

BAB II KAJIAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Tabel 2.1 Daftar Penelitian Terdahulu

No	Keterangan	Judul & Penulis (Tahun)	Uraian
1	Pokok Bahasan	Studi optimasi distribusi air pada Daerah Irigasi Tengoro Kabupaten Banyuwangi. (2017)	Daerah irigasi Tengoro mengalami keterbatasan debit pada tiap musim mengakibatkan terjadi kekurangan air dalam beberapa periode musim tanam sehingga dilakukan upaya optimasi distribusi air irigasi.
	Metode		Model optimasi yang dapat digunakan adalah dengan program dinamik deterministik.
	Hasil Penelitian	Sari Narulita	Pada neraca air dapat dilihat bahwa dengan pola tanam yang sama, sebelumnya terjadi kekurangan air yang cukup banyak pada saat MH dan MK 1, setelah dilakukan optimasi dengan program dinamik deterministik kebutuhan air irigasi dapat dipenuhi dengan optimal.
2	Pokok Bahasan	Studi Optimasi distribusi air pada Daerah Irigasi Lodayo	Dengan keterbatasan debit yang mengalir terutama saat musim kemarau, dan besarnya luas lahan pertanian yang harus diairi yaitu sebesar 12.219 Ha untuk Daerah Irigasi Lodayo, menjadikan suatu pemikiran untuk mencari solusi yang tepat.
	Metode		Metode analisis yang digunakan adalah metode optimasi menggunakan Program Linier (Linier Programming)

	Hasil Penelitian	Lucky Diah Ekorini	Mengetahui besarnya kebutuhan air irigasi yang diperlukan untuk masing-masing jenis tanaman yang dibudidayakan berdasarkan pola tanam.
3	Pokok Bahasan	Pemakaian program dinamik dalam pengelolaan & Pengoperasian sumberdaya air.	Untuk menentukan besaran volume air di waduk dalam fungsi ruang dan waktu yang dapat memberikan nilai guna sebesar-besarnya.
	Metode		Dengan metode “Program Dinamik Bellman” yang dapat menyederhanakan masalah pengoperasian suatu waduk dengan membaginya menjadi tahapan tahapan.
	Hasil Penelitian	Yeni Nuraeni	Solusi yang paling optimal akan diperoleh bila terdapat keseimbangan antara pengambilan kedua diskritisasi tersebut.
4	Pokok Bahasan	Optimasi pola operasi Waduk Pelarado di Kabupaten Bima, Provinsi NTB.	Untuk memperoleh penjatahan air yang paling optimal pada masing-masing periode sehingga didapatkan keuntungan yang maksimal berdasar kebutuhan dan ketersediaan air yang ada.
	Metode		Teknik optimasi dengan menggunakan program dinamik (Dynamic Program)
	Hasil Penelitian	Moh. Hilmi	Volume air yang dapat dimanfaatkan untuk pemenuhan kebutuhan air irigasi di daerah layanan Waduk Pelaparado adalah sebesar 69.500 ribu m ³ .
5	Pokok Bahasan	Optimasi irigasi dengan program dinamik di Metro	Tujuan dari studi ini adalah untuk mengefisienkan penjatahan air di daerah irigasi Metro Hilir yang

		Hilir.	paling optimal.
	Metode		Metode optimasi yang dipakai untuk menghitung besarnya sebaran air yang harus dialirkan di beberapa bangunan bagi adalah program dinamik.
	Hasil Penelitian	Seto Sugianto & Joko Suparmanto	Dengan penerapan program dinamik, distribusi debit air irigasi optimum yang harus dialirkan pada masing-masing Bangunan bagi adalah pada saat debit air cukup (Q andalan 26%).
6	Pokok Bahasan	Optimasi air Waduk Gondang dengan metode Dinamik Deterministik	Analisa Fungsi irigasi untuk memperbaiki pola operasi waduk sehingga dapat meningkatkan intensitas irigasi dan keuntungan irigasi yang optimal.
	Metode		Metode Dinamik detreministik.
	Hasil Penelitian	Hilma Nuf'a	Ketersediaan debit Waduk Gondang dapat memenuhi kebutuhan air di sawah seluas 10.651 Ha. (MT. I), 9.435 Ha. (MT. II), 4.202 Ha. (MT. III).
7	Pokok Bahasan	Studi Optimasi pola tanam Daerah Irigasi Gong Gang Kecamatan Parang Kabupaten Magetan. (2016)	Faktor-faktor yang mempengaruhi pola tata tanam guna peningkatan volume produksi pangan dan penentuan pola tanam yang akan di pakai setelah terlebih dahulu diketahui debit andalan dan kebutuhan air.
	Metode		Linier programming yang dipakai dalam studi optimasi ini menggunakan software QM for Windows 4.
	Hasil Penelitian	Ernawan Setyono & Safik Mucharom	Dari data debit sungai Gonggang, dengan menggunakan perumusan empiris diperoleh debit

			andalan sungai dengan peluang keandalan 80% (Q80%).
8	Pokok Bahasan	Studi optimasi pola tanam untuk memaksimalkan keuntungan hasil produksi pertanian di Jaringan Irigasi Prambatan Kiri Kecamatan Bumiaji Kota batu.	Terjadi kekurangan air pada penerapan pola tata tanam eksisting penyebab utama terjadinya kekurangan air tersebut karena adanya penyimpangan dalam pelaksanaan pola tata tanam yang telah ditetapkan.
	Metode		Penelitian menggunakan program linier dengan menggunakan paket program solver.
	Hasil Penelitian	Hari Prasetijo	Dari hasil neraca air pada kondisi eksisting diperoleh luas lahan yang dapat ditanami sebesar 357 Ha, dengan keuntungan sebesar Rp. 4.630.474.000,- per tahun.
9	Pokok Bahasan	Pengaruh perubahan iklim terhadap optimasi ketersediaan air di Daerah irigasi Golek Kecamatan Pakisaji Kabupaten Malang dengan menggunakan Program Linier.	Tingginya intensitas curah hujan setelah terjadinya perubahan iklim berdampak terhadap fluktuasi debit sungai pada musim hujan dan kemarau. Bencana banjir dan kekeringan merupakan peristiwa alam yang semakin sering di jumpai saat ini.
	Metode		Optimasi dengan Program Linier
	Hasil Penelitian	Rudi Serang	Perubahan iklim telah terjadi pada di daerah Irigasi golek kanan pada tahun 2001 yang ditandai dengan pergeseran musim hujan dan kemarau serta meningkatnya jumlah curah hujan tahunan seperti yang ditunjukkan dari data curah hujan

			pada 3 stasiun yakni stasiun Sukun, Wagir dan Kepanjen.
10	Pokok Bahasan	Optimasi irigasi dengan program solver untuk peningkatan produksi pertanian pada Daerah Irigasi Clangap, Kabupaten Bondowoso Provinsi Jawa Timur.	Tujuan dari penelitian ini adalah menyusun komposisi luas tanaman dan kolam ikan nila yang paling tepat pada Daerah Irigasi Clangap untuk meningkatkan produksi petani, sehingga keuntungan yang dicapai dapat optimal.
	Metode		Penelitian ini menggunakan Program Solver yang terdapat dalam Microsoft Excel
	Hasil Penelitian	Yosi Dharmawan Arifianto	Dari hasil Program Solver diperoleh Komposisi yang optimal untuk dilaksanakan pada Daerah Irigasi Clangap untuk mendapatkan produksi yang optimal adalah Tanaman Padi, seluas 535 Ha, Tanaman tembakau, seluas 90,41 Ha, dan budidaya Kolam ikan nila, seluas 9,59 Ha.

2.2 Kebutuhan Air Irigasi

Tanaman membutuhkan air agar ia dapat tumbuh dan berproduksi dengan baik. Air tersebut dapat berasal dari air hujan maupun air irigasi. Air irigasi adalah sejumlah air yang umumnya diambil dari sungai atau waduk dan dialirkan melalui jaringan sistem irigasi, guna menjaga keseimbangan jumlah air di lahan pertanian (Suhardjono, 1994).

2.2.1 Evapotranspirasi

2.2.1.1 Evaporasi

Evaporasi (penguapan) merupakan peristiwa berubahnya air menjadi uap dan bergerak dari permukaan tanah dan permukaan air ke udara (Sosrodarsono, 1976). Evaporasi merupakan faktor penting dalam

studi tentang pengembangan sumber-sumber daya air. Evaporasi sangat mempengaruhi debit sungai, besarnya kapasitas waduk, besarnya kapasitas pompa untuk irigasi, penggunaan konsumtif (consumptive use) untuk tanaman dan lain-lain.

Air akan menguap dari tanah, baik tanah gundul atau yang tertutup oleh tanaman dan 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):

1. Radiasi matahari

Evaporasi merupakan konversi air ke dalam uap air. Proses ini terjadi hampir tanpa berhenti di siang hari dan kerap kali juga di malam hari. Perubahan dari keadaan cair menjadi gas ini memerlukan energi berupa panas laten untuk evaporasi. Proses evaporasi akan sangat aktif jika ada penyinaran langsung dari matahari.

2. Angin

Jika air menguap ke atmosfer maka lapisan batas antara permukaan tanah dan udara menjadi jenuh oleh uap air sehingga proses evaporasi berhenti. Agar proses tersebut berjalan terus lapisan jenuh harus diganti dengan udara kering. Pergantian itu hanya dimungkinkan jika ada angin. 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 akan menurun. Penggantian lapisan udara pada batas tanah dan udara dengan udara yang sama kelembaban relatifnya tidak akan menolong untuk memperbesar laju evaporasi. Ini hanya dimungkinkan jika diganti dengan udara yang lebih kering.

4. Suhu (temperatur)

Energi sangat diperlukan agar evaporasi berjalan terus. Jika suhu udara dan tanah cukup tinggi, proses evaporasi akan berjalan lebih

cepat dibandingkan jika suhu udara dan tanah rendah karena adanya energi panas yang tersedia. Karena kemampuan udara untuk menyerap uap air akan naik jika suhunya naik, maka suhu udara mempunyai efek ganda terhadap besarnya evaporasi, sedangkan suhu tanah dan air hanya mempunyai efek tunggal.

2.2.1.2 Transpirasi

Hanya sebagian kecil air saja yang terserap oleh sistem akar tumbuh-tumbuhan yang tetap berada dalam jaringan pohon, sesungguhnya semuanya dilepaskan ke atmosfer sebagai uap melalui transpirasi. Proses ini merupakan suatu fase penting dari siklus (daur) hidrologi karena merupakan mekanisme utama dengan hujan yang jatuh di permukaan tanah dikembalikan ke atmosfer.

Proses transpirasi berjalan terus hampir sepanjang hari di bawah pengaruh sinar matahari. Pada malam hari pori-pori daun (yang terletak di bagian bawah daun), yang disebut stomata tanaman, menutup, yang menyebabkan terhentinya proses transpirasi dengan drastis (Soemarto, 1986).

2.2.1.3 Evapotranspirasi

Transpirasi (penguapan melalui tanaman) dan evaporasi (proses penguapan air bebas) (Suhardjono, 1994) dari permukaan tanah bersama-sama disebut evapotranspirasi atau kebutuhan air (consumptive-use). Jika air yang tersedia dalam tanah cukup banyak, maka evapotranspirasi itu disebut evapotranspirasi potensial. Evapotranspirasi adalah faktor dasar untuk menentukan kebutuhan air dalam rencana irigasi dan merupakan proses yang penting dalam siklus hidrologi (Sosrodarsono, 1976).

Jumlah kadar air yang hilang dari tanah oleh evapotranspirasi tergantung kepada (Soemarto, 1986):

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.

Sesuai dengan faktor iklim yang mempengaruhi besar evapotranspirasi, berikut ini disajikan gambaran data iklim yang diperlukan untuk perhitungan evapotranspirasi di daerah Indonesia (Suhardjono, 1994):

- ◆ Suhu udara rata-rata bulanan (t)

Suhu udara merupakan data terpenting yang harus tersedia bila akan menggunakan rumus Blaney-Criddle, Radiasi maupun Penman. Rata-rata suhu bulanan di Indonesia berkisar antara 24 – 29°C dan tidak terlalu berbeda dari bulan yang satu dengan bulan yang lain.

- ◆ Kelembaban relatif rata-rata bulanan (RH)

Kelembaban relatif atau Relative Humidity (RH) (bersatuan %) merupakan perbandingan antara tekanan uap air dengan uap air jenuh. Data pengukuran di Indonesia, menunjukkan besarnya kelembaban relatif antara 65% sampai 85%. Hal tersebut menempatkan Indonesia sebagai daerah dengan tingkat kelembaban yang relatif tinggi. Pada musim penghujan (Oktober – Maret) kelembaban relatif rata-rata lebih tinggi daripada musim kemarau (April – September).

- ◆ Kecepatan angin rata-rata bulanan (u)

Data kecepatan angin diukur berdasar tiupan angin pada ketinggian 2.00 m diatas permukaan tanah. Data kecepatan angin dari delapan daerah di Indonesia menunjukkan kecepatan angin rata-rata bulanan berkisar antara 0,5 – 4,5 mm/det atau sekitar 15 km/jam ($1 \text{ km/hr} = 0,0116 \text{ m/det}$ sedangkan $1 \text{ km/jam} = 0,2778 \text{ m/det}$)

- ◆ Kecerahan matahari rata-rata bulanan (n/N)

Data pengukuran kecerahan matahari (satuan %), dibutuhkan pada penggunaan rumus Radiasi dan Penman. Kecerahan matahari merupakan perbandingan antara n dengan N atau disebut rasio keawanan. Nilai n merupakan jumlah jam nyata matahari bersinar cerah dalam sehari. Besarnya n sangat berhubungan dengan keadaan awan, makin banyak awan makin kecil nilai n. Sedangkan nilai N merupakan jumlah jam potensial matahari yang bersinar dalam sehari. Untuk daerah di sekitar khatulistiwa besar N adalah sekitar 12 jam setiap harinya, dan tidak jauh berbeda antara bulan yang satu dengan bulan yang lainnya. Harga rata-rata bulanan kecerahan matahari (n/N) di beberapa daerah di Indonesia berkisar antara 30 – 85 %. Di musim kemarau harga (n/N) lebih tinggi dibanding di musim hujan.

Dalam teknik irigasi pada umumnya digunakan 4 rumus untuk menghitung besarnya evapotranspirasi yang didasarkan atas korelasi antara evapotranspirasi yang diukur dengan faktor-faktor meteorologi yang mempengaruhinya, yaitu Thornthwaite, Blaney-Criddle, Penman, Turc-Langbein-Wundt (Soemarto, 1986).

Besarnya evapotranspirasi potensial dapat dihitung dengan menggunakan Metode Penman Modifikasi yang telah disesuaikan dengan keadaan daerah Indonesia (Suhardjono, 1994) dengan rumus sebagai berikut :

$$\mathbf{ETo = c \cdot Eto^*} \quad (2-1)$$

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

dengan :

c = angka koreksi Penman

W = faktor yang berhubungan dengan suhu (t) dan elevasi daerah

$$\begin{aligned} Rs &= \text{radiasi gelombang pendek (mm/hr)} \\ &= (0,25 + 0,54 \cdot n/N).Ra \end{aligned} \quad (2-3)$$

Ra = radiasi gelombang pendek yang memenuhi batas luar atmosfir (angka angot), tergantung letak lintang daerah (mm/hr)

n = lama kecerahan matahari yang nyata (tidak terhalang awan) dalam 1 hari
(jam)

N = lama kecerahan matahari yang mungkin dalam 1 hari (jam)

$$\begin{aligned} \mathbf{Rn1} &= \text{radiasi bersih gelombang panjang (mm/hr)} \\ &= f(t).f(ed).f(n/N) \end{aligned} \quad (2-4)$$

$$\begin{aligned} f(t) &= \text{fungsi suhu} \\ &= \square\square Ta^4 \end{aligned} \quad (2-5)$$

$$\begin{aligned} f(ed) &= \text{fungsi tekanan uap} \\ &= 0,34 - 0,044\sqrt{ed} \end{aligned} \quad (2-6)$$

$$\begin{aligned} f(n/N) &= \text{fungsi kecerahan} \\ &= 01, + 0,9.n/N \end{aligned} \quad (2-7)$$

$$\begin{aligned} f(u) &= \text{fungsi kecepatan angin pada ketinggian 2 m di atas permukaan tanah (m/dt)} \\ &= 0,27 (1 + 0,864.u) \end{aligned} \quad (2-8)$$

(ea-ed) = perbedaan tekanan uap jenuh dengan tekanan uap yang sebenarnya

$$\begin{aligned} ed &= \text{tekanan uap jenuh} \\ &= ea \cdot RH \end{aligned} \quad (2-9)$$

ea = tekanan uap sebenarnya

RH = kelembaban udara relatif (%)

Prosedur perhitungan Eto berdasar rumus Penman Modifikasi adalah sebagai berikut (Suhardjono, 1994) :

1. Mencari data temperatur rata-rata bulanan (t)
2. Berdasar nilai (t) cari besaran (ea), (W), (1-W) dan f(t) dengan tabel PN.1
3. Mencari data kelembaban relatif (RH)
4. Berdasar nilai (ea) dan (RH) cari (ed) dengan tabel PN. 4
5. Berdasar nilai (ed) cari f(ed) dengan tabel PN. 5
6. Cari letak lintang daerah yang ditinjau
7. Berdasar letak lintang cari nilai (Ra) dengan tabel PN. 2
8. Cari data kecerahan matahari (n/N)
9. Berdasar nilai (Ra) dan (n/N) cari besaran (Rs) dengan tabel PN. 3 atau dihitung
10. Berdasar nilai (n/N) cari f(n/N) dengan tabel PN. 6
11. Cari data kecepatan angin rata-rata bulanan (u)
12. Berdasar nilai (u) cari f(u) dengan tabel PN. 7
13. Hitung besar $Rn1 = f(t).f(ed).f(n/N)$
14. Cari besarnya angka koreksi (c) dengan tabel PN. 8
15. Berdasar besaran nilai W, (1-W), Rs, Rn1, f(u), ea, dan ed yang telah didapat hitung $ETo^* = W.(0,75.Rs-Rn1) + (1-W).f(u).(ea-ed)$
16. Hitung $Eto = c . Eto^*$

Untuk keadaan iklim Indonesia dimana RH cukup tinggi dan kecepatan angin antara rendah dan sedang, besaran c tersebut berkisar antara 0,86 sampai dengan 1,10.

2.2.2 Curah Hujan Efektif

2.2.2.1 Analisa Curah Hujan

Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air yang salah satunya seperti alokasi air irigasi adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah yang bersangkutan, bukan curah hujan pada satu titik tertentu. Curah hujan ini disebut curah hujan wilayah/daerah. Curah hujan ini harus diperkirakan dari beberapa titik pengamatan curah hujan. Cara-cara perhitungan curah hujan daerah dari pengamatan curah hujan di beberapa titik adalah sebagai berikut (Sosrodarsono, 1976):

- ✓ Metode Rerata Aljabar
- ✓ Metode Thiessen

✓ Metode Isohiet

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

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 Ha sampai 50.000 Ha dengan dua atau tiga titik pengamat hujan dapat digunakan cara rerata aljabar.
3. Daerah dengan luas 120.000 Ha sampai 500.000 Ha yang mempunyai titik pengamat yang tersebar cukup merata dan dimana data curah hujannya tidak terlalu dipengaruhi kondisi topografi, dapat digunakan cara rerata aljabar. Jika titik-titik pengamatan tidak tersebar merata maka digunakan cara Thiessen.
4. Daerah dengan luas lebih besar dari 500.000 Ha dapat digunakan cara Isohiet.

Berdasarkan data curah hujan selama 12 tahun pada empat stasiun curah hujan yang mewakili Daerah Irigasi Nglirip, dilakukan analisa data curah hujan yang diamati dari setiap titik (point rainfall) / pos stasiun hujan menjadi curah hujan wilayah /daerah (areal rainfall) adalah dengan menggunakan Metode Rerata Aljabar dengan persamaan sebagai berikut (Sosrodarsono, 1976):

$$\bar{R} = \frac{1}{n} (R_1 + R_2 + \dots + R_n) \quad (2-10)$$

dengan :

\bar{R} = areal rainfall / curah hujan daerah (mm)

R_1, R_2, \dots, R_n = point rainfall / besarnya curah hujan di tiap titik pengamatan (mm)

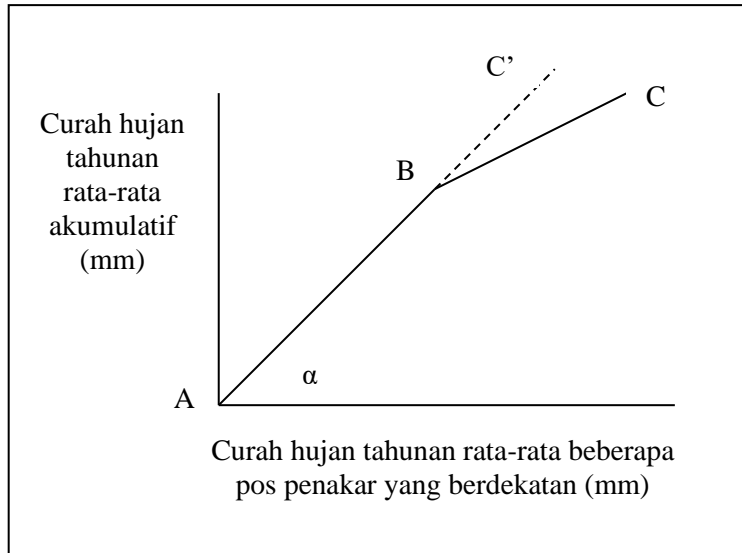
n = jumlah titik-titik (pos-pos) pengamatan

2.2.2.2 Uji Konsistensi Data Hujan

Perubahan dalam lokasi pengukuran, pemaparan, instrumentasi, dan cara pengamatannya dapat menyebabkan suatu perubahan relatif dalam penangkapan hujan. Jika data hujan tidak konsisten yang diakibatkan oleh berubahnya atau terganggunya lingkungan di sekitar tempat dimana penakar hujan dipasang, misalnya: terlindung oleh pohon, terletak berdekatan dengan gedung yang tinggi, perubahan cara penakaran dan pencatatannya, pemindahan letak penakar dan sebagainya dapat mengakibatkan penyimpangan data hujan yang

diukur.

Hal tersebut dapat diselidiki dengan menggunakan lengkung massa ganda seperti terlihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Analisis Kurva Massa Ganda

Kalau tidak terdapat perubahan lingkungan, maka akan didapatkan garis ABC, tetapi karena pada suatu tahun terjadi perubahan lingkungan maka akan didapat garis patah ABC'. Penyimpangan tiba-tiba dari garis semula menunjukkan adanya perubahan tiba-tiba dalam pengamatan. Jadi perubahan tersebut bukan disebabkan oleh perubahan iklim atau keadaan hidrologis (Soemarto, 1986).

2.2.2.3 Curah Hujan Efektif

Tanah dalam kondisi alamiah selalu mengandung air. Pemberian air yang cukup adalah yang paling utama yang sangat dibutuhkan oleh pertumbuhan tanaman. Setiap tanaman mencoba mengabsorpsi (menyerap) kadar air secukupnya dari tanah untuk pertumbuhan. Jadi yang terpenting bagi tanaman adalah bahwa air dalam tanah berada dalam keadaan yang mudah untuk diserap (Sosrodarsono, 1976). Untuk menjaga agar ketersediaan air di dalam tanah selalu berada dalam keadaan yang sesuai bagi pertumbuhan tanaman maka diperlukan adanya pemberian air irigasi atau yang berasal dari alam yaitu air hujan.

Hujan yang turun jumlahnya tidak selalu tepat untuk membuat kondisi tanah sedemikian rupa hingga memudahkan tanaman untuk menyerap air. Di dalam memperhitungkan kebutuhan air untuk irigasi, curah hujan diperhitungkan sebagai penambah untuk memenuhi kebutuhan air tanaman (Sosrodarsono, 1976). Jika curah hujan yang jatuh intensitasnya rendah, maka air akan habis menguap dan tidak bisa dipergunakan untuk pertumbuhan tanaman. Air hujan yang jatuh dan dimanfaatkan oleh tanaman untuk memenuhi kebutuhan air konsumtifnya disebut curah hujan efektif. 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 antara curah hujan efektif dan curah hujan nyata sebagai berikut :

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

Untuk mendapatkan curah hujan efektif, digunakan metode Basic Year, dimana menentukan suatu tahun tertentu sebagai tahun dasar perencanaan. Dalam studi ini, probabilitas keandalan curah hujan disesuaikan dengan probabilitas keandalan debit sehingga dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$R_x = \frac{n}{\left(\frac{100}{100 - X} \right)} + 1 \quad (2-11)$$

dengan :

R_x = curah hujan yang terjadi dengan tingkat keandalan tertentu (mm)

n = periode lamanya pengamatan curah hujan (tahun)

X = tingkat keandalan yang dikehendaki (%)

Adapun langkah-langkah perhitungannya adalah sebagai berikut:

1. Curah hujan tahunan selama n tahun diurutkan dari kecil ke besar.
2. Dengan persamaan (2-11) diatas didapatkan urutan curah hujan yang diambil sebagai curah hujan andalan.

3. Curah hujan andalan yang diperoleh merupakan tahun dasar perencanaan.

A. Curah Hujan Efektif Untuk Tanaman Padi

Besarnya curah hujan efektif untuk tanaman padi ditentukan dengan 70% dari curah hujan andalan. Sedangkan besarnya curah hujan andalan didapat dengan menggunakan metode Basic Year. Curah hujan efektif diperoleh dari $70\% \times R_x$ per periode waktu pengamatan sehingga persamaannya adalah sebagai berikut (Direktorat Jenderal Sumber Daya Air/KP-01, 2013):

$$Re_{padi} = 0,7 \times (R_x) \quad (2-12)$$

dengan :

Re padi = curah hujan efektif untuk padi sawah (mm/hr)

R_x = tingkat hujan yang terjadi dengan tingkat kepercayaan tertentu (mm)

B. Curah Hujan Efektif Untuk Tanaman Palawija Dan Tanaman Tebu

Curah hujan efektif untuk tanaman palawija dan tanaman tebu ditentukan berdasarkan evapotranspirasi yang terjadi, hujan serta ketersediaan air tanah yang siap untuk diserap (pendekatan kedalaman perakaran) dengan persamaan sebagai berikut (Direktorat Jenderal Sumber Daya Air/KP-01, 2013):

$$Re_{plw/tebu} = FD(1,25 \times \bar{R}^{-0,824} - 2,93) \times (10^{0,0095 \times Eto}) \quad (2-13)$$

FD =

$$0,53 + (0,0116 \times D) - (8,94 \times 10^{-5} \times D^2) + (2,32 \times 10^{-7} \times D^3) \quad (2-14)$$

dengan :

Re plw/tebu = curah hujan efektif untuk palawija/tebu (mm/hr)

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

D = kedalaman perakaran tanaman yang siap pakai (mm), dimana :

D untuk tanaman Kedelai = 75 mm, Jagung = 80 mm, Tebu = 90 mm.

\bar{R} = Rerata Hujan (mm/hr)

2.2.3 Kebutuhan Air Di Sawah

Tanaman membutuhkan air agar dapat tumbuh dan berproduksi

dengan baik. Air tersebut dapat berasal dari air hujan maupun air irigasi. Air irigasi adalah sejumlah air yang pada umumnya diambil dari sungai atau waduk dan dialirkan melalui sistem jaringan irigasi, guna menjaga keseimbangan jumlah air di lahan pertanian (Suhardjono, 1994).

Besarnya kebutuhan air di sawah dipengaruhi oleh faktor-faktor sebagai berikut (Direktorat Jenderal Sumber Daya Air/KP-01, 2013):

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

Pendugaan kebutuhan air di sawah dilakukan berdasarkan jenis tanaman, persamaan netto kebutuhan air (*Netto Farm Requirement*) dengan Metode Standar Perencanaan Irigasi yaitu dengan persamaan sebagai berikut (Direktorat Jenderal Sumber Daya Air/KP-01, 2013):

$$\mathbf{NFR\ padi = LP + ET + WLR + P - Re\ padi} \quad \mathbf{(2-15)}$$

$$\text{NFR plw} = \text{ET} - \text{Re plw} \quad (2-16)$$

$$\text{NFR tebu} = \text{ET} - \text{Re tebu} \quad (2-17)$$

dengan :

NFR padi = netto kebutuhan air padi sawah (mm/hr)

NFR plw = netto kebutuhan air palawija (mm/hr)

NFR tebu = netto kebutuhan air tebu (mm/hr)

LP = kebutuhan air untuk persiapan lahan (mm/hr)

ET = kebutuhan air untuk tanaman (mm/hr)

WLR = (*Water Level Requirement*) kebutuhan air untuk penggantian lapisan air (mm/hr)

P = perkolasi (mm/hr)

Re padi = curah hujan efektif untuk padi sawah (mm/hr)

Re plw = curah hujan efektif untuk palawija (mm/hr)

Re tebu = curah hujan efektif untuk tebu (mm/hr)

2.2.4 Kebutuhan Air Tanaman

Kebutuhan air tanaman adalah sejumlah air yang dibutuhkan untuk mengganti air yang hilang akibat penguapan. Air dapat menguap melalui permukaan air maupun melalui daun-daun tanaman. Besar penguapan air permukaan (evaporasi) sangat erat berhubungan dengan faktor iklim yaitu (Suhardjono, 1994):

- ▣ Suhu udara
- ▣ Kecepatan angin
- ▣ Kelembaban udara
- ▣ Kecerahan penyinaran matahari

Sedangkan besarnya air yang menguap melalui daun-daun tanaman (transpirasi), disamping dipengaruhi oleh keadaan iklim, juga erat berhubungan dengan faktor tanaman, yaitu (Suhardjono, 1994):

- ▣ Jenis tanaman
- ▣ Varitas (macam) tanaman
- ▣ Umur pertumbuhan tanaman

Dengan demikian besar kebutuhan air tanaman adalah sebesar jumlah air yang hilang akibat proses evapotranspirasi. Kebutuhan air tanaman dapat dirumuskan sebagai berikut (Suhardjono, 1994):

$$ET = k \cdot ETo \quad (2-18)$$

dengan :

ET = kebutuhan air untuk tanaman (mm/hr)

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

ETo = evapotranspirasi potensial (mm/hr)

Tabel 2.2. Harga-Harga Koefisien Tanaman Padi

Bulan	<i>Nedesco/Prosida</i>		FAO	
	Varietas Biasa	Varietas Unggul	Varietas Biasa	Varietas Unggul
0,5	1,20	1,20	1,10	1,10
1	1,20	1,27	1,10	1,10
1,5	1,32	1,33	1,10	1,05
2	1,40	1,30	1,10	1,05
2,5	1,35	1,30	1,10	0,95
3	1,24	0,00	1,05	0,00
3,5	1,12		0,95	
4	0,00		0,00	

Sumber : Direktorat Jenderal Sumber Daya Air/KP-01,2013

Tabel 2.3. Harga-Harga Koefisien Tanaman Palawija dan Tebu

Palawija		Tebu	
Bulan	FAO	Umur (Bulan)	K
0,5	0,50	0-1	0,6
1,0	0,75	1-2	0,8
1,5	1,0	2-2,5	0,9
2,0	1,0	2,5-4	1
2,5	0,82	4-10	1,05
3,0	0,45	10-11	0,8
		11-12	0,6

Sumber: Direktorat Jenderal Sumber Daya Air/KP-01, 2013

2.2.5 Perkolasi

Perkolasi adalah gerakan air ke bawah dari zone tidak jenuh (antara permukaan tanah sampai ke permukaan air tanah) ke dalam daerah jenuh (daerah di bawah permukaan air tanah) (Soemarto, 1986).

Laju perkolasi sangat bergantung kepada sifat-sifat tanah (Direktorat Jenderal Sumber Daya Air/KP-01, 2013). Laju perkolasi lahan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain:

1. Tekstur tanah

Tanah dengan tekstur halus mempunyai angka perkolasi kecil, sedang tekstur yang kasar mempunyai angka perkolasi yang besar.

2. Permeabilitas tanah

Permeabilitas tanah merupakan gaya untuk merembes lewat ruang antar butir tanah. Permeabilitas tanah besar daya daya perkolasi besar, sedangkan permeabilitas tanah kecil perkolasi tanah kecil.

3. Tebal lapisan tanah bagian atas

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

4. Letak permukaan air tanah

Lindungan tumbuh-tumbuhan yang padat menyebabkan daya infiltrasi (proses masuknya air hujan ke dalam lapisan permukaan tanah dan turun ke permukaan air tanah) semakin besar, yang berarti daya perkolasi juga besar.

Tabel 2.4 Laju Perkolasi Untuk Berbagai Tekstur Tanah

No	Tekstur Tanah	Perkolasi (mm/hr)
1	Lempung Berpasir	3 – 6
2	Lempung	2 – 3
3	Liat lempung	1 – 2

Sumber : Wirosoedarmo , 1985

Pada daerah studi yaitu Daerah Irigasi Nglirip mempunyai jenis tanah liat lempung yang tanahnya berwarna hitam dan mempunyai tampilan bongkah-bongkah yang pecah (retakan-retakan) dengan nilai perkolasi sebesar 1,8 mm/hr.

2.2.6 Kebutuhan Air Untuk Penyiapan Lahan

Kebutuhan air untuk penyiapan lahan umumnya menentukan kebutuhan maksimum air irigasi pada suatu proyek irigasi. Pada umumnya jumlah air yang dibutuhkan untuk penyiapan lahan dapat ditentukan berdasarkan kedalaman serta porositas tanah di sawah.

Untuk tanah bertekstur berat tanpa retak-retak, kebutuhan air untuk penyiapan lahan diambil 200 mm. Ini termasuk air untuk penjemuran dan pengolahan tanah. Pada permulaan transplantasi tidak akan ada lapisan yang tersisa di sawah. Setelah transplantasi selesai, lapisan air di sawah akan ditambah 50 mm. Secara keseluruhan, ini berarti bahwa lapisan air yang diperlukan menjadi 250 mm untuk

penyiapan lahan dan untuk lapisan air awal setelah transplantasi selesai.

Bila lahan dibiarkan bero selama jangka waktu yang lama (2,5 bulan atau lebih), maka lapisan air yang diperlukan untuk penyiapan lahan diambil 300 mm, termasuk yang 50 mm untuk penggenangan setelah transplantasi.

Untuk tanah-tanah ringan dengan laju perkolasi yang lebih tinggi, harga-harga kebutuhan air untuk penyiapan lahan bisa diambil lebih tinggi lagi. Kebutuhan air untuk penyiapan lahan sebaiknya dipelajari dari daerah-daerah di dekatnya yang kondisi tanahnya serupa dan hendaknya didasarkan pada hasil-hasil penyiapan di lapangan (Direktorat Jenderal Sumber Daya Air/KP-01, 2013).

Dalam praktiknya, pengolahan tanah tidak didahulukan serentak, misalnya untuk suatu petak tersier, tersier diolah berkisar antara 10-15 hari. Sedangkan untuk daerah irigasi yang luas baru bisa diselesaikan sekitar 30-45 hari, namun hal ini tergantung pada alat pengolahan tanah yang digunakan. Dengan tidak dilakukan pengolahan serentak tersebut maka kebutuhan air tiap harinya bisa lebih kecil. Kebutuhan air untuk penyiapan lahan dipengaruhi oleh evaporasi, kejenuhan tanah, perkolasi dan jangka waktu untuk penyiapan lahan. Untuk menghemat pemakaian air irigasi pada saat penyiapan lahan, maka dilakukan hal-hal sebagai berikut (Wirosoedarmo, 1985) :

1. Penyiapan lahan tidak dilakukan sekaligus atau serentak dalam waktu singkat, karena terbatasnya persediaan tenaga, di samping itu dengan menunggu bibit persemaian.
2. Saat penyiapan lahan untuk tanaman padi musim hujan, biasanya menunggu cukup turunnya hujan sehingga dapat menggunakan curah hujan seefektif mungkin dan pada saat penyiapan lahan untuk padi gadu biasanya kondisi tanah masih lembab.

Kebutuhan air untuk penyiapan lahan dapat dihitung dengan metode yang dikembangkan oleh Van de Goor dan Zijlstra (1968) dengan persamaan sebagai berikut (Direktorat Jenderal Sumber Daya Air/KP-01, 2013):

$$IR = \frac{M \cdot e^k}{(e^k - 1)}$$

(2-17)

dengan :

IR = kebutuhan air untuk pengolahan lahan (mm/hr)

M = kebutuhan air untuk mengganti kehilangan air akibat evapotranspirasi dan perkolasi di sawah yang sudah dijenuhkan (mm/hr)

$$= E_o + P \quad (2-19)$$

E_o = evaporasi air terbuka selama penyiapan lahan (mm/hr)

$$= 1,1 \cdot E_{To} \quad (2-20)$$

P = perkolasi

$$k = (M \cdot T) / S \quad (2-21)$$

T = jangka waktu penyiapan lahan (hari)

S = kebutuhan air untuk penjenuhan ditambah dengan lapisan air 50 mm, yakni $200 + 50 = 250$ mm

e = bilangan eksponensial (2,71828)

Berikut diperlihatkan kebutuhan air irigasi selama penyiapan lahan yang dihitung menurut rumus di atas.

Tabel 2.5. Kebutuhan air irigasi selama penyiapan lahan

E _o + P mm/hari	T = 30 hari		T = 45 hari	
	S = 250 mm	S = 300 mm	S = 250 mm	S = 300 mm
5,0	11,1	12,7	8,4	9,5
5,5	11,4	13,0	8,8	9,8
6,0	11,7	13,3	9,1	10,1
6,5	12,0	13,6	9,4	10,4
7,0	12,3	13,9	9,8	10,8
7,5	12,6	14,2	10,1	11,1
8,0	13,0	14,5	10,5	11,4
8,5	13,3	14,8	10,8	11,8
9,0	13,6	15,2	11,2	12,1
9,5	14,0	15,5	11,6	12,5
10,0	14,3	15,8	12,0	12,9
10,5	14,7	16,2	12,4	13,2
11,0	15,0	16,5	12,8	13,6

Sumber: Direktorat Jenderal Sumber Daya Air/KP-01, 2013

2.2.7 Penggantian Lapisan Air

Penggantian lapisan air sangat erat hubungannya dengan kesuburan tanah dan dimaksudkan untuk memenuhi kebutuhan air yang terputus akibat kegiatan di sawah dengan ketentuan sebagai berikut (Direktorat Jenderal Sumber Daya Air/KP-01, 2013).

- ⊙ Setelah pemupukan diusahakan menjadwalkan dan mengganti lapisan air menurut kebutuhan.
- ⊙ Jika tidak ada penjadwalan semacam itu, lakukan penggantian sebanyak 2 kali, masing-masing 50 mm (atau 3,3 mm/hari selama setengah bulan) selama sebulan dan dua bulan setelah transplantasi.

Pergantian lapisan air hanya diperlukan untuk tanaman padi, sedangkan pada tanaman palawija, proses ini tidak diperlukan.

2.2.8 Kebutuhan Air Irigasi

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. Efisiensi irigasi

2.3 Debit Andalan

Perhitungan debit andalan dilakukan dengan metode tahun dasar (Basic Year), yaitu mengambil satu pola debit dari tahun tertentu. Peluang kejadiannya dihitung dengan persamaan Weibull (Subarkah, 1980):

$$P = \frac{m}{n+1} \times 100\% \quad (2-22)$$

dengan :

- P = probabilitas (%)
- m = nomor urut data debit
- n = banyaknya data debit

Prosedur perhitungan debit andalan adalah sebagai berikut :

1. Menghitung total debit dalam satu tahun untuk tiap tahun data yang diketahui.
2. Merangking data mulai dari yang besar hingga kecil.
3. Menghitung probabilitas untuk masing-masing data dengan menggunakan persamaan Weibull (2-10) diatas.

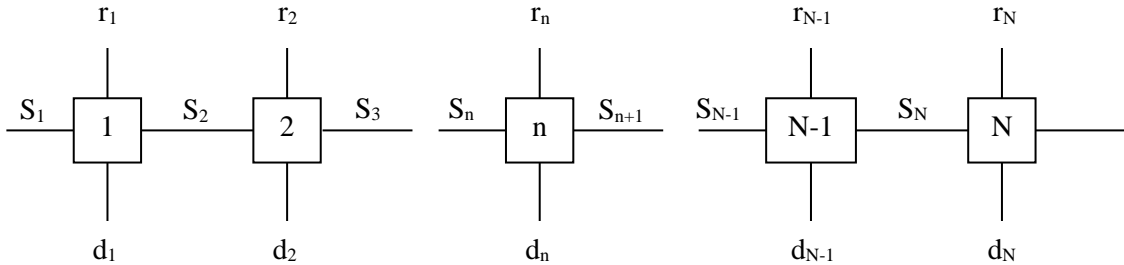
2.4 Program Dinamik

2.4.1 Konsep Dasar Program Dinamik

Program dinamik yang digunakan dalam studi ini adalah program dinamik deterministik. Program dinamik deterministik merupakan program dinamik dengan suatu distribusi probabilitas untuk ketetapan dalam tahap-tahap keputusan yang berurutan. Program dinamik deterministik menangani situasi dimana sebagian atau semua parameter dari problem dinyatakan dalam bentuk variabel-variabel acak. Situasi demikian kelihatannya memang merupakan realitas dimana-mana, termasuk juga di dalam sistem keairan (hydrosystem), dimana adalah sulit untuk menentukan nilai dari parameter-parameter secara eksak. Cara analisa sensitivitas memang dapat digunakan untuk mempelajari efek dari perubahan nilai dari parameter-parameter problem pada solusi optimal (Montarcih, 2009). Analisa pada studi ini dipakai program dinamik karena beberapa alasan sebagai berikut:

1. Pada persoalan program dinamik ini tidak ada formulasi matematis yang standar sehingga persamaan-persamaan yang terpilih untuk digunakan disesuaikan dengan masing-masing situasi yang dihadapi.
2. Optimasi yang dilakukan adalah pada setiap bangunan bagi, sadap, dan bagi sadap dimana di setiap bangunan itu lahannya ditanami tanaman yang tidak sejenis sehingga variabelnya bersifat acak.

2.4.2 Elemen-elemen Model Program Dinamik



Gambar 2.2. Diagram Urutan Problem Dinamik Serial

Mengacu Gambar 2.2. di atas, elemen-elemen model program dinamik adalah sebagai berikut (Montarcih, 2009).

1. Tahap/*Stage* (n)

Merupakan bagian dari problem dimana keputusan (*decision*) diambil. Jika suatu problem dapat dipecah menjadi N subproblem, maka ada N tahap dalam formulasi DP tersebut. Tahapan pada *multi stage problem* yang dimaksudkan dalam studi ini adalah tahapan tempat yaitu antara bangunan bagi, sadap, dan bagi sadap yang satu dengan yang lain pada Induk Saluran Nglirip.

2. Variabel Keputusan/*Decision Variable* (d_n)

Merupakan besaran dari keputusan (*decision*) yang diambil pada setiap tahap. Variabel keputusan dalam studi ini adalah besarnya debit yang dialokasikan atau debit yang dibutuhkan tiap bangunan irigasi serta keuntungan bersih yang diperoleh. Keputusan yang diambil pada setiap tahap akan ditransformasikan ke keputusan berikutnya pada tahap berikutnya, sehingga didapat optimum secara keseluruhan.

3. Variabel Status/*State Variable* (S_n)

Merupakan variabel yang mewakili/menjelaskan status (*state*) dari sistem yang berhubungan dengan tahap ke- n . Fungsi dari variabel status adalah untuk menghubungkan tahap-tahap secara berurutan sedemikian sehingga, apabila setiap tahap dioptimasi secara terpisah, maka keputusan yang dihasilkan adalah layak (*feasible*)

untuk seluruh problem. Lebih lanjut, keputusan-keputusan optimal dapat diambil untuk tahap tersisa tanpa harus melakukan cek pada akibat dari keputusan berikutnya terhadap keputusan yang telah diambil terdahulu. Untuk tahap ke- n , variabel status di belakangnya (S_n) disebut sebagai variabel status input, sedangkan variabel status di depannya (S_{n+1}) disebut sebagai variabel status output. Dalam studi ini, variabel status berupa debit yang ada atau tersedia terus menerus pada pintu pengambilan (intake) Bendung Nglirip.

4. Akibat Tahap/Stage Return (r_n)

Merupakan ukuran skalar dari hasil keputusan yang diambil pada setiap tahap. Akibat tahap (stage return) ini merupakan fungsi dari variabel-variabel S_n (status input), S_{n+1} (state output), dan d_n (keputusan), sehingga dapat dinyatakan sebagai fungsi berikut.

$$r_n = r(S_n, S_{n+1}, d_n) \quad (2-23)$$

Akibat tahap dalam studi ini merupakan keuntungan sebagai fungsi debit pada suatu kondisi debit tertentu.

5. Transformasi Tahap/Stage Transformation atau Transisi Status/State Transition (t_n)

Merupakan suatu transformasi nilai tunggal yang menyatakan hubungan antara variabel-variabel S_n (status input), S_{n+1} (status output), dan d_n (keputusan), yang dinyatakan sebagai persamaan berikut.

$$S_{n+1} = t_n(S_n, d_n) \quad (2-24)$$

Stage Transformation dalam studi ini adalah perubahan air tersedia sampai air yang terdistribusikan pada tiap bangunan irigasi NGL KN 1 SAMPAI NGL KR 9 KI pada Induk Saluran Nglirip.

2.4.3 Prosedur Perhitungan

Teknik perhitungan programisasi dinamik terutama didasarkan pada prinsip optimasi recursive (bersifat pengulangan) yang diketahui sebagai prinsip optimalisasi (*principle of optimality*). Prinsip ini mengandung arti bahwa bila dibuat keputusan *multistage* mulai pada tahap tertentu, kebijakan optimal untuk tahap-tahap selanjutnya tergantung pada ketetapan tahap permulaan tanpa menghiraukan bagaimana diperoleh suatu ketetapan tertentu tersebut (Subagyo, 1984).