

**STUDI OPTIMASI SEBAGAI ALTERNATIF UNTUK MENGATASI
KETERBATASAN AIR PADA DAERAH IRIGASI KALILANANG
(KAJIAN LINTAS KOTA BATU DAN KABUPATEN MALANG)**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

**DANY PUTUWIRAWAN
NIM. 0001060435 - 64**

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2007**

**STUDI OPTIMASI SEBAGAI ALTERNATIF UNTUK MENGATASI
KETERBATASAN AIR PADA DAERAH IRIGASI KALILANANG
(KAJIAN LINTAS KOTA BATU DAN KABUPATEN MALANG)**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Disusun Oleh:

**DANY PUTUWIRAWAN
NIM. 0001060435 - 64**

DOSEN PEMBIMBING

**DR.IR.WIDANDI SOETOPU,M.ENG
NIP. 131 475 835**

**IR.RINI WAHYU SAYEKTI
NIP. 131 629 862**

**STUDI OPTIMASI SEBAGAI ALTERNATIF UNTUK MENGATASI
KETERBATASAN AIR PADA DAERAH IRIGASI KALILANANG
(KAJIAN LINTAS KOTA BATU DAN KABUPATEN MALANG**

Disusun Oleh:

DANY PUTUWIRAWAN
NIM. 0001060435 - 64

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus
Pada tanggal 15 Januari 2007

DOSEN PENGUJI

Dr.Ir. Widandi Soetopo,M.Eng.
NIP. 131 475 835

Ir. Rini Wahyu Sayekti,M.S.
NIP. 131 629 862

Very Dermawan,ST,MT.
NIP. 132 232 480

Runi Asmaranto,ST,MT.
NIP.132 281 765

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Pengairan

Ir. Rini Wahyu Sayekti, MS
NIP. 131 629 862

ABSTRAKSI

DANY PUTUWIRAWAN, Jurusan pengairan, Fakultas teknik Universitas Brawijaya, Januari 2007, *Studi Optimasi Sebagai Alternatif Untuk Mengatasi Keterbatasan Air Pada Daerah Irigasi Kalilanang*, Dosen Pembimbing : DR.Ir. Widandi Soetopo, M. Eng., Ir. Rini Wahyu Sayekti, MS.

Daerah Irigasi Kalilanang Kota Batu pada musim kemarau tidak dapat memenuhi kebutuhan irigasi sedangkan pada musim hujan air untuk pertanian cukup tersedia. Untuk itu perlu dilakukan penjatahan penggunaan air yang optimal.

Kajian ini bertujuan untuk mendapatkan penjatahan debit yang paling optimal. Dalam kajian ini digunakan teknik optimasi dengan menggunakan program dinamik. Hal ini disebabkan karena metode tersebut sesuai untuk diterapkan dalam menyelesaikan permasalahan yang bersifat non linier, dalam hal ini adalah variabel keuntungan produksi dan luas lahan yang dapat diairi merupakan fungsi dari debit yang tersedia.

Dalam perhitungan program dinamik, besarnya debit yang diberikan pada masing-masing petak akan berpengaruh terhadap jumlah keuntungan irigasi pada tiap petak tersebut. Perhitungan program dinamik dapat menggunakan variabel keuntungan irigasi dari fungsi debit yang digunakan untuk mencari keuntungan yang paling maksimal dan penjatahan debit yang paling optimal. Dengan batasan bila debit yang diberikan untuk tiap luasan sudah mampu memenuhi luas maksimal yang ada, maka untuk penjatahan debit selanjutnya akan menghasilkan keuntungan yang sama dengan luas lahan maksimal.

Dengan menggunakan masukan debit yang tersedia selama satu musim tanam, hasil optimasi diperoleh debit guna optimum untuk musim tanam pertama Petak 1 debit guna optimumnya adalah $0.006 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 2 adalah $0.011 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 3 adalah $0.006 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 4 adalah $0.009 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 5 adalah $0.028 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 6 adalah $0.012 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 7 adalah $0.043 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 8 adalah $0.044 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 9 adalah $0.024 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 10 adalah $0.048 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 11 adalah $0.048 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 12 adalah $0.03 \text{ m}^3/\text{dt}$, sedangkan debit guna optimum pada musim tanam kedua adalah Petak 1 sebesar $0.008 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 2 sebesar $0.01 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 3 sebesar $0.008 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 4 sebesar $0.01 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 5 sebesar $0.048 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 6 sebesar $0.021 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 7 sebesar $0.038 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 8 sebesar $0.044 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 9 sebesar $0.022 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 10 sebesar $0.006 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 11 sebesar $0.07 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 12 sebesar $0.05 \text{ m}^3/\text{dt}$, sedangkan debit guna optimum pada musim tanam ketiga adalah sebagai berikut Petak 1 sebesar $0.008 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 2 sebesar $0.01 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 3 sebesar $0.008 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 4 sebesar $0.01 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 5 sebesar $0.04 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 6 sebesar $0.021 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 7 sebesar $0.033 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 8 sebesar $0.041 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 9 sebesar $0.021 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 10 sebesar $0.006 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 11 sebesar $0.059 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 12 sebesar $0.05 \text{ m}^3/\text{dt}$.

Dari perhitungan optimasi dengan program dinamik dapat dibandingkan keuntungan produksi sebelum dan sesudah optimasi. Keuntungan produksi musim tanam pertama sebelum optimasi adalah Rp. 9,280,651,777.69 dan sesudah optimasi adalah Rp. 10,664,338,728.48, sedangkan keuntungan produksi musim tanam kedua sebelum optimasi adalah Rp. 5,382,966,792.04 dan sesudah optimasi adalah Rp. 6,708,390,946.29, keuntungan produksi musim tanam ketiga sebelum optimasi sebesar Rp. 1,628,288,902.17 dan sesudah Rp. 2,044,577,768.00. Jadi dapat disimpulkan bahwa secara umum terdapat kenaikan keuntungan produksi setelah dilakukannya optimasi.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sektor sumber daya air dan irigasi akan menghadapi masalah-masalah yang semakin lama semakin kompleks dan menantang. Untuk itu perlu adanya usaha pengembangan dan pemanfaatan yang berdaya guna dan tepat guna. Karena tanpa penanganan yang efektif hal-hal yang berhubungan dengan sumber daya air dan irigasi akan menjadi kendala bagi pengembangan perekonomian dan ketahanan pangan. Pengelolaan irigasi adalah salah satu program yang sangat penting dalam menciptakan ketahanan pangan.

Dengan adanya dua musim di Indonesia yaitu musim penghujan dan musim kemarau di mana pada suatu saat terdapat air yang cukup melimpah dan disaat lain terjadi kekurangan air. Agar masalah tersebut dapat dipecahkan maka perlu dilakukan pengembangan sumber daya air melalui pengelolaan alokasi air yang tepat dan efisien. Pengelolaan irigasi yang baik harus dapat memberikan air secara tepat agar tanaman dapat menerima air sesuai dengan kebutuhannya.

Ketersediaan air yang terbatas untuk keperluan pertanian masih merupakan masalah, sebagai contoh pada Daerah Irigasi Kalilanang juga mengalami persoalan klasik tersebut dimana pada saat musim hujan terdapat air yang melimpah dan pada saat musim kemarau terjadi kekurangan air.

Berbagai cara dapat dilakukan untuk meningkatkan pemanfaatan air, salah satunya adalah dengan sistem optimasi. Studi ini berusaha menyajikan suatu alternatif optimasi pemanfaatan air berdasar pola tata tanam yang sudah ada dan pola tata tanam rencana dengan program optimasi program dinamik.

1.2 Identifikasi Masalah

Sumber irigasi untuk Daerah Irigasi Kalilanang diambil dari bendung Kalilanang yang berada di Desa Bumiaji Kota Batu. Daerah Irigasi Kalilanang merupakan Daerah Irigasi Lintas Kota Batu dan Kabupaten Malang yang memiliki luas baku sawah 457 Ha dengan perincian luas irigasi sebagai berikut :

1. Wilayah Irigasi Kota Batu dengan luas baku sawah 214 Ha
2. Wilayah Irigasi Kabupaten Malang dengan luas baku sawah 243 Ha

Permasalahan yang ada di Daerah Irigasi Kalilanang adalah bahwa air yang tersedia tidak mencukupi kebutuhan air irigasi pada musim kemarau untuk sawah-sawah bagian hilir, sehingga sering terjadi konflik kepentingan kebutuhan air antara dua wilayah tersebut. Agar ketersediaan dan distribusi air dapat mencukupi kebutuhan diperlukan pengoptimalan luas areal yang dapat diairi dari ketersediaan air irigasi yang ada dengan menggunakan program dinamik model alokasi agar dapat diperoleh manfaat maksimal dengan keterbatasan sumber daya air yang ada.

1.3 Batasan Masalah

Untuk lebih memfokuskan pada kajian yang dilakukan dan untuk menghindari terjadinya pembahasan yang keluar dari pokok kajian maka dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Daerah studi adalah Daerah Irigasi Kalilanang yang mengairi lahan pertanian pertanian seluas 457 Ha.
2. Pemanfaatan potensi air yang ada untuk kepentingan irigasi.
3. Keuntungan produksi dihitung pada periode musim tanam.
4. Tidak membahas aspek hidrolika.
5. Metode optimasi menggunakan program dinamik dengan tujuan penjatahan debit optimum untuk tiap petak tersier sehingga didapat keuntungan yang maksimum.

1.4 Rumusan Masalah

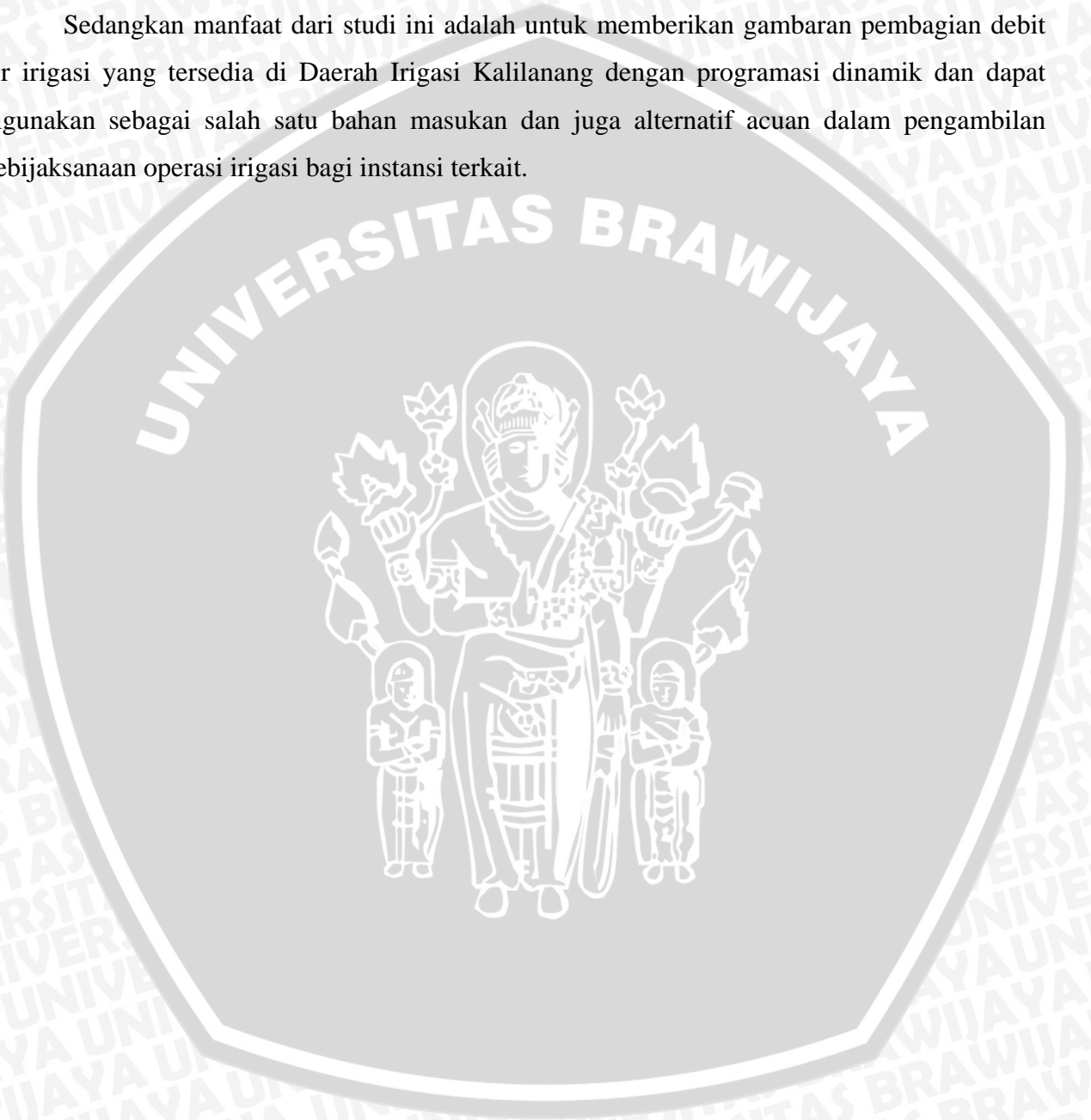
Dari latar belakang, identifikasi masalah dan batasan masalah yang dilakukan, maka permasalahan dalam studi ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Apakah pola tata tanam yang ada masih dapat dipenuhi oleh debit andalan?
2. Dengan programasi dinamik, bagaimana distribusi debit air irigasi optimum yang harus diberikan pada masing-masing blok berdasarkan kebutuhan dan ketersediaan air irigasi?
3. Berapa luas optimum lahan berdasar debit air irigasi yang tersedia dengan penerapan program dinamik?
4. Berapa peningkatan keuntungan produksi setelah optimasi?

1.5 Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari studi ini adalah untuk memperoleh penjatahan air yang paling optimal serta mendapatkan luas areal maksimum yang dapat terairi sehingga didapat keuntungan yang maksimum.

Sedangkan manfaat dari studi ini adalah untuk memberikan gambaran pembagian debit air irigasi yang tersedia di Daerah Irigasi Kalilanang dengan programasi dinamik dan dapat digunakan sebagai salah satu bahan masukan dan juga alternatif acuan dalam pengambilan kebijaksanaan operasi irigasi bagi instansi terkait.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Dengan semakin meningkatnya perkembangan semua aspek kehidupan masyarakat sebagai suatu dampak dari laju pertumbuhan penduduk dan pembangunan daerah, maka sudah barang tentu meningkat pula kebutuhan akan pelayanan air. Selain penggunaan air untuk kebutuhan sehari-hari secara otomatis pula ada peningkatan akan kebutuhan pelayanan air irigasi.

Penggunaan air irigasi telah ditetapkan dalam Peraturan Pemerintah No. 22 pasal 4 tentang Tata Penggunaan Air, Undang-Undang No.11 Tahun 1994 tentang Pengairan, dan Undang-Undang No. 7 Tahun 2004 tentang Pendaayagunaan Sumber Daya Air. Dalam pembangunan proyek irigasi, banyaknya air yang diperlukan untuk pertanian harus diketahui dengan tepat sehingga pemberian air irigasi dapat diatur seefisien mungkin. Besarnya kebutuhan air irigasi ditentukan oleh banyak faktor, antara lain :

- a. Jenis tanaman
- b. Cara pemberian air
- c. Jenis tanah
- d. Cara pemeliharaan saluran dan bangunan
- e. Waktu tanam berurutan yang berselang lebih dari dua minggu sehingga memudahkan pergiliran air
- f. Pengolahan tanah
- g. Iklim dan keadaan cuaca yang meliputi curah hujan, angin, letak lintang, kelembaban dan suhu udara

2.2 Kebutuhan Air Irigasi

Irigasi adalah penambahan kekurangan kadar air tanah secara buatan, yaitu dengan memberikan air yang perlu untuk pertumbuhan tanaman ke tanah yang diolah dan mendistribusikannya secara sistematis. Pemberian air irigasi yang berlebihan pada tanah yang diolah dapat merusak tanaman (Sosrodarsono, 1976:216).

Keseimbangan jumlah air yang masuk dan keluar dari suatu lahan pertanian adalah sebagai berikut (Suhardjono, 1994:6):

- Jumlah air yang masuk pada lahan pertanian berupa air irigasi (IR) dan air hujan (R).

Air irigasi adalah sejumlah air yang umumnya diambil dari sungai atau waduk dan

dialirkan melalui system jaringan irigasi, guna menjaga keseimbangan air di lahan pertanian.

- Sedangkan air yang keluar merupakan sejumlah air yang dibutuhkan bagi pertumbuhan tanaman (ET), air bagi persemaian dan pengolahan tanah (Pd), maupun sejumlah air air yang merembes karena perkolasi dan infiltrasi.

2.2.1 Kebutuhan Air di Bangunan Pengambilan

Sebelum air ke petak sawah, air melewati saluran-saluran distribusi seperti saluran induk, sekunder, dan tersier. Dalam melewati saluran tersebut akan mengalami kehilangan. Oleh karena itu, dalam perhitungan harus memperhitungkan banyaknya air yang hilang selama dalam perjalanan. Kebutuhan air total irigasi yang diukur dari pintu pengambilan adalah hasil dari pembagian antara kebutuhan air irigasi di sawah dengan faktor efisiensi.

Besarnya kebutuhan air irigasi harus disesuaikan dengan besarnya masukan (inflow). Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya kebutuhan air di bangunan pengambilan air irigasi adalah:

1. Luas daerah irigasi
2. Pola tata tanam yang direncanakan
3. Evapotranspirasi potensial
4. Koefisien tanaman
5. Teknik pengolahan lahan
6. Perkolasi
7. Curah hujan efektif
8. Effisiensi irigasi

Kebutuhan air irigasi pada setiap bangunan sadap dan bangunan utama untuk masing-masing petak tersier dan saluran dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut (Anonim, 1995:6):

$$\text{TOR} = \frac{A \times \text{NFR}}{\eta_{\text{tersier}}} \quad (2.1)$$

Untuk menghitung besarnya kebutuhan air irigasi pada bangunan utama, menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{DR} = \frac{\sum \text{TOR}}{\eta_{\text{saluran}}} \quad (2.2)$$

Dengan:

TOR	=	(Tersierry Offtake Requirement) kebutuhan air irigasi petak tersier (lt/detik)
DR	=	(Diversion Requirement) kebutuhan air irigasi bangunan utama (lt / dt)
A	=	luas layanan petak tersier (Ha)
NFR	=	kebutuhan air netto (lt / dt)
π	=	effisiensi petak tersier (%)

2.2.2. Kebutuhan Bersih Air di Sawah (*Netto Farm Requirement/NFR*)

Tanaman membutuhkan air agar dapat tumbuh dan berproduksi dengan baik. Air tersebut dapat berasal dari air hujan maupun dari air irigasi. Air irigasi adalah sejumlah air yang umumnya diambil dari sungai atau waduk dan dialirkan melalui sistem jaringan irigasi, guna menjaga keseimbangan jumlah air di lahan pertanian.

Besarnya kebutuhan air di sawah dipengaruhi oleh berbagai faktor sebagai berikut (KP – 01 Kriteria Perencanaan Jaringan Irigasi, 1986:157):

- Penyiapan lahan
- Penggunaan Komsumtif
- Perkolasi
- Pergantian lapisan air
- Curah hujan Effektif

Pendugaan kebutuhan di sawah dilakukan berdasarkan jenis tanaman, persamaan netto kebutuhan air (*Net Field Requirement = NFR*) dengan Metode Standar Perencanaan Irigasi adalah sebagai berikut :

$$NFR_{padi} = IR + Et + WLR + P - Re_{padi} \quad (2.3)$$

$$NFR_{plw} = Et + P - Re_{plw} \quad (2.4)$$

Dengan:

NFR_{padi} = netto kebutuhan air padi sawah (mm/hari)

NFR_{plw} = netto kebutuhan air palawija (mm/hari)

IR = kebutuhan air untuk persiapan lahan (mm/hari)

Et = kebutuhan air untuk tanaman (mm/hari)

WLR = kebutuhan air untuk penggantian lapisan air (mm/hari)

P = perkolasi (mm/hari)

Re_{padi} = curah hujan efektif untuk padi sawah (mm/hari)

Re_{plw} = curah hujan efektif untuk palawija (mm/hari)

2.2.3. Kebutuhan Air Tanaman

Banyaknya air yang diperlukan untuk berbagai tanaman, masing-masing daerah dan masing-masing musim adalah berlainan, oleh karena itu di tiap daerah diadakan peraturan-peraturan pengairan sendiri. Dalam peraturan-peraturan tersebut antara lain ditentukan tanaman-tanaman yang berhak menerima air irigasi dan peraturan waktu tanam serta peraturan pemberian air irigasi.

Kebutuhan air untuk tanaman adalah sejumlah air yang dibutuhkan untuk mengganti sejumlah air yang hilang akibat penguapan (Suhardjono, 1994:11).

Faktor – faktor yang mempengaruhi besarnya kebutuhan air tanaman adalah sebagai berikut (Suhardjono, 1994:13) :

- a. Faktor iklim
 - Suhu udara
 - Kelembaban udara
 - Kecepatan angin
 - Kecerahan matahari
- b. Faktor tanaman
 - Jenis tanaman
 - Varietas tanaman
 - Umur tanaman

Kebutuhan air untuk tanaman tergantung dari besarnya evapotranspirasi dikalikan dengan faktor koefisien tanaman, dan dapat dihitung dengan menggunakan rumus (Suhardjono, 1994:12):

$$Et = k \cdot Eto \quad (2.5)$$

Dengan:

Et = kebutuhan air untuk tanaman, bisa dinyatakan dalam Cu (mm/hari)

Eto = evapotranspirasi potensial (mm/hari)

k = koefisien tanaman, yang besarnya tergantung pada jenis, macam dan umur tanaman

2.2.4. Evapotranspirasi

2.2.4.1. Evaporasi

Evaporasi adalah berubahnya air menjadi uap dan bergerak dari permukaan air ke udara. Evaporasi merupakan faktor yang penting dalam studi tentang pengembangan sumber-sumber daya air. Evaporasi sangat mempengaruhi debit sungai, besarnya kapasitas

waduk, besarnya kapasitas pompa untuk irigasi, penggunaan komsumtif (*consumptive use*) untuk tanaman dan lain-lain.

Air akan menguap dari tanah, baik tanah gundul atau yang tertutup oleh tanaman atau pepohonan, pada permukaan yang tidak tembus air seperti atap dan jalan raya, air bebas mengalir. Laju evaporasi atau penguapan akan berubah-ubah menurut warna dan sifat pemantulan permukaan (albedo) dan hal lain juga akan berbeda untuk permukaan yang langsung tersinari oleh matahari dan yang terlindungi dari sinar matahari.

Besarnya faktor meteorologi yang mempengaruhi besarnya evaporasi adalah sebagai berikut (Soemarto, 1986:43):

1. Radiasi matahari

Evaporasi berjalan terus hampir tanpa berhenti di siang hari dan kerap kali juga dimalam hari. Perubahan dari keadaan cair menjadi gas ini memerlukan energi berupa panas laten untuk evaporasi. Proses evaporasi akan sangat aktif jika ada penyinaran matahari langsung.

2. Angin

Jika air menguap ke atmosfer maka lapisan di atas antara permukaan tanah dan udara menjadi jenuh oleh uap air sehingga proses penguapan berhenti. Agar proses tersebut berjalan terus lapisan jenuh harus diganti dengan udara kering. Pergantian itu hanya mungkin kalau angin yang menggeser komponen uap air. Jadi, kecepatan angin memegang peranan penting dalam proses evaporasi.

3. Kelembaban (*humiditas*) relatif

Faktor lain yang mempengaruhi evaporasi adalah kelembaban relatif udara. Jika kelembaban relatif naik, maka kemampuan udara untuk menyerap air akan berkurang sehingga laju evaporasinya menurun. Penggantian lapisan udara pada batas tanah dan udara dengan udara yang sama kelembaban relatifnya tidak akan menolong dalam memperbesar laju evaporasinya.

4. Suhu (temperatur)

Energi sangat diperlukan agar evaporasi berjalan terus. Jika suhu udara dan tanah cukup tinggi, proses evaporasi berjalan lebih cepat dibandingkan dengan jika suhu udara dan tanah rendah dengan adanya energi panas yang tersedia.

2.2.4.2. Transpirasi

Semua jenis tanaman memerlukan air untuk kelangsungan hidupnya, dan masing-masing jenis tanaman berbeda-beda kebutuhannya. Hanya sebagian kecil air yang tinggal di dalam tubuh tumbuh-tumbuhan, sebagian besar dari padanya setelah diserap lewat akar-akar

dan dahan-dahan akan ditranspirasikan lewat bagian tumbuh-tumbuhan yang berdaun (Soemarto,1986:44).

Transpirasi adalah suatu proses yang air di dalam tumbuhan dilimpahkan ke dalam atmosfer sebagai uap air (Subarkah, 1980:39)

Dalam kondisi lapangan tidaklah mungkin untuk membedakan antara evaporasi dan transpirasi jika tanahnya tertutup tumbuh-tumbuhan. Kedua proses tersebut (evaporasi dan transpirasi) saling berkaitan sehingga dinamakan evapotranspirasi. Proses transpirasi berjalan terus hampir sepanjang hari di bawah pengaruh sinar matahari. (Soemarto,1986:44).

2.2.4.3. Evapotranspirasi

Evapotranspirasi adalah gabungan dari proses penguapan air bebas (evaporasi) dan penguapan air melalui tanaman (transpirasi) (Suhardjono,1994:11). Evapotranspirasi merupakan faktor dasar untuk menentukan kebutuhan air dalam rencana irigasi dan merupakan proses yang penting dalam siklus hidrologi.

Jumlah kadar air yang hilang dari tanah oleh evapotranspirasi tergantung kepada:

1. Adanya persediaan air yang cukup (hujan dan lain-lain)
2. Faktor-faktor iklim seperti suhu, kelembaban dan lain-lain
3. Tipe dan cara kultivasi tumbuh-tumbuhan tersebut

Data-data yang diperoleh dari stasiun klimatologi adalah letak lintang, temperatur rata-rata (t), kecepatan angin rata-rata (u), kecerahan matahari (n/N) dan kelembaban relatif (R_h). Yang dapat dijelaskan sebagai berikut (Suhardjono,1994: 30):

1. Temperatur rata-rata (t)

Rata – rata temperatur udara bulanan di Indonesia berkisar antara $24 - 29^0$ C dan tidak terlalu berbeda dari bulan yang satu dengan bulan yang lain.

2. Kecepatan angin rata-rata (u)

Data kecepatan angin diukur berdasarkan tiupan angin pada ketinggian 200 m diatas permukaan tanah. Dari data pengukuran kecepatan angin di Indonesia menunjukkan bahwa besarnya kecepatan angin bulanan rata-rata berkisar antara 0,5 – 4,5 m/dt atau sekitar 2 – 15 km/jam.

3. Kecerahan matahari rata-rata (n/N)

Kecerahan matahari adalah perbandingan antara n dengan N atau disebut rasio keawanan. Nilai n merupakan jumlah jam nyata matahari bersinar dalam sehari sedangkan nilai N merupakan jumlah jam potensial matahari yang bersinar dalam sehari. Untuk daerah khatulistiwa besarnya N adalah sekitar 12 jam setiap harinya, dan tidak jauh berbeda antara bulan yang satu dengan yang lainnya. Besar n berhubungan erat

dengan keadaan awan, makin banyak awan makin kecil nilai n. Harga rata-rata bulanan kecerahan matahari (n/N) di beberapa daerah di Indonesia berkisar antara 30 – 88 %. Di musim kemarau harga (n/N) lebih tinggi dibandingkan musim penghujan. (Soemarto, CD. 1987).

4. Kelembaban relatif rata-rata (Rh)

Kelembaban relatif atau relative humidity (RH) yang dinyatakan dalam prosentase (%) merupakan perbandingan tekanan uap air dengan tekanan uap air jenuh. Data pengukuran di Indonesia menunjukkan besarnya kelembaban relatif rata-rata berkisar antara 65 – 84 %. Hal ini menunjukkan bahwa Indonesia memiliki daerah dengan kelembaban relatif yang tinggi. Pada musim penghujan (Oktober – Maret) kelembaban relatif lebih tinggi daripada musim kemarau (April – September).

Dalam menghitung besarnya evapotranspirasi kita bisa menggunakan beberapa rumus empiris seperti Penmam, Thornthwaite, Blaney- Criddle, Ture-Langbein-Wunt. Dalam penyelesaian studi ini untuk menghitung besarnya evapotranspirasi digunakan rumus Penman Modifikasi untuk perhitungan pada daerah-daerah di Indonesia (Suhardjono, 1994:54). Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\mathbf{Eto} = \mathbf{c \cdot Eto^*} \quad (2-6)$$

$$\mathbf{Eto^*} = \mathbf{W(0,75Rs - Rn1) + (1-W).f(u).(ea-ed)} \quad (2-7)$$

Dengan:

Eto = evapotranspirasi potensial (mm/hari)

C = angka koreksi penman

W = faktor yang berhubungan dengan suhu dan elevasi.

Rs = radiasi gelombang pendek, dalam setahun evaporasi ekuivalen (mm/hari).

$$= \mathbf{(0,25 + 0,54 n/N).Ra}$$

Ra = radiasi gelombang pendek yang memenuhi batas luar atmosfer atau angka angot (mm/hari).

Rn₁ = radiasi bersih gelombang panjang (mm/hari).

$$= \mathbf{f(t).f(ed).f(n/N)}$$

$$f(t) = \text{fungsi suhu} = \mathbf{\sigma \cdot Ta^4}$$

$$f(ed) = \text{fungsi tekanan uap} = \mathbf{0,344 - 0,44 \cdot ed^{0,5}}$$

$$f(n/N) = \mathbf{0,1 + 0,9n/N}$$

f(u) = fungsi kecepatan angin pada ketinggian 2,00m (m/dt).

$$= \mathbf{0,27 (1+u/100)}$$

e_a = perbedaan tekanan uap jenuh dengan tekanan uap sebenarnya.

e_d = $e_a \cdot RH$.

RH = kelembaban udara relatif (%)

2.2.5. Koefisien Tanaman

Besarnya koefisien tanaman untuk setiap tanaman akan berbeda-beda yang besarnya berubah setiap periode pertumbuhan tanaman itu sendiri. Koefisien tanaman merupakan angka pengali untuk menjadikan evapotranspirasi potensial menjadi kebutuhan air tanaman. Besarnya koefisien tanaman sangat dipengaruhi oleh jenis tanaman, varietas tanaman dan umur tanaman.

Usaha memperkecil kebutuhan air tanaman tidak dapat dilakukan dengan memperkecil nilai evapotranspirasi potensial karena nilai ini berhubungan dengan iklim, tetapi dilakukan dengan memperkecil nilai koefisien tanaman. Mengubah nilai koefisien tanaman berarti mengubah jenis, varietas dan umur tanaman.

Tabel 2.1. Nilai Koefisien Tanaman

Periode Tumbuh	Padi	Kedelai	Kacang	Jagung
0	1.11	0.14	0.14	0.20
10	1.11	0.20	0.23	0.29
20	1.20	0.25	0.37	0.44
30	1.23	0.30	0.43	0.63
40	1.30	0.42	0.57	0.80
50	1.35	0.56	0.60	0.90
60	1.31	0.69	0.63	0.88
70	1.28	0.80	0.63	0.83
80	1.20	0.69	0.60	0.75
90	1.11	0.60	0.43	0.60
100	1.11	0.49	0.32	0.49

Sumber : Anonim, 1986:164

2.2.6 Jenis dan Varietas Tanaman

Setiap jenis varietas tanaman selama periode pertumbuhan memerlukan air dengan jumlah yang berbeda-beda, sebagai berikut :

- Padi memerlukan air yang lebih banyak dibandingkan dengan kebutuhan air untuk palawija

- Varietas padi yang rendah memerlukan air yang lebih banyak dibandingkan dengan padi bervariasi baik (berumur panjang)

2.2.7. Pembibitan atau Persemaian

Air untuk persemaian diberikan bersama dengan air untuk pengolahan lahan selama 20-30 hari. Luas lahan persemaian berkisar antara 3%-5% dari luas total sawah yang akan ditanami dengan kebutuhan air 50 mm.

Tanah untuk persemaian dibajak, digaru kemudian dicangkul sampai menjadi Lumpur. Pada umur 25 hari bibit siap untuk dipindahkan ke petak-petak sawah.

2.2.8. Pengolahan Lahan

Pekerjaan pengolahan tanah dilakukan dalam dua tahap pekerja membajak dan menggaru.

Tujuan membajak lahan adalah :

1. Membuat tanah menjadi gembur
2. Memperbaiki sirkulasi udara dalam tanah

Tujuan menggaru adalah :

1. Menyempurnakan tanah dari hasil bajakan
2. Meratakan tanah pertanian
3. Memberantas gulma yang masih hidup

Kebutuhan air untuk pengolahan lahan biasanya lebih besar dari kebutuhan air untuk pertumbuhan tanaman, yaitu antara 200 mm sampai dengan 300 mm. Waktu pengolahan lahan di Indonesia 30 hari sampai dengan 45 hari dengan waktu pelaksanaan pemberian air sebaiknya digunakan waktu pengolahan yang sesuai dengan kondisi lahan setempat. Kebutuhan air di tingkat usaha tani untuk lahan yang baru dibuka lebih besar dari kebutuhan lahan yang telah lama ditanami. Lahan yang baru dibuka (baru diadakan pembersihan lahan / *land clearing*) disejumlah daerah irigasi di Indonesia pada tahun-tahun pertama akan membutuhkan air yang banyak untuk penjemuran dan pengolahan tanah (Anonim,1997: IV-23).

Besarnya kebutuhan air untuk pengolahan tanah didekati dengan metode yang dikembangkan oleh Van de Goor dan Zijlstra. Metode tersebut didasarkan pada laju air konstan dalam l/dt selama periode penyiapan lahan, dengan persamaan sebagai berikut (KP 01, 1986:160):

$$IR = \frac{M \times e^k}{e^k - 1} \quad (2.8)$$

Dengan:

- IR = kebutuhan air untuk pengolahan lahan (mm/hari)
- M = kebutuhan air untuk penggantian kehilangan air akibat evaporasi dan perkolasi di sawah yang sudah dijenuhkan (mm/hari)
- M = $E_o + P$ (mm/hari)
- E_o = evaporasi air terbuka yang diambil 1,1 E_{to} selama penyiapan lahan (mm/hari)
- P = perkolasi (mm/hari)
- k = $(M \cdot T) / S$
- T = jangka waktu penyiapan lahan (hari)
- S = kebutuhan air untuk penjenuhan yang besarnya berdasar dari tekstur tanah
- e = bilangan eksponensial (2,71828)

2.2.9. Pergantian Lapisan Air (WLR)

Pergantian lapisan air erat hubungannya dengan kesuburan tanah. Beberapa saat setelah air digenangkan air kotor dan mengandung zat-zat yang tidak lagi diperlukan oleh tanaman, bahkan akan merusak tanaman. Air genangan yang perlu dibuang diganti dengan air baru yang bersih. Adapun ketentuan – ketentuan penggantian lapisan air (WLR) adalah sebagai berikut:

- WLR diperlukan saat terjadi pemupukan atau penyiangan.
- Besarnya WLR adalah 50 mm.
- Jangka waktu WLR adalah 1,5 bulan (selama 1,5 bulan air yang digunakan untuk WLR sebesar 50 mm)

2.2.10 Perkolasi

Perkolasi adalah gerakan air ke bawah dari daerah tidak jenuh (antara permukaan tanah ke permukaan air tanah) ke dalam daerah jenuh (daerah di bawah permukaan air tanah). Kondisi ini akan mempengaruhi kebutuhan air yang akan diberikan oleh tanaman. Sedangkan yang disebut daya perkolasi adalah laju perkolasi maksimum yang dimungkinkan yang besarnya dipengaruhi oleh kondisi tanah dengan muka air tanah.

Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya perkolasi adalah sebagai berikut:

1. Tekstur tanah

Tekstur tanah yang halus daya perlokasinya kecil

2. Permeabilitas tanah

Permeabilitas tanah adalah gaya yang merembes lewat ruang antar butir tanah. Pada tanah lempung berat dengan karakteristik yang baik, laju nperkolasi dapat mencapai 1-3

mm/hr (KP 01, 1986:165). Semakin besar permeabilitas tanah, semakin kecil daya perkolasinya.

3. Tebal lapisan tanah bagian atas

Semakin tipis lapisan tanah bagian atas, semakin kecil daya perkolasinya.

4. Tanaman penutup

Lindungan tumbuh-tumbuhan yang padat menyebabkan daya infiltrasi semakin besar sehingga daya perkolasinya juga besar.

5. Letak permukaan air tanah

Semakin tinggi air tanah semakin rendah perkolasinya.

Tabel 2.2 Harga Perkolasi dari berbagai jenis tanah

No	Macam Tanah	Perkolasi Vertikal (mm/hari)
1	Sandy Loam	3 – 6
2	Loam	2 – 3
3	Clay	1 – 2

Sumber : Fukuda dan Hikaru Tsutsui, *Rice Irrigation In Japan*,1973:22

2.2.11 Efisiensi Irigasi

Effisiensi irigasi adalah perbandingan antara debit air yang sampai di pintu tersier lahan pertanian dengan debit air irigasi yang keluar dari pintu pengambilan. Perbedaan debit tersebut disebabkan adanya kehilangan-kehilangan dalam saluran yang disebabkan oleh berbagai faktor antara lain adanya penguapan, kebocoran, dan rembesan.

Kehilangan air yang ditentukan dalam pelaksanaan eksploitasi ada tiga tingkatan, yaitu:

1. Kehilangan air ditingkat primer
2. Kehilangan air ditingkat sekunder
3. Kehilangan air ditingkat tersier

Faktor-faktor yang mempengaruhi kehilangan air adalah :

1. Panjang saluran, semakin panjang saluran kemungkinan kehilangan air semakin besar
2. Keliling basah saluran, makin besar keliling basah saluran makin besar pula kehilangan airnya
3. Lapisan saluran, saluran yang tidak di-lining kehilangan airnya lebih besar
4. Luas permukaan air pada saluran, semakin luas permukaan air pada saluran maka semakin banyak air yang menguap

Kehilangan air akibat fisik, relatif lebih mudah untuk diperkirakan dan dikendalikan secara teliti. Sedangkan kehilangan akibat operasional lebih sulit diperkirakan dan dikendalikan karena tergantung pada faktor yang sulit diketahui sejak awal seperti datangnya hujan, sikap tanggap petugas operasi dan tingkat keterlibatannya.

Pengoperasian pengaliran air melalui suatu jaringan irigasi dibagi atas 3 (tiga) macam operasi; yaitu di jaringan utama, di jaringan tersier, dan di tingkat usaha tani. Efisiensi dari penggunaan air selain pada masing-masing operasi tersebut, juga efisiensi gabungan antara jaringan tersier ditingkat usaha tani/lahan dan efisiensi daerah irigasi / seluruh jaringan.

Efisiensi berkisar antara 35% pada musim hujan sampai 60% pada musim kemarau, penyebab rendahnya efisiensi pada musim hujan karena ketidakmampuan memberikan air secara pasti sesuai yang dibutuhkan, akibat pertimbangan curah hujan efektif.

Besarnya efisiensi irigasi di daerah studi adalah :

- | | |
|----------------------|--------|
| 1. Jaringan Tersier | = 80 % |
| 2. Jaringan Sekunder | = 90 % |
| 3. Jaringan Primer | = 90 % |

2.3. Pola Tata Tanam dan Jadwal Tanam

2.3.1 Pola Tanam

Pola tanam ialah susunan rencana penanaman berbagai jenis tanaman selama satu tahun yang umumnya di Indonesia dikelompokkan dalam 3 (tiga) jenis tanaman yaitu Padi, Tebu, dan Palawija. Umumnya pola tanam mengikuti debit andalan yang tersedia untuk mendapatkan luas tanam yang seluas-luasnya. Perencanaan dan persiapan pola tanam serta jadwal tanam suatu jaringan irigasi bervariasi sesuai dengan kebiasaan petani terhadap jenis tanaman yang akan dibudidayakan dan jadwal tanamnya. Dalam penerapan pola tanam dan jadwal tanam, kadang-kadang petani mempertimbangkan banyak faktor lain seperti keterbatasan modal, buruh, cuaca, hama, ketersediaan benih dan pangsa pasar (Anonim,1997:IV-12).

Dalam pengembangan pola dan jadwal tanam pada suatu daerah irigasi dengan skala besar yang mencakup beberapa kabupaten, perlu dipertimbangkan antara lain bulan

terjadinya banjir, hama, ketersediaan benih, ketersediaan tenaga kerja dan jadwal pengeringan saluran untuk pemeliharaan

Perencanaan terpadu yang mencakup jadwal tanam umum dan jadwal pemberian air irigasi untuk beberapa Kabupaten disiapkan oleh instansi Pengairan dan instansi Pertanian sebelum masa tanam dimulai.

Tata tanam merupakan upaya pengaturan air, yang disesuaikan dengan kebutuhan tanaman menurut jenis dan luas tanaman pada suatu lahan sawah atau daerah irigasi. Dalam menyusun Rencana Tata Tanam suatu Daerah Irigasi perlu diperhatikan kondisi setempat, untuk hal-hal sebagai berikut(Anonim,2000:II-1):

1. Keinginan dan kebiasaan petani
2. Kebijakan Pemerintah
3. Kesesuaian lahan terhadap jenis tanaman
4. Ketersediaan air
5. Iklim dan hama
6. Ketersediaan tenaga kerja
7. Hasil dan biaya usaha tani

2.3.2 Jadwal Tanam

Sekurang-kurangnya 3 bulan sebelum masa tanam dimulai, instansi Pengairan meminta / mengumpulkan laporan dari Daerah Irigasi dan instansi terkait dari berbagai Kabupaten sebagai dasar perencanaan kebutuhan air tiba masa tanam, yang terdiri dari laporan (Anonim,1997:IV-12):

- a. Jenis tanaman yang akan ditanami,
- b. Luas areal yang diusulkan.

Berdasarkan laporan tersebut diatas, data ketersediaan debit, perkiraan curah hujan efektif dan sumber air lainnya ditambah pemanfaatan air buangan, maka instansi Pengairan akan menyiapkan rencana “alokasi air sementara” untuk setiap Daerah Irigasi(Anonim,1997:IV-14).

Rencana “alokasi air sementara” disampaikan kepada instansi Pengairan untuk diperiksa, disesuaikan dan ditanggapi sebelum Panitia irigasi mengadakan rapat untuk penetapan rencana pemberian air yang final (Anonim,1997:IV-14).

2.4. Analisis Curah Hujan

Curah hujan yang diperlukan untuk suatu pemanfaatan air yang salah satunya seperti alokasi air irigasi adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah yang bersangkutan, curah

hujan ini disebut curah hujan wilayah atau daerah. Curah hujan wilayah atau daerah harus diperkirakan dari beberapa titik pengamatan curah hujan (Sosrodarsono, 1976:27).

Dalam perhitungan curah hujan suatu daerah beberapa metode yang dapat digunakan antara lain :

1. Metode rerata aljabar.
2. Metode Thiessen.
3. Metode Isohiet.

Pada umumnya untuk menghitung curah hujan daerah dapat digunakan standar luas daerah sebagai berikut (Sosrodarsono, 1976:51) :

1. Daerah dengan luas 250 ha yang mempunyai variasi topografi yang kecil, dapat diwakili oleh sebuah alat ukur curah hujan.
2. Daerah dengan luas 250 sampai 50.000 ha dengan dua titik pengamatan hujan dapat digunakan cara rerata aljabar.
3. Daerah dengan luas 120.000 ha sampai 500.000 ha yang mempunyai titik pengamatan yang tersebar cukup merata dan dimana data curah hujannya tidak terlalu dipengaruhi kondisi topografi, dapat dilakukan dengan rerata aljabar. Jika titik-titik pengamatan tidak tersebar merata maka digunakan cara Thiessen.
4. Daerah dengan luas lebih dari 500.000 ha dapat digunakan dengan cara isohiet.

Dalam studi ini perhitungan curah hujan daerah menggunakan cara rata-rata aljabar karena luas Daerah Irigasi Kalilangan 457 ha. Untuk menghitung curah hujan daerah rerata aljabar digunakan persamaan (Sosrodarsono, 1976:27) :

$$R = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Ri \quad (2.9)$$

Dengan:

- R = *areal rainfall* / curah hujan daerah (mm)
 Ri = *point rainfall* / besarnya curah hujan pada stasiun ke i (mm)
 n = jumlah stasiun pengamat

2.4.1. Curah Hujan Efektif

Curah hujan efektif adalah curah hujan yang jatuh pada suatu daerah dan dapat dipergunakan oleh tanaman untuk pertumbuhannya. Apabila curah hujan yang jatuh intensitasnya rendah, maka air akan habis menguap dan tidak bisa dipergunakan untuk pertumbuhan tanaman. Jadi curah hujan efektif ini merupakan sebagian dari curah hujan yang jatuh pada suatu daerah pada kurun waktu tertentu.

Berdasarkan pengertian diatas maka perlu dibedakan curah hujan efektif dan curah hujan nyata sebagai berikut:

1. Curah hujan efektif adalah sejumlah curah hujan yang jatuh pada suatu daerah dan dapat digunakan oleh tanaman untuk pertumbuhannya.
2. Curah hujan nyata adalah curah sejumlah hujan yang jatuh pada suatu daerah pada kurun waktu tertentu.

Dasar perhitungan kebutuhan tanaman, perkolasi dan lain-lain berdasarkan curah hujan efektif, sedangkan jumlah hujan yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman tergantung dari jenis tanaman tersebut dan jenis tanah.

Beberapa proyek irigasi di Indonesia menentukan curah hujan efektif untuk perencanaan kebutuhan air irigasi dengan menggunakan persamaan kemungkinan ulangan terjadinya curah hujan tertentu dan berdasarkan curah hujan harian dari tahun perencanaan dan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Wirosoedarmo, 1985: 47):

$$R_{80} = \frac{n}{5} + 1 \quad (2.10)$$

Dengan:

- R_{80} = Curah hujan dengan kemungkinan terjadi 80%
 R = Curah hujan bulanan
 n = Jumlah data curah bulanan

Langkah-langkah perhitungannya adalah sebagai berikut:

1. Curah hujan tahunan selama n tahun diurutkan dari kecil ke besar
2. Dengan persamaan (2.11) didapatkan urutan curah hujan yang diambil sebagai curah hujan efektif
3. R_{80} yang didapat merupakan tahun dasar perencanaan

- **Curah hujan efektif tanaman padi**

Besarnya curah hujan efektif untuk tanaman padi sawah ditentukan dengan berdasarkan 70 % dari hujan andalan 80 % dengan peluang kegagalan sebesar 20%. Sedangkan besarnya R_{80} diperoleh dengan menggunakan Metode Basic Year. Curah hujan efektif diperoleh dari $70\% \times R_{80}$ per periode pengamatan sehingga persamaannya adalah sebagai berikut:

$$R_{e \text{ padi}} = 0,7 (R_{80}) \quad (2.11)$$

Dengan:

- $R_{e \text{ padi}}$ = curah hujan efektif untuk padi sawah (mm/hari)
 R_5 = curah hujan rancangan probabilitas 80% (mm)

- **Curah hujan efektif untuk tanaman palawija**

Curah hujan efektif untuk tanaman palawija ditentukan berdasarkan evapotranspirasi yang terjadi, curah hujan bulanan rerata dari daerah yang bersangkutan dan ketersediaan air tanah yang siap dipakai (pendekatan kedalaman perakaran) dengan persamaan sebagai berikut : (Anonim, 1986:175)

$$Re_{plw} = FD (1,25 \cdot \overline{R} - 2,93) (10^{0,824 \cdot 0,0095 \cdot ETO}) \quad (2.12)$$

$$FD = 0,53 + 0,0116 \cdot D - 8,94 \cdot 10^{-5} \cdot D^2 + 2,32 \cdot 10^{-7} \cdot D^3 \quad (2.13)$$

dengan :

Re_{plw} = curah hujan efektif untuk palawija (mm/hari)

FD = faktor kedalaman air tanah yang bisa dimanfaatkan oleh tanaman palawija (mm)

D = kedalaman perakaran tanaman yang siap pakai (mm)

dengan,

D = untuk kedelai = 75 mm
 untuk jagung = 80 mm
 untuk kacang tanah = 55 mm
 untuk bawang = 35 mm

2.5. Debit Andalan

Debit andalan adalah banyaknya air yang tersedia sepanjang tahun dengan resiko kegagalan yang telah diperhitungkan. Probabilitas keandalan yang digunakan sebesar 80%, hal ini berarti akan dihadapi resiko adanya debit-debit lebih kecil dari debit andalan sebesar 20% dari banyaknya pengamatan (KP-01, 1986:79).

Besarnya debit andalan yang diambil untuk penyelesaian optimum penggunaan air adalah :

Tabel 2.3. Besarnya debit andalan untuk penyelesaian optimum.

Kebutuhan	Peluang andalan (%)
Air minum	99
Air industri	95 – 98
Air irigasi :	



- daerah beriklim setengah lembab	75 – 85
- daerah beriklim kering	80 – 95
PLTA	85 -90

Sumber : Sumarto, 1986:214

Analisa debit andalan dapat dilakukan dengan berbagai metode antara lain distribusi gumbel, log normal, log person, dan lain-lain. Dalam studi ini dipilih cara distribusi Log Person III dengan pertimbangan lebih fleksibel dan dapat dipakai oleh semua sebaran data (Suripin, 2003:41).

Tahapan untuk menghitung debit andalan dengan metode distribusi Log Person III adalah sebagai berikut (Sumarto, 1986:243) :

1. Data debit bulanan diubah menjadi logaritma (Log Q)
2. Menghitung harga logaritma rata-rata dengan rumus sebagai berikut :

$$LogQ = \frac{\sum_{i=1}^n LogQ}{n} \tag{2.14}$$

3. Menghitung harga simpangan baku dengan rumus sebagai berikut :

$$Si = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (LogQi - LogQ)^2}{n - 1}} \tag{2.15}$$

4. Menghitung harga koefisien kemiringan dengan rumus sebagai berikut :

$$Cs = \frac{n \sum_{j=1}^n (LogQi - LogQ)^2}{(n - 1) \cdot (n - 2) \cdot Si^2} \tag{2.16}$$

5. Menghitung logaritma debit andalan dengan rumus sebagai berikut :

$$LogQ_T = LogQ + G \cdot Si \tag{2.17}$$

6. Menghitung antilog dari Q_T untuk mendapatkan debit andalan maksimum.

2.5.1. Uji Smirnov-Kolmogorov

Pengujian ini dilakukan dengan menggambarkan probabilitas untuk tiap data, yaitu distribusi empiris dan distribusi teoritis yang disebut Δ_{max} dalam bentuk persamaan (Sri Harto, 1983:180) :

$$\Delta_{max} = |Sn(x) - P(x)| \tag{2.18}$$

Dimana :

Δ_{max} = Selisih antara peluang teoritis dengan peluang empiris

Δ_{cr} = Simpangan kritis dari tabel

$S_n(x)$ = Peluang empiris

$P(x)$ = Peluang teoritis

Kemudian dibandingkan antara Δ_{max} dengan Δ_{cr} , bila $\Delta_{max} < \Delta_{cr}$ maka pemilihan distribusi frekuensi tersebut dapat diterapkan pada data tersebut.

2.5.2. Uji Chi-Square

Uji ini digunakan untuk menguji simpangan secara vertical yang ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$X^2 = \frac{\sum(O_j - E_j)^2}{E_j} \quad (2.19)$$

Dimana :

X^2 = Harga Chi-Square

E_j = Frekuensi teoritis j

O_j = Frekuensi pengamatan kelas j

Jumlah kelas dihitung dengan rumus sebagai berikut (Dayan,1986:12) :

$$k = 1 + 3,222 \log n \quad (2.20)$$

$$v(DK) = k - 1 \quad (2.21)$$

Dimana :

k = Jumlah kelas diterima

n = Banyaknya data

v(DK) = Derajat kebebasan

Agar distribusi frekuensi yang dipilih dapat diterima, maka nilai $X^2 < X^2_{cr}$ (dimana X^2_{cr} didapat dari table).

2.6. Biaya Produksi dan Manfaat Bersih (*Net Benefit*) dari Pamakaian Air Irigasi

Biaya produksi adalah semua pengeluaran yang dikeluarkan untuk memperoleh hasil dari aktifitas nilai produksi. Besarnya biaya produksi pertanian tergantung dari faktor- faktor produksi yang digunakan. Faktor-faktor yang mempengaruhi biaya produksi adalah :

- Bibit
- Pupuk
- Obat-obatan dan insektisida
- Tenaga kerja manusia dan hewan

Sedangkan manfaat bersih (*Net Benefit*) dari air irigasi adalah besarnya keuntungan yang diperoleh dari penjualan hasil pertanian dikurangi dengan biaya yang diperlukan selama masa tanam.

2.7. Keuntungan Debit

Debit air irigasi yang tersedia pada jaringan irigasi merupakan air yang mengalir pada pintu penagmbilan atau intake untuk didistribusikan ke petak sekunder. Keuntungan debit merupakan keuntungan bersih dari debit yang dialirkan pada tiap petak sekunder yang dinyatakan sebagai keuntungan fungsi debit.

2.8. Model Optimasi

Yang dimaksud dengan model optimasi adalah penyusunan suatu model yang sesuai dengan kenyataan yang nantinya diubah ke dalam model matematik dengan pemisahan elemen pokok supaya suatu penyelesaian yang sesuai dengan sasaran pengambilan keputusan dapat tercapai.

Penyelesaian suatu model optimasi umumnya mempunyai banyak alternatif. Setiap penyelesaian harus bersifat layak (*feasible*) yang artinya masih berada dalam batas-batas kendala (*constraint*). Diantara penyelesaian-penyelesaian yang layak tersebut maka dipilih yang optimal (Soetopo, 1995:11).

Secara mendasar, model optimasi dibentuk dengan menggabungkan suatu model kelakuan sistem kuantitatif yang bias merupakan model simulasi dengan suatu model sistem objektif kuantitatif. Komponen model kelakuan sistem dikenal dengan fungsi kendala dari model optimasi, sedangkan model sistem objektif dibentuk menjadi fungsi objektif (fungsi sasaran) untuk optimasi yang bersangkutan.

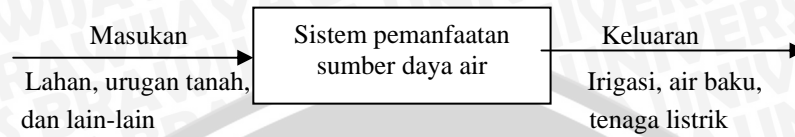
2.9. Dasar Optimasi

Dalam optimasi terdapat suatu proses untuk memilih atau mencari nilai-nilai variable agar mendapatkan nilai optimal dari fungsi tujuan serta memenuhi kendala-kendala yang ada. Model matematik mengasumsikan seluruh variabel, parameter-parameter dan kendala sistem ke bentuk sasaran yang dapat diukur atau dikuantitaskan.

Proses pemanfaatan sumber daya air akan mempunyai arti mengubah macam-macam material baku sebagai masukan menjadi sesuatu yang lebih bermanfaat sebagai keluaran untuk mencapai suatu keputusan (*decision*) yang optimal. Keluaran yang diharapkan dari suatu proses pemanfaatan sumber daya air adalah air irigasi, pengurangan akibat bahaya

banjir, tenaga listrik dan lain-lain beberapa masukan seperti lahan, urugan tanah, aliran air sungai dan lain-lain.

Proses pemanfaatan sumber daya air dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.1. Sistem pemanfaatan sumber daya air

Apabila masukan dapat dinyatakan sebagai variabel ‘X’ maka keseluruhan masukan berupa jumlah dari masing-masing variable dapat ditulis sebagai berikut :

$$X = X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_m$$

dengan :

X = Jumlah masukan

X₁, X₂,X_m = Masukan-masukan individu

Apabila keluaran dapat dinyatakan sebagai variable ‘Y’ maka keseluruhan keluaran berupa jumlah dari masing-masing variabel dapat ditulis :

$$Y = Y_1 + Y_2 + Y_3 + \dots + Y_n$$

dengan :

Y = Jumlah masukan

Y₁, Y₂,Y_n = Masukan-masukan individu

Komposisi dari masukan dan keluaran dapat dinyatakan sebagai fungsi kehendak (*objective fungstion*) yaitu sebagai berikut :

$$U = (B_i \times Y_i) - (C_i \times X_i)$$

dengan :

U = Besaran kehendak

B_i = Harga satuan keluaran

C_i = Harga satuan masukan

X_i = Masukan

Y_i = Keluaran

Proses masukan berarti memaksimalkan atau meminimalkan fungsi kehendak seperti tersebut di atas yaitu memperhatikan kendala-kendala yang merupakan fungsi dari masukan

atau keluaran. Perlu diperhatikan pula bahwa variabel itu tidak pernah negatif atau paling kecil sama dengan nol sehingga dapat dinyatakan :

$$\text{Kendala} = F[X_i, Y_i]$$

$$X_i, Y_i > 0$$

Dalam melakukan proses optimasi diperlukan suatu metode yang disebut optimasi. Pada studi ini dipakai program dinamik. Hal ini disebabkan metode dinamik dapat memecahkan permasalahan non linier.

2.10. Program Dinamik

Dalam masalah optimasi, dicoba untuk melakukan maksimasi atau minimasi dari suatu fungsi numeric dengan sejumlah peubah atau fungsi yang membatasi. Banyak sekali alternatif yang mungkin dapat digunakan dalam masalah optimasi pemenuhan kebutuhan air irigasi. Dimana setiap alternatif mempunyai kekurangan dan kelebihan sesuai dengan karakteristik dan fungsi utamanya.

Dalam studi ini metode yang dipilih adalah program dinamik karena program ini mampu menganalisa masalah-masalah yang bertahap baik menurut waktu maupun tempatnya. Hal ini sangat sesuai dengan sistem jaringan irigasi dimana terdapat bangunan bagi yang berurutan dan saling tergantung antara satu tempat bangunan bagi dengan bangunan bagi lainnya sepanjang saluran pada jaringan irigasi. Program dinamik (*Dinamic Programming*) diperkenalkan oleh Richard Bellman pada tahun 1957.

Program dinamik merupakan suatu metode yang biasa digunakan untuk membuat keputusan dari serangkaian keputusan yang saling berkaitan (Dimiyati, 1982:279). Program dinamik memberikan prosedur yang sistematis untuk penentuan kombinasi pengambilan keputusan yang memaksimalkan keseluruhan efektivitas. Dalam program dinamik tidak ada rumusan matematis yang standar, karena lebih merupakan suatu tipe pendekatan umum untuk memecahkan masalah. Persamaan-persamaan khusus yang digunakan harus dikembangkan sesuai dengan setiap situasi dan bentuk permasalahannya.

Optimasi penggunaan air irigasi dalam studi ini dimaksudkan sebagai pengaturan debit air serta luas lahan maksimal yang dapat terairi di beberapa daerah dengan memperhatikan beberapa kendala, sehingga didapatkan manfaat sebesar-besarnya. Manfaat optimasi yaitu berupa hasil produksi pertanian yang dihasilkan dengan adanya air irigasi tersebut.

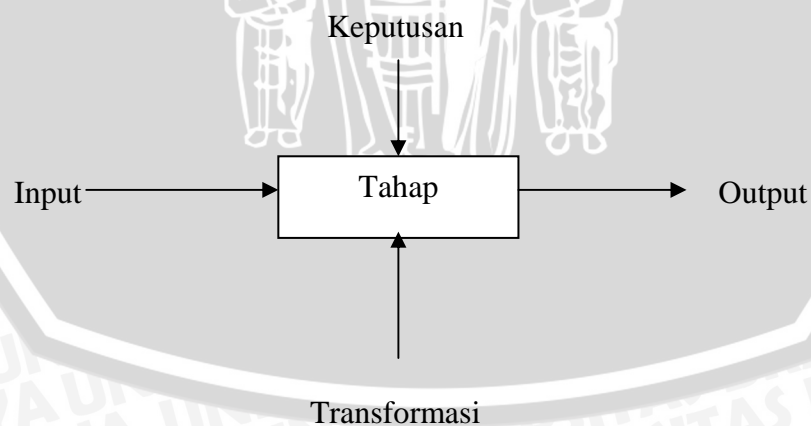
2.10.1. Teknik Dasar Perhitungan Program Dinamik

Teknik perhitungan program dinamik terutama didasarkan pada prinsip optimasi rekursif atau bersifat pengulangan yang diketahui sebagai prinsip optimalisasi (*principle optimally*). Prinsip ini mengandung arti bahwa bila dibuat keputusan yang terdiri dari banyak tahap mulai pada tahap tertentu, kebijakan optimal untuk tahap-tahap selanjutnya tergantung pada ketetapan tahap permulaan tanpa menghiraukan bagaimana diperoleh suatu ketetapan tertentu tersebut.

Persamaan rekursif dapat digunakan baik untuk perhitungan ke depan maupun ke belakang dalam pemecahan masalah-masalah yang multi tahap. Bila keputusan dibuat dari tahap awal bergerak ke depan sampai tahap terakhir, prosedur perhitungannya disebut metode *forward recursif*. Prosedur kebalikannya disebut *backward recursif*. Kedua metode ini mengarahkan ke penyelesaian optimal yang sama dari suatu masalah programasi dinamis. Setiap penyelesaian dari submasalah digunakan sebagai masukan (input) untuk penyelesaian submasalah berikutnya, baik itu bergerak ke depan maupun ke belakang. Jadi, prosedur perhitungannya meliputi dua aspek yaitu submasalah sekarang yang sedang dalam perhitungan dan hasil perhitungan submasalah yang persis sebelumnya.

2.10.2. Pernyataan Matematis Program Dinamik

Program dinamik tidak mempunyai rumusan matematik yang standar, akan tetapi dapat dijelaskan dalam bentuk rumusan matematik secara umum. Pada gambar 2.2. disajikan suatu bentuk keputusan yang dibuat sebagai sebuah tahap dan input parameter sebagai ketetapan.

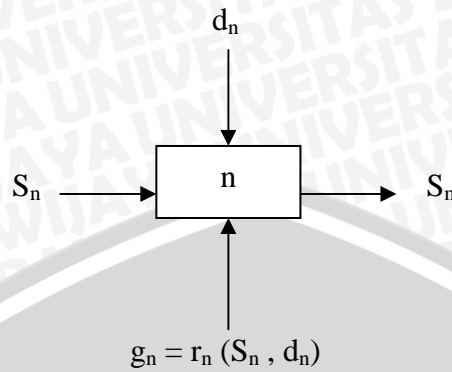


Gambar 2.2. Proses optimasi satu tahap

Setiap keputusan yang dibuat dalam setiap tahap mempunyai harga relatif. Untuk sejumlah tahap keputusan yang dihubungkan melalui beberapa fungsi transisi mempunyai bentuk umum sebagai berikut :

$$S_n = S_n \circ d_n$$

Secara fungsional untuk setiap tahap deapat disajikan sebagai berikut pada Gambar 2.3 :



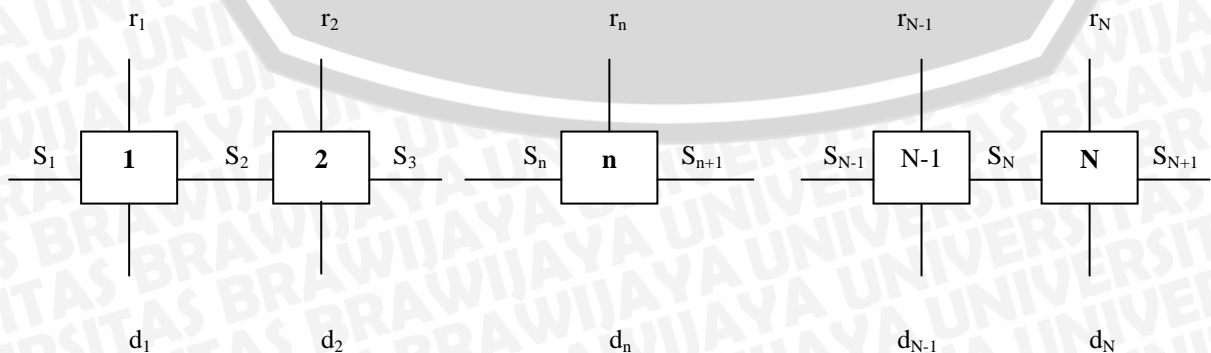
Gambar 2.3. Sistem n tahap

dengan :

- S_n = Output ketetapan
- S_n = Input
- n = Tahap (1,2,3,.....n)
- d_n = Keputusan
- g_n = Fungsi pengembalian

Dalam rumusan umum tersebut terdapat simbol o yang menunjukkan beberapa operasi yang tergantung dari konteks masalah yang dihadapi. Sebagai contoh simbol o dapat berarti penjumlahan, pengurangan, pembagian, perkalian dan lain-lain. Bagian-bagian S_n , d_n , S_n harus homogen yang dapat berupa nilai investasi, keuntungan, jumlah barang, debit dari suatu proyek.

Untuk n tahap dimana keputusan harus dibuat, fungsi transaksi atau fungsi-fungsi lainnya akan saling berhubungan. Pada gambar 2.4. disajikan suatu sistem n tahap dimana fungsi transisi atau fungsi-fungsi lainnya saling berkaitan.



Gambar 2.4. Elemen-elemen daripada model programasi dinamik

Keterangan :

a. Tahap atau *Stage* (n)

Merupakan bagian dari problem (kendala) yang mana keputusan (*decision*) diambil. Jika suatu problem dapat dipecah-pecah menjadi n sub-problem, maka ada n tahap dalam formulasi program dinamik tersebut. Dalam studi ini tahap atau *stage* yang dimaksud adalah petak yang akan diairi.

b. Variabel Keputusan atau *Decision Variable* (d_n)

Merupakan keputusan (*decision*) yang diambil pada setiap tahap. Variabel keputusan atau *decision variable* pada studi ini adalah besarnya debit guna optimum yang dialokasikan pada tiap petak sekunder.

c. *State Variable* (S_n)

Merupakan variabel yang mewakili atau menjelaskan satu dari sistem yang berhubungan dengan tahap ke- n . Fungsi dari *state variable* adalah menghubungkan tahap-tahap satu sama lain. *State variable* ini merupakan keluaran dari satu tahap yang menjadi masukan bagi tahap berikutnya. *State variable* dalam studi ini adalah debit andalan maksimum dalam satu musim tanam untuk debit *inflow* dan *outflow* pada penerapan program dinamik.

d. *Stage Return* (r_n)

Merupakan ukuran skalar dari hasil keputusan yang diambil pada setiap lahan yang merupakan fungsi dari S_n , S_{n+1} , dan d_n :

$$r_n = r(S_n, S_{n+1}, d_n)$$

Stage return dalam studi ini adalah keuntungan fungsi debit selama satu tahun tanam.

e. *Stage Transformation* atau *State transition* (t_n)

Merupakan fungsi dalam program dinamik yang menghubungkan satu tahap dengan tahap yang lain, sehingga merupakan output dari tahap sebelumnya yang menjadi input bagi tahap selanjutnya:

$$S_{n+1} = t_n(S_n, d_n)$$

Stage transformation dalam studi ini adalah penurunan air tersedia sampai air terdistribusikan pada tiap petak sekunder di Daerah Irigasi Kalilanang.

2.10.3. Karakteristik Dasar Program Dinamik

Karakteristik dasar yang menjadi ciri persoalan dari program dinamik adalah sebagai berikut :

1. Persoalan dapat dibagi menjadi beberapa tahap, dimana masing-masing tahap diperlukan adanya suatu keputusan.

2. Masing-masing tahap terdiri atas sejumlah keputusan yang berhubungan dengan tahap yang bersangkutan.
3. Hasil keputusan yang diambil pada setiap tahap ditransformasikan ke tahap berikutnya.
4. Keputusan terbaik pada suatu tahap tidak tergantung terhadap keputusan yang dilakukan pada tahap sebelumnya.
5. Prosedur pemecahan persoalan dimulai dengan mendapatkan keputusan terbaik dari tahap terakhir (Dimiyati, 1987;225).
6. Penyelesaian program dinamik dimulai dari tahap awal dan bergerak ke tahap akhir (*forward recursive*) atau sebaliknya dimulai dari tahap akhir bergerak ke tahap awal (*backward recursive*).

Pada *forward recursive*, untuk setiap tahap dapat ditentukan kebijakan optimal berdasarkan kebijakan optimal dari tahap sebelumnya dan fungsi tujuan. Persamaan *forward recursive* dapat ditulis sebagai berikut :

$$f_n^*(S_n) = \underset{d_n}{\text{opt}}[r_n(S_n, d_n) \circ f_{n+1}^*(S_{n+1})] \quad (2.22)$$

dimana \circ menyatakan suatu operasi aljabar yang bisa berupa penambahan, pengurangan, perkalian ataupun lainnya yang sesuai dengan yang dimaksud dalam problem tersebut.

Untuk prosedur *backward recursive* persamaannya adalah sebagai berikut :

$$f_n^*(S_n) = \underset{d_n}{\text{opt}}[r_n(S_n, d_n) \circ f_{n-1}^*(S_{n-1})] \quad (2.23)$$

Dengan melihat beberapa karakteristik di atas, maka dapat dikatakan dasar program dinamik adalah membagi persoalan menjadi beberapa bagian lebih kecil yang disebut tahap. Kemudian tiap tahap dipecahkan dengan mengoptimalkan keputusan atas tiap tahap sampai seluruh persoalan telah dipecahkan. Keputusan optimal atas seluruh persoalan merupakan kumpulan dari sejumlah keputusan optimal seluruh tahap dan disebut kebijakan optimal.

2.11. Program Dinamik Model Alokasi

Model program dinamik ini adalah mengalokasikan suatu jumlah S sumber daya (*resources*) ke N sasaran (*target*). Setiap sasaran N_i mendapatkan alokasi sumber daya terbanyak D_i . Setiap alokasi D_i akan mengakibatkan suatu return R_i . Tujuan (*objective*) adalah mengoptimalkan return keseluruhan R .

Dalam model program dinamik alokasi ini dibagi menjadi N tahap (*stage*). Pada tiap tahap, dialokasikan sumber daya sebanyak D_i kepada sasaran. *Variable-variable stage* adalah keadaan banyaknya sumber daya S baik sebelum maupun sesudah suatu tahap. Jadi *variabel stage input* (S_i) adalah keadaan banyaknya sumber daya S sesudah tahap ke i .

Variabel keputusan (*decision variable*) adalah alokasi D_i ke N . Jadi dapat disimpulkan bahwa *stage information* adalah :

$$S_{i+1} = S_i - D_i$$

Kendala sumber daya S dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$S = \sum_{i=1}^n D_i$$

Perhitungan optimasi dengan program dinamik didasarkan pada prinsip pengulangan dari berbagai tahap yang ada. Optimasi penggunaan air irigasi dimaksudkan sebagai pengaturan debit air di beberapa petak sekunder dengan memperhatikan beberapa kendala, sehingga didapatkan manfaat yang sebesar-besarnya. Manfaat optimasi yaitu berupa hasil produksi pertanian yang dihasilkan dengan adanya air irigasi tersebut. Pengaturan debit air dimaksudkan sebagai pembagian debit air yang tersedia untuk dibagikan kepada masing-masing petak sekunder sesuai debit kebutuhannya.





BAB III METODOLOGI

3.1. Umum

Dalam menganalisa suatu permasalahan diperlukan adanya berbagai data. Data-data yang diperlukan dapat digolongkan menjadi data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang diperoleh dari hasil pengukuran atau pengamatan langsung, sedangkan data sekunder adalah data sekunder adalah data yang diperoleh dari mengutip berbagai sumber yang dapat dipertanggungjawabkan kebenarannya.

3.2. Daerah Studi

Daerah studi yang akan dikaji adalah Daerah Irigasi Kalilanang. Jaringan irigasi Kalilanang dikelola oleh dua wilayah yaitu wilayah Kota Batu yang terletak di Desa Bumiaji Kecamatan Bumiaji dan wilayah Kabupaten Malang yang terletak di Desa Donowareh Kecamatan Karangploso.

Kecamatan Bumiaji berada pada koordinat $7^{\circ}89'51''$ Lintang Selatan dan $112^{\circ}57'26''$ Bujur Timur, sedangkan Kecamatan Karangploso terletak pada $7^{\circ}57'$ Lintang Selatan dan $112^{\circ}37'$ Bujur Timur.

Daerah Irigasi Kalilanang mendapat suplai air irigasi dari Bendung Kalilanang yang terletak di Desa Bumiaji. Jaringan Irigasi Kalilanang memiliki luas baku sawah 457 Ha yang terbagi dalam dua Wilayah Pengairan.

3.3. Data-data yang Dikumpulkan

1. Data curah hujan

Data curah hujan yang dipakai adalah data curah hujan sekunder selama 10 tahun terakhir yang dimulai dari tahun 1995 sampai tahun 2004. Data curah hujan yang digunakan adalah data curah hujan yang diperoleh dari stasiun Tlekung, stasiun Ngaglik, stasiun Pendem, stasiun Temas.

2. Data debit sungai

Dalam proses analisa data debit merupakan data yang sangat penting untuk menghitung debit andalan dan volume air yang tersedia di Daerah Irigasi Kalilanang. Data debit yang dipakai adalah data debit bendung Kalilanang selama 10 tahun terakhir mulai tahun 1995 sampai tahun 2004.

3. Data Klimatologi

Data klimatologi yang digunakan adalah data klimatologi selama 10 tahun terakhir, yang terdiri dari data suhu rata-rata bulanan, data kecepatan angin rerata bulanan, data radiasi sinar matahari. Data klimatologi diperlukan untuk menghitung besarnya evapotranspirasi yang terjadi pada suatu daerah tertentu. Data klimatologi ini merupakan data yang sangat diperlukan dalam pengembangan dan pengaturan sumber-sumber air seperti untuk keperluan penyediaan air irigasi. Data ini diperoleh dari stasiun Klimatologi Karang ploso.

4. Data Rencana Tata Tanam Global (RTTG)

Data RTTG yang digunakan adalah RTTG tahun 2004/2005. RTTG akan memberikan gambaran yang jelas antara lain mengenai luas areal lokasi studi, pola tanam, jadwal tanam. .

5. Peta pendukung

- Peta Skema eksploitasi dan Peta Lokasi Stasiun Curah Hujan
- Peta Jenis Tanah
- Peta Rupa Bumi

3.4. Tahapan Penyelesaian Studi

Beberapa tahap untuk penyelesaian studi ini adalah sebagai berikut :

1. Menghitung kebutuhan air irigasi untuk masing-masing blok yang akan dikaji.
2. Menghitung besarnya volume air yang dibutuhkan untuk masing-masing petak yang akan dikaji.
3. Menghitung besar volume air yang tersedia dari debit andalan yang dialirkan secara terus-menerus.
4. Dari volume yang dibutuhkan pada poin (2) dan volume yang tersedia pada poin (3), dapat dihitung luas lahan yang terairi oleh debit yang ada pada tiap periode tanam pada masing-masing petak.
5. Menentukan keuntungan fungsi debit yang merupakan keuntungan bersih dari debit yang dialirkan pada tiap petak tersier.
6. Melakukan optimasi.
7. Membandingkan hasil produksi pertanian sebelum dan sesudah dilakukan optimasi dengan program dinamik.

3.4.1. Tahapan Perhitungan Program Dinamik

Proses optimasi dilakukan dengan batasan jika debit yang dialirkan untuk tiap petak berlebih, maka untuk penjatahan debit selanjutnya akan menghasilkan keuntungan yang sama dengan luas lahan maksimal.

Prosedur penyelesaian untuk permasalahan optimasi alokasi air dengan program dinamik pada Daerah Irigasi Kalilantang dilakukan sebagai berikut :

1. Menentukan beberapa jenis kegiatan sebagai tahap yaitu penjatahan debit untuk masing-masing petak.
2. Membuat tabel yang memuat unsur-unsur :
 - a. Debit awal (tersedia) untuk dialokasikan.
 - b. Debit akhir (setelah debit tersedia dialokasikan).
 - c. Besar debit yang dialokasikan untuk tahap tersebut (yaitu debit awal sampai dengan debit akhir).
 - d. Keuntungan dari besarnya debit yang dialokasikan untuk tahap petak sekunder tersebut.
 - e. Didapatkan keuntungan maksimum dari masing-masing tahap petak.
 - f. Didapatkan juga variabel keputusan yaitu debit guna maksimum yang dialirkan pada tiap petak.
3. Hasil dari tahap pertama ditransformasikan ke tahap berikutnya, demikian sampai akhir.
4. Keuntungan maksimum pada tahap terakhir merupakan kebijakan total secara keseluruhan.

3.5. Bagan Alir Pengerjaan Studi

Untuk memudahkan pengerjaan studi ini, diperlukan adanya suatu gambaran yang sistematis dan menyeluruh yaitu bagan alir yang disajikan pada gambar 3.1. dan tahapan perhitungan program dinamik pada gambar 3.2.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB IV ANALISA PENGOLAHAN DATA

4.1. Kebutuhan Air Irigasi

Air irigasi adalah sejumlah air yang diambil dari sungai atau waduk yang dialirkan melalui sistem jaringan irigasi, guna menjaga keseimbangan jumlah air di lahan pertanian. Jumlah kebutuhan air untuk memenuhi air irigasi dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

1. Menghitung evapotranspirasi potensial dengan menggunakan rumus Penman.
2. Menghitung penggunaan air konsumtif tanaman atau air tanaman.
3. Memperkirakan laju perkolasi lahan yang dipakai.
4. Memperkirakan kebutuhan air untuk pengolahan lahan.
5. Menganalisa curah hujan efektif.
6. Menghitung kebutuhan air di sawah.
7. Menentukan efisiensi irigasi.
8. Menghitung kebutuhan air irigasi.

4.1.1. Menghitung Evapotranspirasi Potensial

Evapotranspirasi potensial adalah air yang menguap melalui permukaan tanah dimana besarnya adalah sejumlah air yang akan digunakan tanaman untuk perkembangannya. Perhitungan evapotranspirasi Daerah Irigasi Kalilanang yang termasuk Stasiun Klimatologi Karangploso dengan nomor stasiun 52 C mempunyai ketinggian 505 meter di atas permukaan air laut dengan koordinat $7^{\circ} 57'$ Lintang Selatan dan $112^{\circ} 37'$ Bujur Timur.

Data Klimatologi yang digunakan dalam perhitungan evapotranspirasi Daerah Irigasi Kalilanang merupakan rerata dari data masing-masing periode 11 tahunan yaitu mulai tahun 1994 sampai dengan tahun 2004. Data klimatologi yang digunakan untuk keperluan perhitungan evapotranspirasi tanaman menggunakan metode Penman yang disajikan pada Tabel 4.1.

Contoh perhitungan evapotranspirasi potensial berdasarkan metode Penman (Bulan Januari) :

Data yang tersedia adalah sebagai berikut :

- Suhu (T) = $22,9^{\circ}$
- Kelembaban Relatif (RH) = 76,28%
- Lama Penyinaran (n/N) = 49,20%
- Kecepatan Angin (u) = 95,28 km/hr

$$= 1,1 \text{ m/dt}$$

$$= 3,97 \text{ km/jam}$$

Berdasarkan nilai T didapatkan nilai ea, W, 1-W dan f(t) sebagai berikut :

- ea = 27,93 mbar
- W = 0,729
- (1-W) = 0,271
- f(t) = 15,18

Nilai tersebut didapat dari interpolasi dari tabel berikut :

Suhu (T)	ea mbar	W Elevasi 1 – 250 m	(1 – W) Elevasi 1 – 250 m	f (t)
22	26.4	0.71	0.29	15.00
23	28.1	0.72	0.28	15.20
24	29.8	0.73	0.27	15.40

Sumber : Suhardjono, 1994:58

Berdasarkan letak lintang 7° 57' Lintang Selatan didapatkan nilai Ra = 16,093 dengan cara interpolasi dari tabel berikut :

Bulan	Letak Lintang	
	6 LS	8 LS
Jan	15.8	16.1
Feb	16	16.1
Mar	15.6	15.5
Apr	14.7	14.4
Mei	13.4	13.1
Jun	12.8	12.4
Jul	13.1	12.7
Ags	14	13.7
Sep	15	14.9
Okt	15.7	15.8
Nov	15.8	16
Des	15.7	16

Sumber : Suhardjono, 1994:59

Besaran angka koreksi (c) bulanan untuk rumus Penman adalah sebagai berikut :

Bulan	Angka Koreksi (c)	Bulan	Angka Koreksi (c)
Jan	1.100	Jul	1.000
Peb	1.100	Ags	1.000
Mar	1.000	Sep	1.100
Apr	1.000	Okt	1.100
Mei	0.950	Nop	1.150
Jun	0.950	Des	1.150

Sumber : Suhardjono, 1994:48

Langkah-langkah perhitungan evapotranspirasi potensial adalah sebagai berikut :

1. Tekanan uap jenuh, e_a = 27,93 mbar (tabel)
2. Tekanan uap nyata, e_d = $e_a \times RH$
= $27,93 \times 76,28\%$
= 21,305 mbar
3. Perbedaan tekanan uap = $e_a - e_d$
= $27,93 - 21,305$
= 6,625 mbar
4. Fungsi angin, $f(u)$ = $0,27 \times (1 + u \times 0,864)$
= $0,27 \times (1 + 1,1 \times 0,864)$
= 0,527
5. Faktor pembobot, $1-W$ = 0,271 (tabel)
6. Radiasi ekstra terestrial, R_a = 16,093 (tabel)
7. Radiasi gelombang pendek, R_s = $(0,25 + 0,54 \times n/N) \times R_a$
= $(0,25 + 0,54 \times 49,20\%) \times 16,093$
= 8,299 mm/hr
8. $f(t)$ = 15,180 (tabel)
9. $f(e_d)$ = $0,34 - 0,04 \times e_d^{0,5}$
= $0,34 - 0,04 \times 21,305^{0,5}$
= 0,155
10. $f(n/N)$ = $0,10 + 0,9 (n/N/100)$
= $0,10 + 0,9 (49,2/100)$
= 0,543
11. Radiasi netto gelombang panjang, R_{n1}
 R_{n1} = $f(t) \times f(e_d) \times f(n/N)$
= $15,18 \times 0,155 \times 0,543$
= 1,28 mm/hr
12. Radiasi netto, R_n = $0,75 R_s - R_{n1}$
= $0,75 \times 8,299 - 1,28$
= 4,944 mm/hr
13. Faktor pembobot untuk R_n , W = 0,719 (tabel)
14. ET_o^* = $W (0,75R_s - R_{n1}) + (1-W) \times f(u) \times (e_a - e_d)$
= $(0,729 \times 4,944) + (0,271 \times 0,527 \times 6,625)$
= 4,549 mm/hr
15. Faktor koreksi, c = 1,1 (tabel)

16. Evapotranspirasi potensial, Eto

$$\begin{aligned} Eto &= c \times ETo^* \\ &= 1,1 \times 4,549 \\ &= 5,004 \text{ mm/hr} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan selengkapnya disajikan pada table 4.2.

4.1.2. Penggunaan Air Konsumtif Tanaman

Kebutuhan air untuk 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 ini ditentukan oleh karakteristik evapotranspirasi potensial. Besarnya penggunaan konsumtif air tanaman dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.5) :

$$ET = k \times ETo$$

Dimana :

ET = Kebutuhan air tanaman atau evapotranspirasi (mm/hari)

K = Koefisien tanaman

ETo = Evapotranspirasi potensial (mm/hari)

4.1.3. Perkolasi

Pada kondisi tanah jenuh maka terjadi pergerakan air dalam lapisan tanah ke arah vertikal dan arah horisontal. Proses ini adalah proses yang terjadi pada penanaman padi di sawah, kehilangan air secara vertikal dikenal sebagai proses perkolasi dan kehilangan air secara horisontal dikenal dengan nama rembesan melalui penampang sawah, pada umumnya dalam perencanaan pengembangan sumber daya air kedua proses tersebut disebut perkolasi.

Pada Daerah studi yaitu Daerah Irigasi Kalilanang yang berada di Kota Batu dan Kabupaten Malang mempunyai jenis tanah Andosol yang diketahui mempunyai nilai perkolasi 3 mm/hr.

4.1.4. Kebutuhan Air Untuk Penyiapan Lahan

Penyiapan lahan adalah pengolahan tanah pada tahap mempersiapkan tanah untuk keperluan tanaman agar sesuai dengan pertumbuhannya, kebutuhan air untuk persiapan lahan umumnya menentukan kebutuhan maksimum air irigasi untuk perencanaan pemberian air irigasi. Masa pra irigasi diperlukan untuk menggarap lahan yang akan ditanami dan untuk menciptakan kondisi lembab yang memadai untuk persemaian yang baru tumbuh. Banyaknya air yang dibutuhkan sangat tergantung pada kondisi tanah pada pola

tanam yang ditetapkan. Faktor-faktor yang penting untuk menentukan besarnya kebutuhan air untuk penyiapan lahan adalah :

1. Lamanya waktu penyiapan lahan
2. 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 (1968), metode ini didasarkan pada laju air konstan dalam lt/dt selama metode penyiapan lahan. Perhitungan air untuk penyiapan lahan akan disajikan pada Tabel 4.3.

Dari hasil kebutuhan air untuk penyiapan lahan didapatkan bahwa faktor pengolahan lahan tergantung pada evapotranspirasi potensial dan jenis tanah (yaitu nilai perkolasi). Sehingga pada perhitungan kebutuhan air untuk pengolahan lahan mempunyai nilai yang berbeda setiap bulannya.

Contoh perhitungan kebutuhan air untuk pengolahan lahan berdasarkan metode Van de Goor dan Zijlstra (Bulan Januari) :

Dari hasil perhitungan evapotranspirasi potensial didapatkan nilai $E_t = 5,004$ mm/hr. Maka besarnya nilai evaporasi air terbuka adalah :

$$E_o = E_t \times 1,1 = 5,004 \times 1,1 = 5,505 \text{ mm/hr.}$$

Diketahui nilai perkolasi sebesar 3 mm/hr. Sehingga besarnya kebutuhan air untuk penggantian kehilangan air akibat evapotranspirasi dan perkolasi di sawah yang telah dijenuhkan adalah :

$$M = E_o + P = 5,505 + 3 = 8,505 \text{ mm/hr}$$

Besarnya nilai K adalah :

$$K = \frac{M \times T}{S} = \frac{8,505 \times 31}{300} = 0,879$$

Sehingga besarnya nilai kebutuhan air untuk penyiapan lahan adalah :

$$\begin{aligned} LP &= (M \times e^k) / (e^k - 1) \\ &= (8,505 \times e^{0,879}) / (e^{0,891} - 1) \\ &= 14,545 \text{ mm/hr} = 1,683 \text{ lt/dt/ha} \end{aligned}$$

Dimana e adalah bilangan eksponensial, yaitu = 2,71828

Hasil perhitungan kebutuhan air untuk pengolahan lahan disajikan pada table 4.3.

4.1.5. Curah Hujan Andalan dan Curah Hujan Efektif

Dasar perhitungan kebutuhan air tanaman untuk tanaman padi dan palawija didasarkan atas curah hujan efektif, sedangkan curah hujan yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman tergantung dari jenis tanaman tersebut serta jenis tanahnya. Dasar perhitungan

untuk mendapatkan curah hujan andalan dan curah hujan efektif yaitu dari masing-masing data curah hujan 10 harian rata-rata bulanan yang diambil selama 11 tahun terakhir (mulai dari tahun 1994 sampai dengan tahun 2004) dari 4 stasiun penakar hujan.

Besarnya curah hujan efektif untuk tanaman padi ditentukan dengan 70% dari hujan andalan 80% (R_{80}). Sedangkan untuk tanaman palawija dihitung berdasarkan evapotranspirasi yang terjadi, hujan dan ketersediaan air tanah yang bisa dimanfaatkan oleh tanaman berdasarkan pendekatan kedalaman perakaran. Hasil perhitungan curah hujan andalan dan curah hujan efektif disajikan pada Tabel 4.6.

Contoh perhitungan curah hujan andalan dan curah hujan efektif (Bulan Januari Periode 1) :

Langkah-langkah perhitungan curah hujan efektif adalah sebagai berikut :

1. Curah hujan tahunan selama n tahun diurutkan dari kecil ke besar.
2. Dengan persamaan (2-5) di atas didapatkan urutan curah hujan yang diambil sebagai curah hujan efektif.
3. Menghitung R_{80} sebagai tahun dasar perencanaan, dimana :

$$R_{80} = \frac{n}{5} + 1$$

$$R_{80} = \frac{11}{5} + 1 = 3$$

Sehingga data yang digunakan sebagai tahun dasar perencanaan adalah data dengan urutan ke 3 yaitu jatuh pada tahun 2002.

Dengan probabilitas/peluang kejadian 80 dapat dihitung curah hujan efektif untuk tanaman padi dengan rumus :

- Tanaman Padi

$$\begin{aligned} Re \text{ padi} &= 0,7 \times R_{80} \\ &= 0,7 \times 51,50 \\ &= 36,05 \text{ mm} = 3,605 \text{ mm/hr} \end{aligned}$$

Curah hujan efektif untuk tanaman palawija dihitung dengan mempertimbangkan nilai evapotranspirasi potensial, curah hujan rata-rata dan ketersediaan air tanah yang siap pakai (D). Nilai faktor kedalaman air tanah yang dimanfaatkan oleh tanaman palawija adalah sebagai berikut :

$$D = 80 \text{ mm}$$

- Tanaman Palawija

$$\begin{aligned} FD \text{ Palawija} &= 0,53 + (0,0116 \times D) - (8,94 \times 10^{-5} \times D^2) + (2,32 \times 10^{-7} \times D^3) \\ &= 0,53 + (0,0116 \times 80) - (8,94 \times 10^{-5} \times 80^2) + (2,32 \times 10^{-7} \times 80^3) \end{aligned}$$

$$= 1,005 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Re Palawija} &= \text{FD} \times (1,25 \times \text{Rrerata}^{0,824} - 2,93) \times (10^{0,0095 \times \text{Eto}}) \\ &= 1,005 \times (1,25 \times 95,32^{0,824} - 2,93) \times (10^{0,0095 \times 5,004}) \\ &= 32,772 \text{ mm} = 3,277 \text{ mm/hr} \end{aligned}$$

4.1.6. Efisiensi Irigasi

Efisiensi adalah persentase jumlah air yang keluar dibanding yang masuk. Besarnya efisiensi irigasi sesuai dengan kondisi daerah studi adalah sebagai berikut :

- Untuk jaringan tersier = 80 %
- Untuk jaringan sekunder = 90 %
- Untuk jaringan primer = 90 %

Jadi besarnya efisiensi = $0,9 \times 0,9 \times 0,8 = 0,648$

4.1.7. Perhitungan Kebutuhan Air Irigasi

Untuk mencari besarnya kebutuhan air irigasi dengan menggunakan persamaan (2.3) dan (2.4) yaitu sebagai berikut :

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

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

Dengan:

$$\text{NFR}_{\text{padi}} = \text{netto kebutuhan air padi sawah (mm/hari)}$$

$$\text{NFR}_{\text{plw}} = \text{netto kebutuhan air palawija (mm/hari)}$$

$$\text{IR} = \text{kebutuhan air untuk persiapan lahan (mm/hari)}$$

$$\text{Et} = \text{kebutuhan air untuk tanaman (mm/hari)}$$

$$\text{WLR} = \text{kebutuhan air untuk penggantian lapisan air (mm/hari)}$$

$$\text{P} = \text{perkolasi (mm/hari)}$$

$$\text{Re}_{\text{padi}} = \text{curah hujan efektif untuk padi sawah (mm/hari)}$$

$$\text{Re}_{\text{plw}} = \text{curah hujan efektif untuk palawija (mm/hari)}$$

4.1.8. Kebutuhan TOR (*Tersierry Offtake Requirement*)

Kebutuhan air irigasi di petak tersier adalah kebutuhan bersih air irigasi di lahan sawah seluas layanan petak tersier yang dibagi dengan besarnya nilai efisiensi saluran irigasi. Perhitungan kebutuhan air TOR akan disajikan pada Tabel 4.7 sampai dengan Tabel 4.18.

4.1.9. Perhitungan Debit Andalan

Debit andalan adalah besarnya debit yang tersedia untuk keperluan tertentu sepanjang tahun dengan resiko kegagalan yang telah diperhitungkan. Dalam studi ini perhitungan debit andalan dilakukan dengan menentukan data debit bulanan rerata Sungai Kalilantang dengan Metode Log Person III. Sebagai contoh untuk bulan Januari, diperoleh hasil seperti disajikan pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21. Perhitungan Log Person III Bulan Januari

No	Q	P(%)	Log Q	(Log Q - Log Qrt)	(Log Q - Log Qrt)^2	(Log Q - Log Qrt)^3
1	0.306	8.333	-0.514	-0.046	0.0021368	-9.87738E-05
2	0.306	16.667	-0.514	-0.046	0.0021368	-9.87738E-05
3	0.321	25.000	-0.493	-0.025	0.0006473	-1.64681E-05
4	0.329	33.333	-0.483	-0.015	0.0002176	-3.20964E-06
5	0.329	41.667	-0.483	-0.015	0.0002176	-3.20964E-06
6	0.329	50.000	-0.483	-0.015	0.0002176	-3.20964E-06
7	0.329	58.333	-0.483	-0.015	0.0002176	-3.20964E-06
8	0.353	66.667	-0.452	0.016	0.0002505	3.96524E-06
9	0.377	75.000	-0.424	0.044	0.0019709	8.74961E-05
10	0.377	83.333	-0.424	0.044	0.0019709	8.74961E-05
11	0.402	91.667	-0.396	0.072	0.0052243	3.77608E-04
Jumlah			-5.149		0.0152078	3.29711E-04
Rata-rata			-0.468		0.0013825	2.99737E-05

Sumber : Hasil Perhitungan

Harga logaritma rata-rata dapat dihitung dengan persamaan (2.14) yaitu :

$$\text{LogQrt} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{LogQ}}{n} = \frac{1}{11} \cdot -5.149 = -0.468$$

Dengan persamaan (2.15) dan (2.16) diperoleh nilai simpangan baku (S) dan koefisien kemiringan (Cs) :

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (\text{LogQ} - \text{LogQrt})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0.0152078}{10}} = 0.039$$

$$C_s = \frac{n \sum_{j=1}^n (\text{LogQ} - \text{LogQrt})^3}{(n-1) \cdot (n-2) \cdot S^3} = \frac{11 \cdot (3.2971E-04)}{10 \cdot 9 \cdot (0.039)^3} = 0.679$$

Menghitung debit andalan dengan persamaan (2.17) :

$$\text{LogQ} = \text{LogQrt} + G \cdot S = -0.468 + (-0.857) \cdot 0.039 = -0.501$$

$$Q_{80} = 0.316m^3 / dt$$

Untuk perhitungan Log Person III bulan Februari sampai bulan Desember disajikan pada Tabel 4.22 sampai dengan Tabel 4.32.

A. Uji Smirnov-Kolmogorov

Uji Smirnov-Kolmogorov dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

1. Data diurutkan dari kecil ke besar
2. Menghitung probabilitas tiap data
3. Menghitung posisi data x menurut garis sebaran teoritis $P(x)$
4. Menentukan $\Delta \max = |S_n(x) - P(x)|$
5. Menentukan Δcr

Contoh perhitungan uji Smirnov-Kolmogorov untuk bulan Januari :

Tabel 4.33. Perhitungan Uji Smirnov-Kolmogorov Bulan Januari

No	x	Log x	$S_n(x)$	G	Pr	$P_x(x)$	$S_n(x) - P_x(x)$
	1	2	3	4	5	6	7
1	0.306	-0.514	0.083	-1.187	88.639	0.114	-0.030
2	0.306	-0.514	0.167	-1.187	88.639	0.114	0.053
3	0.321	-0.493	0.250	-0.784	77.060	0.229	0.021
4	0.329	-0.483	0.333	-0.380	60.792	0.392	-0.059
5	0.329	-0.483	0.417	-0.380	60.792	0.392	0.025
6	0.329	-0.483	0.500	-0.380	60.792	0.392	0.108
7	0.329	-0.483	0.583	-0.380	60.792	0.392	0.191
8	0.353	-0.452	0.667	0.405	32.843	0.672	-0.005
9	0.377	-0.424	0.750	1.137	13.611	0.864	-0.114
10	0.377	-0.424	0.833	1.137	13.611	0.864	-0.031
11	0.402	-0.396	0.917	1.852	5.040	0.950	-0.033
						$\Delta \max$	0.191
						S	0.039
						Cs	0.679

1. Data Q diurutkan dari kecil ke besar
2. Menentukan nilai logaritma dari data Q
3. Menghitung probabilitas tiap data dengan menggunakan rumus :

$$S_n(x) = \frac{m}{n+1} \times 100\% = \frac{1}{11+1} \times 100\% = 0.083$$

4. Menentukan nilai G yang diperoleh dari persamaan :

$$G = \frac{\text{Log}X - \text{Log}X_{rt}}{S} = \frac{-0.514 - (-0.468)}{0.039} = -1.187$$

5. Nilai Pr diperoleh dari tabel hubungan nilai G dan Cs yang sudah diketahui
6. Diperoleh nilai $P_x(X)$ yang merupakan garis sebaran teoritis :

$$P_x(X) = 1 - Pr = 1 - 88.639 = 0.114$$

7. Diperoleh nilai $\Delta \max = |S_n(x) - P_x(X)| = |0.083 - 0.114| = -0.03$

Untuk hasil uji Smirnov-Kolmogorov bulan Februari sampai dengan Desember disajikan pada Tabel 4.34. sampai dengan Tabel 4.44.

B. Uji Chi-Square

Uji Chi-Square digunakan untuk pengujian data terhadap simpangan vertical. Uji ini menggunakan persamaan (2.19) :

$$X^2 = \frac{\sum (O_j - E_j)^2}{E_j}$$

Langkah-langkah perhitungan uji Chi-Square untuk bulan Januari adalah sebagai berikut :

Tabel 4.46. Perhitungan Uji Chi-Square Bulan Januari

No.	Pr	G	Log x	x	Batas kelas	O _j	E _j	(O _j -E _j) ² /E _j
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	75	-0.7329	-0.4966	0.319	$x \leq 0.319$	2	2.75	0.20
2	50	-0.1124	-0.4724	0.337	$0.319 < x < 0.337$	5	2.75	1.84
3	25	0.6413	-0.4430	0.361	$0.337 < x < 0.361$	1	2.75	1.11
4					$x \geq 0.361$	3	2.75	0.02
JUMLAH						11	11	3.18

Sumber : Hasil Perhitungan

1. Menentukan jumlah kelas distribusi
2. Menentukan batas kelas berdasarkan banyaknya kelas (banyaknya kelas = 4)

$$\text{Interval kelas} = \frac{100\%}{4} = 25\%$$

3. Menentukan frekuensi teoritis dengan rumus $\left(\frac{n}{k}\right)$ dimana :

$$n = \text{banyaknya data} = 11$$

$$k = \text{banyaknya kelas} = 4$$

4. Menentukan frekuensi pengamatan pada data
5. Menentukan X^2_{hitung}
6. Menentukan X^2_{tabel}

Dari table diperoleh $X^2_{tabel} = 7.81$

Untuk perhitungan uji Chi-Square bulan Februari sampai bulan Desember disajikan pada Tabel 4.47 sampai dengan Tabel 4.57.

4.2. Volume Air Irigasi

Analisa volume dimaksudkan untuk menghitung luas lahan yang dapat ditanami dari persediaan air irigasi yang ada. Volume air irigasi meliputi volume air yang dibutuhkan yaitu dari perhitungan kebutuhan air irigasi pada masing-masing petak pada daerah irigasi dan volume air yang tersedia dari setiap perubahan debit pada tiap musim tanam.

4.2.1. Volume Air yang Dibutuhkan

Untuk mengetahui volume air yang dibutuhkan pada tiap petak dalam satu periode, harus diketahui terlebih dahulu volume air yang dibutuhkan pada tiap 10 harian yaitu dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$V = \frac{qx10x86400}{1000}$$

dimana :

V = Volume air irigasi (m³/ha)

Q = Kebutuhan air irigasi tiap 10 harian pada masing-masing petak (lt/dt/ha)

Besarnya volume air yang dibutuhkan pada masing-masing petak disajikan pada Tabel 4.59 sampai dengan Tabel 4.70.

4.2.2. Volume Air yang tersedia

Luas lahan yang dapat ditanami tergantung dari debit yang ada atau debit yang tersedia. Debit yang ada pada setiap saluran tidak selamanya tetap. Hal ini terjadi karena adanya perubahan musim.

Volume air dari debit yang ada selama periode tanam mengacu pada debit maksimal dari debit andalan. Perhitungan volume air irigasi dari setiap perubahan debit selama satu musim tanam menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$V = Q \times n \times 24 \times 60 \times 60$$

Dimana :

V = Volume air (m³)

Q = Debit (m³/dt)

n = Hari dalam satu musim tanam

Perhitungan Selengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.71.

4.3. Luas Lahan yang Dapat Ditanami

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

$$L = \frac{\text{Volume air yang tersedia}}{\text{Volume air yang dibutuhkan}}$$

dimana :

L = Luas lahan yang dapat ditanami

Hasil perhitungan disajikan pada Tabel 4.72 sampai dengan Tabel 4.83.

4.4. Biaya Produksi dan Manfaat Bersih (Net Benefit) dari Pemakaian Irigasi

Biaya produksi adalah semua pengeluaran yang dikeluarkan untuk memperoleh hasil dari aktivitas nilai produksi. Besarnya biaya produksi pertanian tergantung dari faktor-faktor produksi yang digunakan. Faktor-faktor produksi yang mempengaruhi biaya produksi adalah :

- Bibit
- Pupuk
- Obat-obatan dan Insektisida
- Tenaga Kerja

Sedangkan manfaat bersih dari air irigasi adalah besarnya keuntungan yang diperoleh dari penjualan hasil pertanian dengan biaya yang diperlukan selama musim tanam.

Besarnya biaya produksi dan manfaat bersih dapat dilihat pada Tabel 4.84.

4.5. Analisa Optimasi

Optimasi adalah suatu cara untuk membuat nilai suatu fungsi beberapa *variable* menjadi maksimum dengan memperhatikan kendala-kendala yang ada. Dalam suatu analisa optimasi sumber daya yang akan dianalisa harus dalam keadaan terbatas. Keterbatasan sumber daya tersebut dinamakan sebagai kendala.

Dalam perhitungan pola tata tanam eksisting diketahui bahwa air yang tersedia tidaklah mencukupi kebutuhan irigasi. Dengan kondisi tersebut maka dilakukan optimasi dengan dasar keterbatasan debit irigasi.

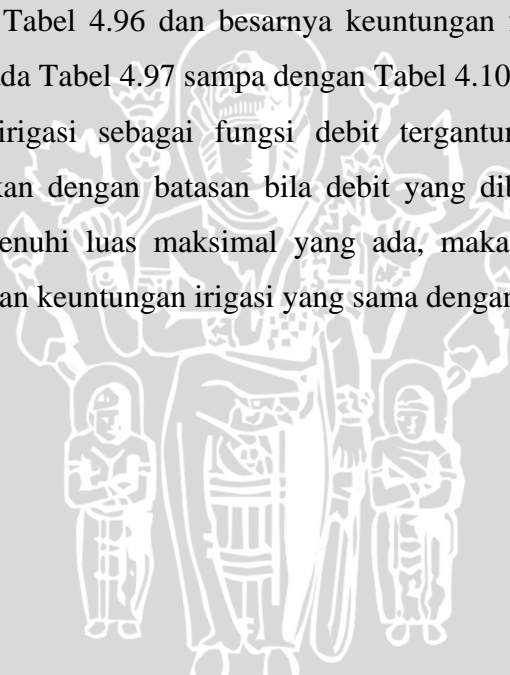
4.6. Analisa Manfaat

Operasi pemanfaatan potensi air irigasi dapat diartikan sebagai suatu pengaturan debit air guna dibagikan kepada masing-masing daerah irigasi yang membutuhkan. Manfaat penggunaan penyediaan air untuk irigasi pada masing-masing petak kajian dapat dihitung berdasarkan keuntungan yang diperoleh dari penjualan produk yang dihasilkan dikurangi dengan biaya yang dibutuhkan untuk menghasilkan produk tersebut.

4.7. Keuntungan Sebagai Fungsi Debit

Dengan diketahui luas lahan yang dapat ditanami dan besarnya biaya produksi per hektar pada tiap petak pertanian, maka dapat dihitung besarnya keuntungan debit yang dialirkan pada tiap petak pertanian dan selanjutnya dinyatakan sebagai keuntungan fungsi debit. Besarnya keuntungan sebagai fungsi debit pada tiap periode tanam dapat dilihat pada Tabel 4.85 sampai dengan Tabel 4.96 dan besarnya keuntungan fungsi debit selama satu tahun tanam dapat dilihat pada Tabel 4.97 smpai dengan Tabel 4.108.

Besar keuntungan irigasi sebagai fungsi debit tergantung oleh alternatif debit besarnya debit yang dilairkan dengan batasan bila debit yang diberikan untuk tiap petak kajian sudah mampu memenuhi luas maksimal yang ada, maka untuk penjatahan debit selebihnya akan menghasilkan keuntungan irigasi yang sama dengan luas lahan maksimal.



4.8. Program Dinamik dalam Optimasi

4.8.1. Aturan Dasar

Sebelum menerapkan program dinamik dalam optimasi potensi air suatu daerah irigasi, perlu ditentukan terlebih dahulu aturan-aturan dasarnya. Berdasarkan perhitungan-perhitungan sebelumnya maka dapat dibuat aturan sebagai berikut :

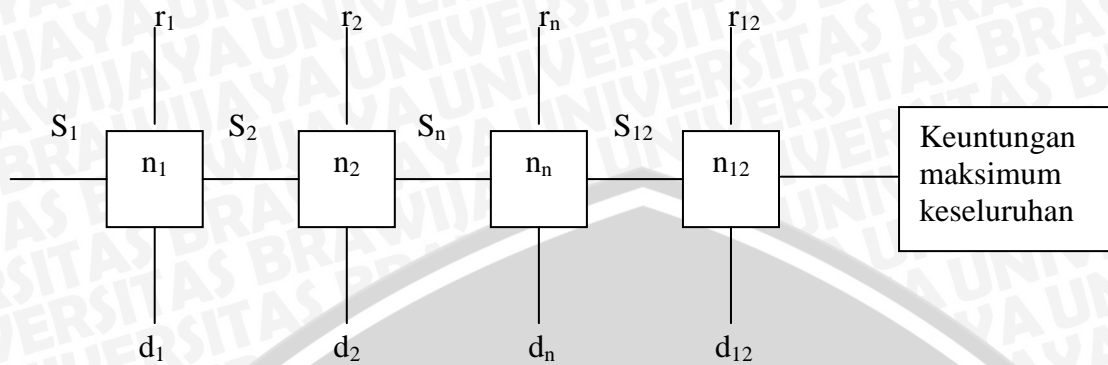
- a. Luas lahan yang akan diairi dan dikembangkan seluas 457 ha dengan masing-masing kajian sebagai berikut :
 1. Untuk petak 1 seluas 14 ha
 2. Untuk petak 2 seluas 18 ha
 3. Untuk petak 3 seluas 12 ha
 4. Untuk petak 4 seluas 14 ha
 5. Untuk petak 5 seluas 60 ha
 6. Untuk petak 6 seluas 28 ha
 7. Untuk petak 7 seluas 53 ha
 8. Untuk petak 8 seluas 60 ha
 9. Untuk petak 9 seluas 30 ha
 10. Untuk petak 10 seluas 10 ha
 11. Untuk petak 11 seluas 90 ha
 12. Untuk petak 12 seluas 68 ha
- b. Bila debit yang diberikan untuk tiap petak kajian (luasan) sudah mampu memenuhi luas maksimal yang ada, maka untuk penjatahan debit selebihnya akan menghasilkan keuntungan yang sama dengan luas lahan maksimal.
- c. Debit yang tersedia merupakan debit andalan maksimal dalam satu musim tanam dan harus dialokasikan seluruhnya untuk semua petak kajian(luasan).
- d. *State variable* merupakan debit air yang tersedia dengan *grid* 0.004 m³/dt.
- e. Hasil optimasi berupa keuntungan bersih dari kegiatan luas lahan yang mampu diairi tiap musim tanam.

4.9.2. Model Optimasi Alokasi Air

Dalam studi ini model *dynamic programming* adalah mengalokasikan debit andalan maksimum (*state variable*) dalam suatu petak tersier ke petak tersier berikutnya (*stage*). Setiap alokasi debit guna optimum (*decision variable*) akan mengakibatkan adanya keuntungan fungsi debit selama satu musim tanam.

Sistem tahapan program dinamik menggunakan metode *fordward recursive* yaitu dimulai dari tahap awal dan bergerak ke tahap akhir. Tahap-tahapnya dimulai dari Petak 1 –

Petak 2 – Petak 3 – Petak 4 – Petak 5 – Petak 6 – Petak 7 – Petak 8 – Petak 9 – Petak 10 –
 Petak 11 – Petak 12.



Gambar 4.1 Bagan sistem tahapan program dinamik daerah Irigasi Kalilantang

Keterangan :

n_1, n_2, n_n, n_{12} : *Stage* yaitu Petak 1 sampai Petak 12

S_1, S_2, S_n, S_{12} : *State variable* yaitu debit andalan dalam satu musim tanam

r_1, r_2, r_n, r_{12} : *Stage return* yaitu keuntungan fungsi debit

d_1, d_2, d_n, d_{12} : *Decision variable* yaitu debit guna optimum

Langkah-langkah perhitungan perhitungan program dinamik metode *forward recursive* adalah sebagai berikut :

1. Menentukan beberapa kegiatan sebagai tahap yaitu penjatahan debit untuk masing-masing petak.
2. Membuat tabel-tabel yang memuat unsur-unsur :
 - a. Debit *inflow* untuk dialokasikan dan debit *outflow* (setelah debit tersedia dialokasikan) ke seluruh petak. Dalam hal ini debit *inflow* dan *outflow* dimulai dari 0 m^3/dt sampai dengan debit maksimum tiap musim tanam dengan grid 0,004 m^3/dt .
 - b. Keuntungan dari besarnya debit yang dialokasikan berdasarkan keuntungan irigasi sebagai fungsi debit pada masing-masing petak ditunjukkan pada Tabel 4.94 sampai dengan Tabel 4.108.
 - c. Pada tahap (n) Petak 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* dan tahap (n) Petak 12 diakhiri dengan hanya satu *state* debit *inflow* minimal karena menghasilkan keuntungan maksimum secara keseluruhan dari semua tahap.
3. Nilai keuntungan (return) pada tahap pertama ditransformasikan ke tahap berikutnya, demikian sampai tahap akhir sehingga menghasilkan keuntungan maksimum.

Contoh perhitungan program dinamik sebagai berikut :

1. Pada tahap pertama Petak 1 dengan debit *outflow* sebesar $0 \text{ m}^3/\text{dt}$, maka debit guna adalah sebesar $0,344 \text{ m}^3/\text{dt}$ sehingga diperoleh nilai keuntungan irigasi sebagai fungsi debit sebesar Rp. 326.515.000,00, debit *outflow* sebesar $0,004 \text{ m}^3/\text{dt}$, maka debit guna adalah $0,340 \text{ m}^3/\text{dt}$ sehingga diperoleh nilai keuntungan irigasi sebagai fungsi debit sebesar Rp. 326.515.000,00 demikian seterusnya sampai debit *outflow* $0,344 \text{ m}^3/\text{dt}$.
2. Dari keseluruhan debit *outflow* dan debit guna, diperoleh nilai keuntungan (*return*) dari tahap (n) Petak 1.
3. Nilai keuntungan (*return*) dari tahap (n) Petak 1 ditransformasikan ke tahap Petak 2.
4. Pada tahap Petak 2 debit guna $0 \text{ m}^3/\text{dt}$, keuntungan sama dengan keuntungan (*return*) dari tahap (n) Petak 1, sedangkan debit guna selanjutnya nilai keuntungan maksimum ditambahkan dengan keuntungan irigasi sebagai fungsi debit Pada Petak 2 sehingga menghasilkan *return*.

Contoh :

- Debit guna $0,004 \text{ m}^3/\text{dt}$
Keuntungan = Rp. 326.515.000,00 + Rp. 248.939.292,86
= Rp. 575.454.292,86
- Debit guna $0,008 \text{ m}^3/\text{dt}$
Keuntungan = Rp. 326.515.000,00 + Rp. 419.805.000,00
= Rp. 746.320.000,00

Demikian seterusnya sampai dengan debit guna $0,344 \text{ m}^3/\text{dt}$.

5. Dari semua *return* akhir tahap untuk suatu *state* dipilih keuntungan yang maksimum. Juga dipilih debit *outflow* maksimum akhir tahap yang berhubungan dengan nilai keuntungan maksimum.
6. Apabila semua sel pada tabel sudah terisi, lakukan prosedur tersebut di atas (mulai langkah no 2) untuk tahap berikutnya yaitu Petak 3 sampai dengan Petak 12.

4.9. Pembahasan

Dengan menggunakan masukan debit yang tersedia selama satu musim tanam, hasil optimasi diperoleh debit guna optimum untuk musim tanam pertama Petak 1 debit guna optimumnya adalah $0.006 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 2 adalah $0.011 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 3 adalah $0.006 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 4 adalah $0.009 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 5 adalah $0.028 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 6 adalah $0.012 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 7 adalah $0.043 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 8 adalah $0.044 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 9 adalah $0.024 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 10 adalah $0.008 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 11 adalah $0.048 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 12 adalah $0.03 \text{ m}^3/\text{dt}$, sedangkan debit guna optimum pada musim tanam kedua adalah Petak 1 sebesar $0.008 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 2 sebesar $0.01 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 3 sebesar $0.008 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 4 sebesar $0.01 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 5 sebesar $0.048 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 6 sebesar $0.021 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 7 sebesar $0.038 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 8 sebesar $0.044 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 9 sebesar $0.022 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 10 sebesar $0.006 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 11 sebesar $0.07 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 12 sebesar $0.05 \text{ m}^3/\text{dt}$, sedangkan debit guna optimum pada musim tanam ketiga adalah sebagai berikut Petak 1 sebesar $0.008 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 2 sebesar $0.01 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 3 sebesar $0.008 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 4 sebesar $0.01 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 5 sebesar $0.04 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 6 sebesar $0.021 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 7 sebesar $0.033 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 8 sebesar $0.041 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 9 sebesar $0.021 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 10 sebesar $0.006 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 11 sebesar $0.059 \text{ m}^3/\text{dt}$, Petak 12 sebesar $0.05 \text{ m}^3/\text{dt}$.

Dari perhitungan optimasi dengan program dinamik dapat dibandingkan keuntungan produksi sebelum dan sesudah optimasi. Keuntungan produksi musim tanam pertama sebelum optimasi adalah Rp. 9,280,651,777.69 dan sesudah optimasi adalah Rp. 10,664,338,782.48 sedangkan keuntungan produksi musim tanam kedua sebelum optimasi adalah Rp. 5,382,966,792.04 dan sesudah optimasi adalah Rp. 6,708,390,946.29, keuntungan produksi musim tanam ketiga sebelum optimasi sebesar Rp. 1,628,288,902.17 dan sesudah Rp. 2,044,577,768.00. Jadi dapat disimpulkan bahwa secara umum terdapat kenaikan keuntungan produksi setelah dilakukannya optimasi.



BAB V KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan analisa pada pembahasan sebelumnya maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Dari hasil perhitungan kebutuhan air irigasi menunjukkan adanya kekurangan dari debit air yang tersedia.

Tabel 5.1. Perbandingan Kebutuhan dan Ketersediaan Air

No	Bulan	Periode	Debit Kebutuhan (m ³ /dt)	Debit Tersedia (m ³ /dt)	Keterangan (m ³ /dt)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
1	November	I	0.439	0.317	-0.122
		II	0.322	0.317	-0.005
		III	0.497	0.329	-0.168
2	Desember	I	0.304	0.329	0.025
		II	0.640	0.329	-0.311
		III	0.065	0.336	0.271
3	Januari	I	0.376	0.340	-0.036
		II	0.221	0.342	0.121
		III	0.000	0.342	0.342
4	Februari	I	0.000	0.353	0.353
		II	0.173	0.353	0.18
		III	0.329	0.353	0.024
5	Maret	I	0.346	0.351	0.005
		II	0.264	0.351	0.087
		III	0.410	0.351	-0.059
6	April	I	0.309	0.355	0.046
		II	0.411	0.355	-0.056
		III	0.465	0.355	-0.11
7	Mei	I	0.373	0.353	-0.02
		II	0.376	0.353	-0.023
		III	0.448	0.351	-0.097
8	Juni	I	0.424	0.340	-0.084
		II	0.321	0.340	0.019
		III	0.369	0.340	-0.029
9	Juli	I	0.364	0.331	-0.033
		II	0.243	0.331	0.088
		III	0.266	0.331	0.065
10	Agustus	I	0.295	0.331	0.036
		II	0.335	0.331	-0.004
		III	0.424	0.329	-0.095
11	September	I	0.515	0.319	-0.196
		II	0.437	0.319	-0.118
		III	0.368	0.319	-0.049
12	Oktober	I	0.234	0.312	0.078
		II	0.471	0.312	-0.159
		II	0.427	0.319	-0.108

2. Distribusi air irigasi yang diberikan pada masing-masing petak adalah sebagai berikut :

Tabel 5.2. Distribusi air irigasi pada tiap petak

	Musim Tanam I (m ³ /dt)	Musim Tanam II (m ³ /dt)	Musim Tanam III (m ³ /dt)
Petak 1	0.006	0.008	0.008
Petak 2	0.011	0.01	0.01
Petak 3	0.006	0.008	0.008
Petak 4	0.009	0.01	0.01
Petak 5	0.028	0.048	0.04
Petak 6	0.012	0.021	0.021
Petak 7	0.043	0.038	0.033
Petak 8	0.044	0.044	0.041
Petak 9	0.024	0.022	0.021
Petak 10	0.008	0.006	0.006
Petak 11	0.048	0.07	0.059
Petak 12	0.03	0.05	0.05

2. Luas optimum lahan yang dapat terairi pada masing-masing lahan pertanian sebelum dan sesudah diadakannya optimasi adalah :

Tabel 5.3. Perbandingan luas lahan yang terairi sebelum dan sesudah optimasi

	Petak 1 (ha)	Petak 2 (ha)	Petak 3 (ha)	Petak 4 (ha)	Petak 5 (ha)	Petak 6 (ha)	Petak 7 (ha)	Petak 8 (ha)	Petak 9 (ha)	Petak 10(ha)	Petak 11(ha)	Petak 12(ha)
Musim Tanam I												
Sebelum	11.207	16.011	10.731	9.114	49.224	22.778	42.027	53.369	29.51	9.114	87.899	56.944
Sesudah	14	18	12	14	60	28	53	60	30	10	90	68
Musim Tanam II												
Sebelum	9.618	10.129	8.729	10.983	48.925	22.209	43.966	48.111	22.45	4.882	61.156	55.521
Sesudah	10.992	12.661	9.976	12.204	58.71	25.91	52.21	55.708	27.434	7.322	85.618	61.69
Musim Tanam III												
Sebelum	11.545	16.024	9.33	9.374	55.814	27.898	49.478	53.412	27.989	7.499	83.721	63.236
Sesudah	13.194	17.804	12	14	60	28	53	60	30	10	90	68

2. Perbandingan keuntungan produksi sebelum dan sesudah dilakukannya optimasi adalah sebagai berikut :

Tabel 5.4. Perbandingan keuntungan sebelum dan sesudah optimasi

	Musim Tanam I		Musim Tanam II		Musim Tanam III	
	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah
Petak1	261.377.539,11	326.515.000,00	149.337.073,51	170.670.941,15	51.489.829,58	58.845.519,52
Petak2	373.408.939,29	419.805.000,00	157.273.686,43	196.592.108,04	71.465.875,37	79.406.528,19
Petak3	250.274.983,23	279.870.000,00	135.540.891,61	154.903.876,13	41.610.946,98	53.520.000,00
Petak4	212.559.493,67	326.515.000,00	170.545.103,22	189.494.559,14	41.805.967,82	62.440.000,00
Petak5	1.148.016.407,85	1.399.350.000,00	759.677.912,55	911.613.495,06	24.893.023,26	267.600.000,00
Petak6	531.230.623,22	653.030.000,00	344.842.689,70	402.316.471,31	124.426.534,41	124.880.000,00
Petak7	980.165.771,66	1.236.092.500,00	682.683.764,60	810.686.970,46	220.670.698,19	236.380.000,00
Petak8	1.244.696.464,31	1.399.350.000,00	747.050.010,55	865.005.275,37	238.219.584,57	267.600.000,00
Petak9	688.256.203,89	699.675.000,00	348.533.721,29	425.985.659,36	124.832.840,93	133.800.000,00
Petak10	212.559.493,67	233.225.000,00	75.797.823,66	113.696.735,48	33.444.774,25	44.600.000,00
Petak11	2.050.029.299,74	2.099.025.000,00	949.597.390,68	1.329.436.346,96	373.395.348,84	401.400.000,00
Petak12	1.328.076.558,05	1.585.930.000,00	862.106.724,24	957.896.360,27	282.033.477,99	303.280.000,00
	9.280.651.777,69	10,664,338,782.48	5.382.986.792,04	6,708,390,946.29	1.628.288.902,17	2,044,577,768.00





5.2. Saran

1. Setelah melihat dan memperhatikan analisa yang dilakukan, pola tata tanam yang ada di lapangan tidak dapat terpenuhi kebutuhan air irigasinya maka dari itu pemberian air bisa disesuaikan dengan hasil optimasi.
2. Untuk memberikan keuntungan irigasi yang maksimal dalam pembagian air, pembagian debit sebaiknya memprioritaskan pada petak yang memberikan hasil atau manfaat irigasi yang lebih besar dengan memperhatikan jarak tiap petak dengan intake.
3. Pada musim tanam pertama kebutuhan air irigasi tercukupi bahkan ada kelebihan, kondisi ini dapat dimanfaatkan untuk manfaat yang lain.

