

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Luas Daerah Irigasi Kali Metro Hilir

Areal tanam atau daerah yang dapat diairi oleh suatu jaringan irigasi DI Kali Metro Hilir adalah berupa luas fungsional. Luas fungsional Daerah Irigasi Metro Hilir yang terletak pada 2 (dua) kecamatan yaitu Kepanjen dan Pakisaji, meliputi:

- a. Wilayah Kecamatan Kepanjen seluas 671 Ha
- b. Wilayah Kecamatan Pakisaji seluas 208 Ha

Areal fungsional Daerah Irigasi Metro Hilir berada di bawah lingkup kerja Unit Pelaksana Teknis Daerah (UPTD) Kepanjen. Bendung Sonosari mengairi areal fungsional seluas 879 Ha.

4.2. Analisa Data Hujan

4.2.1. Uji Konsistensi Data Curah Hujan

Sebelum digunakan dalam analisa, data curah hujan terlebih dahulu diuji konsistensinya untuk mengetahui apakah data tersebut mengalami perubahan atau tidak yaitu dengan menggunakan metode kurva massa ganda (*double mass curve*). Data curah hujan tahunan jangka waktu yang panjang dari suatu stasiun penakar hujan dibandingkan dengan data curah hujan rata-rata sekelompok stasiun penakar hujan lain dalam periode yang sama. Data curah hujan yang digunakan dalam uji konsistensi adalah data curah hujan tahunan dari tahun 1999 sampai dengan tahun 2008. Uji konsistensi dilakukan pada 3 (tiga) stasiun hujan seperti terlihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1. Nama dan Nomor Stasiun Hujan yang Diuji

Nomor Stasiun Hujan	Nama Stasiun Hujan	Nomor Stasiun Hujan
1	Kepanjen	39
2	Ngajum	35
3	Wagir	55

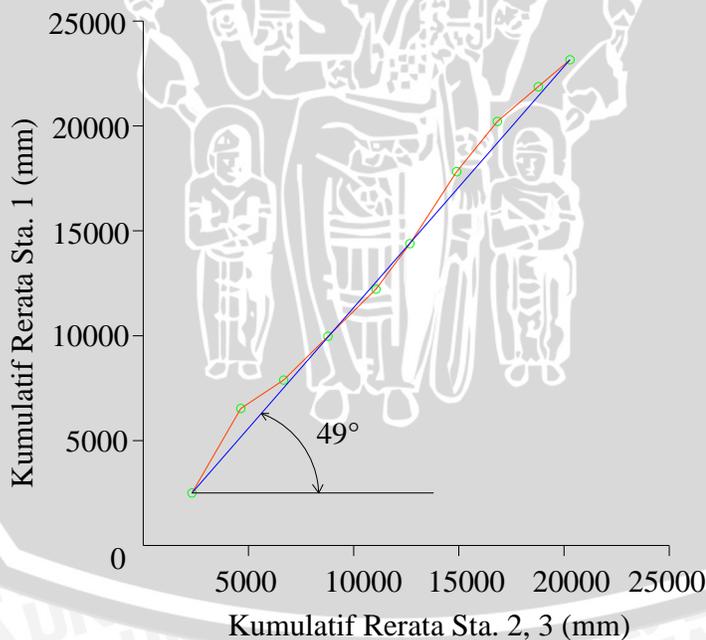
Sumber : Dinas Pengairan Kab. Malang

Uji konsistensi data curah hujan dapat dilihat pada Tabel 4.2. sampai dengan Tabel 4.4.

Tabel 4.2. Uji konsistensi data hujan tahunan Stasiun Hujan Kepanjen (Sta.1)

Tahun	CH. STA.1 (mm)	Kumulatif STA. 1	CH. Stasiun lain (mm)		Rerata	Kumulatif Rerata
			STA. 2	STA. 3		
2008	2587	2587	2152	2472	2312.0	2312.0
2007	3945	6532	2281	2368	2324.5	4636.5
2006	1354	7886	1598	2475	2036.5	6673.0
2005	2086	9972	2137	2078	2107.5	8780.5
2004	2247	12219	2265	2226	2245.5	11026.0
2003	2171	14390	1648	1648	1648.0	12674.0
2002	3431	17821	2223	2223	2223.0	14897.0
2001	2396	20217	1936	1936	1936.0	16833.0
2000	1656	21873	1944	1944	1944.0	18777.0
1999	1286	23159	1507	1507	1507.0	20284.0

Sumber : Hasil Perhitungan



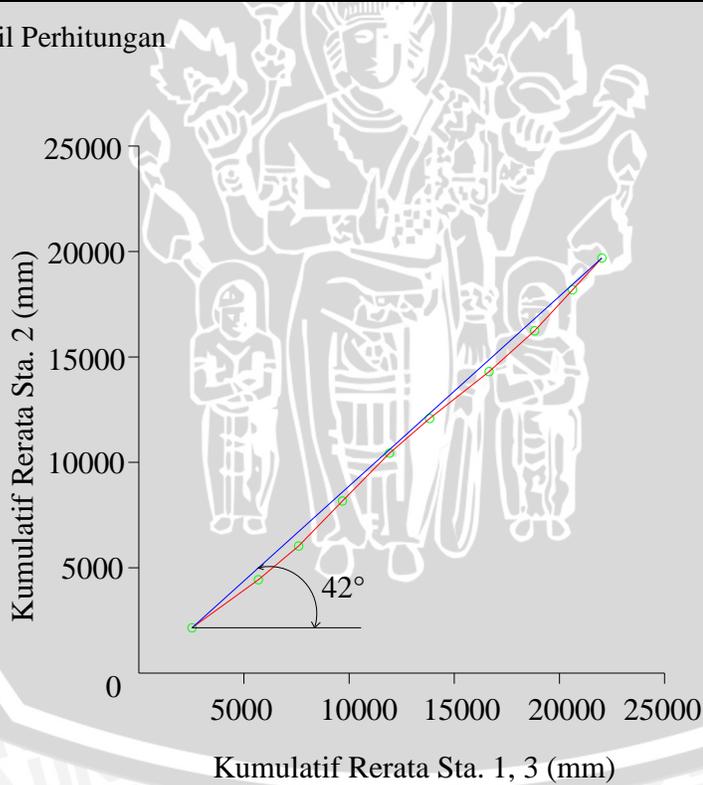
Gambar 4.1. Hubungan Kumulatif Hujan Tahunan Sta. 1 dan Sta. 2, 3

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.3. Uji konsistensi data hujan tahunan Stasiun Hujan Ngajum (Sta.2)

Tahun	CH. STA.2 (mm)	Kumulatif STA. 2	CH. Stasiun lain (mm)		Rerata	Kumulatif Rerata
			STA. 1	STA. 3		
2008	2152	2152	2587	2472	2529.5	2529.5
2007	2281	4433	3945	2368	3156.5	5686.0
2006	1598	6031	1354	2475	1914.5	7600.5
2005	2137	8168	2086	2078	2082.0	9682.5
2004	2265	10433	2247	2226	2236.5	11919.0
2003	1648	12081	2171	1648	1909.5	13828.5
2002	2223	14304	3431	2223	2827.0	16655.5
2001	1936	16240	2396	1936	2166.0	18821.5
2000	1944	18184	1656	1944	1800.0	20621.5
1999	1507	19691	1286	1507	1396.5	22018.0

Sumber : Hasil Perhitungan



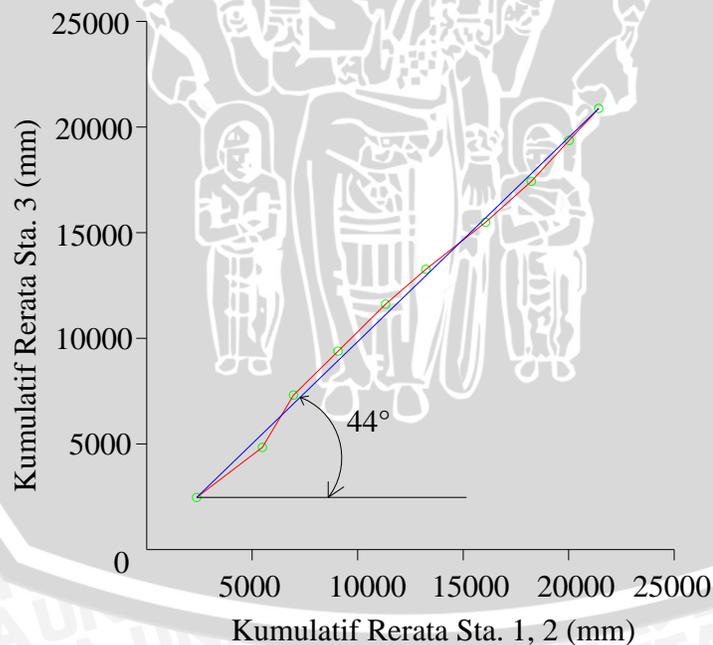
Gambar 4.2. Hubungan Kumulatif Hujan Tahunan Sta. 2 dan Sta. 1, 3

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.4. Uji konsistensi data hujan tahunan Stasiun Hujan Wagir (Sta.3)

Tahun	CH. STA.3 (mm)	Kumulatif STA. 3	CH. Stasiun lain (mm)		Rerata	Kumulatif Rerata
			STA. 1	STA. 2		
2008	2472	2472	2587	2152	2369.5	2369.5
2007	2368	4840	3945	2281	3113.0	5482.5
2006	2475	7315	1354	1598	1476.0	6958.5
2005	2078	9393	2086	2137	2111.5	9070.0
2004	2226	11619	2247	2265	2256.0	11326.0
2003	1648	13267	2171	1648	1909.5	13235.5
2002	2223	15490	3431	2223	2827.0	16062.5
2001	1936	17426	2396	1936	2166.0	18228.5
2000	1944	19370	1656	1944	1800.0	20028.5
1999	1507	20877	1286	1507	1396.5	21425.0

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4.3. Hubungan Kumulatif Hujan Tahunan Sta. 3 dan Sta. 1, 2

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.5. Nilai Koefisien Determinasi (R^2) Tiap Stasiun Hujan

No.	Nama Stasiun Hujan	Nilai Koefisien Determinasi (R^2)
1	Kepanjen	0.9942
2	Ngajum	0.9983
3	Wagir	0.9963

Sumber : Hasil perhitungan

4.2.2. Curah Hujan Andalan dan Curah Hujan Efektif

Data curah hujan yang digunakan untuk analisis curah hujan pada Daerah Irigasi Metro Hilir diambil dari 3 (tiga) stasiun hujan terdekat, yaitu Stasiun Hujan Kepanjen Ngajum, dan Stasiun Hujan Wagir. Dari ketiga stasiun hujan tersebut akan dihitung nilai curah hujan rerata daerah. Perhitungan curah hujan rerata daerah menggunakan cara rerata aljabar.

Dasar perhitungan untuk mendapatkan curah hujan andalan dan curah hujan efektif adalah dari masing-masing data curah hujan rata-rata 10 harian dari keempat stasiun selama 10 tahun (1999-2008). Curah hujan efektif untuk tanaman padi ditentukan dengan berdasarkan 70% dari hujan andalan dengan tingkat keandalan yang telah ditentukan dan disesuaikan dengan keandalan debit yaitu sebesar 97% (kering), 75% (rendah), 51% (normal), dan 26% (cukup). Sedangkan curah hujan efektif untuk tanaman palawija dan tebu ditentukan berdasarkan evapotranspirasi potensial yang terjadi, curah hujan rata-rata dan ketersediaan air tanah yang siap dipakai (D) (pendekatan kedalaman perakaran). Pada Daerah Irigasi Metro Hilir sebagian besar jenis palawija yang ditanam adalah jagung. Nilai faktor kedalaman air tanah yang bisa dimanfaatkan oleh tanaman jagung dan tebu adalah sebagai berikut :

$$D_{\text{jagung}} = 80 \text{ mm}$$

$$FD = 0,53 + 0,0116.D - 8,94.10^{-5}.D^2 + 2,32.10^{-7}.D^3$$

$$FD = 0,53 + 0,0116 \times 80 - 8,94.10^{-5} \times 80^2 + 2,32.10^{-7} \times 80^3$$

$$FD = 1,005$$

$$D_{\text{tebu}} = 90 \text{ mm}$$

$$FD = 0,53 + 0,0116.D - 8,94.10^{-5}.D^2 + 2,32.10^{-7}.D^3$$

$$FD = 0,53 + 0,0116 \times 90 - 8,94.10^{-5} \times 90^2 + 2,32.10^{-7} \times 90^3$$

$$FD = 1,019$$

Hasil perhitungan curah hujan andalan dan curah hujan efektif untuk tanaman padi dan palawija/tebu untuk tahun kering, tahun rendah, tahun normal, dan tahun cukup dapat dilihat pada Tabel 4.6. sampai dengan Tabel 4.7.

Tabel 4.6. Perhitungan Curah Hujan Andalan (mm)
(R 97, R 75, R 51, R 26)

No	Data Hujan (mm)		Rangking Data		Keterangan
	Tahun	R	Tahun	R	
1	1999	1433.33	1999	1433.33	R 97 (kering)
2	2000	1848.00	2006	1809.00	
3	2001	2089.33	2003	1822.33	
4	2002	2625.67	2000	1848.00	R 75 (rendah)
5	2003	1822.33	2001	2089.33	
6	2004	2244.33	2005	2098.67	R 51 (normal)
7	2005	2098.67	2004	2244.33	
8	2006	1809.00	2008	2448.33	R 26 (cukup)
9	2007	2864.67	2002	2625.67	
10	2008	2448.33	2007	2864.67	

Sumber : Hasil Perhitungan

Keterangan :

$$R(X) = (n/(100/(100-X))) + 1$$

n = jumlah data

X = tingkat keandalan yang diinginkan (97, 75, 51, 26)

$$R 97 = (10/33,333) + 1 = 1,30 \approx 1$$

$$R 75 = (10/4) + 1 = 3,5 \approx 4$$

$$R 51 = (10/2,041) + 1 = 5,8996 \approx 6$$

$$R 26 = (10/1,351) + 1 = 8,402 \approx 8$$

4.3. Evapotranspirasi Potensial

Perhitungan evapotranspirasi potensial menggunakan metode Penman Modifikasi. Data klimatologi diambil dari Stasiun Klimatologi Karangploso. Data klimatologi yang digunakan adalah selama 10 tahun yaitu tahun 1999-2008 yang sudah digolongkan menjadi tahun basah, tahun normal, dan tahun kering disajikan pada Lampiran II.

Langkah – langkah berikut merupakan contoh perhitungan dalam menentukan nilai evapotranspirasi potensial dengan Penman Modifikasi (pada bulan Januari):

1. Suhu rerata (T) = 23,81° C
2. Kecepatan angin (u) = 1,38m/dt
3. Kelembaban relatif (RH) = 81,38%
4. Kecerahan matahari (n/N) = 52,00%
5. Nilai angot radiasi matahari yang mencapai atmosfer (Ra) lihat lampiran III-3, untuk letak lokasi studi 7° 95'', Ra = 16,093 mm/hari
6. Nilai tekanan uap rerata nyata (ea) pada temperatur rerata t = 23,81°C dari lampiran III-3 diperoleh 29,148 mbar
7. Tekanan uap jenuh rerata (ed) didapat dengan :

$$ed = ea \cdot (RH \text{ rerata} / 100)$$

$$= 29,148 \cdot (81,38 / 100)$$

$$= 23,721 \text{ mbar}$$
8. Niali w dapat dilihat pada lampiran III-3, dengan t = 23,81° C maka diperoleh nilai w = 0,733
9. Niali 1-w dapat dilihat pada lampiran III-3, dengan t = 23,81° C maka dengan interpolasi diperoleh nilai 1 – w = 0,267
10. Dari lampiran diperoleh nilai f(t), dengan t = 23,81° C maka nilai f(t) = 15,354
11. Radiasi gelombang pendek (Rs)

$$Rs = (0,25 + 0,54 \cdot n/N) \cdot Ra$$

$$= (0,25 + (0,54 \cdot 0,52)) \cdot 16,093$$

$$= 8,542 \text{ mm/hari}$$
12. Perbedaan tekanan uap diperoleh dari :

$$ea - ed = 29,148 - 23,721$$

$$= 5,427 \text{ mbar}$$
13. f(ed) diperoleh dari :

$$f(ed) = 0,34 - 0,044 \cdot ed^{0,5}$$

$$= 0,34 - 0,044 * 23,721^{0,5}$$

$$= 0,126 \text{ mbar}$$

14. Sedangkan nilai $f(n/N)$ diperoleh dari hitungan :

$$f(n/N) = 0,1 + 0,9(n/N / 100)$$

$$= 0,1 + 0,9 (52 / 100)$$

$$= 0,568$$

15. Fungsi angin diperoleh dari :

$$f(u) = 0,27 (1 + u * 0,864)$$

$$= 0,27 (1 + 1,38 * 0,864)$$

$$= 0,592 \text{ m/dt}$$

16. Kemudian nilai $Rn1$ dapat diperoleh dengan :

$$Rn1 = f(t) * f(ed) * f(n/N)$$

$$= 15,354 * 0,126 * 0,568$$

$$= 1,096 \text{ mm/hari}$$

$$17. \text{Eto}^* = w * (0,75 * R_s - Rn1) + (1-w) * f(u) * (e_a - e_d)$$

$$= 0,733 * (0,75 * 8,542 - 1,096) + (0,267) * 0,592 * 5,427$$

$$= 4,951 \text{ mm/hari}$$

18. Faktor koreksi dapat diperoleh dari table c untuk bulan Januari adalah 1,1

19. Evapotranspirasi potensial diperoleh dari :

$$\text{ETo} = c * \text{Eto}^*$$

$$= 1,1 * 5,222$$

$$= 5,226 \text{ mm/hari}$$

Perhitungan evapotranspirasi potensial metode Penman Modifikasi selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 4.8.

4.4. Kebutuhan Air Tanaman

Kebutuhan air untuk tanaman adalah sejumlah air yang dibutuhkan untuk tanaman pada kondisi pertumbuhan yang optimal tanpa kekurangan air yang dinyatakan dengan netto kebutuhan air di sawah (*Netto Farm Requirement, NFR*), nilai netto kebutuhan air di sawah didekati dengan pendekatan agroklimatologi berdasarkan jenis dan tahap pertumbuhan tanaman, karakteristik tanah dan klimatologi.

Pada lokasi studi Daerah Irigasi Kali Metro Hilir, budidaya pertanian yang diterapkan adalah padi, palawija, dan tebu. Kebutuhan air tanaman ditinjau berdasarkan neraca air tergantung dari parameter sebagai berikut:

- Perkolasi
- Penyiapan lahan
- Penggunaan konsumtif tanaman
- Pergantian lapisan air
- Curah hujan efektif

4.4.1. Koefisien Tanaman

Besarnya koefisien tanaman (k) untuk setiap jenis tanaman berbesa – beda yang besarnya berubah setiap periode pertumbuhan tanaman itu sendiri. Dalam studi ini nilai koefisien yang digunakan disesuaikan dengan ketentuan dari NEDECO Prosida Study.

Tabel 4.9. Koefisien Tanaman

Padi (Varietas Unggul)		Palawija (Jagung)		Tebu	
Umur (hari)	k	Umur (hari)	k	Umur (bulan)	K
10	1.1	10	0.5	0-1	0.55
20	1.1	20	0.65	1-2	0.8
30	1.1	30	0.75	2-2.5	0.9
40	1.05	40	1.00	2.5-4	1.00
50	1.05	50	1.00	4-10	1.05
60	1.05	60	1.00	10-11	0.8
70	0.95	70	0.82	11-12	0.6
80	0.95	80	0.72		
90	0	90	0.45		

Sumber: Anonim KP-01, 1986:164

4.4.2. Perkolasi

Perkolasi terjadi pada saat lahan ditanami padi. Lahan digenangi air terus-menerus sehingga kondisi tanah menjadi jenuh. Pada kondisi tanah jenuh, pergerakan

air dalam lapisan tanah menuju arah vertikal dan horisontal. Pergerakan air arah vertikal disebut perkolasi dan arah horisontal disebut rembesan. Rembesan terjadi akibat meresapnya air melalui tanggul sawah.

Pada daerah studi yaitu Daerah Irigasi Kali Metro Hilir mempunyai jenis tanah aluvial yang berasal dari perkebunan, sawah, dan hutan tropika dengan nilai perkolasi sebesar 2 mm/hr.

4.4.3. Kebutuhan Air untuk Penyiapan Lahan

Penyiapan lahan adalah pengolahan lahan pada tahap persiapan tanah untuk keperluan tanaman agar sesuai dengan pertumbuhannya, kebutuhan air untuk penyiapan lahan umumnya menentukan kebutuhan maksimum air irigasi untuk perencanaan pemberian air irigasi.

Faktor – faktor yang penting dalam menentukan besarnya kebutuhan air untuk penyiapan lahan adalah:

- a. Lamanya waktu penyiapan lahan
- b. Jumlah air yang diperlukan untuk penyiapan lahan

Dalam perhitungan kebutuhan air irigasi selama penyiapan lahan digunakan metode yang dikembangkan oleh Van de Goor dan Zijlstra (1986) metode ini didasarkan pada laju air konstan dalam lt/dt selama metode penyiapan lahan.

Contoh perhitungan kebutuhan air untuk penyiapanlahan untuk bulan Januari adalah sebagai berikut :

1. $E_{To} = 5,226 \text{ mm/ hari}$
2. $E_o = 1,1 * E_{To} = 1,1 * 5,226$
 $= 5,784$
3. $P = 2 \text{ mm/hari}$
4. $M = E_o + P = 5,784 + 2$
 $= 7,784$
5. $T = 31 \text{ hari}$
6. $S = 300 \text{ mm}$
7. $k = MT / S = 7,756 * 31 / 300$
 $= 0,801$
8. $LP = (Me^k) / (e^k - 1)$
 $= 7,748 * 2,71828^{0,801} / (2,71828^{0,801} - 1)$
 $= 14,063 \text{ mm/hari}$

Perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada tabel 4.10.

4.4.4. Kebutuhan Air untuk Penggunaan Konsumtif

Kebutuhan air untuk penggunaan konsumtif tanaman merupakan kedalaman air yang diperlukan untuk memenuhi evapotranspirasi tanaman yang bebas penyakit, tumbuh di areal pertanian pada kondisi yang cukup air, memiliki kesuburan tanah dengan potensi pertumbuhan yang baik dan tingkat pertumbuhan yang baik.

Kebutuhan air untuk tanaman tergantung dari besarnya evapotranspirasi dikalikan dengan faktor koefisien tanaman. Perhitungannya adalah sebagai berikut:

Contoh perhitungan kebutuhan air untuk penggunaan konsumtif pada bulan Januari periode 3 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} k &= 1,1 \\ E_{to} &= 5,226 \text{ mm} \\ E_t &= k \cdot E_{to} \\ &= 1,1 * 5,226 \\ &= 5,748 \text{ mm} \end{aligned}$$

4.4.5. Penggantian Lapisan Air

Penggenangan air irigasi dapat dilakukan secara terus-menerus dengan ketinggian yang sama sepanjang pertumbuhan tanaman. Keadaan ini dapat dilakukan apabila jumlah air yang tersedia dalam kondisi cukup. Tinggi genangan yang paling baik adalah kurang dari atau sama dengan 5 cm, karena akan diperoleh produksi yang tinggi dan penggunaan air lebih efisien. Penggantian lapisan air hanya diperlukan untuk tanaman padi, sedangkan pada tanaman palawija, proses ini tidak diperlukan.

Penggantian lapisan air dilakukan satu kali, yaitu pada saat tanaman berumur 20-30 hari setelah pemindahan tanaman. Tinggi lapisan air yang direncanakan adalah 50 mm selama 30 hari. Perhitungan penggantian lapisan air adalah sebagai berikut:

$$WLR = \frac{50\text{mm}}{30\text{hari}} = 1,67\text{mm / hari}$$

4.4.6. Kebutuhan Bersih Air di Sawah

Contoh perhitungan kebutuhan bersih air di sawah (NFR) pada bulan Januari periode 3 untuk tanaman padi adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} PL &= 14,063 \text{ mm setelah dikalikan dengan rasio luas PL} \\ E_t &= 2,874 \text{ mm} \\ WLR &= 0 \text{ mm setelah dikalikan dengan rasio luas WLR} \\ P &= 2 \text{ mm} \\ Re_{\text{padi}} &= 8,423 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{NFR}_{\text{padi}} = \text{PL} + \text{Et} + \text{WLR} + \text{P} - \text{Re}_{\text{padi}}$$

$$\text{NFR}_{\text{padi}} = 2,482 \text{ mm}$$

Contoh perhitungan kebutuhan bersih air di sawah (NFR) pada bulan Januari periode 3 untuk tanaman palawija adalah sebagai berikut:

$$\text{Et} = 4,442 \text{ mm}$$

$$\text{Re}_{\text{palawija}} = 9,819 \text{ mm}$$

$$\text{NFR}_{\text{plw}} = \text{Et} - \text{Re}_{\text{plw}}$$

$$\text{NFR}_{\text{plw}} = 0 \text{ mm}$$

Contoh perhitungan kebutuhan bersih air di sawah (NFR) pada bulan Januari periode 3 untuk tanaman tebu adalah sebagai berikut:

$$\text{Et} = 4,703 \text{ mm}$$

$$\text{Re}_{\text{tebu}} = 9,959 \text{ mm}$$

$$\text{NFR}_{\text{tebu}} = \text{Et} - \text{Re}_{\text{tebu}}$$

$$\text{NFR}_{\text{tebu}} = 0 \text{ mm}$$

4.5. Efisiensi Irigasi

Efisiensi irigasi merupakan perbandingan antara debit air sampai di lahan pertanian dengan debit yang keluar dari pintu pengambilan. Sebelum sampai di petak sawah, air harus dialirkan dari sumbernya melalui saluran-saluran induk, sekunder, dan tersier. Di dalam sistem saluran terjadi kehilangan-kehilangan debit yang disebabkan hal-hal seperti evaporasi, perkolasi, kebocoran saluran juga memperhitungkan curah hujan efektif, evapotranspirasi dan kebutuhan air di luar irigasi seperti untuk air industri, perikanan, dan lain-lain sehingga mengakibatkan jumlah air sampai ke petak sawah menjadi berkurang (lebih kecil) dari jumlah yang diambil dari pintu pengambilan. Besarnya efisiensi irigasi di Daerah Irigasi Kali Metro Hilir didapatkan dengan menginventarisasikan data sekunder dari Dinas Pengairan sehingga tidak memperhitungkan lagi berbagai kehilangan yang terjadi di saluran. Besarnya efisiensi irigasi di Daerah Irigasi Kali Metro Hilir berkisar antara 77%-92%.

4.6. Kebutuhan Air Irigasi

Kebutuhan air irigasi merupakan kebutuhan bersih air irigasi di lahan sawah seluas layanan petak tersier yang dibagi dengan besarnya nilai efisiensi saluran irigasi. Perhitungan kebutuhan air irigasi selengkapnya akan disajikan pada Tabel 4.11 sampai dengan Tabel 4.14.

4.7. Debit yang Tersedia di Bendung

Air yang tersedia diartikan sebagai air yang bisa dimanfaatkan untuk keperluan bercocok tanam di areal irigasi Kali Metro Hilir. Sesuai dengan prosedur perhitungan, air yang tersedia ada 2 macam sumber :

1. Air hujan (hujan efektif) yang turun langsung di areal sawah yang bersangkutan.
2. Air yang berasal dari intake bendung Sonosari. Untuk menentukan besarnya air yang berasal dari intake bendung tersebut digunakan analisa debit andalan.

Air yang tersedia selalu berubah-ubah setiap waktu, karena itu perlu ditentukan besarnya air yang tersedia yang bisa diharapkan agar secara pasti dapat digunakan sebagai dasar perencanaan dalam menyusun rencana tata tanam. Dalam kenyataannya air yang tersedia dan yang diperhitungkan tidaklah sama, bisa kelebihan atau kekurangan. Namun dengan perencanaan yang baik kelebihan maupun kekurangannya tidaklah terlalu besar sehingga antara air yang tersedia dengan air yang dibutuhkan menjadi seimbang.

Debit yang tersedia di bendung diartikan sebagai debit yang diharapkan tersedia di bendung yang bisa dibagi maupun disadap oleh pintu pengambilan. Untuk perhitungannya digunakan analisa debit andalan metode *basic year* dengan keandalan 97%, 75%, 51%, 26% yang digolongkan menjadi debit air musim kering, debit air rendah, debit air normal, dan debit air cukup.

Untuk menganalisa debit andalan tersebut digunakan data-data debit pengamatan terakhir di *intake* bendung Sonosari selama periode 10 tahun mulai dari tahun 1999 sampai dengan tahun 2008.

Prosedur perhitungan debit andalan adalah sebagai berikut :

1. Menghitung total debit dalam satu tahun untuk tiap tahun data yang diketahui.
2. Merangking data mulai dari yang besar hingga kecil.
3. Menghitung probabilitas untuk masing-masing data dengan menggunakan persamaan Weibull (2-21).

Perhitungan debit andalan di *intake* dan perbandingan antara debit tersedia dengan debit kebutuhan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.15 sampai dengan Tabel 4.23 dan Gambar 4.4 sampai dengan Gambar 4.7.

Tabel 4.15. Perhitungan Probabilitas Debit Andalan Dengan Rumus Weibull

No	Data Debit		Rangking Data		Probabilitas (%)	Keterangan
	Tahun	Q (m [^] dt)	Tahun	Q (m [^] dt)		
1	1999	1.117	2007	1.213	9.091	
2	2000	1.182	2000	1.182	18.182	
3	2001	1.169	2001	1.153	27.273	Q cukup
4	2002	1.148	2002	1.148	36.364	
5	2003	1.133	2003	1.133	45.455	
6	2004	0.878	1999	1.116	54.545	Q normal
7	2005	1.006	2008	1.052	63.636	
8	2006	1.034	2006	1.027	72.727	Q rendah
9	2007	1.213	2005	1.006	81.818	
10	2008	1.064	2004	0.878	90.909	Q kering

Sumber : Hasil Perhitungan

Keterangan :

$P = (m/(n+1)) \times 100\%$

m = no. urut data

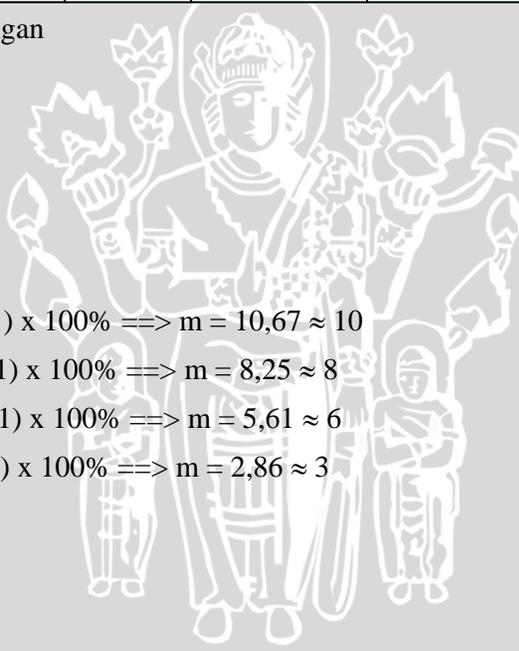
n = jumlah data

Q kering (97%) = $(m/11) \times 100\% \implies m = 10,67 \approx 10$

Q rendah (75%) = $(m/11) \times 100\% \implies m = 8,25 \approx 8$

Q normal (51%) = $(m/11) \times 100\% \implies m = 5,61 \approx 6$

Q cukup (26%) = $(m/11) \times 100\% \implies m = 2,86 \approx 3$



4.8. Volume Air Irigasi

Analisa volume air irigasi dilakukan untuk menghitung luas lahan yang dapat ditanami dari persediaan air irigasi yang ada. Volume air irigasi meliputi volume air yang dibutuhkan yang didapatkan dari perhitungan kebutuhan air irigasi di Daerah Irigasi Kali Metro Hilir dan volume air yang tersedia dari setiap perubahan debit untuk tanaman padi dan palawija yang terbatas pada saat periode tanam MK 2 untuk tahun kering, rendah, cukup dan normal.

4.8.1. Volume Air yang Dibutuhkan

Untuk menghitung volume air yang dibutuhkan pada tiap bangunan bagi pada Daerah Irigasi Kali Metro Hilir dalam satu periode tanam harus diketahui terlebih dahulu volume air yang dibutuhkan pada tiap 10 harian dalam satu periode tanam tersebut dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$V = \frac{q \times 10 \times 24 \times 60 \times 60}{1000} \quad (4-1)$$

dimana:

V = Volume air irigasi tiap 10 harian (m³/ha)

q = Kebutuhan air irigasi tiap 10 harian (lt/det/ha)

Untuk menghitung volume air yang dibutuhkan pada satu periode tanam dilakukan dengan menjumlahkan volume tiap 10 harian selama satu periode tanam tersebut. Dalam studi ini, besar volume air yang dibutuhkan untuk tiap bangunan bagi pada Daerah Irigasi Kali Metro Hilir adalah sama karena perhitungan kebutuhan air irigasi dilakukan secara global dengan dasar waktu tanam yang sama untuk keseluruhan lahan dalam Daerah Irigasi tersebut. Perhitungan volume air yang dibutuhkan selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 4.24 sampai dengan Tabel 4.27.

4.8.2. Volume Air yang Tersedia

Volume air yang tersedia dihitung berdasarkan debit yang ada selama periode tanam yang mengacu pada debit andalan yang telah digolongkan menjadi debit air musim kering (keandalan 97%), debit air rendah (keandalan 75%), debit air normal (keandalan 51%), dan debit air cukup (keandalan 26%). Perhitungan volume air yang tersedia dari setiap perubahan debit menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$V = Q \times n \times 24 \times 60 \times 60 \quad (4-2)$$

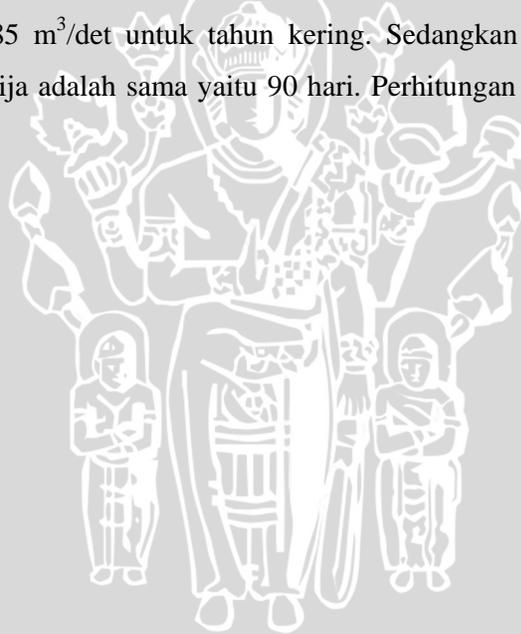
dimana:

V = Volume air yang tersedia (m³)

Q = Debit andalan

n = umur tanaman (hari)

Dalam studi ini, debit andalan dipilih dengan interval 0,02 dengan besar maksimal 1,12 m³/det untuk tahun cukup; 1,05 m³/det untuk tahun normal; 0,74 m³/det untuk tahun rendah; 0,85 m³/det untuk tahun kering. Sedangkan umur tanam untuk tanaman padi dan palawija adalah sama yaitu 90 hari. Perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.28.



4.9. Luas Lahan yang Ditanami

Luas lahan yang dapat ditanami dari debit yang ada dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$L = \frac{\text{Volume air yang tersedia}}{\text{Volume air yang dibutuhkan}} \quad (4-3)$$

dimana:

L = Luas lahan yang dapat ditanami (ha)

Perhitungan luas lahan yang dapat ditanami berdasarkan perbandingan volume tersedia dengan volume yang dibutuhkan dengan sebaran debit yang ada selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.29 sampai dengan Tabel 4.38.



4.10. Analisa Optimasi

Secara umum pola tata tanam di daerah studi adalah padi-palawija-tebu dengan luas tanam tertentu dengan tujuan untuk menyesuaikan ketersediaan debit air yang ada. Apabila seluruh baku sawah mempunyai pola tata tanam yang sama, maka debit kebutuhan pada tahun tertentu kurang dari debit yang tersedia. Pada studi ini terjadi kekurangan pada tahun cukup, normal, rendah, dan tahun kering pada saat MK 2.

Salah satu alternatif pemecahan masalah adalah dengan menggunakan debit yang tersedia di saluran secara optimal. Agar debit yang tersedia dapat digunakan dengan optimal, maka perlu mengubah kombinasi luas tanaman dan jenis tanaman pada saat musim tanam MK 2. Dengan cara seperti ini, diharapkan mendapatkan luasan optimum setiap jenis tanaman untuk masing-masing periode tanam.

Pada studi ini pola tata tanam yang akan dioptimalkan adalah:

- Padi MK 2 pada saat tahun cukup
- Palawija MK 2 pada saat tahun cukup
- Padi MK 2 pada saat tahun normal
- Palawija MK 2 pada saat tahun normal
- Padi MK 2 pada saat tahun rendah
- Palawija MK 2 pada saat tahun rendah
- Padi MK 2 pada saat tahun kering
- Palawija MK 2 pada saat tahun kering

4.11. Analisa Manfaat

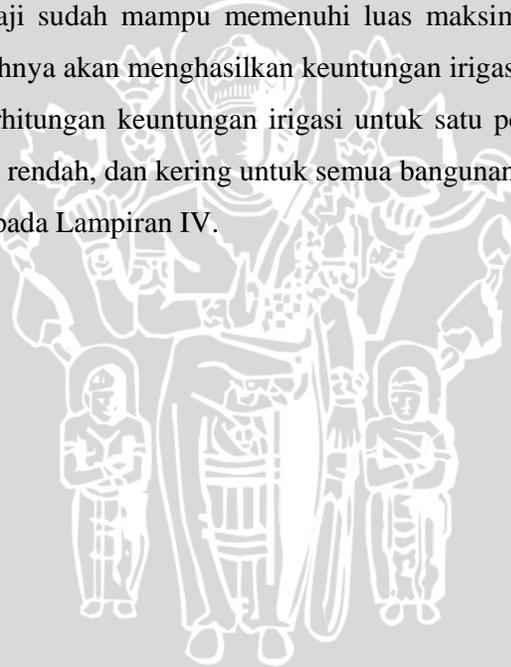
Operasi pemanfaatan potensi air untuk irigasi dapat diartikan sebagai suatu pengaturan debit air guna dibagikan kepada masing-masing daerah irigasi yang memerlukan. Manfaat penggunaan penyediaan air untuk irigasi pada masing-masing bangunan bagi pada Daerah Irigasi Metro Hilir dapat dihitung berdasarkan keuntungan yang diperoleh dari penjualan produk yang dihasilkan dikurangi dengan biaya yang dibutuhkan untuk menghasilkan produk tersebut. Perhitungan Biaya Produksi dan Manfaat Irigasi selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.39 sampai dengan Tabel 4.41.

4.12. Keuntungan Sebagai Fungsi Debit

Dengan diketahui luas lahan yang dapat ditanami dan besarnya biaya produksi per hektar, maka dapat dihitung besarnya keuntungan dari debit yang dialirkan pada tiap bangunan bagi pada Daerah Irigasi Metro Hilir yang selanjutnya dinyatakan sebagai keuntungan sebagai fungsi debit.

Besarnya keuntungan sebagai fungsi debit pada suatu periode tanam dimana periode tanam yang dimaksud dalam studi ini adalah saat MK 2 untuk tahun cukup, normal, rendah, dan kering pada tiap bangunan bagi, dapat dilihat pada Tabel 4.42 sampai dengan Tabel 4.51 dan hasil rekapitulasi selama satu periode tanam MK 2 untuk tiap-tiap tahun dapat dilihat pada Lampiran IV.

Besar keuntungan irigasi sebagai fungsi debit tergantung pada alternatif besarnya debit yang dialirkan dengan batasan bila debit yang diberikan untuk tiap bangunan bagi yang dikaji sudah mampu memenuhi luas maksimal yang ada, maka untuk alokasi debit selebihnya akan menghasilkan keuntungan irigasi yang sama dengan luas lahan maksimal. Perhitungan keuntungan irigasi untuk satu periode tanam MK 2 saat tahun cukup, normal, rendah, dan kering untuk semua bangunan bagi Daerah Irigasi Metro Hilir dapat dilihat pada Lampiran IV.



4.13. Optimasi dengan Program Dinamik

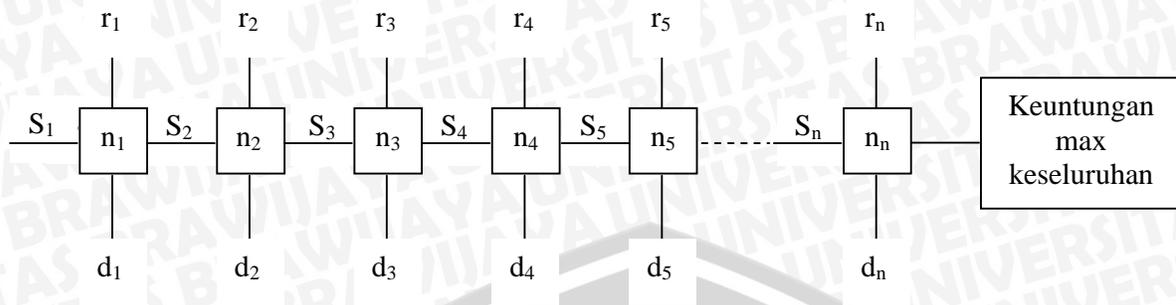
4.13.1. Dasar Program Dinamik

Dalam menerapkan program dinamik dalam optimasi air irigasi pada Daerah Irigasi Metro Hilir, perlu diketahui terlebih dahulu yang menjadi dasar perhitungannya. Berdasarkan perhitungan-perhitungan sebelumnya maka dapat diketahui dasar perhitungan menggunakan program dinamik adalah sebagai berikut:

1. Luas lahan yang akan dikaji adalah sebesar 879 ha dengan pola tanam Padi-Palawija-Tebu yang ditanam setiap periode tanam MH, MK 1, dan MK 2. Akan tetapi, berdasarkan pada hasil perhitungan neraca air didapatkan bahwa optimasi terbatas pada periode tanam MK 2 untuk tanaman Padi dan Palawija dengan luasan sebesar 857 ha, karena sebesar 22 ha lahan ditanami tebu yang masa tanamnya selama 1 tahun.
2. Bangunan bagi yang dikaji sebanyak 10 bangunan yaitu B.S.1, B.S.2, B.S.3, B.S.4, B.S.5, B.S.6, B.S.7, B.S.8, B.S.9, B.S.10.
3. Bila debit yang diberikan untuk tiap bangunan bagi yang dikaji sudah mampu memenuhi luas maksimal yang ada, maka untuk penjatahan debit selebihnya akan menghasilkan keuntungan yang sama dengan yang dihasilkan saat luas lahan maksimal.
4. Debit yang tersedia merupakan debit tersedia maksimal dalam satu periode tanam MK 2 dan harus dialokasikan seluruhnya untuk semua bangunan tersier yang dikaji. Pada studi ini periode tanam MK 2 yang akan dioptimasi adalah pada saat tahun cukup (Q andalan 26%), normal (Q andalan 51%), rendah (Q andalan 75%), dan tahun kering (Q andalan 97%).
5. *State variable* merupakan debit air yang tersedia dengan grid $0,02 \text{ m}^3/\text{detik}$.
6. Hasil optimasi berupa keuntungan bersih dari luas lahan yang mampu diairi bagi masing-masing tanaman.

4.13.2. Optimasi Alokasi Air

Sistem tahapan program dinamik dalam studi ini menggunakan metode *forward recursive*, yaitu dimulai dari tahap awal bergerak menuju tahap akhir. Tahapan tersebut dimulai dari B.S.1 – B.S.2- B.S.3 – B.S.4 - B.S.5 – B.S.6 – B.S.7 – B.S.8 – B.S.9 – B.S.10. Lebih jelasnya dapat dilihat pada bagan sistem tahapan program dinamik sebagai berikut:



Gambar 4.9. Bagan sistem tahapan program dinamik pada Daerah Irigasi Metro Hilir

Keterangan:

$n_1, n_2, n_3, \dots, n_n$ = *Stage* yaitu B.S.1, B.S.2, B.S.3, B.S.4, B.S.5, B.S.6, B.S.7, B.S.8, B.S.9, B.S.10.

$S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ = *State variable* yaitu debit andalan maksimal dalam satu periode tanam MK 2 untuk debit *inflow* dan debit *outflow* pada penerapan program dinamik.

$r_1, r_2, r_3, \dots, r_n$ = *Stage return* yaitu keuntungan fungsi debit selama satu periode tanam MK 2.

$d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$ = *Decision variable* yaitu debit guna optimum untuk tiap bangunan bagi.

Langkah-langkah perhitungan optimasi alokasi air menggunakan program dinamik metode *forward recursive* adalah sebagai berikut.

1. Menentukan kegiatan sebagai tahap yaitu penjatahan debit untuk tiap bangunan bagi saluran primer Metro Hilir berdasarkan keuntungan dari keseluruhan proses optimasi alokasi air.
2. Membuat tabel yang memuat unsur-unsur sebagai berikut:
 - a. Debit *inflow* untuk dialokasikan dan debit *outflow* (setelah debit tersedia dialokasikan) ke seluruh bangunan bagi, pada saluran induk Metro Hilir. Dalam studi ini, debit *inflow* dan *outflow* dimulai dari 0 m³/det; 0,02 m³/det; 0,04 m³/det, dan seterusnya hingga 1,12 m³/det untuk tahun cukup, 1,05 m³/det untuk tahun normal, 0,74 m³/det untuk tahun rendah, dan 0,85 m³/det untuk tahun kering, dimana angka tersebut merupakan debit tersedia maksimal dalam periode tanam MK 2 untuk tahun cukup, normal, rendah, dan tahun kering dengan grid 0,02 m³/det.
 - b. Keuntungan dari besarnya debit yang dialokasikan berdasarkan keuntungan irigasi sebagai fungsi debit pada masing-masing bangunan bagi pada saluran induk Metro Hilir yang ditunjukkan pada Lampiran IV.

- c. Pada tahap (n), B.S.1 dimulai dengan hanya satu *state* debit *inflow* maksimal karena untuk *state* yang lebih kecil dari debit *inflow* maksimal, nilai keuntungan maksimumnya adalah sama dengan keuntungan pada debit *inflow* maksimal dan tahap (n) B.S.10, diakhiri dengan hanya satu *state* debit *inflow* minimal karena sudah menghasilkan keuntungan maksimum secara keseluruhan untuk semua tahap.
 - d. Nilai keuntungan dari masing-masing tahap untuk tiap debit merupakan *return* dari semua tahap.
4. Nilai *return* pada tahap pertama ditransformasikan ke tahap berikutnya, demikian sampai tahap akhir sehingga menghasilkan keuntungan maksimum.
 5. Keuntungan maksimum pada tahap akhir merupakan kebijakan total secara keseluruhan.

Contoh perhitungan optimasi alokasi air dengan menggunakan program dinamik pada tahun cukup sebagai berikut:

1. Pada tahap 1 di B.S.1 dengan debit *outflow* sebesar $0 \text{ m}^3/\text{det}$, maka debit guna adalah $1,12 \text{ m}^3/\text{det}$ sehingga diperoleh keuntungan irigasi sebagai fungsi debit sebesar Rp 1.046.571.500,00, debit *outflow* sebesar $0,02 \text{ m}^3/\text{det}$, maka debit guna adalah $1,10 \text{ m}^3/\text{det}$ diperoleh keuntungan irigasi sebagai fungsi debit sebesar Rp 1.046.571.500,00, dan seterusnya hingga debit *outflow* sama dengan $1,12 \text{ m}^3/\text{det}$.
2. Dari keseluruhan debit *outflow* dan debit guna, diperoleh keuntungan maksimum dari tahap 1 pada B.S.1.
3. Nilai keuntungan maksimum dari tahap 1 tersebut lalu ditransformasikan ke tahap selanjutnya yaitu untuk B.S.2.
4. Pada tahap ke-2, debit guna $0 \text{ m}^3/\text{det}$, keuntungan yang didapat adalah sama dengan keuntungan maksimum pada tahap 1, sedangkan untuk debit guna selanjutnya, nilai keuntungan maksimum pada tahap 1 ditambahkan dengan keuntungan irigasi sebagai fungsi debit pada B.S.2 (Lampiran IV-41) yang menghasilkan nilai keuntungan maksimum akhir tahap.

Contoh:

- a. Debit guna $0,02 \text{ m}^3/\text{det}$

$$\text{Keuntungan maksimum} = 1.046.571.500 + 561.884.166,88 = 1.608.455.666,88$$

- b. Debit guna $0,04 \text{ m}^3/\text{det}$

$$\text{Keuntungan maksimum} = 1.046.571.500 + 697.917.873,20 = 1.744.489.373,20$$

Demikian seterusnya hingga debit guna $1,12 \text{ m}^3/\text{det}$.

5. Dari semua keuntungan maksimum akhir tahap untuk satu *state* dipilih keuntungan yang maksimum dan debit *inflow* maksimum akhir tahap yang berhubungan dengan nilai keuntungan maksimum.
6. Jika semua *cell* pada tabel optimasi telah terisi, lakukan kembali prosedur yang sama (dimulai dari langkah nomor 2) untuk tahap berikutnya hingga tahap akhir.

Hasil optimasi alokasi air menggunakan program dinamik dapat dilihat pada Tabel 4.52 sampai dengan Tabel 4.67.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

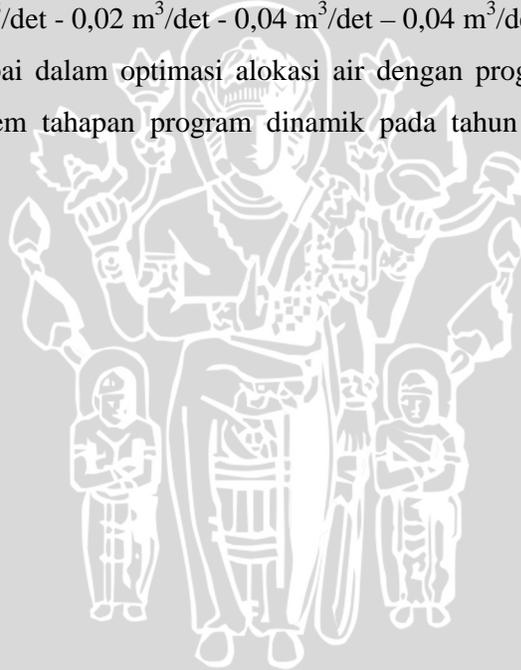


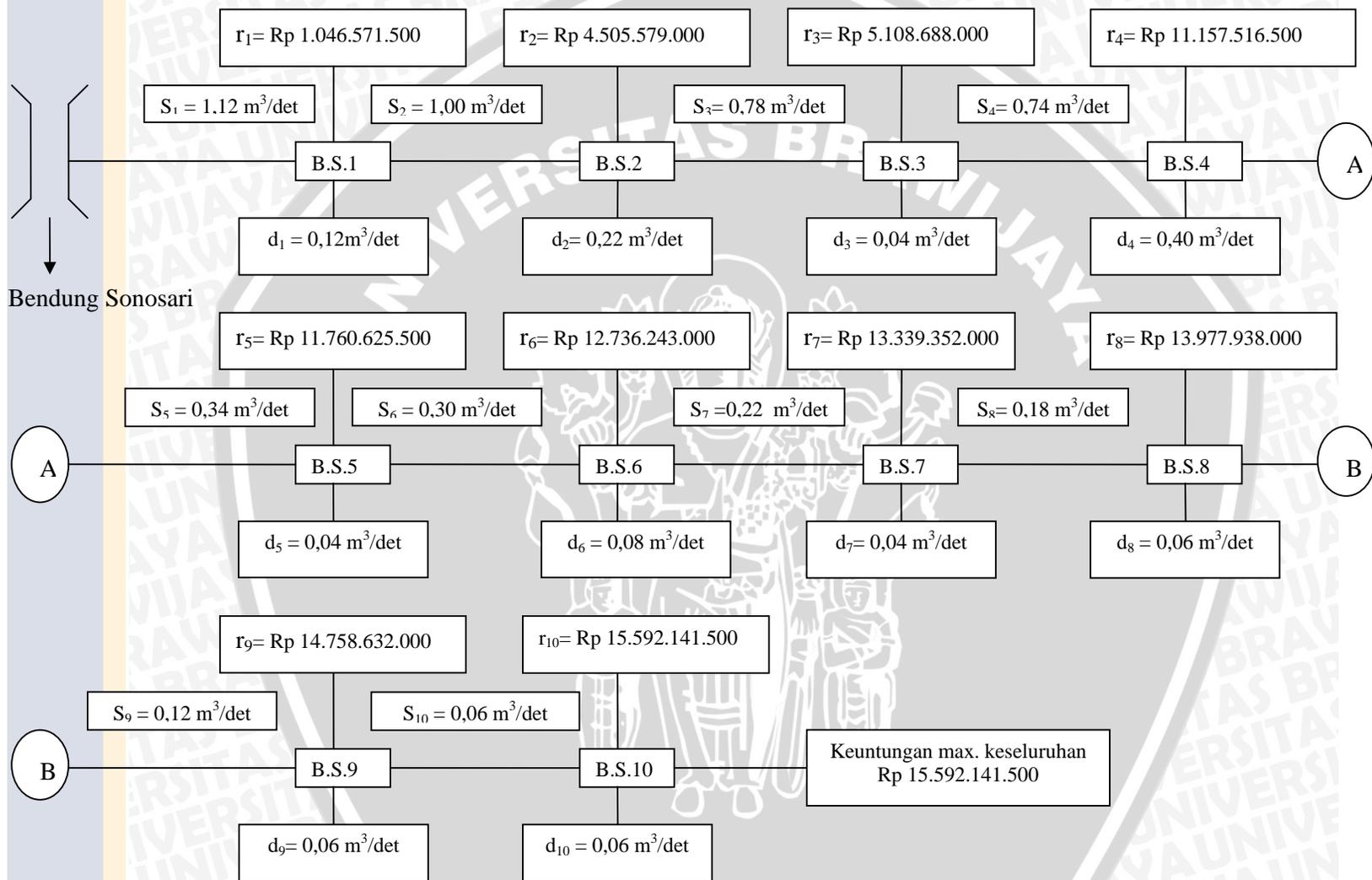
4.14. Pembahasan

Dari keseluruhan hasil optimasi menggunakan program dinamik pada Daerah Irigasi Metro Hilir, jika dilakukan pelacakan balik akan didapatkan jalur optimal berupa pengalokasian debit yang menyebabkan keuntungan produksi maksimal. Jalur optimal yang didapat pada bangunan bagi B.S.1 sampai dengan B.S.10 adalah:

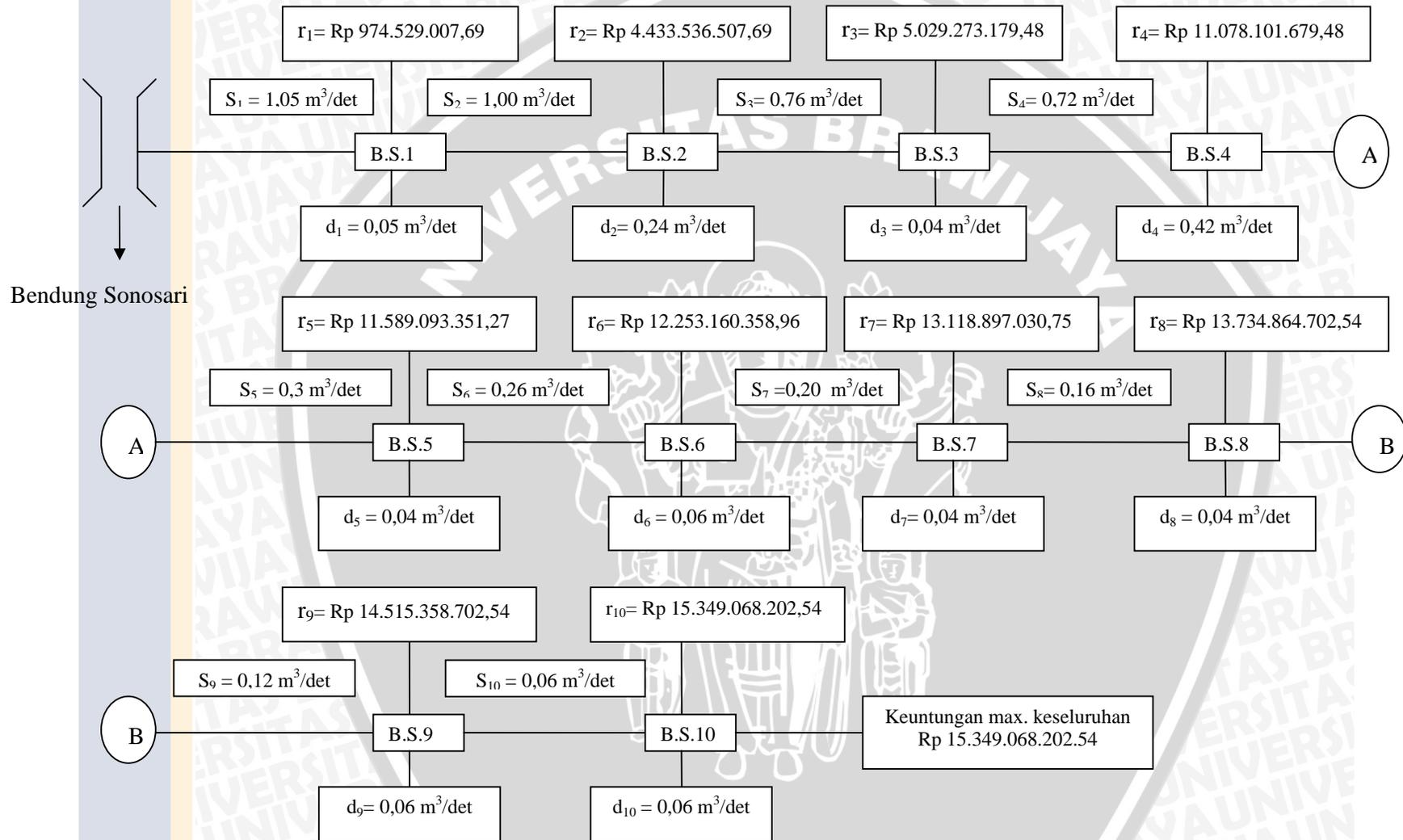
- a) Tahun Cukup: $0,12 \text{ m}^3/\text{det} - 0,22 \text{ m}^3/\text{det} - 0,04 \text{ m}^3/\text{det} - 0,4 \text{ m}^3/\text{det} - 0,04 \text{ m}^3/\text{det} - 0,08 \text{ m}^3/\text{det} - 0,04 \text{ m}^3/\text{det} - 0,06 \text{ m}^3/\text{det} - 0,06 \text{ m}^3/\text{det} - 0,06 \text{ m}^3/\text{det}$
- b) Tahun Normal: $0,05 \text{ m}^3/\text{det} - 0,24 \text{ m}^3/\text{det} - 0,04 \text{ m}^3/\text{det} - 0,42 \text{ m}^3/\text{det} - 0,04 \text{ m}^3/\text{det} - 0,06 \text{ m}^3/\text{det} - 0,04 \text{ m}^3/\text{det} - 0,04 \text{ m}^3/\text{det} - 0,06 \text{ m}^3/\text{det} - 0,06 \text{ m}^3/\text{det}$
- c) Tahun Rendah: $0,06 \text{ m}^3/\text{det} - 0,22 \text{ m}^3/\text{det} - 0,04 \text{ m}^3/\text{det} - 0,24 \text{ m}^3/\text{det} - 0,02 \text{ m}^3/\text{det} - 0,04 \text{ m}^3/\text{det} - 0,02 \text{ m}^3/\text{det} - 0,02 \text{ m}^3/\text{det} - 0,04 \text{ m}^3/\text{det} - 0,04 \text{ m}^3/\text{det}$
- d) Tahun Kering: $0,07 \text{ m}^3/\text{det} - 0,24 \text{ m}^3/\text{det} - 0,04 \text{ m}^3/\text{det} - 0,32 \text{ m}^3/\text{det} - 0,02 \text{ m}^3/\text{det} - 0,04 \text{ m}^3/\text{det} - 0,02 \text{ m}^3/\text{det} - 0,02 \text{ m}^3/\text{det} - 0,04 \text{ m}^3/\text{det} - 0,04 \text{ m}^3/\text{det}$

Hasil yang dicapai dalam optimasi alokasi air dengan program dinamik dapat dilihat pada bagan sistem tahapan program dinamik pada tahun rendah dan kering sebagai berikut:

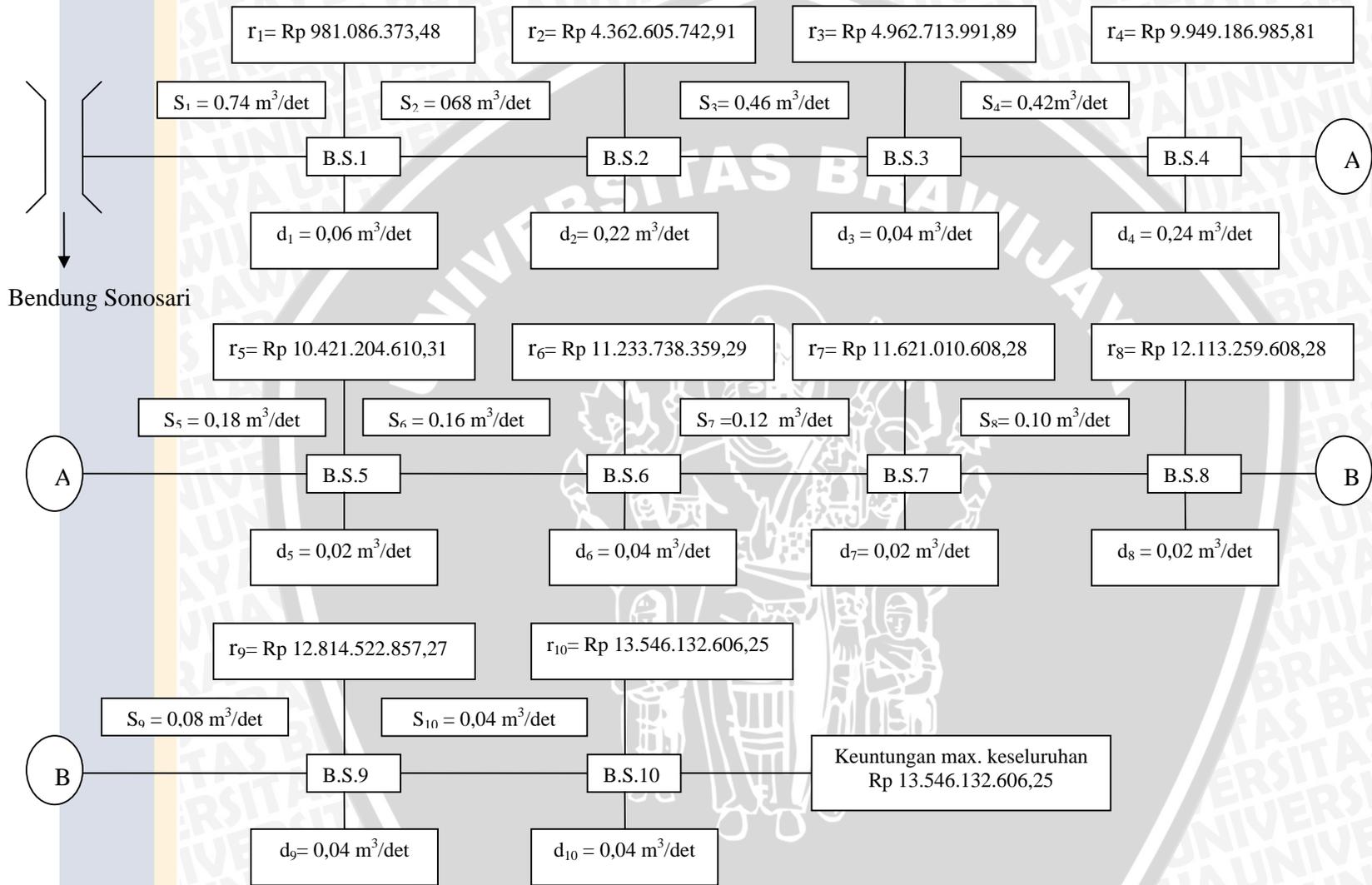




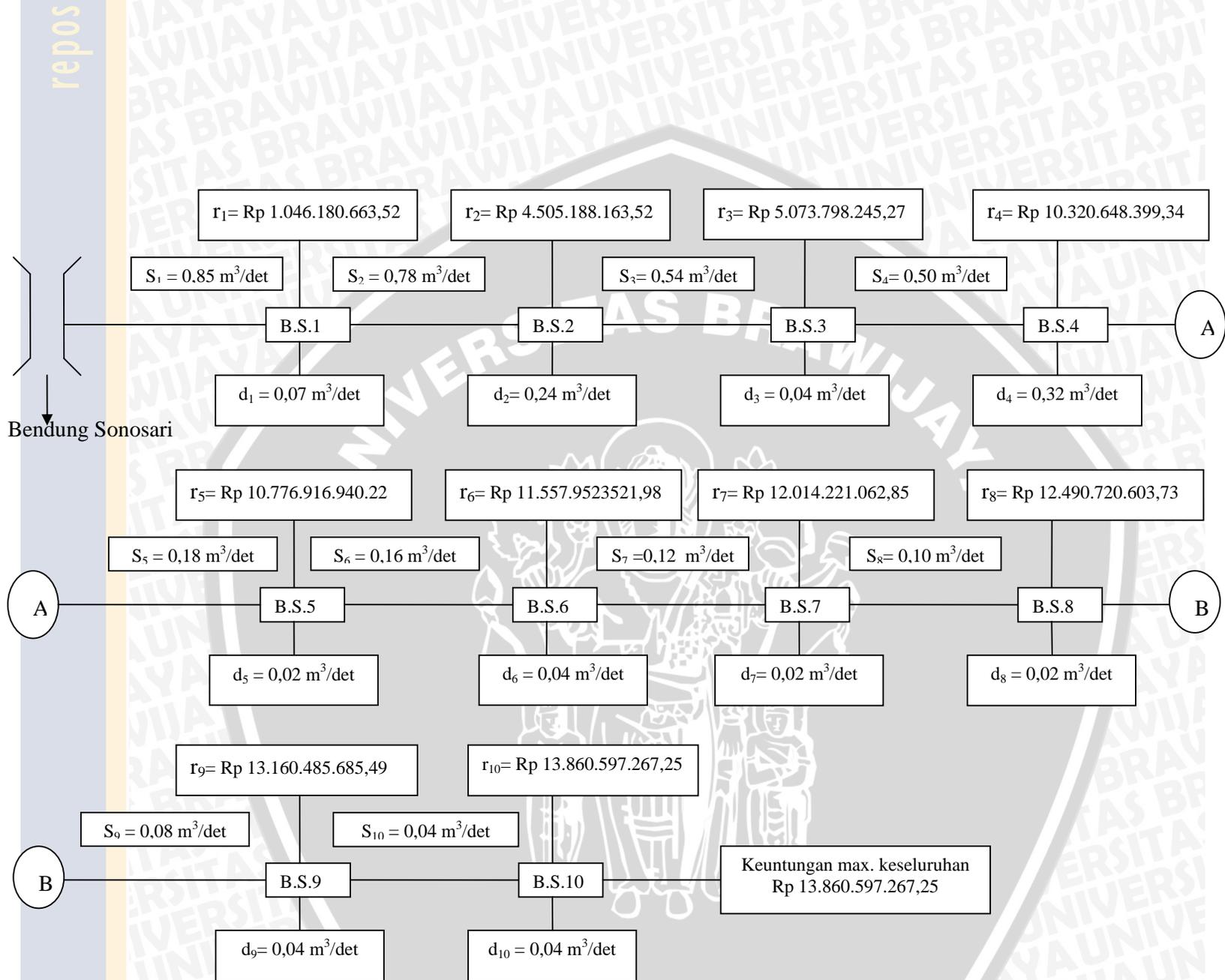
Gambar 4.10. Gambar sistem tahapan program dinamik untuk debit air cukup (Q andalan 26%)



Gambar 4.11. Gambar sistem tahapan program dinamik untuk debit air normal (Q andalan 51%)



Gambar 4.12. Gambar sistem tahapan program dinamik untuk debit air rendah (Q andalan 75%)



Gambar 4.13. Gambar sistem tahapan program dinamik untuk debit air kering (Q andalan 97%)

Dari perhitungan optimasi alokasi air irigasi dengan program dinamik dapat diketahui bahwa debit yang dapat dialirkan pada B.S.1 untuk tahun cukup (Q andalan 26%) adalah sebesar $0,12 \text{ m}^3/\text{det}$ sedangkan luas lahan maksimal yang diairi oleh B.S.1 sebesar 59 ha sudah dapat tercapai pada saat debit sebesar $0,08 \text{ m}^3/\text{det}$ yang artinya keuntungan sudah mencapai maksimal pada saat debit sebesar $0,08 \text{ m}^3/\text{det}$, maka untuk penjatahan debit selebihnya akan menghasilkan keuntungan yang sama dengan yang dihasilkan saat luas lahan maksimal yaitu saat debit $0,08 \text{ m}^3/\text{det}$. Sehingga terjadi kelebihan pasokan air pada saat debit air cukup (Q andalan 26%) sebesar $0,04 \text{ m}^3/\text{det}$ yang dalam studi ini, kelebihan air tersebut dapat dimanfaatkan untuk mengairi daerah irigasi di bawahnya yang masih termasuk dalam pelayanan dari Bendung Sonosari.

Luas lahan optimal yang dapat terairi pada masing-masing bangunan bagi berdasar kendala debit air irigasi sesudah diterapkan program dinamik mencapai 100% dengan kombinasi luas areal total pada tahun cukup untuk padi 393 ha dan palawija 464 ha, pada tahun normal untuk padi 330 ha dan palawija 527 ha, pada tahun rendah untuk padi 96 ha dan palawija 761 ha, serta pada tahun kering untuk padi 173 ha dan palawija 684 ha. Luasan padi setelah optimasi lebih kecil dikarenakan, kebutuhan air irigasi untuk tanaman padi lebih besar dibandingkan palawija sementara debit guna sebelum optimasi jauh lebih kecil dibandingkan setelah optimasi, sehingga palawija yang ditanam lebih besar dibandingkan padi. Hal ini dimaksudkan agar air yang tersedia dapat mengairi luas lahan yang ada dan menghasilkan keuntungan yang maksimum.

Keuntungan terbesar didapatkan pada saat nilai debit tertinggi seperti dapat dilihat pada Tabel 4.64 untuk tahun cukup, Tabel 4.65 untuk tahun normal, Tabel 4.66 untuk tahun rendah, dan Tabel 4.67 untuk tahun kering. Pada tahun cukup debit tertinggi adalah $0,4 \text{ m}^3/\text{det}$, pada tahun normal debit tertinggi adalah $0,42 \text{ m}^3/\text{det}$, pada tahun rendah debit tertinggi adalah $0,24 \text{ m}^3/\text{det}$, dan pada tahun kering debit tertinggi adalah $0,32 \text{ m}^3/\text{det}$ yang menghasilkan keuntungan total terbesar yaitu pada tahun cukup sebesar Rp 2,983,211,695.14, pada tahun normal sebesar Rp 2,951,981,279.83, pada tahun rendah sebesar Rp 3,297,653,000.00, dan pada tahun kering sebesar Rp 3,170,758,308.79.

Sedangkan untuk keuntungan tebu tidak ditampilkan karena dalam studi ini tidak dilakukan analisa optimasi pada tanaman tebu karena tebu ditanam selama 1 tahun periode tanam, sementara dalam studi ini yang mengalami optimasi terbatas hanya pada saat periode tanam MK 2.

Dari hasil perhitungan dapat dibandingkan keuntungan produksi sebelum dan sesudah optimasi. Untuk sebelum optimasi keuntungan total yang dihasilkan dari tanaman padi dan palawija pada tahun cukup sebesar Rp 6,777,176,000.00 dan keuntungan maksimal setelah optimasi yang dapat dicapai adalah sebesar Rp 7,689,357,989.67, untuk tahun normal sebelum optimasi sebesar Rp 6,777,176,000.00 dan setelah optimasi adalah sebesar Rp 7,846,078,284.11, untuk tahun rendah sebelum optimasi Rp 6,777,176,000.00 dan setelah optimasi adalah sebesar Rp 8,430,727,741.74 serta untuk tahun kering sebelum optimasi sebesar Rp 6,777,176,000.00 dan setelah optimasi adalah sebesar Rp 8,238,633,915.83.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

