392	353	333	286	290	157	175	643	751	929
		QD	103	31	78	157	165	168	188	178	189	189	186	89	0	0	143	240	142	45
		QR	39	16	43	79	55	38	42	34	30	26	24	12	0	0	26	58	32	18
		QS	956	840	586	543	512	443	428	397	361	326	309	274	290	157	149	586	719	911
		QE	50	43	31	31	28	24	24	22	20	18	17	14	15	8	9	32	38	46
		K	38%	53%	55%	50%	33%	22%	22%	19%	16%	14%	13%	14%	FALSE	FALSE	18%	24%	23%	41%
		Class_K	K4	K3	K3	K3	K4	K4	K4	E	E	E	E	E	FALSE	FALSE	E	K4	K4	K3

Lanjutan

No	Simpul	Case_1	Case_2	Case_3	Case_4	Case_5	Case_6	Case_7	Case_8	Case_9	Case_10	Case_11	Case_12	Case_13	Case_14	Case_15	Case_16	Case_17	Case_18		
6	B Mamben	QA	3837	3361	2899	3412	3206	4011	3898	3285	2184	2348	2327	2007	1733	1556	1313	1294	1176	1108	
		QD	0	229	251	236	295	74	17	58	327	584	598	595	523	690	657	594	636	555	
		QR	0	229	251	236	295	74	17	58	327	515	406	318	277	320	233	235	214	183	
		QS	3837	3132	2649	3176	2910	3937	3881	3227	1857	1834	1921	1690	1456	1237	1080	1059	962	924	
		QE	192	168	145	171	160	201	195	164	109	117	116	100	87	78	66	65	59	55	
		K	FALSE	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	88%	68%	53%	53%	46%	35%	40%	34%	33%
		Class_K		K1	K1	K1	K2	K3	K3	K3	K4	K3	K4	K4							
7	B Kukusan-Ladon	QA	3886	3178	2689	3221	2953	3984	3927	3268	1889	1866	1950	1716	1480	1258	1098	1076	977	938	
		QD	11	666	685	704	936	273	69	254	937	1654	1608	1712	1464	1849	1804	1630	1719	1536	
		QR	11	666	685	704	936	273	69	254	937	1459	1092	914	776	856	638	647	577	507	
		QS	3874	2511	2004	2517	2017	3711	3858	3013	952	407	858	802	704	402	459	429	400	431	
		QE	194	159	134	161	148	199	196	163	94	93	97	86	74	63	55	54	49	47	
		K	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	88%	68%	53%	53%	46%	35%	40%	34%	33%	
		Class_K	K1	K1	K2	K3	K3	K3	K4	K3	K4	K4									
8	B Jowet-Tereng	QA	3906	2540	2030	2546	2044	3741	3888	3038	973	427	876	818	719	415	470	440	410	440	
		QD	27	46	89	71	108	42	15	75	47	102	180	225	196	159	203	180	192	194	
		QR	27	46	89	71	108	42	15	75	47	90	122	120	104	74	72	72	65	64	
		QS	3879	2495	1941	2475	1936	3699	3873	2963	926	337	754	698	615	341	398	368	345	376	
		QE	195	127	102	127	102	187	194	152	49	21	44	41	36	21	24	22	20	22	
		K	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	88%	68%	53%	53%	46%	35%	40%	34%	33%	
		Class_K	K1	K1	K2	K3	K3	K3	K4	K3	K4	K4									
9	B Tegaron	QA	4296	2885	2283	2859	2298	4099	4267	3300	1199	607	998	917	812	519	544	512	475	493	
		QD	40	57	162	90	165	78	38	115	77	157	267	316	280	229	294	255	271	278	
		QR	40	57	162	90	165	78	38	115	77	138	181	169	148	106	104	101	91	92	
		QS	4257	2828	2120	2769	2132	4020	4229	3186	1122	469	816	748	664	413	439	410	383	401	
		QE	215	144	114	143	115	205	213	165	60	30	50	46	41	26	27	26	24	25	
		K	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	88%	68%	53%	53%	46%	35%	40%	34%	33%	
		Class_K	K1	K1	K2	K3	K3	K3	K4	K3	K4	K4									
10	B Kedatuk	QA	304	284	252	289	281	329	333	302	245	257	229	205	185	166	136	135	121	109	
		QD	34	99	168	115	189	0	0	71	176	248	276	440	397	330	374	338	381	341	
		QR	34	99	168	115	189	0	0	71	176	219	187	195	176	153	129	128	115	104	
		QS	270	185	83	174	92	329	333	231	69	38	41	10	9	13	7	7	6	5	
		QE	15	14	13	14	14	16	17	15	12	13	11	10	9	8	7	7	6	5	
		K	100%	100%	100%	100%	100%	FALSE	FALSE	100%	100%	88%	68%	44%	44%	46%	35%	38%	30%	31%	
		Class_K	K1	K1	K1	K1	K1			K1	K1	K1	K2	K3	K3	K3	K4	K4	K4	K4	

Lanjutan

No	Simpul	Case_19	Case_20	Case_21	Case_22	Case_23	Case_24	Case_25	Case_26	Case_27	Case_28	Case_29	Case_30	Case_31	Case_32	Case_33	Case_34	Case_35	Case_36	
6	B Mamben	QA	1051	926	656	612	574	494	479	443	402	363	342	301	317	181	171	605	760	978
		QD	402	199	202	259	402	428	434	446	451	451	472	296	131	0	255	471	495	296
		QR	151	105	112	129	133	95	96	85	72	63	61	42	36	0	46	113	113	120
		QS	900	821	545	483	442	399	383	358	330	300	281	260	281	181	125	492	647	858
		QE	53	46	33	31	29	25	24	22	20	18	17	15	16	9	9	30	38	49
		K	38%	53%	55%	50%	33%	22%	22%	19%	16%	14%	13%	14%	28%	FALSE	18%	24%	23%	41%
		Class_K	K4	K3	K3	K3	K4	K4	K4	E	E	E	E	E	K4		E	K4	K4	K3
7	B Kukusan-Ladon	QA	913	832	554	492	450	406	390	364	335	305	285	263	284	185	128	495	649	864
		QD	1146	573	548	688	1055	1173	1157	1232	1181	1210	1308	843	380	13	672	1313	1363	832
		QR	432	302	302	343	349	262	257	234	201	169	170	118	105	7	122	315	311	338
		QS	480	530	251	148	101	144	133	130	135	135	115	145	179	177	6	180	338	526
		QE	46	42	28	25	22	20	19	18	17	15	14	13	14	9	6	25	32	43
		K	38%	53%	55%	50%	33%	22%	22%	19%	17%	14%	13%	14%	28%	58%	18%	24%	23%	41%
		Class_K	K4	K3	K3	K3	K4	K4	K4	E	E	E	E	E	K4	K3	E	K4	K4	K3
8	B Jowet-Tereng	QA	488	537	257	154	106	148	137	134	138	138	118	147	181	179	8	182	340	529
		QD	172	127	68	60	78	120	116	125	130	138	147	139	82	31	0	77	154	130
		QR	65	67	38	30	26	27	26	24	22	19	19	19	23	18	0	19	35	53
		QS	423	470	219	124	80	121	111	110	116	119	99	128	159	161	8	163	305	476
		QE	24	27	13	8	5	7	7	7	7	7	6	7	9	9	0	9	17	26
		K	38%	53%	55%	50%	33%	22%	22%	19%	17%	14%	13%	14%	28%	58%	FALSE	24%	23%	41%
		Class_K	K4	K3	K3	K3	K4	K4	K4	E	E	E	E	E	K4	K3		K4	K4	K3
9	B Tegaron	QA	528	564	297	201	149	178	167	160	161	160	135	158	188	188	32	184	324	503
		QD	252	185	97	86	110	170	161	181	187	202	210	198	120	51	0	123	228	193
		QR	95	98	53	43	37	38	36	34	32	30	27	28	33	29	0	30	52	78
		QS	433	466	243	158	112	140	131	126	129	129	108	130	155	159	32	155	272	424
		QE	26	28	15	10	7	9	8	8	8	8	7	8	9	9	2	9	16	25
		K	38%	53%	55%	50%	33%	22%	22%	19%	17%	15%	13%	14%	28%	58%	FALSE	24%	23%	41%
		Class_K	K4	K3	K3	K3	K4	K4	K4	E	E	E	E	E	K4	K3		K4	K4	K3
10	B Kedatuk	QA	98	88	72	72	64	53	52	47	42	38	34	28	28	25	22	37	55	78
		QD	267	180	139	100	102	133	143	134	156	163	160	115	64	26	112	186	221	218
		QR	93	84	68	50	34	30	32	25	27	24	21	17	18	15	21	34	50	74
		QS	5	4	4	22	30	23	20	22	15	14	13	11	10	10	1	2	4	4
		QE	5	4	4	4	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1	1	2	3	4
		K	35%	47%	49%	50%	33%	22%	22%	19%	17%	15%	13%	15%	28%	58%	19%	18%	23%	34%
		Class_K	K4	K3	K3	K3	K4	K4	K4	E	E	E	E	E	K4	K3	E	E	K4	K4

Lanjutan

No	Simpul	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6	Case 7	Case 8	Case 9	Case 10	Case 11	Case 12	Case 13	Case 14	Case 15	Case 16	Case 17	Case 18	
11	B Lembak	QA	595	489	351	480	386	667	671	532	311	287	263	210	189	175	139	138	124	111
		QD	20	43	107	60	109	39	19	56	103	144	141	202	189	163	194	170	180	167
		QR	20	43	107	60	109	39	19	56	103	127	96	108	100	76	69	67	60	55
		QS	576	447	244	421	277	628	652	476	208	160	168	102	88	99	70	71	63	56
		QE	30	24	18	24	19	33	34	27	16	14	13	10	9	9	7	7	6	6
		K	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	88%	68%	53%	53%	46%	35%	40%	34%
	Class_K	K1	K1	K2	K3	K3	K3	K4	K3	K4	K4									
12	B Reban Atas	QA	4964	3400	2469	3311	2522	4771	5002	3764	1413	711	1058	917	812	566	554	525	486	492
		QD	25	33	114	53	106	53	28	74	52	104	183	200	183	148	192	162	173	177
		QR	25	33	114	53	106	53	28	74	52	92	124	107	97	69	68	64	58	59
		QS	4939	3367	2354	3258	2416	4719	4974	3691	1361	620	934	810	715	497	486	460	428	433
		QE	248	170	123	166	126	239	250	188	71	36	53	46	41	28	28	26	24	25
		K	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	88%	68%	53%	53%	46%	35%	40%	34%	33%
	Class_K	K1	K2	K3	K3	K3	K4	K3	K4	K4										
13	B Reban Tengah	QA	4970	3397	2379	3287	2442	4748	5003	3714	1380	639	951	826	729	510	496	471	437	442
		QD	30	43	138	68	128	70	40	92	64	117	200	220	205	172	216	184	196	201
		QR	30	43	138	68	128	70	40	92	64	103	136	118	109	80	77	73	66	66
		QS	4940	3354	2241	3219	2314	4678	4962	3622	1316	535	815	708	620	430	420	397	371	375
		QE	249	170	119	164	122	237	250	186	69	32	48	41	36	25	25	24	22	22
		K	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	88%	68%	53%	53%	46%	36%	40%	34%	33%
	Class_K	K1	K2	K3	K3	K3	K4	K3	K4	K4										
14	B Kermut	QA	4989	3400	2278	3263	2355	4722	5005	3659	1346	565	841	732	642	450	435	413	386	388
		QD	11	12	55	19	46	24	14	32	23	45	78	82	76	63	80	66	72	74
		QR	11	12	55	19	46	24	14	32	23	39	53	44	40	29	28	26	24	24
		QS	4978	3388	2224	3244	2309	4698	4991	3627	1323	525	788	688	602	421	407	387	361	363
		QE	249	170	114	163	118	236	250	183	67	28	42	37	32	22	22	21	19	19
		K	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	88%	68%	54%	53%	46%	36%	40%	34%	33%
	Class_K	K1	K2	K3	K3	K3	K4	K3	K4	K4										
15	B Gawah Pule	QA	5030	3439	2263	3292	2352	4746	5037	3666	1355	557	816	714	624	441	424	403	376	377
		QD	71	86	389	137	312	184	120	224	164	294	495	514	484	409	517	428	463	473
		QR	71	86	389	137	312	184	120	224	164	259	337	275	257	189	183	170	155	157
		QS	4959	3353	1873	3156	2040	4562	4917	3442	1191	298	480	438	368	252	241	234	221	220
		QE	251	172	113	165	118	237	252	183	68	28	41	36	31	22	21	20	19	19
		K	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	88%	68%	54%	53%	46%	36%	40%	34%	33%
	Class_K	K1	K2	K3	K3	K3	K4	K3	K4	K4										

Lanjutan

No	Simpul	Case_19	Case_20	Case_21	Case_22	Case_23	Case_24	Case_25	Case_26	Case_27	Case_28	Case_29	Case_30	Case_31	Case_32	Case_33	Case_34	Case_35	Case_36	
11	B Lembak	QA	100	90	74	91	93	74	71	67	56	51	46	38	37	34	23	22	43	69
		QD	140	92	75	70	85	120	114	125	127	134	138	99	60	25	63	122	114	118
		QR	53	49	41	35	28	27	25	24	22	20	18	15	17	15	22	21	26	48
		QS	48	41	33	56	65	48	46	43	35	30	28	23	20	19	1	1	17	21
		QE	5	4	4	5	5	4	4	3	3	3	2	2	2	2	1	1	2	3
		K	38%	53%	55%	50%	33%	22%	22%	19%	17%	15%	13%	15%	28%	58%	35%	18%	23%	41%
Class_K	K4	K3	K3	K3	K4	K4	K4	E	E	E	E	E	K4	K3	K4	E	K4	K3		
12	B Reban Atas	QA	513	536	299	237	198	204	194	184	178	172	148	163	184	186	40	162	295	450
		QD	161	118	62	55	70	108	101	118	120	132	133	125	77	34	0	82	148	126
		QR	61	62	34	27	23	24	22	23	20	20	17	18	21	20	0	20	34	51
		QS	452	474	265	210	175	180	172	162	157	152	130	145	163	166	40	143	261	399
		QE	26	27	15	12	10	10	10	9	9	9	7	8	9	9	2	8	15	23
		K	38%	53%	55%	50%	33%	22%	22%	19%	17%	15%	13%	15%	28%	58%	FALSE	24%	23%	41%
Class_K	K4	K3	K3	K3	K4	K4	K4	E	E	E	E	E	K4	K3		K4	K4	K3		
13	B Reban Tengah	QA	460	481	271	215	180	184	176	165	160	155	133	147	165	168	42	144	262	400
		QD	183	138	74	67	83	127	120	138	140	153	155	146	90	42	0	90	163	139
		QR	69	73	41	33	28	28	27	26	24	23	20	20	25	24	0	22	37	56
		QS	391	408	230	182	152	156	149	139	137	132	113	127	140	144	42	122	225	344
		QE	23	24	14	11	9	9	9	8	8	8	7	7	8	8	2	7	13	20
		K	38%	53%	55%	50%	33%	22%	22%	19%	17%	15%	13%	15%	28%	58%	FALSE	24%	23%	41%
Class_K	K4	K3	K3	K3	K4	K4	K4	E	E	E	E	E	K4	K3		K4	K4	K3		
14	B Kermut	QA	402	418	238	190	160	162	155	145	142	137	117	130	143	147	44	125	227	346
		QD	68	49	26	23	29	45	41	49	50	56	57	52	32	16	0	36	63	54
		QR	26	26	14	11	10	10	9	9	8	8	7	8	9	9	0	9	14	22
		QS	377	392	224	179	150	152	146	135	133	128	109	122	135	138	44	116	213	324
		QE	20	21	12	10	8	8	8	7	7	7	6	7	7	7	2	6	11	17
		K	38%	53%	55%	50%	33%	22%	22%	19%	17%	15%	13%	15%	28%	58%	FALSE	24%	23%	41%
Class_K	K4	K3	K3	K3	K4	K4	K4	E	E	E	E	E	K4	K3		K4	K4	K3		
15	B Gawah Pule	QA	389	403	233	188	158	159	152	141	138	133	114	126	138	141	47	119	215	326
		QD	444	333	174	157	196	299	277	326	329	371	371	354	212	112	0	230	400	343
		QR	167	176	96	79	65	67	62	62	56	56	48	53	59	65	0	56	92	139
		QS	221	227	137	109	93	92	91	79	82	77	65	73	79	75	47	63	123	186
		QE	19	20	12	9	8	8	8	7	7	7	6	6	7	7	2	6	11	16
		K	38%	53%	55%	50%	33%	22%	22%	19%	17%	15%	13%	15%	28%	58%	FALSE	24%	23%	41%
Class_K	K4	K3	K3	K3	K4	K4	K4	E	E	E	E	E	K4	K3		K4	K4	K3		

Lanjutan

No	Simpul	Case_1	Case_2	Case_3	Case_4	Case_5	Case_6	Case_7	Case_8	Case_9	Case_10	Case_11	Case_12	Case_13	Case_14	Case_15	Case_16	Case_17	Case_18		
16	B Sukamulia	QA	4971	3365	1883	3167	2050	4573	4928	3451	1198	305	486	444	373	257	244	238	224	223	
		QD	84	135	377	177	351	48	5	216	153	332	690	805	679	538	675	582	653	662	
		QR	84	135	377	177	351	48	5	216	153	290	462	422	354	244	232	226	213	212	
		QS	4887	3229	1505	2989	1699	4525	4923	3235	1045	15	24	22	19	13	12	12	11	11	
		QE	249	168	94	158	103	229	246	173	60	15	24	22	19	13	12	12	11	11	
		K	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	88%	68%	54%	53%	46%	36%	40%	34%	33%
		Class_K	K1	K1	K1	K2	K3	K3	K3	K4	K3	K4	K4								
17	B Paok Dangka	QA	1713	1613	1429	1651	1599	1863	1869	1706	1400	1466	1312	1174	1056	951	778	770	693	624	
		QD	0	95	118	63	115	0	0	9	136	242	280	308	223	291	253	234	273	236	
		QR	0	95	118	63	115	0	0	9	136	242	272	256	207	210	153	161	150	129	
		QS	1713	1518	1311	1587	1484	1863	1869	1698	1264	1224	1040	917	849	740	625	609	543	495	
		QE	86	81	71	83	80	93	93	85	70	73	66	59	53	48	39	38	35	31	
		K	FALSE	100%	100%	100%	100%	FALSE	FALSE	100%	100%	100%	97%	83%	93%	72%	61%	69%	55%	55%	
		Class_K		K1	K1	K1	K1			K1	K1	K1	K1	K1	K1	K2	K2	K2	K3	K3	
18	B Bebas	QA	2459	2215	1927	2300	2180	2682	2704	2455	1880	1873	1617	1435	1315	1159	967	948	848	770	
		QD	0	129	159	89	151	0	0	17	172	303	347	380	283	366	322	288	342	293	
		QR	0	129	159	89	151	0	0	17	172	303	337	316	262	265	195	197	188	160	
		QS	2459	2086	1768	2211	2029	2682	2704	2438	1707	1570	1280	1118	1053	894	772	751	660	610	
		QE	123	111	96	115	109	134	135	123	94	94	81	72	66	58	48	47	42	38	
		K	FALSE	100%	100%	100%	100%	FALSE	FALSE	100%	100%	100%	97%	83%	93%	72%	61%	69%	55%	55%	
		Class_K		K1	K1	K1	K1			K1	K1	K1	K1	K1	K1	K2	K2	K2	K3	K3	
19	B Tibu Pandan	QA	2509	2132	1809	2259	2075	2737	2760	2488	1748	1613	1317	1152	1083	921	795	773	680	628	
		QD	0	130	178	114	197	8	0	33	197	364	377	402	320	417	383	343	381	333	
		QR	0	130	178	114	197	8	0	33	197	364	366	334	297	302	232	236	209	182	
		QS	2509	2002	1631	2145	1878	2729	2760	2454	1550	1248	951	818	786	620	563	537	471	446	
		QE	125	107	90	113	104	137	138	124	87	81	66	58	54	46	40	39	34	31	
		K	FALSE	100%	100%	100%	100%	100%	FALSE	100%	100%	100%	97%	83%	93%	72%	61%	69%	55%	55%	
		Class_K		K1	K1	K1	K1	K1		K1	K1	K1	K1	K1	K1	K2	K2	K2	K3	K3	
20	B Songgen-Pdmare	QA	2634	2101	1717	2255	1979	2854	2898	2556	1629	1334	1030	892	857	687	621	598	529	501	
		QD	58	213	638	234	543	118	43	212	410	744	1017	1031	887	915	991	840	933	889	
		QR	58	213	638	234	543	118	43	212	410	744	979	847	814	653	590	568	503	476	
		QS	2576	1888	1079	2021	1437	2736	2855	2344	1219	590	51	45	43	34	31	30	26	25	
		QE	132	105	86	113	99	143	145	128	81	67	51	45	43	34	31	30	26	25	
		K	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	97%	83%	93%	72%	61%	69%	55%	55%	
		Class_K	K1	K1	K1	K1	K1	K2	K2	K2	K3	K3									

Lanjutan

No	Simpul	Case_19	Case_20	Case_21	Case_22	Case_23	Case_24	Case_25	Case_26	Case_27	Case_28	Case_29	Case_30	Case_31	Case_32	Case_33	Case_34	Case_35	Case_36		
16	B Sukamulia	QA	224	229	139	111	95	94	92	81	84	78	66	74	80	76	48	63	124	187	
		QD	581	421	243	215	278	415	413	423	484	527	516	489	285	127	0	259	539	447	
		QR	213	218	132	105	90	89	87	77	80	74	63	70	76	72	0	60	118	178	
		QS	11	11	7	6	5	5	5	4	4	4	4	3	4	4	4	48	3	6	9
		QE	11	11	7	6	5	5	5	4	4	4	4	3	4	4	4	2	3	6	9
		K	38%	53%	55%	50%	33%	22%	22%	19%	17%	15%	13%	15%	28%	58%	FALSE	24%	23%	41%	
		Class_K	K4	K3	K3	K3	K4	K4	K4	E	E	E	E	E	K4	K3		K4	K4	K3	
17	B Paok Dangka	QA	561	505	413	409	368	301	298	268	242	217	196	160	159	143	128	234	334	473	
		QD	153	71	96	123	191	192	209	185	222	235	217	141	56	0	103	153	209	110	
		QR	99	71	91	99	93	69	73	59	57	52	45	34	28	0	34	44	68	79	
		QS	462	434	322	310	275	233	225	210	184	165	151	126	130	143	94	190	266	394	
		QE	28	25	21	20	18	15	15	13	12	11	10	8	8	7	6	12	17	24	
		K	65%	100%	95%	81%	49%	36%	35%	32%	26%	22%	21%	24%	50%	FALSE	33%	29%	33%	72%	
		Class_K	K2	K1	K1	K1	K3	K4	K3		K4	K4	K4	K2							
18	B Bebidas	QA	709	657	504	490	438	365	357	328	291	261	237	197	200	206	151	281	402	592	
		QD	193	91	120	153	236	240	260	235	283	292	275	176	73	0	135	213	270	144	
		QR	126	91	114	123	115	86	91	74	73	65	57	42	37	0	45	61	88	104	
		QS	583	566	390	367	323	279	266	254	217	196	180	155	164	206	106	221	314	488	
		QE	35	33	25	25	22	18	18	16	15	13	12	10	10	10	8	14	20	30	
		K	65%	100%	95%	81%	49%	36%	35%	32%	26%	22%	21%	24%	50%	FALSE	33%	29%	33%	72%	
		Class_K	K2	K1	K1	K1	K3	K4	K3		K4	K4	K4	K2							
19	B Tibu Pandan	QA	599	580	402	379	333	288	275	261	224	203	185	159	168	210	109	225	322	500	
		QD	236	113	128	163	252	265	275	268	295	301	295	187	79	0	156	270	302	174	
		QR	154	113	122	132	123	95	96	85	76	67	61	45	40	0	52	77	99	126	
		QS	445	467	280	247	210	193	179	176	148	136	124	114	129	210	57	148	223	374	
		QE	30	29	20	19	17	14	14	13	11	10	9	8	8	10	5	11	16	25	
		K	65%	100%	96%	81%	49%	36%	35%	32%	26%	22%	21%	24%	50%	FALSE	33%	29%	33%	72%	
		Class_K	K2	K1	K1	K1	K3	K4	K3		K4	K4	K4	K2							
20	B Songgen-Pdmare	QA	497	517	323	292	252	229	217	213	182	168	155	141	157	236	83	188	265	428	
		QD	736	449	325	348	501	625	609	656	695	754	743	584	304	88	244	648	797	571	
		QR	472	449	307	277	239	218	206	202	173	160	147	134	149	88	79	179	252	407	
		QS	25	68	16	15	13	11	11	11	9	8	8	7	8	149	4	9	13	21	
		QE	25	26	16	15	13	11	11	11	9	8	8	7	8	12	4	9	13	21	
		K	65%	100%	96%	81%	49%	36%	35%	32%	26%	22%	21%	24%	50%	100%	33%	29%	33%	72%	
		Class_K	K2	K1	K1	K1	K3	K4	K3	K1	K4	K4	K4	K2							

Lanjutan

No	Simpul	Case_1	Case_2	Case_3	Case_4	Case_5	Case_6	Case_7	Case_8	Case_9	Case_10	Case_11	Case_12	Case_13	Case_14	Case_15	Case_16	Case_17	Case_18		
21	B Larung	QA	8161	5680	3029	5635	3690	7944	8530	6130	2694	1054	502	473	447	413	359	372	351	334	
		QD	0	58	186	54	148	41	18	31	153	257	283	238	209	271	262	217	240	215	
		QR	0	58	186	54	148	41	18	31	153	257	283	238	209	271	241	217	234	215	
		QS	8161	5622	2843	5581	3542	7903	8512	6100	2542	797	219	235	239	142	118	155	117	119	
		QE	408	284	151	282	185	397	426	307	135	53	25	24	22	21	18	19	18	17	
		K	FALSE	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	92%	100%	98%	100%
		Class_K		K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1							
22	E Senang 262876	Vbeg	262876	262876	262876	99880	197378	111328	226231	262876	262876	248018	168692	84115	49025	43038	19482	10117	13071	11381	
		Vend	262876	262876	99880	197378	111328	226231	262876	262876	248018	168692	84115	49025	43038	19482	10117	13071	11381	12141	
		QA	236	191	148	213	188	231	255	187	146	152	145	137	131	124	107	112	106	101	
		QD	0	92	310	89	253	81	37	57	232	384	426	343	316	409	398	328	360	325	
		QR	0	92	238	79	216	81	37	57	119	179	178	127	103	113	90	81	81	76	
		QS	234	97	80	20	69	17	174	128	40	63	64	46	34	38	30	27	27	24	
		QE	12	10	8	11	10	12	13	10	8	8	8	7	7	7	6	6	6	5	
K	FALSE	100%	77%	89%	85%	100%	100%	100%	52%	47%	42%	37%	33%	28%	23%	25%	23%	23%			
Class_K		K1	K2	K1	K1	K1	K1	K1	K3	K3	K3	K4									
23	B Senang1	QA	244	105	85	29	77	25	183	135	46	69	69	52	39	43	34	31	31	28	
		QD	0	34	107	32	86	24	11	18	86	145	163	135	118	154	149	123	136	122	
		QR	0	34	81	28	73	24	11	18	44	66	66	49	37	41	32	29	29	27	
		QS	244	71	4	1	4	1	172	117	2	3	3	3	2	2	2	2	2	1	
		QE	12	5	4	1	4	1	9	7	2	3	3	3	2	2	2	2	2	1	
		K	FALSE	100%	77%	89%	85%	100%	100%	100%	52%	47%	42%	37%	33%	28%	23%	25%	23%	23%	
		Class_K		K1	K2	K1	K1	K1	K1	K1	K3	K3	K3	K4	K4	K4	K4	K4	K4	K4	K4
24	B Runggang	QA	8600	5858	2949	5759	3689	8075	8870	6351	2653	915	331	341	339	237	201	241	199	196	
		QD	0	70	118	73	122	47	18	38	117	193	206	186	167	213	208	182	193	173	
		QR	0	70	118	73	122	47	18	38	117	193	206	186	167	213	191	182	189	173	
		QS	8600	5788	2832	5685	3567	8028	8852	6313	2536	722	125	155	172	25	10	59	10	23	
		QE	430	293	147	288	184	404	443	318	133	46	17	17	17	12	10	12	10	10	
		K	FALSE	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	92%	100%	98%	100%
		Class_K		K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1							

RESERVOIR OPERATION PERFORMANCE FOR 36 PERIOD

No	Simpul	Reliab	Resil	Vulner
22	E Senang	1.0000	1.0000	0.0000

Lanjutan

22	E Senang 262876	Vbeg	12141	13209	22772	35616	49310	37061	15762	12928	8913	7870	6445	5610	7029	30120	69877	52229	11	53236	
		Vend	13209	22772	35616	49310	37061	15762	12928	8913	7870	6445	5610	7029	30120	69877	52229	11	53236	26302	
		QA	96	91	79	82	78	67	71	67	64	60	57	50	52	49	47	44	66	90	
		QD	252	120	99	113	174	190	180	208	200	219	217	133	61	0	203	398	353	220	
		QR	72	60	49	51	70	69	57	55	50	48	45	37	20	0	49	80	0	90	
		QS	23	20	15	15	21	21	17	16	15	14	13	11	5	3	15	25	4	30	
		QE	5	5	4	5	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	4	5
		K	28%	50%	49%	46%	41%	36%	32%	27%	25%	22%	21%	28%	34%	FALSE	24%	20%	FALSE	41%	
		Class_K	K4	K3	K3	K3	K3	K4	K4	K4	K4	K4	K4	K4	K4		K4	K4		K3	
23	B Senang1	QA	27	23	18	18	24	24	20	19	17	17	16	13	7	5	17	26	6	32	
		QD	94	45	35	38	59	65	61	69	69	75	73	46	20	0	70	134	122	75	
		QR	26	22	17	17	23	23	19	18	16	16	15	12	7	0	16	25	6	30	
		QS	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	5	1	1	0	2
		QE	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	2
		K	28%	50%	49%	46%	41%	36%	32%	27%	25%	22%	21%	28%	34%	FALSE	24%	20%	5%	41%	
Class_K	K4	K3	K3	K3	K3	K4	K4	K4	K4	K4	K4	K4	K4		K4	K4	E	K3			
24	B Runggang	QA	227	340	238	227	155	122	128	122	112	104	101	88	151	340	105	79	109	209	
		QD	134	68	65	81	124	134	130	146	139	145	150	94	43	0	86	170	160	100	
		QR	134	68	65	81	124	116	122	116	106	99	96	84	43	0	86	75	104	100	
		QS	93	272	173	147	31	6	6	6	6	5	5	4	108	340	19	4	5	109	
		QE	11	17	12	11	8	6	6	6	6	5	5	4	8	17	5	4	5	10	
		K	100%	100%	100%	100%	100%	87%	94%	79%	77%	69%	65%	89%	100%	FALSE	100%	45%	66%	100%	
Class_K	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K2	K2	K2	K2	K1	K1		K1	K3	K2	K1			



Lampiran 16. Keluaran MEQAA 180 periode di waduk seri Batujai-Pengga

SUMMARY RESULT																		
No	Simpul	Period	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6	Case 7	Case 8	Case 9	Case 10	Case 11	Case 12	Case 13	Case 14	Case 15	
1	BD Batujai 18200000	Vbeg	10941670	18200000	18200000	18200000	18200000	18200000	18200000	18200000	18200000	17140760	17967040	18200000	18200000	16896296	17581385	
		Vend	18200000	18200000	18200000	18200000	18200000	18200000	18200000	18200000	18200000	17140760	17967040	18200000	18200000	16896296	17581385	17508839
		QA	18818	1899	1337	836	693	396	8871	2621	2170	2097	9474	15454	983	1165	647	
		QD	697	0	378	0	6	0	0	201	1313	842	1772	2115	2243	119	506	
		QR	697	0	378	0	6	0	0	201	1313	842	1772	2115	2243	119	506	
		QS	9678	1830	896	767	618	327	8802	2351	1909	234	7363	13277	180	188	162	
		QE	970	124	96	71	63	49	472	160	137	134	503	802	78	87	61	
		K	100%	FALSE	100%	FALSE	100%	FALSE	FALSE	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
		Class_K	K1		K1		K1				K1							
		1	DM Batujai	QA	9678	1830	896	767	618	327	8802	2351	1909	234	7363	13277	180	188
QD	100			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
QR	100			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
QS	9578			1730	796	667	518	227	8702	2251	1809	134	7263	13177	80	88	62	
QE	970			124	96	71	63	49	472	160	137	134	503	802	78	87	61	
K	100%			100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
2	BD Pengga 21100000	Vbeg	19240000	21100000	21100000	21100000	21100000	21100000	21100000	21100000	21100000	19939500	21100000	21100000	21100000	21021930	21100000	
		Vend	21100000	21100000	21100000	21100000	21100000	21100000	21100000	21100000	21100000	19939500	21100000	21100000	21100000	21021930	21100000	21100000
		QA	9578	4761	5280	3422	5407	4541	10044	2251	2568	4554	7263	13177	3350	3132	2947	
		QD	164	74	873	0	212	120	52	1233	3596	2246	2060	2567	3205	560	1084	
		QR	164	74	873	0	212	120	52	1233	3595	2246	2060	2567	3204	560	1084	
		QS	7229	4652	4375	3386	5159	4385	9956	982	162	931	5168	10578	201	2446	1818	
		QE	512	272	297	205	304	260	536	146	162	261	397	692	201	190	181	
		K	100%	100%	100%	FALSE	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
		Class_K	K1	K1	K1		K1											
		Sum_QR	961	174	1352	100	318	220	152	1534	5008	3188	3932	4781	5547	780	1690	

RESERVOIR OPERATION PERFORMANCE FOR 180 PERIOD

No	Simpul	Reliab	Resil	Vulner
1	BD Batujai	1.0000	1.0000	0.0000
2	BD Pengga	1.0000	1.0000	0.0000

Lanjutan

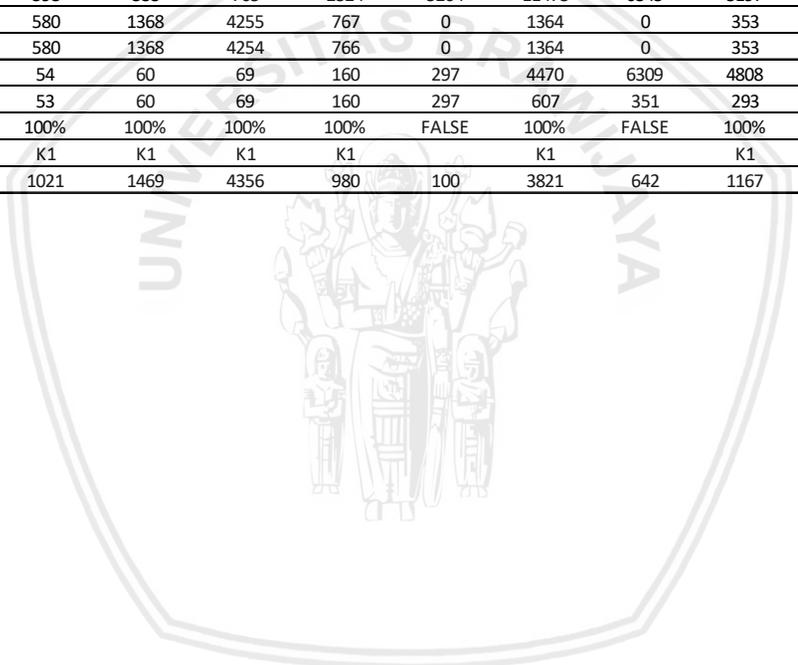
SUMMARY RESULT

No	Simpul	Period	Case 16	Case 17	Case 18	Case 19	Case 20	Case 21	Case 22	Case 23	Case 24	Case 25	Case 26	Case 27	Case 28	Case 29	Case 30	
1	BD Batujai 18200000	Vbeg	17508839	17246021	15724400	14086211	12618370	10884682	10940948	11078750	9723937	8359815	6762570	6389604	4589949	3286238	2673077	
		Vend	17246021	15724400	14086211	12618370	10884682	10940948	11078750	9723937	8359815	6762570	6389604	4589949	3286238	2673077	2346119	
		QA	932	0	0	203	0	1044	879	0	0	89	864	0	0	40	48	
		QD	731	1154	1141	1708	1312	756	505	531	869	901	1095	1113	1136	388	9	
		QR	731	1154	1141	1708	1312	756	505	531	869	901	1095	1113	1136	388	9	
		QS	439	541	528	140	646	182	174	995	533	1005	175	946	356	350	374	
		QE	75	29	29	39	29	81	73	29	29	33	72	29	29	31	31	
		K	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
		Class_K	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1
		1	DM Batujai	QA	439	541	528	140	646	182	174	995	533	1005	175	946	356	350
QD	100			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
QR	100			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
QS	339			441	428	40	546	82	74	895	433	905	75	846	256	250	274	
QE	75			29	29	39	29	81	73	29	29	33	72	29	29	31	31	
K	100%			100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Class_K	K1			K1														
2	BD Pengga 21100000	Vbeg	21100000	20888278	20083061	20138006	19570609	19848488	19276233	18795303	18687284	18155918	17837643	16565707	15901253	14697227	14588117	
		Vend	20888278	20083061	20138006	19570609	19848488	19276233	18795303	18687284	18155918	17837643	16565707	15901253	14697227	14588117	15088723	
		QA	1351	1399	2272	1790	1658	82	74	895	1018	1270	440	1210	593	618	641	
		QD	1459	2192	2036	2291	1187	672	560	909	1464	1511	1827	1858	1896	655	26	
		QR	1459	2192	2036	2290	1187	672	560	909	1464	1511	1827	1857	1896	655	26	
		QS	101	104	147	123	116	39	37	79	85	97	55	94	63	64	66	
		QE	101	103	147	123	116	38	37	78	84	97	55	94	63	64	66	
		K	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
		Class_K	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1
		Sum_QR		2290	3446	3277	4098	2599	1528	1165	1541	2433	2512	3022	3070	3131	1143	135

Lanjutan

SUMMARY RESULT

No	Simpul	Period	Case 31	Case 32	Case 33	Case 34	Case 35	Case 36	Case 37	Case 38	Case 39	Case 40	Case 41	Case 42	Case 43	Case 44	Case 45	
1	BD Batujai 18200000	Vbeg	2346119	1932630	2247526	1472805	2779708	4927939	8137076	18200000	18107180	18200000	18200000	18200000	18200000	17789590	18200000	
		Vend	1932630	2247526	1472805	2779708	4927939	8137076	18200000	18107180	18200000	18200000	18200000	18200000	18200000	17789590	18200000	
	QA	0	1005	0	2521	3801	6547	14308	847	1837	2617	7804	6852	5041	4437	20121		
	QD	341	1	3	114	0	2357	542	714	0	99	1209	1754	2600	0	1254		
	QR	341	1	3	114	0	2357	542	714	0	99	1209	1754	2600	0	1254		
	QS	129	633	805	889	1304	457	2088	172	1677	2449	6526	5028	2847	3895	18804		
	QE	29	79	29	155	219	356	744	71	121	160	419	371	281	251	1035		
	K	100%	100%	100%	100%	FALSE	100%	100%	100%	FALSE	100%	100%	100%	100%	100%	FALSE	100%	
	Class_K	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	
	1	DM Batujai	QA	129	633	805	889	1304	457	2088	172	1677	2449	6526	5028	2847	3895	18804
QD			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
QR			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
QS			29	533	705	789	1204	357	1988	72	1577	2349	6426	4928	2747	3795	18704	
QE			29	79	29	155	219	356	744	71	121	160	419	371	281	251	1035	
K			100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Class_K			K1															
2	BD Pengga 21100000	Vbeg	15088723	14862647	14067308	10608599	11974039	16248088	21100000	21100000	21100000	21100000	21100000	21100000	21100000	20678000	21100000	
		Vend	14862647	14067308	10608599	11974039	16248088	21100000	21100000	21100000	21100000	21100000	21100000	21100000	21100000	20678000	21100000	
	QA	398	533	705	2524	5264	11478	6345	5197	7590	7404	8394	6842	2747	3795	18704		
	QD	580	1368	4255	767	0	1364	0	353	0	353	2265	3007	3029	812	3460		
	QR	580	1368	4254	766	0	1364	0	353	0	353	2265	3007	3029	812	3460		
	QS	54	60	69	160	297	4470	6309	4808	7557	7015	6093	3799	171	2459	15211		
	QE	53	60	69	160	297	607	351	293	413	404	453	376	171	223	969		
	K	100%	100%	100%	100%	FALSE	100%	FALSE	100%	FALSE	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
	Class_K	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	
	Sum_QR		1021	1469	4356	980	100	3821	642	1167	100	552	3574	4862	5729	912	4814	



Lanjutan

SUMMARY RESULT

No	Simpul	Period	Case_46	Case_47	Case_48	Case_49	Case_50	Case_51	Case_52	Case_53	Case_54	Case_55	Case_56	Case_57	Case_58	Case_59	Case_60		
1	BD Batujai 18200000	Vbeg	18200000	18200000	17685850	18200000	18200000	18009965	17045628	15603426	14168041	12790939	12058048	11024805	10186740	9503052	8992407	8992407	
		Vend	18200000	17685850	18200000	18200000	18009965	17045628	15603426	14168041	12790939	12058048	11024805	10186740	9503052	8992407	8992407	8439929	
	QA	12088	2880	17177	10464	1782	0	0	0	0	757	314	330	0	0	160			
	QD	1527	1351	2732	1915	2108	1483	1896	1935	1700	1856	1749	1486	820	547	728			
	QR	1527	1351	2732	1915	1714	1180	1473	1473	1262	1390	1319	1112	623	425	573			
	QS	10491	2055	13842	8480	218	129	131	129	138	167	146	147	130	130	138			
	QE	633	173	888	552	118	29	29	29	29	67	45	45	29	29	37			
	K	100%	100%	100%	100%	81%	80%	78%	76%	74%	75%	75%	75%	76%	78%	79%			
	Class_K	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K2											
	1	DM Batujai	QA	10491	2055	13842	8480	218	129	131	129	138	167	146	147	130	130	138	
QD			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
QR			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
QS			10391	1955	13742	8380	118	29	31	29	38	67	46	47	30	30	38		
QE			633	173	888	552	118	29	29	29	29	67	45	45	29	29	37		
K			100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
Class_K			K1	K1	K1	K1	K1	K1	K2										
2	BD Pengga 21100000	Vbeg	21100000	21100000	20467000	21100000	21100000	20836058	20616731	19885641	18779557	18501047	18600515	19258993	19614093	19969194	19948306	19948306	
		Vend	21100000	20467000	21100000	21100000	20836058	20616731	19885641	18779557	18501047	18600515	19258993	19614093	19969194	19948306	18859131		
		QA	10391	1955	13742	8380	3215	2782	2676	2197	2619	2521	1783	953	791	628	49		
		QD	5265	2521	2774	1660	3489	3090	3522	3535	2955	2389	940	459	287	580	1202		
		QR	5265	2520	2774	1660	3290	2883	3320	3300	2718	2215	867	428	274	553	1128		
		QS	5090	131	10271	6684	194	173	167	143	164	160	123	81	73	65	36		
		QE	553	131	721	452	194	173	167	143	164	160	123	81	73	65	36		
		K	100%	100%	100%	100%	94%	93%	94%	93%	92%	93%	92%	93%	93%	95%	95%	94%	
		Class_K	K1																
		Sum_QR	6893	3971	5606	3675	5104	4163	4893	4873	4080	3705	2286	1639	996	1079	1801		

Lanjutan

SUMMARY RESULT

No	Simpul	Period	Case_61	Case_62	Case_63	Case_64	Case_65	Case_66	Case_67	Case_68	Case_69	Case_70	Case_71	Case_72	Case_73	Case_74	Case_75
1	BD Batujai 18200000	Vbeg	8439929	8847498	8443570	7893513	6965647	5901234	4763877	4072322	4056994	3412283	2079648	38665	3622447	2467719	2327590
		Vend	8847498	8443570	7893513	6965647	5901234	4763877	4072322	4056994	3412283	2079648	38665	3622447	2467719	2327590	4576192
		QA	1328	559	469	123	136	136	133	134	151	0	0	6857	1564	1143	3067
		QD	813	1063	1161	1299	1499	1462	955	0	857	1775	2806	337	2114	674	0
		QR	628	835	921	1026	1199	1171	779	0	679	1400	2225	337	2112	674	0
		QS	196	158	152	141	143	141	136	136	136	129	129	2372	775	622	693
		QE	95	57	52	35	36	36	36	36	36	29	29	372	107	86	182
		K	77%	79%	79%	79%	80%	80%	82%	FALSE	79%	79%	79%	100%	100%	100%	FALSE
		Class_K	K2	K2	K2	K2	K1	K1	K1			K2	K2	K2	K1	K1	K1
		1	DM Batujai	QA	196	158	152	141	143	141	136	136	129	129	2372	775	622
		QD	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
		QR	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
		QS	96	58	52	41	43	41	36	36	36	29	29	2272	675	522	593
		QE	95	57	52	35	36	36	36	36	29	29	372	107	86	182	
		K	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
2	BD Pengga 21100000	Vbeg	18859131	17809507	16654686	15436679	13995088	12242289	10358864	9286120	9341343	8139010	5702375	2749698	7434365	7566097	8850276
		Vend	17809507	16654686	15436679	13995088	12242289	10358864	9286120	9341343	8139010	5702375	2749698	7434365	7566097	8850276	15122135
		QA	114	351	419	406	409	407	374	119	279	302	1512	6467	4153	3148	7016
		QD	1343	1756	1917	2145	2475	2414	1577	0	1483	3061	4830	690	3790	1458	18
		QR	1258	1606	1746	1995	2360	2316	1546	0	1483	3060	4811	683	3747	1458	18
		QS	39	51	54	54	54	54	52	39	47	49	109	357	241	191	385
		QE	39	51	54	54	54	54	52	39	47	49	109	357	241	191	384
		K	94%	92%	91%	93%	95%	96%	98%	FALSE	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
		Class_K	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1		K1	K1	K1	K1	K1	K1
		Sum_QR	1985	2541	2767	3121	3659	3587	2425	100	2262	4561	7136	1120	5959	2232	118

Lanjutan

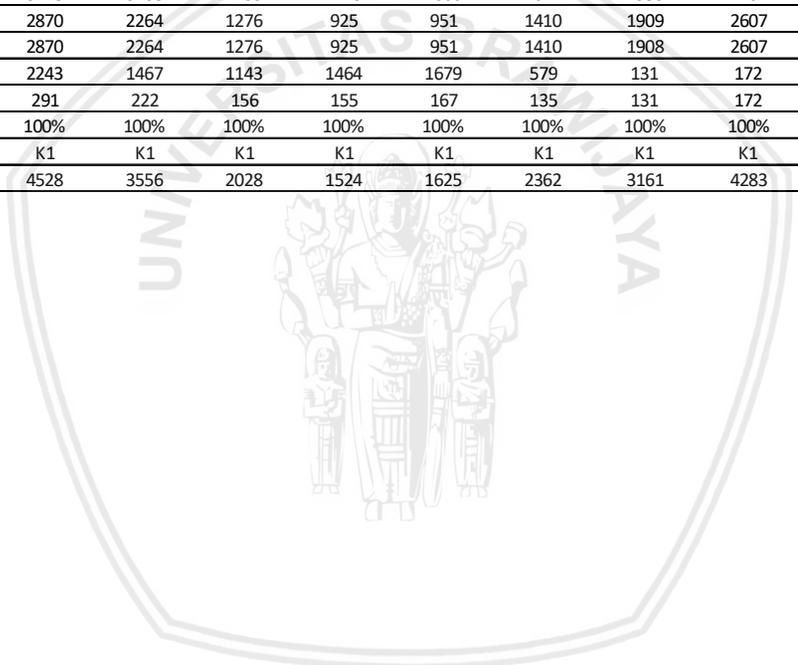
SUMMARY RESULT

No	Simpul	Period	Case_76	Case_77	Case_78	Case_79	Case_80	Case_81	Case_82	Case_83	Case_84	Case_85	Case_86	Case_87	Case_88	Case_89	Case_90	
1	BD Batujai 18200000	Vbeg	4576192	11243690	15568087	15870645	16294278	16038610	16434298	16265088	14948170	15151006	15917296	16163420	16501895	16437182	16885050	
		Vend	11243690	15568087	15870645	16294278	16038610	16434298	16265088	14948170	15151006	15917296	16163420	16501895	16437182	16885050	18200000	
		QA	9331	6894	1709	716	80	1269	1702	1564	1866	2194	3479	2118	1909	2515	4106	
		QD	1000	1372	1084	0	181	605	1620	2617	1379	1011	2402	1317	1686	1679	1596	
		QR	1000	1372	1084	0	181	605	1620	2617	1379	1011	2402	1317	1686	1679	1596	
		QS	596	474	215	166	133	193	215	410	223	239	731	235	236	255	1068	
		QE	495	374	114	65	33	92	114	107	122	139	203	135	124	155	234	
		K	100%	100%	100%	FALSE	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
		Class_K	K1	K1	K1		K1	K1										
		1	DM Batujai	QA	596	474	215	166	133	193	215	410	223	239	731	235	236	255
QD	100			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
QR	100			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
QS	496			374	115	66	33	93	115	310	123	139	631	135	136	155	968	
QE	495			374	114	65	33	92	114	107	122	139	203	135	124	155	234	
K	100%			100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Class_K	K1			K1	K1		K1	K1										
2	BD Pengga 21100000	Vbeg	15122135	21100000	21100000	21100000	21100000	21100000	21100000	21100000	20273487	20549499	21100000	20587534	20803877	19412000	20416360	
		Vend	21100000	21100000	21100000	21100000	21100000	21100000	21100000	20273487	20549499	21100000	20587534	20803877	19412000	20416360	21100000	
		QA	13463	6999	3350	3057	3533	3262	3714	3795	2891	2949	3934	3010	1617	4522	6903	
		QD	1997	2611	2136	0	414	1054	2791	4495	2391	1925	4263	2470	3079	3068	2932	
		QR	1997	2611	2136	0	414	1054	2791	4493	2391	1925	4261	2470	3078	3068	2932	
		QS	4522	4352	1179	3022	3083	2175	887	223	178	352	230	184	114	260	3220	
		QE	707	383	201	186	210	197	219	223	178	181	230	184	114	260	379	
		K	100%	100%	100%	FALSE	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
		Class_K	K1	K1	K1		K1	K1										
		Sum_QR	3097	4083	3320	100	695	1759	4511	7210	3870	3036	6763	3886	4864	4846	4628	

Lanjutan

SUMMARY RESULT

No	Simpul	Period	Case_91	Case_92	Case_93	Case_94	Case_95	Case_96	Case_97	Case_98	Case_99	Case_100	Case_101	Case_102	Case_103	Case_104	Case_105
1	BD Batujai 18200000	Vbeg	18200000	18200000	18200000	17967690	17970379	17772740	16782171	15979778	14465668	13851609	12406321	10779574	9962424	10409688	12020216
		Vend	18200000	18200000	17967690	17970379	17772740	16782171	15979778	14465668	13851609	12406321	10779574	9962424	10409688	12020216	14134513
	QA	2506	1518	613	736	571	0	487	14	1227	0	0	513	1093	2150	2524	
	QD	1559	1192	652	499	574	852	1153	1576	1692	1428	1707	1181	353	10	2	
	QR	1559	1192	652	499	574	852	1153	1576	1692	1428	1707	1181	353	10	2	
	QS	878	256	160	166	158	129	199	130	191	192	129	155	184	237	256	
	QE	154	105	59	66	57	29	53	30	90	29	29	55	84	136	155	
	K	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	Class_K	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1
	1	DM Batujai	QA	878	256	160	166	158	129	199	130	191	192	129	155	184	237
QD			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
QR			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
QS			778	156	60	66	58	29	99	30	91	92	29	55	84	137	156
QE			154	105	59	66	57	29	53	30	90	29	29	55	84	136	155
K			100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Class_K			K1														
2	BD Pengga 21100000	Vbeg	21100000	21100000	21100000	21100000	21100000	21100000	21100000	20994500	20953355	21100000	19075455	18314431	17727165	19156690	21100000
		Vend	21100000	21100000	21100000	21100000	21100000	21100000	20994500	20953355	21100000	19075455	18314431	17727165	19156690	21100000	21100000
	QA	5148	3768	2455	2425	2666	2022	1953	2767	5096	92	2113	1473	2428	5272	2489	
	QD	2870	2264	1276	925	951	1410	1909	2607	2798	2362	2823	1955	588	20	6	
	QR	2870	2264	1276	925	951	1410	1908	2607	2798	2362	2822	1955	588	20	6	
	QS	2243	1467	1143	1464	1679	579	131	172	2092	38	139	107	155	2970	2451	
	QE	291	222	156	155	167	135	131	172	288	38	139	107	155	297	158	
	K	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
	Class_K	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	
	Sum_QR		4528	3556	2028	1524	1625	2362	3161	4283	4590	3889	4629	3236	1041	130	108



Lanjutan

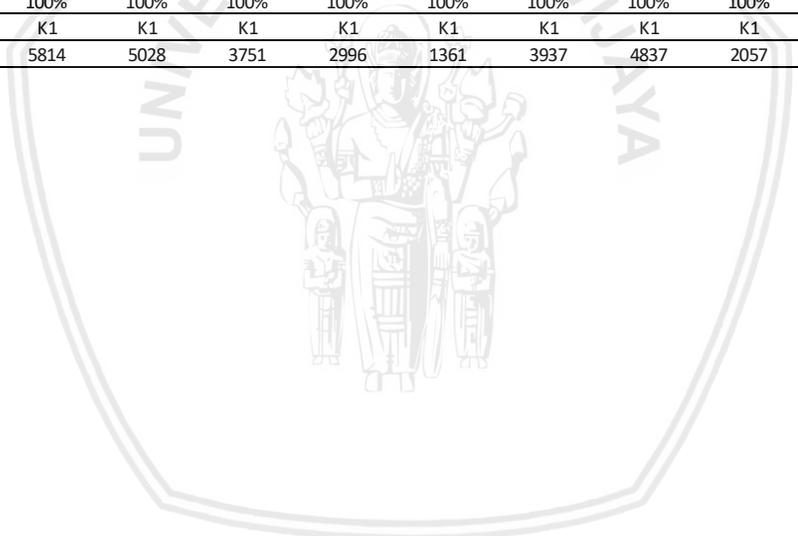
SUMMARY RESULT

No	Simpul	Period	Case 106	Case 107	Case 108	Case 109	Case 110	Case 111	Case 112	Case 113	Case 114	Case 115	Case 116	Case 117	Case 118	Case 119	Case 120	
1	BD Batujai 18200000	Vbeg	14134513	13713955	15315424	12733144	10726941	11973494	12734358	12282719	18200000	18200000	18200000	18200000	18200000	17900363	17079393	
		Vend	13713955	15315424	12733144	10726941	11973494	12734358	12282719	18200000	18200000	18200000	18200000	18200000	18200000	17900363	17079393	15714585
		QA	776	2536	1348	822	2834	1022	0	15212	26045	18963	6062	20554	848	917	2276	
		QD	1041	374	4081	2591	949	0	345	559	0	76	1038	283	1027	1779	3685	
		QR	1041	374	4081	2591	949	0	345	559	0	76	1038	283	953	1623	3409	
		QS	168	256	197	504	401	180	130	7758	25975	18818	4955	20208	172	176	244	
		QE	68	156	96	70	171	80	29	789	1331	977	332	1057	71	75	143	
		K	100%	100%	100%	100%	100%	100%	FALSE	100%	100%	FALSE	100%	100%	100%	93%	91%	93%
		Class_K	K1	K1	K1	K1	K1	K1		K1	K1		K1	K1	K1	K1	K1	K1
		1	DM Batujai	QA	168	256	197	504	401	180	130	7758	25975	18818	4955	20208	172	176
QD	100			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
QR	100			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
QS	68			156	97	404	301	80	30	7658	25875	18718	4855	20108	72	76	144	
QE	68			156	96	70	171	80	29	789	1331	977	332	1057	71	75	143	
K	100%			100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Class_K	K1			K1	K1	K1	K1	K1		K1	K1		K1	K1	K1	K1	K1	
2	BD Pengga 21100000	Vbeg	21100000	21100000	21100000	17766095	16985500	19201000	21100000	21100000	21100000	21100000	21100000	21100000	21100000	21100000	20260924	
		Vend	21100000	21100000	17766095	16985500	19201000	21100000	21100000	21100000	21100000	21100000	21100000	21100000	21100000	20260924	18402195	
		QA	3606	3396	3313	3880	4729	3703	2336	7658	25875	21481	4855	20108	3996	3864	3476	
		QD	1786	749	6939	4527	1867	0	817	1268	0	355	2059	2060	3469	4573	5195	
		QR	1786	749	6937	4525	1866	0	817	1268	0	355	2059	2060	3469	4572	5193	
		QS	1784	2611	199	227	270	1675	1484	6353	25840	21090	2760	18015	491	227	207	
		QE	214	203	199	227	270	219	150	416	1327	1107	276	1039	233	227	207	
		K	100%	100%	100%	100%	100%	FALSE	100%	100%	FALSE	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
		Class_K	K1	K1	K1	K1	K1		K1	K1		K1	K1	K1	K1	K1	K1	
		Sum_QR	2927	1223	11118	7216	2915	100	1261	1927	100	531	3197	2443	4522	6295	8701	

Lanjutan

SUMMARY RESULT

No	Simpul	Period	Case_121	Case_122	Case_123	Case_124	Case_125	Case_126	Case_127	Case_128	Case_129	Case_130	Case_131	Case_132	Case_133	Case_134	Case_135
1	BD Batujai 18200000	Vbeg	15714585	13503641	11637629	10753413	9802364	9628379	8259864	7268468	8296246	8280850	8043856	7888812	7075418	6504782	6369443
		Vend	13503641	11637629	10753413	9802364	9628379	8259864	7268468	8296246	8280850	8043856	7888812	7075418	6504782	6369443	7115519
	QA	0	0	0	0	346	0	682	2313	1335	514	460	301	201	0	1070	
	QD	2616	2133	1169	1006	395	1374	1795	951	1261	666	500	1089	773	3	0	
	QR	2370	1979	1094	930	364	1278	1635	850	1117	601	457	985	695	3	0	
	QS	129	129	130	130	146	129	163	245	204	156	152	144	139	129	182	
	QE	29	29	29	29	46	29	63	144	96	55	52	44	39	29	82	
	K	91%	93%	94%	93%	92%	93%	91%	89%	89%	90%	91%	91%	90%	89%	89%	FALSE
	Class_K	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1
	1	DM Batujai	QA	129	129	130	130	146	129	163	245	204	156	152	144	139	129
QD			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
QR			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
QS			29	29	30	30	46	29	63	145	104	56	52	44	39	29	82
QE			29	29	29	29	46	29	63	144	96	55	52	44	39	29	82
K			100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
2	BD Pengga 21100000	Vbeg	18402195	19021161	17350730	16798782	15738393	15807641	15107411	14433373	14615986	16542432	15831639	15696075	13967145	13254287	13838892
		Vend	19021161	17350730	16798782	15738393	15807641	15107411	14433373	14615986	16542432	15831639	15696075	13967145	13254287	13838892	14081057
	QA	4342	1138	1926	842	1092	1979	2506	1449	3882	56	773	44	541	779	355	
	QD	3344	2950	2558	1966	897	2559	3103	1107	1400	813	831	1804	1282	7	0	
	QR	3344	2949	2558	1965	897	2559	3101	1107	1400	813	831	1804	1282	7	0	
	QS	251	90	130	76	89	132	159	106	228	37	72	36	61	73	51	
	QE	251	90	130	76	88	132	159	106	228	36	72	36	61	72	51	
	K	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	FALSE
	Class_K	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1
	Sum_QR		5814	5028	3751	2996	1361	3937	4837	2057	2617	1515	1387	2889	2077	110	100



Lanjutan

SUMMARY RESULT

No	Simpul	Period	Case_136	Case_137	Case_138	Case_139	Case_140	Case_141	Case_142	Case_143	Case_144	Case_145	Case_146	Case_147	Case_148	Case_149	Case_150	
1	BD Batujai 18200000	Vbeg	7115519	8093225	10218844	10062695	11233072	15120575	16836957	16742892	18200000	18131458	17329031	17112826	17054354	16886228	17861222	
		Vend	8093225	10218844	10062695	11233072	15120575	16836957	16742892	18200000	18131458	17329031	17112826	17054354	16886228	17861222	17283682	
		QA	1366	3029	0	1754	4921	2741	1813	3592	1754	342	182	133	0	1392	522	
		QD	11	280	0	156	4	659	1759	1509	1705	1186	258	0	0	0	1209	
		QR	10	257	0	144	4	616	1638	1424	1547	1055	225	0	0	0	966	
		QS	198	281	129	217	375	266	221	417	217	147	141	136	130	200	157	
		QE	97	180	29	117	275	166	120	208	117	46	38	36	29	98	55	
		K	90%	92%	FALSE	93%	92%	94%	93%	94%	91%	89%	87%	FALSE	FALSE	FALSE	80%	
		Class_K	K1	K1		K1				K1								
		1	DM Batujai	QA	198	281	129	217	375	266	221	417	217	147	141	136	130	200
QD	100			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
QR	100			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
QS	98			181	29	117	275	166	121	317	117	47	41	36	30	100	57	
QE	97			180	29	117	275	166	120	208	117	46	38	36	29	98	55	
K	100%			100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Class_K	K1			K1		K1				K1								
2	BD Pengga 21100000	Vbeg	14081057	15018980	21100000	21100000	21100000	21100000	21100000	18522635	21030689	19048025	19054355	20467000	21100000	21100000	21100000	
		Vend	15018980	21100000	21100000	21100000	21100000	21100000	18522635	21030689	19048025	19054355	20467000	21100000	21100000	21100000	21100000	
		QA	1229	9371	4241	1052	4933	15345	135	5953	778	2450	2602	3560	2396	3896	3852	
		QD	25	470	0	265	9	1155	3043	2689	2967	2255	771	0	0	0	2341	
		QR	25	470	0	265	9	1155	3042	2688	2965	2255	771	0	0	0	2341	
		QS	95	1838	4209	752	4888	14157	40	331	72	156	164	2862	2360	3860	1475	
		QE	95	502	246	86	280	801	40	331	72	156	164	211	153	228	226	
		K	100%	100%	FALSE	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	FALSE	FALSE	FALSE	100%
		Class_K	K1	K1		K1				K1								
		Sum_QR	134	827	100	509	113	1871	4780	4212	4612	3409	1096	100	100	100	100	3406

Lanjutan

SUMMARY RESULT

No	Simpul	Period	Case_151	Case_152	Case_153	Case_154	Case_155	Case_156	Case_157	Case_158	Case_159	Case_160	Case_161	Case_162	Case_163	Case_164	Case_165	
1	BD Batujai 18200000	Vbeg	17283682	16338036	16677394	17402358	16325227	15252876	14604870	13845737	13082565	12208980	11368062	10612909	9211585	8697153	7876807	
		Vend	16338036	16677394	17402358	16325227	15252876	14604870	13845737	13082565	12208980	11368062	10612909	9211585	8697153	7876807	7327075	
		QA	549	793	1396	0	891	910	773	399	0	146	209	0	466	155	0	
		QD	1817	221	501	1416	2636	1959	2108	1632	1662	1496	1452	1149	1092	1108	771	
		QR	1421	169	375	1035	1882	1363	1427	1079	1071	935	899	709	681	703	476	
		QS	157	170	201	146	188	176	169	151	131	138	141	729	345	369	130	
		QE	56	69	99	29	73	74	68	49	29	36	39	29	52	37	29	
		K	78%	76%	75%	73%	71%	70%	68%	66%	64%	63%	62%	62%	62%	62%	63%	62%
		Class_K	K2	K2	K2	K2	K2	K2	K2	K2	K2	K2	K2	K2	K2	K2	K2	K2
		1	DM Batujai	QA	157	170	201	146	188	176	169	151	131	138	141	729	345	369
QD	100			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
QR	100			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
QS	57			70	101	46	88	76	69	51	31	38	41	629	245	269	30	
QE	56			69	99	29	73	74	68	49	29	36	39	29	52	37	29	
K	100%			100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Class_K	K1			K1	K1	K2												
2	BD Pengga 21100000	Vbeg	21100000	19895190	21100000	21100000	20221135	19012336	18266876	17340182	16505698	15796730	14654234	13286932	12549964	11601653	11069817	
		Vend	19895190	21100000	21100000	20221135	19012336	18266876	17340182	16505698	15796730	14654234	13286932	12549964	11601653	11069817	10400705	
		QA	2125	3307	4096	891	2006	1776	1632	1138	1053	502	112	629	245	269	30	
		QD	3345	479	881	2443	4512	3434	3719	2971	3021	2746	2674	2174	2079	1311	1214	
		QR	3344	479	881	1794	3237	2409	2559	1984	1958	1739	1631	1319	1276	818	751	
		QS	140	1399	3183	78	134	122	115	90	86	59	39	65	46	47	35	
		QE	140	199	238	78	134	122	115	90	86	59	39	65	46	47	35	
		K	100%	100%	100%	74%	72%	70%	69%	67%	65%	63%	62%	62%	62%	62%	63%	62%
		Class_K	K1	K1	K1	K2												
		Sum_QR	4864	748	1356	2929	5219	3872	4086	3163	3128	2774	2630	2128	2057	1620	1327	

Lanjutan

SUMMARY RESULT

No	Simpul	Period	Case_166	Case_167	Case_168	Case_169	Case_170	Case_171	Case_172	Case_173	Case_174	Case_175	Case_176	Case_177	Case_178	Case_179	Case_180	
1	BD Batujai 18200000	Vbeg	7327075	7074956	6532801	6064796	5434409	4623976	3797201	2934954	2539878	1203315	76913	1361838	517555	2745419	3219675	
		Vend	7074956	6532801	6064796	5434409	4623976	3797201	2934954	2539878	1203315	76913	1361838	517555	2745419	3219675	2673089	
		QA	251	0	204	0	0	0	0	0	0	345	4212	979	6236	4066	1737	
		QD	477	787	900	982	1298	1419	1534	575	1973	2876	4509	3233	1732	1420	667	
		QR	291	471	525	577	745	800	850	312	1065	1498	2385	1685	1628	1420	667	
		QS	224	130	150	130	172	139	134	134	332	146	340	178	2027	2086	1690	
		QE	41	29	39	29	29	29	29	29	29	46	239	78	341	232	116	
		K	61%	60%	58%	59%	57%	56%	55%	54%	54%	52%	53%	52%	94%	100%	100%	
		Class_K	K2	K2	K3	K1	K1	K1										
		1	DM Batujai	QA	224	130	150	130	172	139	134	134	332	146	340	178	2027	2086
QD	100			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
QR	100			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
QS	124			30	50	30	72	39	34	34	232	46	240	78	1927	1986	1590	
QE	41			29	39	29	29	29	29	29	29	46	239	78	341	232	116	
K	100%			100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
Class_K	K2			K2	K2	K3	K1	K1	K1									
2	BD Pengga 21100000	Vbeg	10400705	10103932	9564491	8796753	7983445	7180313	6279471	4627294	3237178	2960634	3000130	3324646	2630555	5553876	6568158	
		Vend	10103932	9564491	8796753	7983445	7180313	6279471	4627294	3237178	2960634	3000130	3324646	2630555	5553876	6568158	6379938	
		QA	124	30	90	32	99	55	34	34	232	188	1609	1189	5963	3281	1603	
		QD	682	980	1408	1582	1732	1896	3496	3004	893	109	1322	2206	2414	1900	1697	
		QR	410	602	845	924	977	1050	1900	1600	473	94	1114	1822	2244	1900	1696	
		QS	40	35	38	35	38	36	35	35	45	43	114	93	332	197	114	
		QE	40	35	38	35	38	36	35	35	45	43	114	93	332	197	114	
		K	61%	61%	60%	59%	57%	56%	55%	54%	54%	87%	84%	83%	94%	100%	100%	
		Class_K	K2	K2	K2	K3	K1	K1	K1	K1	K1	K1						
		Sum_QR	801	1173	1469	1600	1822	1950	2850	2012	1638	1692	3599	3606	3972	3420	2463	

Lampiran 17. Keluaran MEQAA 24 periode di skema sintetik OPQ dengan CL

SUMMARY RESULT																														
No Simpul	Period	Case_1	Case_2	Case_3	Case_4	Case_5	Case_6	Case_7	Case_8	Case_9	Case_10	Case_11	Case_12	Case_13	Case_14	Case_15	Case_16	Case_17	Case_18	Case_19	Case_20	Case_21	Case_22	Case_23	Case_24					
	K min	40%	20%	20%	40%	20%	20%	60%	40%	40%	40%	40%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%					
1	BD 1	Vbeg	23435520	18387592	7845931	3782148	2609496	5109000	5197683	3803863	6063342	2836259	3075117	4114964	9394121	19728708	22482004	19045600	20753171	28000000	21760078	28000000	27164750	22803330	18589464	12836765				
	28000000	Vend	18387592	7845931	3782148	2609496	5109000	5197683	3803863	6063342	2836259	3075117	4114964	9394121	19728708	22482004	19045600	20753171	28000000	21760078	28000000	27164750	22803330	18589464	12836765	10576545				
	QA	0	0	1713	2332	4430	4137	5336	2403	1560	1505	6909	8938	9304	7973	10104	5937	9029	0	8381	4202	1046	2165	2962	2606					
	QD	3342	8515	4113	3930	1684	5009	8503	0	4897	1467	7638	4588	703	2645	6450	4092	1624	4470	843	4247	4023	4797	7011	1159					
	QR	2854	7050	3270	2987	1339	3770	6044	0	4035	1155	5684	4586	703	2645	6450	4092	1624	4468	843	4247	4021	4797	7008	1159					
	QS	788	389	1494	209	1134	251	311	730	122	120	390	491	525	2990	6063	417	1589	44	2488	276	97	185	192	3052					
	QE	44	44	130	161	266	251	311	165	122	120	390	491	510	443	550	341	496	44	463	254	97	153	192	175					
	K	85%	83%	80%	76%	80%	75%	71%	FALSE	82%	79%	74%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%				
	Class K	K1	K1	K1	K2	K1	K2	K2	K2	K1	K1	K2	K1																	
	2	BD 3	Vbeg	19616087	16366513	13719229	9152829	5921172	7296461	11537448	12476166	9263267	16380000	16381250	24828750	25000000	23619186	19969031	17125000	23750000	24073750	25000000	20692547	25000000	19303759	15255000				
25000000		Vend	16366513	13719229	9152829	5921172	7296461	11537448	12476166	9263267	16380000	16381250	24828750	25000000	23619186	19969031	17125000	23750000	24073750	25000000	20692547	25000000	19303759	15255000	16500000					
QA		711	351	2207	189	4928	4370	3917	3031	9819	5831	11612	1221	1871	3878	9542	6534	2127	6742	5520	5423	5634	4997	4181	5495					
QD		3140	0	6884	3353	4465	0	2782	1226	1232	5240	3337	6021	2406	5967	7154	1158	1420	3317	1713	5654	1630	8446	6773	2550					
QR		2682	0	5401	2513	3503	0	2546	1073	1232	5240	3337	6021	2406	5967	7154	1158	1420	3317	1713	5654	1630	8446	6773	2550					
QS		279	2065	150	49	286	1212	495	4329	2573	360	1542	5811	203	418	4321	373	146	2394	3479	2578	409	364	279	1785					
QE		75	57	150	49	286	258	235	191	531	331	620	653	133	234	517	366	146	377	316	311	321	290	249	314					
K		85%	FALSE	80%	76%	80%	FALSE	92%	88%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%				
Class K		K1	K1	K1	K2	K1	K2	K2	K1																					
3		BD 2	Vbeg	20829897	15659776	13921724	6446866	4464789	1268142	2977661	3039585	5206857	7954853	6065218	11410003	21000000	21000000	18243620	14195544	8671122	17680036	19324132	21000000	18169832	14599616	11351271	8645000			
	21000000	Vend	15659776	13921724	6446866	4464789	1268142	2977661	3039585	5206857	7954853	6065218	11410003	21000000	21000000	18243620	14195544	8671122	17680036	19324132	21000000	18169832	14599616	11351271	8645000	2076575				
	QA	0	0	3253	536	3181	2406	6637	2508	1419	10169	12401	6393	6464	1531	725	7479	5142	9305	1436	785	2128	2735	669						
	QD	4571	1284	7110	6134	4077	0	1130	2632	0	2743	5376	2843	3481	7833	4216	4445	0	3442	7784	3574	3865	5247	5990	7624					
	QR	3667	1020	5541	4497	2880	0	1034	2303	0	2743	5376	2843	3481	7833	4216	4445	0	3337	7245	3105	3215	4148	4495	5550					
	QS	33	33	33	196	60	1928	1283	2727	159	120	585	2472	2620	466	185	91	407	290	499	105	73	140	170	67					
	QE	33	33	33	196	60	192	154	365	159	104	542	653	353	356	110	70	407	290	499	105	73	140	170	67					
	K	80%	79%	78%	73%	71%	FALSE	92%	88%	FALSE	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	FALSE	97%	93%	87%	83%	79%	75%	73%				
	Class K	K1	K2	K2	K2	K2	K2	K1																						
	4	BD 4	Vbeg	15535306	10998297	8362197	6576000	8112636	6640000	8467200	7990920	6936000	10455200	12800000	15920000	16000000	13058010	14192251	11040000	15600000	16000000	16000000	16000000	13243230	14653754	15759525	11907000			
16000000		Vend	10998297	8362197	6576000	8112636	6640000	8467200	7990920	6936000	10455200	12800000	15920000	16000000	13058010	14192251	11040000	15600000	16000000	16000000	16000000	16000000	13243230	14653754	15759525	11907000	10480000			
QA		312	2098	1755	3475	2583	4181	7495	6855	8023	10556	8091	20455	6316	7143	5205	6757	11032	11408	10783	7040	2357	4535	2893	2511					
QD		3697	3895	3553	2291	4186	2663	8106	8253	4574	7895	5058	7783	8001	5686	7135	2937	1230	1855	5460	8429	921	3272	5455	3279					
QR		3157	3229	2891	1989	3440	2529	7332	7135	4572	7891	5056	7783	7998	5684	7132	2936	1230	1855	5460	8425	921	3271	5452	3278					
QS		416	617	113	199	155	234	400	368	426	553	430	12384	341	383	286	363	9253	9306	5076	377	143	252	170	151					
QE		41	130	113	199	155	234	400	368	426	553	430	1048	341	383	286	363	577	596	565	377	143	252	170	151					
K		85%	83%	81%	87%	82%	95%	92%	88%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%				
Class K		K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1			
5		BD 5	Vbeg	18960686	17053377	11069693	9260044	8278530	5551179	1210443	1750149	4456741	1551946	945687	487632	8699680	10786668	10883134	10500831	20611851	24096372	17937667	19342305	17672930	17880536	11862419	8831746			
	32000000	Vend	17053377	11069693	9260044	8278530	5551179	1210443	1750149	4456741	1551946	945687	487632	8699680	10786668	10883134	10500831	20611851	24096372	17937667	19342305	17672930	17880536	11862419	8831746	3482859				
	QA	482	0	1157	3011	2068	1107	2600	2707	1926	633	1008	9569	6330	1008	9569	6330	1008	9569	6330	1008	9569	6330	1008	9569	6330				
	QD	2218	5565	3261	5078	6041	6676	3385	1009	8008	2002	2654	3098	7076	1748	7841	834	4117	5805	3552	2721	5439	5921	4366	5629					
	QR	1762	4179	2377	3510	3967	4109	1996	552	4151	1041	1254	3097	7073	1735	7825	834	4116	5802	3552	2705	5210	5405	3808	4794					
	QS	75	51	109	201	154	106	181	186	147	82	101	529	513	152	453	486	418	117	303	138	342	114	135	91					
	QE	75	51	109	201	154	106	181	186	147	82	101	529	513	152	453	485													

Lanjutan

No	Simpul	Period	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6	Case 7	Case 8	Case 9	Case 10	Case 11	Case 12	Case 13	Case 14	Case 15	Case 16	Case 17	Case 18	Case 19	Case 20	Case 21	Case 22	Case 23	Case 24			
7	B 8	K min	40%	20%	20%	40%	20%	60%	40%	40%	40%	40%	40%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%		
		QA	926	804	1761	2737	4730	4247	5950	6885	2252	8374	13298	24796	16648	5673	17448	15672	31534	22939	11555	13571	3555	5212	5946	2999			
		QD	270	50	171	106	527	505	306	588	513	581	442	65	128	233	360	253	530	678	0	196	645	434	625	497			
		QR	232	42	171	106	527	505	306	588	513	581	442	65	128	233	360	253	530	678	0	196	645	434	625	497			
		QS	694	763	1590	2631	4203	3742	5644	6297	1739	7793	12856	24731	16520	5440	17088	15419	31004	22261	11555	13375	2910	4778	5321	2502			
		QE	46	40	88	137	236	212	297	344	113	419	665	1240	832	284	872	784	1577	1147	578	679	178	261	297	150			
		K	86%	83%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	FALSE	100%	100%	100%	100%	100%		
8	BD 7 11000000	Class K	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1		
		Vbeg	10302474	6065855	4094919	199771	547545	521109	365326	7174557	5124742	3998727	8340755	4326243	4127022	6407686	4930635	4500821	9141000	11000000	11000000	11000000	10035300	10446700	11000000	5313000	6549553		
		Vend	6065855	4094919	199771	547545	521109	365326	7174557	5124742	3998727	8340755	4326243	4127022	6407686	4930635	4500821	9141000	11000000	11000000	11000000	10035300	10446700	11000000	5313000	6549553			
		QA	0	0	0	1577	0	1159	5551	1155	3969	7888	1407	3534	9690	2967	3238	11655	6999	5227	1473	5828	5762	5575	2875	2122			
		QD	7351	3549	8485	2793	0	3503	0	2910	5509	4185	4962	3889	7434	4073	3380	7679	3166	4065	967	6164	5087	964	7364	1016			
		QR	3196	1378	2966	1211	0	1194	0	2526	4654	3863	4372	3462	7406	3906	3364	7675	3166	4065	967	6161	5085	964	7043	1016			
		QS	17	17	17	96	17	75	295	75	216	412	88	194	502	166	179	600	2349	1103	447	309	306	4158	161	124			
		QE	17	17	17	96	17	75	295	75	216	412	88	194	502	166	179	600	2349	1103	447	309	306	4158	161	124			
		K	44%	39%	35%	43%	FALSE	34%	FALSE	87%	85%	92%	88%	89%	100%	96%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%		
		Class K	K3	K4	K4	K3	K4	K4	K4	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1									
		QA	178	27	584	2001	3485	3607	3616	2860	5487	2440	546	1058	1186	11407	19	5903	5430	8939	6738	2292	2046	5190	1088	3204			
		QD	462	371	431	644	300	564	583	301	477	0	84	684	408	374	572	523	438	586	50	349	330	103	617	0			
		QR	169	26	431	644	300	564	583	301	477	0	84	684	408	374	572	523	438	586	50	349	330	103	617	0			
QS	9	1	153	1357	3185	3043	3033	2559	5010	2440	462	374	778	11033	1	5380	4992	8353	6688	1943	1716	5087	471	3204					
QE	9	1	29	100	174	180	181	143	274	122	27	53	59	570	1	295	272	447	337	115	102	259	54	160					
K	37%	7%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	FALSE	100%	100%	100%	100%	3%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	FALSE				
Class K	K4	E	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	E	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1			
10	B 10	QA	920	917	2930	5304	7723	10974	10845	15752	11909	16618	17696	32361	25216	19806	17143	25867	38437	32556	21619	19011	7384	14848	6712	8393			
		QD	331	375	640	222	90	583	628	400	0	369	357	535	128	291	190	426	399	539	678	648	491	254	88	500			
		QR	285	312	640	222	90	583	628	400	0	369	357	535	128	291	190	426	399	539	678	648	491	254	88	500			
		QS	635	604	2290	5082	7633	10391	10217	15352	11909	16249	17339	31826	25088	19515	16953	25441	38038	32017	20941	18363	6893	14594	6624	7893			
		QE	46	46	147	265	386	549	542	788	595	831	885	1618	1261	990	857	1293	1922	1628	1081	951	369	742	336	420			
		K	86%	83%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	FALSE	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%		
		Class K	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	
11	B 11	QA	625	900	3597	6974	10096	11545	11457	16257	14445	23414	15771	37174	24782	18538	26331	31603	36749	30488	25792	22295	9285	16742	7857	7170			
		QD	579	661	632	65	155	560	632	401	592	97	405	351	684	279	505	309	682	303	157	363	538	642	341	154			
		QR	498	551	632	65	155	560	632	401	592	97	405	351	684	279	505	309	682	303	157	363	538	642	341	154			
		QS	127	349	2965	6909	9941	10985	10825	15856	13853	23317	15366	36823	24098	18259	25826	31294	36067	30185	25635	21932	8747	16100	7516	7016			
		QE	31	45	180	349	505	577	573	813	722	1171	789	1859	1239	927	1317	1580	1837	1524	1290	1115	464	837	393	358			
		K	86%	83%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%		
		Class K	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	
12	B 12	QA	605	520	4012	9652	11605	12234	17231	18529	13941	31895	24247	37566	36441	20780	31474	36772	47328	32430	25650	22300	9916	18919	11283	9742			
		QD	677	600	78	497	63	203	581	509	397	54	266	153	274	0	184	171	633	273	71	289	492	446	335	238			
		QR	575	494	78	497	63	203	581	509	397	54	266	153	274	0	184	171	633	273	71	289	492	446	335	238			
		QS	30	26	3934	9155	11542	12031	16650	18020	13544	31841	23981	37413	36167	20780	31290	36601	46695	32157	25579	22011	9424	18473	10948	9504			
		QE	30	26	201	483	580	612	862	926	697	1595	1212	1878	1822	1039	1574	1839	2366	1622	1282	1115	496	946	564	487			
		K	86%	83%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	FALSE	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%		
		Class K	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	
Sum QR	19202	18281	24745	18611	16382	14378	22069	16145	20873	23181	27152	30236	30855	29242	37398	22988	14753	25817	21013	32668	22758	29043	36687	19994					

RESERVOIR OPERATION PERFORMANCE FOR 24 PERIOD

No	Simpul	Reliab	Resil	Vulner
1	BD 1	1.0000	1.0000	0.0000
2	BD 3	1.0000	1.0000	0.0000
3	BD 2	1.0000	1.0000	0.0000
4	BD 4	1.0000	1.0000	0.0000
5	BD 5	1.0000	1.0000	0.0000
8	BD 7	1.0000	1.0000	0.0000

Lanjutan

No	Simpul	Period	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6	Case 7	Case 8	Case 9	Case 10	Case 11	Case 12	Case 13	Case 14	Case 15	Case 16	Case 17	Case 18	Case 19	Case 20	Case 21	Case 22	Case 23	Case 24		
7	B 8	K min	40%	20%	20%	40%	20%	20%	60%	40%	40%	40%	40%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	
		QA	775	614	1764	2746	4737	4256	5986	6885	2291	8380	16720	26509	16682	5671	17490	15988	33167	24379	12169	13588	3760	5946	5951	3020		
		QD	270	50	171	106	527	505	306	588	513	581	442	65	128	233	360	253	530	678	0	196	645	434	625	497		
		QR	234	42	171	106	527	505	306	588	513	581	442	65	128	233	360	253	530	678	0	196	645	434	625	497		
		QS	541	572	1593	2640	4210	3751	5680	6297	1778	7799	16278	26444	16554	5438	17130	15735	32637	23701	12169	13392	3115	5512	5326	2523		
		QE	39	31	88	137	237	213	299	344	115	419	836	1325	834	284	874	799	1658	1219	608	679	188	297	298	151		
		K	87%	84%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	FALSE	100%	100%	100%	100%	100%	
		Class K	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1
		Vbeg	10302474	6065855	4094919	199771	547545	521109	365326	7174557	5124742	3998820	8340755	4326243	4127022	6407686	4930635	4500821	9141000	11000000	11000000	11000000	11000000	10035575	10447250	11000000	5313000	6549553
		Vend	6065855	4094919	199771	547545	521109	365326	7174557	5124742	3998820	8340755	4326243	4127022	6407686	4930635	4500821	9141000	11000000	11000000	11000000	11000000	10035575	10447250	11000000	5313000	6549553	
QA	0	0	0	1577	0	1159	5551	1155	3969	7888	1407	3534	9690	2967	3238	11655	6999	5227	1473	5828	5762	5575	2875	2122				
QD	7351	3549	8485	2793	0	3503	0	2910	5509	4185	4962	3889	7434	4073	3380	7679	3166	4065	967	6164	5087	964	7364	1016				
QR	3196	1378	2966	1211	0	1194	0	2526	4654	3863	4372	3462	7406	3906	3364	7675	3166	4065	967	6161	5085	964	7043	1016				
QS	17	17	17	96	17	75	295	75	216	412	88	194	502	166	179	600	2349	1103	447	309	306	4158	161	124				
QR	17	17	17	96	17	75	295	75	216	412	88	194	502	166	179	600	2349	1103	447	309	306	4158	161	124				
QE	17	17	17	96	17	75	295	75	216	412	88	194	502	166	179	600	2349	1103	447	309	306	4158	161	124				
K	44%	39%	35%	43%	FALSE	34%	FALSE	87%	85%	92%	88%	89%	100%	96%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%			
Class K	K3	K4	K4	K3	K4	K4	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1			
QA	190	29	622	2131	3711	3841	3851	3046	5843	2598	581	1127	1263	12148	20	6287	5783	9520	7176	2441	2179	5527	1159	3412				
QD	462	371	431	644	300	564	583	301	477	0	84	684	408	374	572	523	438	586	50	349	330	103	617	0				
QR	180	28	431	644	300	564	583	301	477	0	84	684	408	374	19	523	438	586	50	349	330	103	617	0				
QS	10	1	191	1487	3411	3277	3268	2745	5366	2598	497	443	855	11774	1	5764	5345	8934	7126	2092	1849	5424	542	3412				
QE	10	1	31	107	186	192	193	152	292	130	29	56	63	607	1	314	289	476	359	122	109	276	58	171				
K	39%	8%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	FALSE	100%	100%	100%	100%	3%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	FALSE			
Class K	K4	E	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	E	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1			
QA	848	805	3227	5903	8628	12171	12059	17308	13341	18228	22692	36956	27519	22268	18675	28816	43765	37407	24550	20830	8364	17210	7373	9352				
QD	331	375	640	222	90	583	628	400	0	369	357	535	128	291	190	426	399	539	678	648	491	254	88	500				
QR	286	313	640	222	90	583	628	400	0	369	357	535	128	291	190	426	399	539	678	648	491	254	88	500				
QS	561	492	2587	5681	8538	11588	11431	16908	13341	17859	22335	36421	27391	21977	18485	28390	43366	36868	23872	20182	7873	16956	7285	8852				
QE	42	40	161	295	431	609	603	865	667	911	1135	1848	1376	1113	934	1441	2188	1870	1228	1042	418	861	369	468				
K	87%	84%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	FALSE	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%				
Class K	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1			
QA	631	902	4352	8462	12287	14212	14131	19884	17717	28007	22776	46505	30242	23362	31218	38578	46758	39223	32008	26954	11448	21237	9519	9042				
QD	579	661	632	65	155	560	632	401	592	97	405	351	684	279	505	309	682	303	157	363	538	642	341	154				
QR	501	552	632	65	155	560	632	401	592	97	405	351	684	279	505	309	682	303	157	363	538	642	341	154				
QS	130	350	3720	8397	12132	13652	13499	19483	17125	27910	23271	46154	29558	23083	30713	38269	46076	38920	31851	26591	10910	20595	9178	8888				
QE	32	45	218	423	614	711	707	994	886	1400	1139	2325	1512	1168	1561	1929	2338	1961	1600	1348	572	1062	476	452				
K	87%	84%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%				
Class K	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1			
QA	608	521	4767	11140	13796	14901	19905	22156	17213	36488	31252	46897	41901	25604	36361	43747	57337	41165	31866	26959	12079	23414	12945	11614				
QD	677	600	78	497	63	203	581	509	397	54	266	153	274	0	184	171	633	273	71	289	492	446	335	238				
QR	578	495	78	497	63	203	581	509	397	54	266	153	274	0	184	171	633	273	71	289	492	446	335	238				
QS	30	26	4689	10643	13733	14698	19324	21647	16816	36434	30986	46744	41627	25604	36177	43576	56704	40892	31795	26670	11587	22968	12610	11376				
QE	30	26	238	557	690	745	995	1108	861	1824	1563	2345	2095	1280	1818	2187	2867	2058	1593	1348	604	1171	647	581				
K	87%	84%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%				
Class K	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1			
Sum QR	19469	18225	24880	18739	16497	14552	22434	16418	21148	23273	27418	30236	30855	29255	37411	22986	14753	25828	21042	32683	22985	29527	37012	20400				

RESERVOIR OPERATION PERFORMANCE FOR 24 PERIOD

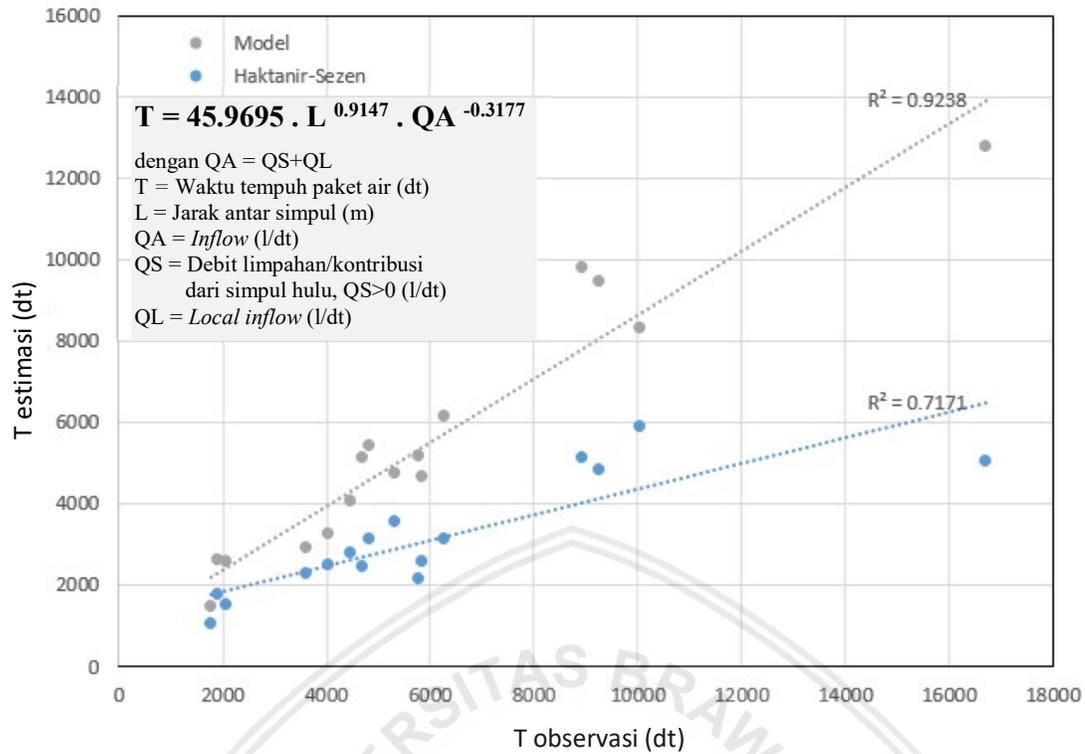
No	Simpul	Reliab	Resil	Vulner
1	BD 1	1.0000	1.0000	0.0000
2	BD 3	1.0000	1.0000	0.0000
3	BD 2	1.0000	1.0000	0.0000
4	BD 4	1.0000	1.0000	0.0000
5	BD 5	1.0000	1.0000	0.0000
8	BD 7	1.0000	1.0000	0.0000

Lampiran 19. Data dan model *travel time* antar simpul di WS Lombok

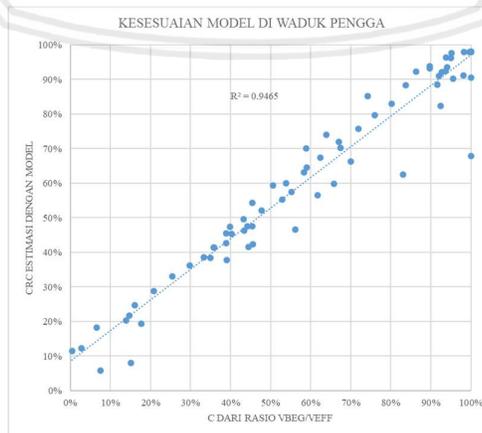
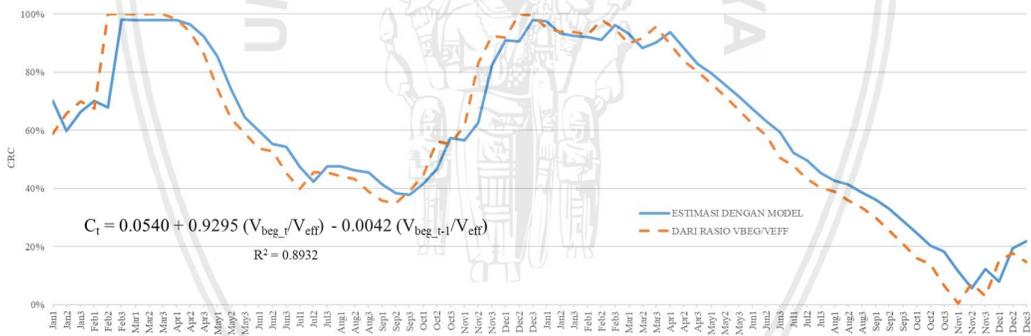
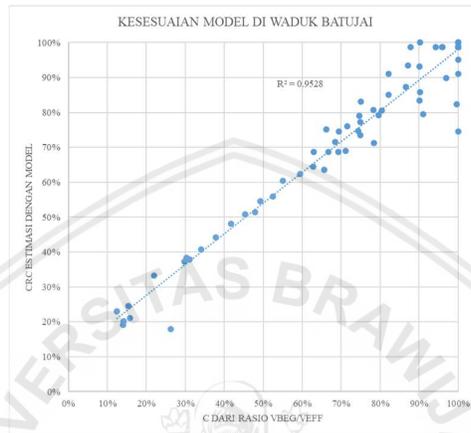
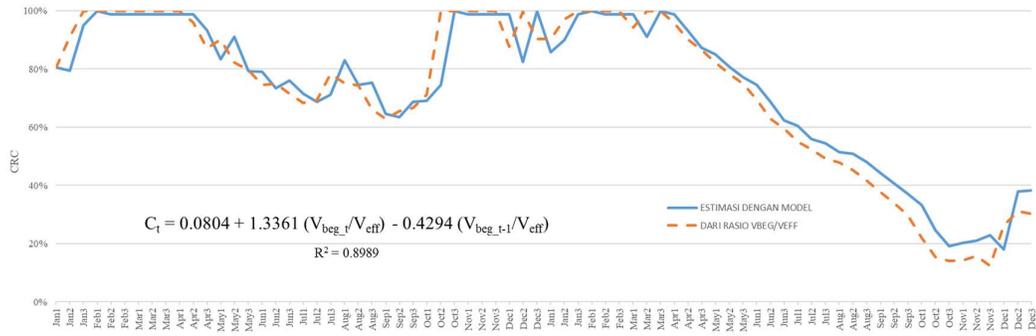
No	Ruas	Sungai/Saluran	L (m)	Q (l/dt)	To (dt)
<i>Data Training</i>					
1	B Batu Kantar - B Dasan Tereng	Kelongkong Remeneng	5504	2251	17389
2	B Dasan Tereng - B Juwet	Kelongkong Remeneng	3877	2502	7649
3	B Juwet - B IRD Bengkel	Kelongkong Remeneng	1650	1233	7240
4	B Berambang - B Gede Bongoh	Babak	1596	393	4282
5	B IRD Lantan - B Babak	Babak	1048	2485	1231
6	B Sesaot - Sesaot <i>feeder</i>	Jangkok - HLD Sup Chn	910	1041	2097
7	B Mencongah - B Menjeli	Jangkok	3848	747	17486
8	B Menjeli - B Repok Pancor	Jangkok	352	577	2395
9	B Jangkok - Sesaot <i>feeder</i>	Jangkok - HLD Sup Chn	1450	756	3572
10	B Gundul - B Keling	Dodokan	1177	1879	2878
11	B Unus - B Pesongoran	Unus	2310	762	7064
12	B Tembelok - B Unus	Unus	3860	432	16735
13	BS Keru Feeder - B Sangkareang	Babak	2210	1292	4856
14	Terminal Jurang Sate - BJS 2	Babak - HLD Sup Chn	1517	3046	3623
15	B Pancor Barong - B Aik Anyar	Tojang	3961	1068	8957
16	B Tempasan - B Pringgasela	Belimbing	1400	406	5782
17	B Mencerit - B Tempasan	Belimbing	1195	1152	1988
18	B IRD Ketemuk - B Borok Lelet	Aik Ampat	590	292	3978
19	B Penyonggok - B IRD Pinaran	Penyonggok	873	175	3442
20	B Bagek Nyake - B Mamben	Kukusan	1994	1880	2730
21	Terminal Rutus - Ujung HLD Babak	Babak - HLD Sup Chn	4740	1054	7624
22	B Kwang Gerora - B Montong Tangi	Moyot	2490	867	9142
23	B/S Dasan Lekong - B Sangkon	Belimbing	1700	4253	3311
24	B IRD Tereng Bengkok - B Ladon	Sepolong	1400	769	3813
25	B IRD Sangeh - B Paok Dengkol	Renggung	2945	494	8465
<i>Data Testing</i>					
26	B Mentingo - B/S Renggung	Renggung	1627	641	4699
27	B/S Rutus - BD Pandan Duri	Palung	4682	2918	10073
28	B Buntopeng - B Pesongoran Kuripan	Pancor	3013	2173	8580
29	B Babi - B Sukerare	Dodokan	2765	3786	5251
30	B IRD Tanak Malit - B Midang	Midang	2560	2984	5330
31	B Bertais - B Pamotan	Ancar	3669	964	9263
32	B Sandik - B IRD Wadon	Semaya	1679	2912	4059
33	B Penimbung - B IRD Ketapang	Meninting	1919	2164	4498
34	B IRD Kerujuk 1 - B IRD Kerujuk 2	Bentek	593	1879	1789
35	B Menggala - B IRD Elong-elong	Bentek	2130	3313	4585
36	B Bagek Longgek - B Kwang Manget	Aik Ampat	1730	1031	5849
37	B Endut - B/S Sadar	Maronggek	2460	976	3995
38	B Timba Gading - B IRD Keroro	Dapurbelik	560	1836	1159
39	B IRD Orok - B Timba Gading	Dapurbelik	4410	2261	8211
40	B Loang Gali - B Batu Malang	Belek	1100	1749	1927
41	B Keruak - B IRD Udang Karapan	Aik Ampat	2180	835	6286
42	B IRD Udang Karapan - B Semba	Aik Ampat	1900	1092	3461

Keterangan:

- 1) Data merupakan hasil pengukuran aliran pada musim hujan 2017/2018 di WS Lombok
- 2) B = Bendung, B/S atau BS= Bendung pengatur suplesi, BD = Bendungan, IRD = Irigasi Desa, HLD Sup Chn = *High Level Diversion Suppletion Channel*.



Lampiran 20. Gambar grafik uji model dan komparasinya dengan model Haktanir-Sezen



Lampiran 21. Model CRC dan grafik uji model di waduk Batujai-Pengga



Lampiran 22. Foto lokasi bangunan utama pengambilan air di Sungai Moyot



Rapat pengantar inventarisasi klas K oleh Peneliti kepada Pengamat Pengairan se WS Lombok pada 12 April 2016



Meninjau terminal Jurang Sate di sistem HLD (kiri) dan mendapat penjelasan dari ketua operator Bendungan Batujai (kanan) pada 31 Juli 2017



Meninjau pintu pengambilan (kiri) dan pelimpah (kanan) bendung Benjor pada 27 Juli 2017



Mengukur aliran di ruas sungai Kokok Sepeleng (kiri) dan memeriksa akurasi bangunan ukur debit di saluran pengambilan di bendung Benjor (kanan) pada 27 Juli 2017



Setelah mendapat penjelasan pembagian air dari operator bangunan pengatur suplesi Rutus di sistem HLD (kiri) dan mendapat penjelasan dari ketua operator Bendungan Pengga (kanan) pada 31 Juli 2017



Menerima kunjungan di studio pengendali alokasi air BWS NT I: Prof. Waluyo Hatmoko dari Puslitbang SDA, Kemen PU-PR, Bandung (kiri) pada 19 Oktober 2018 dan Prof. Nadjadji Anwar & tim dari ITS Surabaya pada 19 April 2018 (kanan)

Lampiran 23. Foto-foto seputar kegiatan penelitian