

TESIS

**OPTIMASI PEMANFAATAN AIR WADUK
BENDUNGAN PASSELLORENG KABUPATEN WAJO**

*Optimization Of Utilization Water Reservoir
In Passelloreng Dam Wajo Regency*

**RISKA WULANDARI
D012201004**



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

PENGAJUAN TESIS

**OPTIMASI PEMANFAATAN AIR WADUK
BENDUNGAN PASSELLORENG KABUPATEN WAJO**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk mencapai Gelar Magister
Program Studi Ilmu Teknik Sipil

Disusun dan Diajukan oleh

ttd

RISKA WULANDARI

D012201004

Kepada

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

TESIS

OPTIMASI PEMANFAATAN AIR WADUK BENDUNGAN PASSELLORENG KAB. WAJO

RISKA WULANDARI
D012201004

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Tesis yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi pada Program Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 19 Juni 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Dr. Eng. Ir. H. Farouk Maricar, MT.
NIP. 196410201991031002

Pembimbing Pendamping



Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Tahir Lopa, MT.
NIP. 196703191992032001

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr.Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST. MT. IPM
NIP. 197309262000121002

Ketua Program Studi



Dr. M. Asad Abdurrahman, ST. MEng.PM
NIP. 197303061998021001

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Riska Wulandari

Nomor Mahasiswa : D012201004

Program Studi : Teknik Sipil

Dengan ini menyatakan bahwa, tesis berjudul "Optimasi Pemanfaatan Air Waduk Bendungan Passelloreng Kabupaten Wajo" adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing Dr. Eng. Ir. H. Farouk Maricar, MT. dan Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Tahir Lopa, MT. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah dipublikasikan di Jurnal Design Engineering, Volume 2023, Issue 01, Halaman 382-391 sebagai artikel dengan judul "Optimization of Utilization Water Reservoir in Passelloreng Dam Wajo Regency".

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 12 Juli 2023

Yang menyatakan



METERAI
TEMPER
E4AKX517868810

Riska Wulandari

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia-Nya, penulisan tesis ini yang berjudul “**Optimasi Pemanfaatan Air Waduk Bendungan Passelloreng Kabupaten Wajo**” dapat diselesaikan dengan baik. Dalam penulisan tesis ini tidak sedikit hambatan yang penulis alami. Namun, berkat bantuan berbagai pihak terutama pembimbing, hambatan tersebut dapat teratasi. Sehubungan dengan itu, pada kesempatan dan melalui lembaran ini, penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Ir. H. Farouk Maricar, MT. selaku pembimbing utama dan ibu Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Tahir Lopa, MT. selaku pembimbing pendamping atas waktunya yang telah membimbing, memberikan gagasan dan pengetahuan dalam menyelesaikan tesis ini.
2. Balai Besar Wilayah Sungai Pompengan Jenneberang Sulawesi Selatan yang telah memberikan kesempatan untuk memperoleh data yang berhubungan di Bendungan Passelloreng Kab. Wajo.
3. Badan Pusat Statistik Kab. Wajo yang telah memberi pemahaman dan masukan mengenai jumlah penduduk yang ada.

Kepada kedua orang tua yang tercinta dan suami, terimakasih yang tak terhingga atas doa, semangat, kasih sayang, pengorbanan, dan ketulusannya dalam mendampingi penulis. Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan rahmat dan ridho-Nya kepada kita semua. Dan kepada pihak-pihak lain yang telah begitu banyak membantu namun tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa tesis ini belum sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritikan dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan dan demi perbaikan pada masa mendatang. Semoga penelitian ini bermanfaat bagi pembacanya terutama bagi penulis

Penulis
Riska Wulandari

ABSTRAK

RISKA WULANDARI. *Optimasi Pemanfaatan Air Waduk Bendungan Passelloreng Kab. Wajo* (dibimbing oleh **Farouk Maricar, Rita Tahir Lopa**)

Sulawesi Selatan disebut-sebut sebagai salah satu daerah yang memiliki lahan persawahan paling produktif. Oleh karena itu, tidaklah heran apabila di Provinsi Sulawesi Selatan terdapat banyak pembangunan infrastruktur bendungan salah satunya ialah Bendungan Passelloreng yang merupakan bendungan multifungsi sehingga mengharuskan harus mampu mengatur air yang dikeluarkan untuk mencapai keuntungan yang maksimal. Maka dari itu, perlu dilakukan suatu kebijakan berupa pengaturan pemberian air secara baik. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan antara ketersediaan air dan kebutuhan air setelah adanya waduk Bendungan Passelloreng menggunakan *Solver* yang merupakan program linier yang terdapat pada *Microsoft Excel*. Tahapan penelitian ini terdiri dari analisis klimatologi untuk mengetahui besarnya penguapan, menganalisis ketersediaan air dengan metode F.J. Mock dan tahapan selanjutnya ialah menganalisis kebutuhan air irigasi dan air baku. Hasil dari beberapa kebutuhan air untuk Bendungan Passelloreng dioptimasi dengan program linier Solver untuk memperoleh luas lahan maksimal serta keuntungan maksimal satu pola tanam. Dari beberapa alternative simulasi pola tanam, yang mengalami peningkatan terbesar setelah adanya waduk yaitu pada awal musim tanam Mei II dengan intensitas tanam 300% menjadi 352,53% setelah adanya waduk, dengan keuntungan Rp473.050.008.85,66. Keuntungan ini telah memperhitungkan kebutuhan air baku untuk 6 kecamatan selama satu tahun sebesar 1,44 m³/detik.

Kata Kunci : Optimasi, Program Linier, Kebutuhan Air Irigasi, Pola Tanam, Kebutuhan Air Baku.

ABSTRACT

RISKA WULANDARI. *Optimization of Utilization Water Reservoir in Passelloreng Dam Wajo Regency* (supervised by **Farouk Maricar, Rita Tahir Lopa**).

South Sulawesi is said to be one of the areas with the most productive rice fields. Therefore, it is not surprising that in South Sulawesi Province there are many dam infrastructure developments, one of which is the Passelloreng Dam which is a multifunctional dam, so it requires that it must be able to regulate the water released to achieve maximum benefits. Therefore, it is necessary to make a policy in the form of regulating the supply of water properly. This study aims to optimize the availability of water and water demand after the existence of the Passelloreng Dam reservoir using Solver which is a linear program found in Microsoft Excel. The stages of this research consisted of climatological analysis to determine the amount of evaporation, analyzing water availability using the F.J. Mock and the next stage is to analyze the needs of irrigation water and raw water. The results of several water requirements for the Passelloreng Dam are optimized with the Solver linear program to obtain the maximum land area and maximum profit from one cropping pattern. From several alternative cropping pattern simulations, the largest increase after the reservoir was built, namely at the beginning of the May II planting season with a planting intensity of 300% to 352.53% after the reservoir was built, with a profit of IDR 473,050,008,85.66. This advantage has taken into account the raw water requirement for 6 districts for one year of 1.44 m³/second.

Keywords: *Optimization, Linear Programming, Irrigation Water Needs, Cropping Patterns, Raw Water Needs.*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
PENGAJUAN TESIS	iii
HALAMAN PERSETUJUAN TESIS	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Rumusan Masalah	2
I.3. Tujuan Penelitian.....	2
I.4. Manfaat Penelitian.....	3
I.5. Ruang Lingkup Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
II.1. Waduk	4
II.2. Ketersediaan Air.....	5
II.3. Kebutuhan Air Irigasi	8
II.4. Kebutuhan Air Baku.....	19
II.5. Teori Optimasi Program Linier	22
II.6. Kerangka Pikir.....	28
BAB III METODE PENELITIAN.....	29
III.1. Lokasi Penelitian.....	29

III.2.	Jenis dan Sumber Data.....	29
III.3.	Teknik Pengumpulan Data.....	33
III.4.	Analisis Data.....	34
III.5.	Bagan Alir Penelitian.....	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		40
IV.1.	Analisis Klimatologi.....	40
IV.2.	Analisis Ketersediaan Air	42
IV.3.	Analisis Kebutuhan Air Irigasi	45
IV.4.	Analisis Kebutuhan Air Baku	49
IV.5.	Analisis Optimasi.....	50
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		58
V.1	KESIMPULAN	58
V.2	SARAN	59
DAFTAR PUSTAKA		60

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Faktor Koreksi.....	9
Tabel 2 Tekanan uap jenuh (ea) menurut temperatur udara.....	10
Tabel 3 Faktor penyinaran matahari.....	11
Tabel 4 Garis lintang selatan	13
Tabel 5 Pengaruh temperatur udara f(T) pada radiasi gelombang	13
Tabel 6 Harga perkolasi dari berbagai jenis tanah	14
Tabel 7 Koefisien tanaman padi	15
Tabel 8 Koefisien tanaman palawija (Kriteria Perencanaan Irigasi KP – 01).....	15
Tabel 9 Pola tanam (Sumber : S.K. Sidharta, Irigasi dan Bangunan Air, 1997)..	18
Tabel 10 Kriteria perencanaan air baku (Kriteria Perencanaan Ditjen Cipta Karya PU, 1996)	20
Tabel 11 Kebutuhan air non domestik	21
Tabel 12 Data curah hujan periode Januari - Juni	30
Tabel 13 Data curah hujan periode Juli - Desember	30
Tabel 14 Data kelembaban stasiun Sengkang	31
Tabel 15 Data temperature stasiun Sengkang	31
Tabel 16 Data Kecepatan Angin Stasiun Sengkang	31
Tabel 17 Data Lama Penyinaran Matahari (%).....	32
Tabel 18 Jumlah dan laju pertumbuhan penduduk.....	32
Tabel 19 Fasilitas kesehatan tahun 2021	32
Tabel 20 Fasilitas ibadah tahun 2021	32
Tabel 21 Fasilitas pendidikan tahun 2021	33
Tabel 22 Rekapitulasi Eto (Hasil perhitungan, 2022)	42
Tabel 23 Debit Waduk Bendungan Passelloreng Kab. Wajo.....	44
Tabel 24 Debit andalan.....	44
Tabel 25 Curah hujan andalan periode Januari – Juni (Hasil perhitungan, 2022)	45
Tabel 26 Curah hujan andalan periode Juli - Desember (Hasil perhitungan, 2022)	45
Tabel 27 Simulasi pola tanam Mei II (Hasil perhitungan, 2022)	47
Tabel 28 Kebutuhan Air Irigasi Tiap Alternatif (Sumber : Hasil Perhitungan) ...	48
Tabel 29 Rekapitulasi Kebutuhan Air Baku.....	50

Tabel 30 Biaya produksi (Badan Pusat Statistik).....	51
Tabel 31 Rekapitulasi nilai luas tanam untuk alternative 2 sebelum ada waduk setelah proses optimasi.....	53
Tabel 32 Rekapitulasi Intensitas Tanam dan Keuntungan hasil optimasi pada kondisi sebelum ada waduk untuk ketiga simulasi	53
Tabel 33 Hasil optimasi berupa luas lahan untuk alternative 2 dalam kondisi setelah ada waduk	55
Tabel 34 Hasil Optimasi berupa Intensitas Tanam dan Keuntungan setelah ada Waduk	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Representasi skema proses pemodelan dan optimasi sistem	23
Gambar 2 Contoh konfigurasi Sistem SDA kompleks.....	24
Gambar 3. Tampilan Solver pada Microsoft Excel	26
Gambar 4. Parameter solver	27
Gambar 5 Lokasi Penelitian	29
Gambar 6 Kondisi air waduk Bendungan Passelloreng	34
Gambar 7 Kebutuhan Air Irigasi Tiap Alternatif	48
Gambar 8 Tampilan fasilitas Solver setelah memasukkan nilai parameter.....	52
Gambar 9 Grafik kebutuhan air dan debit andalan (Q_{80}).....	54
Gambar 10 Grafik kebutuhan air dan volume waduk setelah ada waduk	56
Gambar 11 Ketersediaan air dan kebutuhan air sebelum ada bendungan	57
Gambar 12 Ketersediaan air dan kebutuhan air setelah ada waduk	57

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Sulawesi Selatan sebagai salah satu daerah yang memiliki lahan persawahan paling produktif. Oleh karena itu, tidaklah heran apabila di Provinsi Sulawesi Selatan terdapat banyak pembangunan infrastruktur bendungan.

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Pasal 1 No 1 Tahun 2015, Bendungan adalah bangunan yang berupa urukan tanah, urukan batu dan beton yang dibangun selain untuk menahan dan menampung air, dapat pula dibangun untuk menahan dan menampung limbah tambang, atau menampung lumpur sehingga terbentuk waduk. Bendungan merupakan salah satu metode paling efisien untuk pengelolaan sumber daya yang berfungsi sebagai penyediaan air baku, penyediaan air irigasi, pengendalian banjir dan/atau pembangkit listrik tenaga air.

Bendungan Passelloreng merupakan salah satu bendungan terbesar yang ada di Sulawesi Selatan yang telah diresmikan oleh Presiden Jokowi pada hari Kamis, 9 September 2021. Bendungan Passelloreng yang terletak di Desa Arajang, Kecamatan Gilireng, Kabupaten Wajo termasuk salah satu Proyek Strategis Nasional (PSN) yang ditujukan untuk mendukung swasembada pangan dengan daya tampung 138 juta m³. Bendungan ini sengaja dibangun sedemikian besar untuk memastikan ketersediaan air di Sulawesi Selatan khususnya di daerah Kabupaten Wajo agar lahan persawahan selalu produktif mengingat Sulawesi Selatan merupakan lumbung pangan nasional.

Review Analisa Hidrologi Bendungan Passelloreng Kab. Wajo oleh PT. Mettana (2015) bendungan ini memiliki potensi mengairi sawah ±8510 ha. Selain mengairi sawah, Bendungan Passelloreng juga digunakan untuk menyuplai penyediaan air baku di beberapa kecamatan di Kabupaten Wajo. Kecamatan tersebut antara lain Kecamatan Gilireng, Penrang, Sajoanging, Maniangpajo, Kecamatan Majauleng dan Keera.

Menjadi bendungan yang multifungsi, mengharuskan Bendungan Passelloreng harus mampu mengatur air yang dikeluarkan untuk mencapai keuntungan yang maksimal. Maka dari itu, perlu dilakukan suatu kebijakan berupa

pengaturan pemberian air secara baik agar air tampungan dapat dimanfaatkan secara optima dan berkelanjutan dengan mengoptimalkan penggunaan air irigasi dan air baku. Penentuan jumlah air secara optimal dilakukan dengan pendekatan optimasi yang merupakan salah satu subjek yang terpenting dalam pengelolaan sumber daya air (Amin, M.N., Maricar, F., dan Putra, M., 2021).

Fasilitas *Solver* yang terdapat pada *Microsoft Excel* merupakan alat optimasi yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai optimal dari parameter linier

Untuk itu dalam rencana penelitian yang berkaitan dengan penyusunan tesis ini, maka saya mengangkat judul “Optimasi Pemanfaatan Air Waduk Bendungan Passelloreng Kabupaten Wajo”

I.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Berapa besar kebutuhan air untuk kebutuhan irigasi dari tiap – tiap alternatif pola tanam ?
2. Berapa besar kebutuhan air yang dapat dimanfaatkan untuk air baku ?
3. Bagaimana cara mengoptimalkan pemanfaatan air waduk Bendungan Passelloreng ?

I.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini antara lain :

1. Untuk menganalisis banyaknya kebutuhan air dari tiap alternatif pola tanam, sehingga dapat memaksimalkan luas areal optimal lahan yang bisa diairi.
2. Untuk menganalisis banyaknya kebutuhan air yang dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan air baku.
3. Untuk mengkaji cara mengoptimalkan penggunaan air waduk Bendungan Passelloreng.

I.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini antara lain :

1. Diharapkan dapat memberikan informasi mengenai besarnya kebutuhan air untuk berbagai kebutuhan yakni keperluan irigasi dan penggunaan air baku.
2. Dapat memberikan gambaran bagaimana mengoptimalkan air waduk bendungan passelloreng dengan program linier menggunakan fasilitas *Solver*.
3. Dapat digunakan sebagai salah satu bahan masukan dan alternatif acuan dalam pembagian kebijaksanaan operasi irigasi bagi instansi terkait.
4. Dapat menjadi ilmu pengetahuan khususnya di bidang konstruksi sumber daya air.

I.5. Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup dari penelitian ini ialah :

1. Penelitian ini dilakukan di Bendungan Passelloreng, Desa Arajang, Kecamatan Gilireng, Kab. Wajo.
2. Pemodelan Optimasi dibatasi dengan mengoptimalkan pemanfaatan air waduk Bendungan Passelloreng untuk kebutuhan irigasi dan air baku menggunakan program linear yang ada dalam *Microsoft Excel* yaitu *Solver*.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II.1. Waduk

Untuk menyimpan air yang berlebih pada saat musim penghujan agar dapat dimanfaatkan guna pemenuhan kebutuhan air dan daya air pada waktu diperlukan, serta mengendalikan daya rusak air yang ditujukan untuk kesejahteraan dan keselamatan umum, berdasarkan Pasal 15 Peraturan Pemerintah Nomor 35 Tahun 1991 tentang Sungai perlu membentuk waduk yang dapat menampung air sebagai bagian dari pengembangan sumber daya air

Satria, M.Y.K dkk (2017) menyatakan waduk sebagai alternatif sarana irigasi yang diharapkan mampu melayani kebutuhan air pada areal pertanian yang cukup luas, baik untuk tanaman jangka panjang maupun jangka pendek. Waduk merupakan tempat penampungan air musim agar menjamin ketersediaan air pada musim kemarau.

Salah satu metode paling efisien untuk pengelolaan sumber daya terintegrasi yang berfungsi untuk penyediaan air baku, penyediaan air irigasi dan/atau pembangkit listrik tenaga air ialah adanya sebuah bangunan berupa waduk (Zhou dan Guo, 2013).

Dalam kutipan Hadthya, R.A., dkk., 2020 Dalam pelaksanaannya, waduk memerlukan pedoman operasi. Pedoman operasi waduk bertujuan untuk mengatur dan mengelola agar air yang *direlease* dapat memberikan manfaat terbaik sesuai dengan fungsi bendungan tersebut, sejalan dengan *inflow* dan elevasi tampungan waduk (Chang dkk., 2005). Untuk itu pedoman operasi masing-masing bendungan/waduk harus dibuat dan dilaksanakan oleh pengelola bendungan/waduk dan harus direncanakan berdasarkan kondisi spesifik waduk.

Menurut Pasal 16 Peraturan Pemerintah Nomor 35 Tahun 1991 tentang Sungai, Pengelolaan bendungan beserta waduknya untuk pengelolaan sumber daya air bertujuan untuk menjamin :

1. Kelestarian fungsi dan manfaat bendungan beserta waduknya;
2. Efektivitas dan efisiensi pemanfaatan air; dan
3. Keamanan bendungan.

Adapun tahapan dari pengelolaan bendungan beserta waduknya ialah sebagai berikut :

1. Operasi dan pemeliharaan;
2. Perubahan atau rehabilitasi; dan
3. Penghapusan fungsi bendungan.

Sedangkan kegiatan dari pengelolaan bendungan itu sendiri dapat diselenggarakan melalui :

1. Pelaksanaan rencana pengelolaan;
2. Operasi dan pemeliharaan;
3. Konservasi sumber daya air pada waduk;
4. Pendayagunaan waduk;
5. Pengendalian daya rusak air melalui pengendalian bendungan beserta waduknya; dan
6. Penghapusan fungsi bendungan.

II.2. Ketersediaan Air

Ketersediaan air dalam pengertian sumberdaya air, pada dasarnya berasal dari sumur dangkal, sumur dalam, mata air, air permukaan dan penampungan air hujan (danau dan waduk) yang mengalami siklus hidrologi dan sebagian lagi akan meresap jatuh ke tanah sebagai pengisian kembali (*recharge*) pada kandungan air tanah yang ada (Sari dkk., 2006).

Ketersediaan air berdasarkan sumber air tersebut merupakan salah satu modal dasar pembangunan, sehingga perlu tindakan bijak agar ketersediaan menurut kualitas dan kuantitasnya terjaga dan tidak merusak keseimbangan ekosistem lingkungan. Selain itu penyediaan air yang baik harus mampu melayani kebutuhan air yang memadai serta mendapat respon serta dukungan yang positif dari masyarakat (Yuliani dan Rahdriawan, 2014).

Ketersediaan air dapat diketahui dari data debit. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menganalisis ketersediaan air ialah menggunakan Model Mock (Cita, 2015). Pada tahun 1973, Dr. F.J. Mock memperkenalkan metode penghitungan debit aliran rendah dengan menggunakan beberapa parameter.

Parameter tersebut merupakan data curah hujan, evapotranspirasi potensial metode Penman dan karakteristik hidrologi DAS.

Metode F.J.Mock pada prinsipnya dibagi dalam tiga perhitungan utama. Perhitungan tersebut yaitu perhitungan evapotranspirasi aktual, *water balance*, *run off* dan air tanah, total volume tersimpan dan aliran permukaan (Fachrurrozi, M. 2017). Kriteria perhitungan ketersediaan air berdasarkan metode F.J. Mock sebagai berikut :

II.2.1. Evapotranspirasi

1. Evapotranspirasi potensial

Metode perhitungan evapotranspirasi potensial menggunakan metode Penman Modifikasi.

2. Evapotranspirasi aktual

Menurut metode Mock, Rasio selisih antara evapotranspirasi potensial dan evapotranspirasi aktual dipengaruhi oleh *exposed surface* (m) dan jumlah hari hujan (n) dalam bulan yang bersangkutan, seperti ditunjukkan dalam formulasi berikut :

$$E = E_p \cdot \frac{m}{20} \cdot (18 - n) \quad (1)$$

$$E = E_{To} - E \quad (2)$$

Dimana :

E_a = selisih antara evapotranspirasi potensial dan aktual (mm)

E_{To} = evapotranspirasi potensial (mm)

m = permukaan lahan yang tidak tertutup oleh vegetasi (%)

n = jumlah hari hujan

II.2.2. Keseimbangan Air

1. *Water Balance* (jumlah keseimbangan air)

$$\Delta s = (R - E_a) \quad (3)$$

2. Kandungan air tanah

Apabila Δs negative, maka kapasitas kelembaban tanah akan berkurang sebaliknya jika bernilai positif maka kelembaban tanah akan bertambah (Setiyawan, dkk., 2017).

3. Kapasitas Kelembaban Tanah (SMC)

Soil Moisture Capacity adalah kapasitas kandungan air pada lapisan tanah permukaan. Besarnya SMC untuk perhitungan ketersediaan air diperkirakan berdasarkan kondisi porositas lapisan tanah permukaan dari DAS. Nilai SMC yaitu kisaran 50 mm sampai dengan 200 mm.

4. Kelebihan Air atau *Water Surplus*

$$W_s = (\Delta s - SS) \quad (4)$$

Dimana :

W_s = Kelebihan air (mm)

II.2.3. Limpasan dan Penyimpanan Air Tanah

Koefisien infiltrasi (i) dan faktor resesi aliran air (k) diperkirakan berdasarkan kondisi porositas tanah dan kemiringan tanah. Untuk koefisien infiltrasi dan faktor resesi aliran air diambil sebesar 0,25 dan 0,8.

1. Menghitung limpasan langsung (*Direct Runoff*)

Limpasan langsung (DR) dapat dihitung dengan rumus:

$$DR = W_s - I + PF \quad (5)$$

2. Limpasan Total (*Run Off*) TR_o

Dihitung dengan menggunakan rumus:

$$TR_o = BF + DR \quad (6)$$

II.2.4. Debit Bulanan

Dalam menghitung debit bulanan diperlukan data luas *catchment area*.

Debit bulanan dihitung dengan rumus :

$$Q = TR_o \times A \quad (7)$$

Dimana :

Q = Debit ($m^3/detik$)

TR_o = Aliran Total (mm/bulan)

A = Luas DAS (km^2)

II.2.5. Debit andalan

Debit yang tersedia yang dapat diperhitungkan guna keperluan tertentu sepanjang tahunnya. Semakin besar angka keandalan maka akan semakin kecil debit yang dihasilkan. Debit andalan (*dependable discharge*) berhubungan dengan probabilitas atau nilai kemungkinan terjadinya sama atau melampaui dari yang diharapkan. Debit andalan yang dimaksud disini adalah debit yang mengalir pada suatu penampang sungai dalam suatu DAS. Langkah awal untuk menentukan debit andalan yaitu dengan mengurutkan debit yang ada dari nilai terbesar hingga terkecil. Perhitungan debit andalan dilakukan dengan metode tahun dasar (*basic year*), yaitu dengan mengambil suatu pola debit dari tahun ke tahun tertentu pada setiap kondisi keandalan debit. Rumus yang digunakan yaitu rumus Weibull (Sosrodarsono, Suyono, 1985) :

$$P = m/n \times 100\% \quad (8)$$

Dimana :

P = Probabilitas (%)

m = Nomor urut data debit

n = Jumlah data pengamatan debit

II.3. Kebutuhan Air Irigasi

Dalam Peraturan Pemerintah No. 20 Tahun 2006 tentang Irigasi, Irigasi adalah usaha penyediaan, pengaturan dan pembuangan air irigasi untuk menunjang pertanian yang jenisnya meliputi irigasi permukaan, irigasi rawa, irigasi air bawah tanah, irigasi pompa dan irigasi tambak.

Kebutuhan air irigasi adalah jumlah volume air yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan evapotranspirasi, kehilangan air, kebutuhan air untuk tanaman dengan memperhatikan jumlah air yang diberikan oleh alam melalui hujan dan kontribusi air tanah. Menurut Taufik dan Setiawan, A. (2012), Pemenuhan kebutuhan air irigasi bertujuan untuk mencapai hasil produksi pertanian yang optimal di masa tanam saat terjadi kekurangan air. Air yang disalurkan ke petak sawah didasari oleh kebutuhan air untuk bercocok tanam ditambah dengan kehilangan air pada jaringan irigasi.

Kebutuhan air irigasi dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain :

II.3.1. Evapotranspirasi

Istilah evapotranspirasi dalam Standar Desain Irigasi KP-01 tahun 2010 diartikan sebagai kehilangan air total akibat penguapan dari muka tanah dan transpirasi tanaman. Persamaan dari evapotranspirasi itu sendiri ialah sebagai berikut :

$$E_{to} = c \times W \times R_n + (1-W) \times f(U) \times (e_a - e_d) \quad (9)$$

Di mana :

E_{to} = Index Evapotranspirasi

C = Faktor koreksi

W = faktor yang mempengaruhi penyinaran matahari

$f(U)$ = Fungsi kecepatan angin

R_n = Radiasi penyinaran matahari dalam perbandingan penguapan atau radiasi matahari (mm/hari)

e_d = Tekanan uap jenuh (mbar)

e_a = Tekanan uap nyata (mbar)

Variabel tersebut dapat dihitung dengan langkah-langkah sebagai berikut

1. Faktor koreksi (C)

Nilai koreksi atau nilai faktor pendekatan (c) dalam metode Penman tertuang dalam Tabel 1. Faktor koreksi.

Tabel 1 Faktor Koreksi

Bulan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun
C	1,1	1,1	1,0	0,9	0,9	0,9
Bulan	Jul	Agt	Sep	Okt	Nop	Des
C	0,9	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1

2. Tekanan Uap Jenuh (e_a)

Nilai tekanan uap jenuh (e_a) dipengaruhi oleh temperature. Besarnya tekanan uap jenuh dapat dilihat pada tekanan uap jenuh (e_a) menurut temperatur udara rata-rata.

Tabel 2 Tekanan uap jenuh (ea) menurut temperatur udara

Temperatur (°C)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ea (mbar)	6,1	6,6	7,1	7,6	8,1	8,7	9,8	10	10,7	11,5	12,3
Temperatur (°C)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
ea (mbar)	13,1	14	15	16,1	17	18,2	19,4	20,6	22	23,4	24,9
Temperatur (°C)	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
ea (mbar)	26,4	28,1	29,8	31,7	33,6	35,7	37,8	40,1	42,4	44,9	47,6
Temperatur (°C)	33	34	35	36	37	38	39				
ea (mbar)	60,3	63,2	66,2	69,4	72,8	76,3	79,9				

Sumber : Kebutuhan Air Tanaman, Departemen Pertanian, 1977

3. Tekanan Uap Aktual (ed)

Tekanan uap aktual (ed) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$e = e \times \left(\frac{R}{100}\right) \quad (10)$$

Dimana :

ed = Tekanan uap aktual (mbar)

ea = Tekanan uap jenuh (mbar)

RH = Kelembaban udara (%)

4. Menghitung fungsi kecepatan angin $f(U)$

Perhitungan $f(U)$ menggunakan persamaan berikut :

$$f(U) = 0,27 \left(1 + \frac{U}{100}\right) \quad (11)$$

Dimana :

$f(U)$ = Fungsi kecepatan angin

U = Kecepatan angin

5. Faktor yang mempengaruhi penyinaran matahari (W)

Penyinaran matahari dipengaruhi antara ketinggian dan temperature yang dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 3 Faktor penyinaran matahari

Suhu (t)	ea (mbar)	w	f(t)
2	7,10	0,440	11,40
3	7,60	0,460	11,55
4	8,10	0,480	11,70
5	8,70	0,495	11,85
6	9,30	0,510	12,00
7	10,00	0,525	12,20
8	10,70	0,540	12,40
9	11,50	0,555	12,55
10	12,30	0,570	12,70
11	13,15	0,585	12,90
12	14,00	0,600	13,10
13	15,05	0,610	13,30
14	16,10	0,620	13,50
15	17,15	0,635	13,65
16	18,20	0,650	13,80
17	19,40	0,660	14,00
18	20,60	0,670	14,20
19	22,00	0,685	14,40
20	23,40	0,700	14,60
21	24,90	0,710	14,80
22	26,40	0,720	15,00
23	28,10	0,730	15,27
24	29,80	0,740	15,54
25	31,70	0,750	15,72
26	33,60	0,760	15,90
27	35,70	0,770	16,10
28	37,80	0,780	16,30
29	40,10	0,785	16,50
30	42,40	0,790	16,70
31	45,00	0,800	16,95
32	47,60	0,810	17,20
33	50,40	0,815	17,45
34	53,20	0,820	17,70
35	56,30	0,830	17,90
36	59,40	0,840	18,10
37	62,80	0,845	
38	66,30	0,85	

6. R_n (Net Radiasi Equivalen Evaporasi)

Menghitung radiasi penyinaran matahari dalam perbandingan penguapan atau radiasi matahari bersih (mm/hari) dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$R_n = R_s - R_{nl} \quad (12)$$

Dimana

R_n = Penyinaran radiasi matahari (mm/hari)

R_{ns} = Penyinaran matahari yang diserap oleh bumi (mm/hari) yang tergantung pada garis lintang (R_a), dengan persamaan (13). sedangkan tabel garis lintang (R_a) disajikan pada Tabel 4

R_{nl} = Radiasi yang dipancarkan oleh bumi (mm/hari) dengan menggunakan persamaan (15)

$$R_{nl} = (1 - \alpha) \times R_s \quad (13)$$

$$R_s = \left\{ 0,25 + 0,5 \left(\frac{n}{N} \right) \right\} \times R_0 \quad (14)$$

$$R_{nl} = f(T) \times f(e) \times f\left(\frac{n}{N}\right) \quad (15)$$

$$f(e) = (0,34 - 0,044 \times e)^{0,5} \quad (16)$$

$$f\left(\frac{n}{N}\right) = \left\{ 0,1 + 0,9 \left(\frac{n}{N} \right) \right\} \quad (17)$$

Di mana:

$f(T)$ = Koreksi akibat temperature dapat dilihat pada Tabel 5

$f(e)$ = Koreksi akibat tekanan uap air menggunakan persamaan (16)

$f(n/N)$ = Koreksi rasio penyinaran matahari menggunakan persamaan (17)

Tabel 4 Garis lintang selatan

Lintang SELATAN (°)	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nop	Des
0	15,0	15,5	15,7	15,3	14,4	13,9	14,1	14,8	15,3	15,4	15,1	14,8
2	15,3	15,7	15,7	15,1	14,1	13,5	13,7	14,5	15,2	15,5	15,3	15,1
4	15,5	15,8	15,6	14,9	13,8	13,2	13,4	14,3	15,1	15,6	15,5	15,4
6	15,8	16,0	15,6	14,7	13,4	12,8	13,1	14,0	15,0	15,7	15,8	15,7
8	16,1	16,1	15,5	14,4	13,1	12,4	12,7	13,7	14,9	15,8	16,0	16,0
10	16,4	16,3	15,5	14,2	12,8	12,0	12,4	13,5	14,8	15,9	16,2	16,2
12	16,6	16,3	15,4	14,0	12,5	11,6	12,0	13,2	14,7	15,8	16,4	16,5
14	16,7	16,4	15,3	13,7	12,1	11,2	11,6	12,9	14,5	15,8	16,5	16,6
16	16,9	16,4	15,2	13,5	11,7	10,8	11,2	12,6	14,3	15,8	16,7	16,8
18	17,1	16,5	15,1	13,2	11,4	10,4	10,8	12,3	14,1	15,8	16,8	17,1
20	17,3	16,5	15,0	13,0	11,0	10,0	10,4	12,0	13,9	15,8	17,0	17,4
22	17,4	16,5	14,8	12,6	10,6	9,6	10,0	11,6	13,7	15,7	17,0	17,5
24	17,5	16,5	14,6	12,3	10,2	9,1	9,5	11,2	13,4	15,6	17,1	17,7
26	17,6	16,4	14,4	12,0	9,7	8,7	9,1	10,9	13,2	15,5	17,2	17,8
28	17,7	16,4	14,3	11,6	9,3	8,2	8,6	10,4	13,0	15,4	17,2	17,9
30	17,8	16,4	14,0	11,3	8,9	7,8	8,1	10,1	12,7	15,3	17,3	18,1

Tabel 5 Pengaruh temperatur udara f(T) pada radiasi gelombang

Temp (°C)	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
f(t)	14,6	14,8	15,0	15,2	15,4	15,7	15,9	16,1	16,3	16,5
Temp (°C)	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
f(t)	16,8	17,0	17,2	17,5	17,7	17,9	18,1	18,3	18,5	18,7

II.3.2. Perkolasi

Perkolasi adalah gerakan air ke bawah dari zona tidak jenuh, yang tertekan di antara permukaan tanah sampai ke permukaan air tanah (zona jenuh). Daya perkolasi (P) adalah laju perkolasi maksimum yang dimungkinkan, yang besarnya dipengaruhi oleh kondisi tanah dalam zona tidak jenuh yang terletak antara permukaan tanah dengan permukaan air tanah (Priyonugroho, A., 2014). Kehilangan air di sawah diperhitungkan karena adanya rembesan air dari daerah tidak jenuh ke daerah jenuh air (perkolasi). Besarnya perkolasi dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain : (Putra, I.W., Rita Lopa, dan Bakri, Bambang., 2016)

1. Tekstur tanah apabila makin besar maka makin besar angka perkolasinya begitupun sebaliknya;
2. Permeabilitas tanah yang besar maka perkolasinya makin kecil;
3. Tebal lapisan tanah bagian atas, semakin tipis lapisan tanah bagian atas makin kecil angkat perkolasinya;

4. Letak permukaan air tanah, apabila semakin dangkal air tanah makin kecil angka perkolasinya.

Tabel 6 Harga perkolasi dari berbagai jenis tanah

No	Macam Tanah	Perkolasi (mm/hr)
1	<i>Sandy loam</i>	3-6
2	<i>Loam</i>	2-3
3	<i>Clay</i>	1-2

II.3.3. Curah Hujan Efektif (Re)

Curah hujan efektif merupakan curah hujan yang jatuh pada suatu daerah dan dapat digunakan tanaman untuk pertumbuhannya untuk memenuhi kehilangan air akibat evapotranspirasi tanaman, perkolasi dan lain – lain (Ahadunnisa,R., dkk., 2015). Curah hujan efektif ditentukan besarnya R80 yang merupakan curah hujan yang besarnya dapat dilampaui sebanyak 80% atau dengan kata lain dilampauinya 8 kali kejadian dari 10 kali kejadian. Dengan kata lain bahwa besarnya curah hujan yang lebih kecil dari R80 mempunyai kemungkinan hanya 20% (Priyonugroho, A., 2014).

Curah hujan efektif dapat dihitung dengan rumus di bawah ini :

$$R_{80} = \frac{m}{n + 1} \quad (18)$$

Dimana :

R80 = Curah hujan sebesar 80%

n = Jumlah data

m = Rangking curah hujan yang dipilih

Untuk irigasi padi, curah hujan efektif bulanan diambil 70% dari curah hujan minimum tengah-bulanan. Sedangkan untuk curah hujan efektif untuk palawija ditentukan dengan periode bulanan (terpenuhi 50%) dikaitkan dengan tabel ET tanaman rata-rata bulanan dan curah hujan rata-rata bulanan.

$$R_p = \frac{(R_{80} \times 0,7)}{p} \quad (19)$$

$$R_{p_i} = \frac{(R_{80} \times 0,5)}{p} \quad (20)$$

II.3.4. Penggunaan Konsumtif untuk Tanaman

Penggunaan konsumtif oleh tanaman dipengaruhi oleh keadaan iklim dan koefisien tanaman. Berdasarkan metode praktis empiris, besarnya penggunaan konsumtif (Etc) dihitung dengan persamaan :

$$E = E \times K \quad (21)$$

Dimana :

Kc = Koefisien tanaman dapat dilihat pada tabel terlampir.

ETo = Evapotranspirasi potensial (Penmann modifikasi) (mm/hari)

Tabel 7 Koefisien tanaman padi

Periode Tengah Bulanan	PADI			
	Nedeco / Prosida		FAO	
	Varietas Biasa	Varietas Unggul	Varietas Biasa	Varietas Unggul
1	1.2	1.2	1.1	1.1
2	1.2	1.27	1.1	1.1
3	1.32	1.33	1.1	1.03
4	1.4	1.30	1.1	1.05
5	1.35	1.30	1.1	0.95
6	1.24	0	1.05	0
7	1.10		0.95	
8	0		0	

Tabel 8 Koefisien tanaman palawija (Kriteria Perencanaan Irigasi KP – 01)

bulan	Masa tumbuh (Bulan)	0,5	1	1,5	2	2,5	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7
Kedelai	85	0,5	0,75	1	1	0,82	0,45							
Jagung	80	0,5	0,59	0,96	0,96	1,05	1,02	0,95						
Kacang tanah	130	0,3	0,51	0,66	0,85	0,95	0,95	0,95	0,55	0,55				
Bawang	70	0,5	0,54	0,69	0,69	0,9	0,95							
Buncis	75	0,5	0,64	0,89	0,89	0,95	0,88							
kapas	195	0,5	0,5	0,58	0,75	0,91	1,04	1,05	1,05	1,05	0,78	0,65	0,65	0,65

II.3.5. Penyiapan lahan

Kebutuhan air untuk penyiapan lahan umumnya menentukan kebutuhan maksimum air irigasi pada suatu proyek irigasi. Faktor-faktor penting yang menentukan besarnya kebutuhan air untuk penyiapan lahan adalah:

1. Lamanya waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pekerjaan penyiapan lahan
2. Jumlah air yang diperlukan untuk penyiapan lahan.

Jangka waktu penyiapan lahan berdasarkan kebiasaan yang berlaku di tengah masyarakat. Tersedianya tenaga kerja dan traktor untuk menggarap tanah merupakan faktor penting dalam menentukan lamanya waktu penyiapan lahan. Sebagai pedoman diambil jangka waktu 1,5 bulan untuk menyelesaikan penyiapan lahan diseluruh petak tersier. Bila penyiapan lahan terutama dilakukan dengan peralatan mesin, jangka waktu satu bulan dapat dipertimbangkan. Kebutuhan air untuk pengolahan lahan sawah bisa diambil 200 mm. Ini meliputi penjenuhan dan penggenangan sawah, pada awal transplantasi akan ditambahkan lapisan air 50 mm lagi (Kriteria Perencanaan Irigasi, 2010).

Untuk perhitungan kebutuhan irigasi selama penyiapan lahan, digunakan metode yang dikembangkan oleh Van de Goor dan Zijlsha (1968). Metode tersebut didasarkan pada laju air konstan dalam lt/dt/ha selama periode penyiapan lahan dan menghasilkan rumus sebagai berikut

$$I_i = \frac{M^k}{(e^k - 1)} \quad (22)$$

Dimana :

IR = Kebutuhan air irigasi ditingkat persawahan (mm/hari)

M = Kebutuhan air untuk mengganti kehilangan air akibat evaporasi dan perkolasi di sawah yang sudah dijenuhkan

$$M = E + P \quad (23)$$

$$K = \frac{M \times T}{S} \quad (24)$$

Dimana :

E_o = evaporasi air terbuka yang diambil 1,1 ETo selama penyiapan lahan (mm/hari)

T = jangka waktu penyiapan lahan (hari)

S = kebutuhan air untuk penjemuran

II.3.6. Kebutuhan air untuk penggantian lapisan air (WLR)

Penggantian lapisan air diperlukan untuk mengurangi efek reduksi pada tanah dan pertumbuhan tanaman. Penggantian lapisan air diberikan menurut kebutuhan dan dilakukan setelah pemupukan atau sesuai jadwal. Jika tidak ada penjadwalan, maka dilakukan penggantian sebanyak 2 (dua) kali, (masing-masing sebesar 50 mm dan 3.3 mm/hari selama setengah bulan) selama sebulan dan dua bulan setelah penanaman.

II.3.7. Luas Lahan Irigasi (A).

Areal tanam adalah lahan yang menjadi daerah aliran jaringan irigasi. Luas areal tanam di suatu daerah pengairan yang memiliki jaringan irigasi yang baik untuk tanaman akan mempengaruhi besarnya kebutuhan air.

II.3.8. Pola Tanam

Sebelum bercocoktanam perlu diketahui lokasi, luas dan jenis tanaman yang diijinkan untuk ditanam dalam satu daerah irigasi pada suatu musim tanam, serta jadwal mulai dan berakhirnya musim tanam dari masing-masing jenis tanaman yang bersangkutan. Aprizal, M.N. (2017) menyebutkan bahwa pola tanam (*Cropping Pattern*) adalah urutan tanaman pada sebidang lahan dalam satu tahun termasuk di dalamnya masa pengolahan tanah dan masa lahan. Tujuan adanya pola tanam ialah

1. Untuk mencari pola yang sesuai dengan waktu dan ketersediaan air, agar dapat menjamin kelangsungan hidup tanaman.
2. Untuk meningkatkan jumlah dan mutu produksi pertanian serta meningkatkan pendapatan petani.
3. Efisiensi penggunaan air dan mengejar target/produktivitas yang telah ditetapkan.

Pengaturan jadwal tanam didasarkan pada pelaksanaan pola tanam dan dapat diatur untuk menekan kebutuhan air irigasi. Untuk memenuhi kebutuhan air bagi tanaman, penentuan pola tanam merupakan hal yang perlu dipertimbangkan. Tabel dibawah ini merupakan contoh pola tanam yang dapat dipakai.

Tabel 9 Pola tanam

Ketersediaan air untuk jaringan irigasi	Pola tanam dalam satu tahun
Tersedia air cukup banyak	Padi – Padi – Palawija
Tersedia air dalam jumlah cukup	Padi – Padi – Palawija
Daerah yang cenderung kekurangan air	Padi – Palawija – Palawija

Sumber : S.K. Sidharta, Irigasi dan Bangunan Air, 1997

II.3.9. Efisiensi Air Irigasi

Efisiensi penggunaan air sangat erat hubungannya dengan kehilangan air dalam irigasi. Besarnya efisiensi dan kehilangan air berbanding terbalik sehingga bila angka kehilangan air besar maka nilai efisiensi kecil dan begitu pula sebaliknya bila kehilangan air kecil maka nilai efisiensinya besar. Efisiensi irigasi menunjukkan angka dayaguna pemakaian air yaitu merupakan perbandingan antara jumlah air yang digunakan dengan jumlah air yang diberikan.

Kebutuhan irigasi dapat dihitung sesuai karakteristiknya, sebagai berikut (Priyonugroho, A., 2014)

1. Kebutuhan bersih air di sawah untuk padi adalah :

$$N = E + P + W - R \quad (25)$$

Dimana :

NFR = Netto Field Water Requirement, kebutuhan bersih air di sawah (mm/hari)

ETc = Koefisien tanaman (mm/hari)

P = Perkolasi (mm/hari)

WLR = Penggantian lapisan air (mm/hari)

Re = Curah hujan efektif (mm/hari)

2. Kebutuhan air irigasi untuk padi adalah :

Untuk menghitung kebutuhan air irigasi untuk padi menggunakan rumus matematis sebagai berikut :

$$I_i = \frac{N}{e} \quad (26)$$

Dimana

IR = kebutuhan air irigasi (mm/hr)

E = efisiensi irigasi secara keseluruhan

3. Kebutuhan air irigasi untuk palawija

Untuk menghitung kebutuhan air irigasi untuk palawija menggunakan rumus matematis sebagai berikut :

$$I_i = \frac{E - R}{e} \quad (27)$$

Dimana :

Etc = koefisien tanaman (mm/hari)

Re = curah hujan efektif (mm/hari)

II.4. Kebutuhan Air Baku

Dalam Peraturan Pemerintah yang dimaksud dengan air baku untuk air minum rumah tangga, yang selanjutnya disebut air baku adalah air yang berasal dari sumber air permukaan, air tanah, air hujan dan air laut yang memenuhi baku mutu tertentu sebagai air baku untuk air minum.

II.4.1. Standar Kebutuhan Air Baku

Menurut Ditjen Cipta Karya (2000) standar kebutuhan air ada dua, yaitu standar kebutuhan air domestik dan standar kebutuhan air non domestik.

1. Standar Kebutuhan Air Domestik

Standar penyediaan air domestik ditentukan oleh jumlah konsumen domestic yang dapat diketahui dari data penduduk yang ada. Standar penyediaan kebutuhan domestik ini meliputi minum, mandi, masak dan lain-lain. Kecenderungan meningkatnya kebutuhan dasar air ditentukan oleh kebiasaan pola hidup masyarakat setempat dan didukung oleh kondisi sosial ekonomi. Untuk dapat mengetahui kebutuhan air pada masa yang akan datang, antara lain kita perlu mengetahui jumlah

penduduk pada masa yang akan datang. Dengan kata lain perlu diketahui :

- 1) Jumlah penduduk pada saat ini, perlu diketahui sebagai dasar untuk menghitung jumlah penduduk pada saat yang akan datang.
- 2) Kenaikan penduduk.

Dengan adanya data tersebut, maka kita dapat menghitung atau memperkirakan jumlah penduduk pada masa yang akan datang. Sehingga kita dapat mengetahui kebutuhan air pada masa yang akan datang. Semakin banyak jumlah orang, semakin banyak pula kebutuhan air.

Kriteria perencanaan air bersih pada tiap-tiap kategori dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 10 Kriteria perencanaan air baku (Kriteria Perencanaan Ditjen Cipta Karya PU, 1996)

NO	URAIAN	KATEGORI BERDASARKAN JUMLAH PENDUDUK				
		(JWA)				
		>1.000.000	500.000	100.000	20.000	<20.000
			s/d	s/d	s/d	
	1.000.000	500.000	100.000			
	Kota Metropolitan	Kota Besar	Kota Sedang	Kota Kecil	Desa	
1	Konsumsi Unit Sambungan Rumah (ltr/org/hari)	>150	150 - 120	90 - 120	80 - 120	60 - 80
2	Konsumsi Unit Hidran (HU) (ltr / org / hari)	20 - 40	20 - 40	20 - 40	20 - 40	20 - 40
3	Konsumsi unit non domestik					
	a. Niaga kecil (ltr/unit/hari)	600 - 900	600 - 900		600	
	b. Niaga besar (ltr/unit/hari)	1000 - 5000	1000 - 5000		1500	
	c. Industri Besar (ltr/detik/ha)	0.2 - 0.8	0.2 - 0.8		0.2 - 0.8	
	d. Pariwisata (ltr/detik/ha)	0.1 - 0.3	0.1 - 0.3		0.1 - 0.3	
4	Kehilangan Air (%)	20 - 30	20 - 30	20 - 30	20 - 30	20 - 30
5	Faktor Hari Maksimum	1.15 - 1.25	1.15 - 1.25	1.15 - 1.25	1.15 - 1.25	1.15 - 1.25
		*harian	*harian	*harian	*harian	*harian
6	Faktor Jam Puncak	1.75 - 2.0	1.75 - 2.0	1.75 - 2.0	1.75	1.75
		* hari maks	* hari maks	* hari maks	* hari maks	* hari maks
7	Jumlah Jiwa PerSR (Jiwa)	5	5	5	5	5
8	Jumlah Jiwa PerHU (Jiwa)	100	100	100	100 - 200	200
9	Sisa Tekan Di penyediaan Distribusi (Meter)	10	10	10	10	10
10	Jam Operasi (jam)	24	24	24	24	24
11	Volume Reservoir (%Maks Day Remand)	15 - 25	15 - 25	15 - 25	15 - 25	15 - 25
12	SR : HU	50 : 50	50 : 50			
		s/d	s/d	80:20	70:30	70:30
		80:20	80:20			
13	Cakupan Pelayanan (%)	90	90	90	90	70

2. Standar Kebutuhan Air Non Domestik

Standar penyediaan air non domestik ditentukan oleh banyaknya konsumen non domestik yang meliputi fasilitas seperti perkantoran, kesehatan, industri, komersial, umum, dan lainnya. Konsumsi non domestik terbagi menjadi beberapa kategori yaitu :

- 1) Umum, meliputi : tempat ibadah, rumah sakit, sekolah, terminal, kantor dan lain sebagainya
- 2) Komersil, meliputi : hotel, pasar, pertokoan, rumah makan dan sebagainya
- 3) Industri, meliputi : peternakan, industri dan sebagainya

Tabel 11 Kebutuhan air non domestik

Sektor	Nilai	Satuan
Sekolah	10	lt/murid/hari
Rumah Sakit	200	ltr/bed/hari
Puskesmas	2000	ltr/unit/hari
Masjid	3000	ltr/unit/hari
Kantor	10	ltr/pegawai/hari
Pasar	12000	ltr/ha/hari
Hotel	159	ltr/bed/hari
Rumah Makan	100	ltr/tempat duduk/hari
Komplek Militer	60	ltr/org/hari
Kawasan Industri	0.2 - 0.8	ltr/detik/ha
Kawasan Pariwisata	0.1 - 0.3	ltr/detik/ha

II.4.2. Analisis Kebutuhan Air Baku

Kebutuhan air bersih semakin lama semakin meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk di masa yang akan datang. Dalam bahan ajar Selintung, M., dkk., tanpa tahun menjelaskan bahwa faktor yang berpengaruh pada kebutuhan air yaitu jumlah penduduk dan konsumsi perkapita. Dimana kecenderungan populasi dan sejarah populasi digunakan sebagai dasar perhitungan kebutuhan air domestic terutama dalam penentuan laju pertumbuhan. Faktor lain yang perlu menjadi pertimbangan adalah adanya perkembangan industri-industri atau perkembangan sosial ekonomi serta fasilitas lainnya yang menggunakan air.

Untuk itu diperlukan proyeksi penduduk untuk tahun perencanaan. Tujuan dari pengajuan beberapa kriteria perencanaan adalah untuk mendapatkan suatu hasil perencanaan yang tepat dan terkondisi untuk suatu wilayah perencanaan. Perhitungan proyeksi jumlah penduduk dengan metode geometri menggunakan persamaan (28) sedangkan kebutuhan air baku menggunakan persamaan (29)

$$P_n = P_o \cdot (1+r)^n \quad (28)$$

Dimana :

- P_n = Jumlah Penduduk
- N = tahun yang akan datang
- P_o = jumlah Penduduk pada akhir tahun data
- r = angka pertumbuhan penduduk (%)
- n = interval waktu (tahun)

$$Q = P_n \times q \quad (29)$$

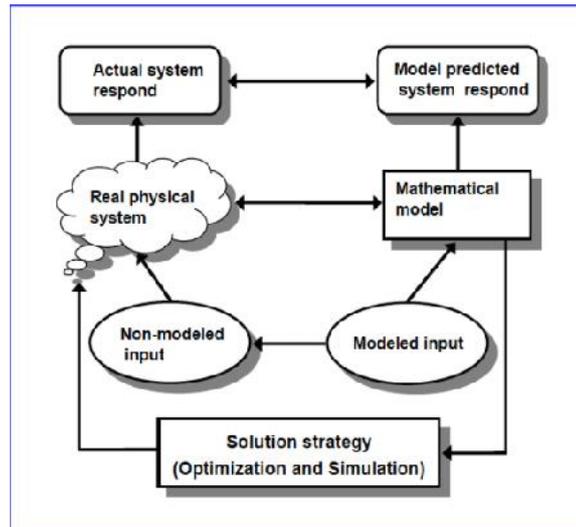
Dimana:

- Q = kebutuhan air baku (m^3 /detik)
- q = debit keluaran individu (lt/jiwa/hari)

II.5. Teori Optimasi Program Linier

II.5.1. Optimasi

Rita Lopa (2013) menjelaskan bahwa setiap algoritme dari *operation research* diturunkan dengan prinsip yang sama, yaitu untuk mencapai penyelesaian optimal atau solusi terbaik dapat diperoleh melalui penggunaan teknik optimasi. Peranan rekayasa sistem (*system engineering*) adalah untuk mendapatkan metodologi yang sistematis dalam melakukan studi (mempelajari) dan menganalisis berbagai aspek sistem, baik struktural maupun non struktural menggunakan model matematik atau fisik. Rekayasa sistem juga membantu proses pembuatan keputusan dengan cara seleksi kebijakan alternatif terbaik menggunakan simulasi dan teknik optimasi.



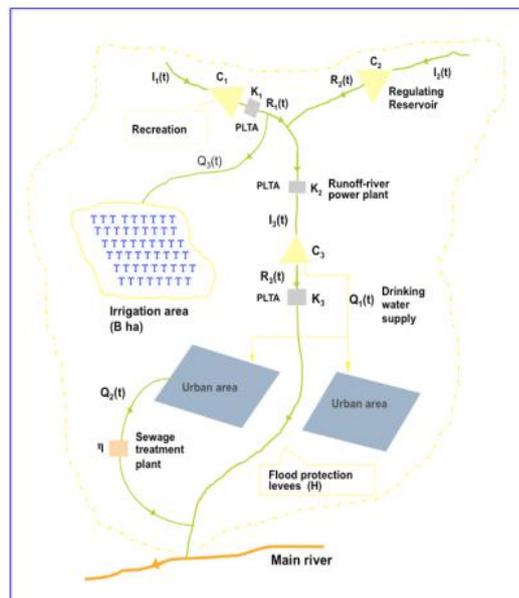
Gambar 1. Representasi skema proses pemodelan dan optimasi sistem

Dalam menerapkan strategi penyelesaian persoalan, dapat dilakukan dengan pendekatan optimasi, simulasi atau gabungan keduanya. Hasil akhir dari prosedur di atas adalah keputusan optimal terkait dengan pengendalian dan/atau pengelolaan sebuah sistem. Ungkapan matematik secara umum dikatakan sebagai prosedur optimasi. Optimasi adalah persoalan nilai suatu fungsi tujuan (*objective function*) yang terdiri dari beberapa variable menjadi maksimum atau minimum dengan memperhatikan beberapa batasan (*constraints*) yang ada.

Perluasan makna optimasi dilakukan orang dengan tidak saja sekedar sebagai mencari nilai maksimum dan minimum sebuah fungsi atau sebuah himpunan fungsi akan tetapi menjadi abstrak seperti misalnya dengan menjelaskan bahwa optimasi adalah proses pemilihan alternatif terbaik (yang mana setiap alternatif dicirikan oleh sejumlah kriteria) dari sejumlah alternatif jawaban yang tersedia (Munirah dan Subanar, 2017).

Disimpulkan bahwa optimasi merupakan proses pencarian satu atau lebih penyelesaian yang berhubungan dengan nilai-nilai dari satu atau lebih fungsi objektif pada suatu masalah sehingga diperoleh satu nilai optimal yang mana tujuan pengoptimalan adalah teknik maksimasi atau keuntungan untuk memaksimalkan manfaat dan teknik minimasi kerugian untuk meminimalkan biaya atau kerugian. Sistem model pengelolaan sumber daya air bisa berupa model sederhana atau pun yang sangat kompleks, contohnya satu waduk dengan satu tujuan (*single purpose*),

satu waduk/ SDA dengan banyak tujuan (*multi purpose*), lebih dari satu waduk/SDA untuk banyak tujuan.



Gambar 2 Contoh konfigurasi Sistem SDA kompleks

II.5.2. Program Linier

Linear Programming (program linier) sebuah metode untuk mencapai hasil terbaik dalam sebuah model matematika yang seluruh kebutuhan dasarnya disajikan dalam hubungan linier. Secara umum program linier merupakan salah satu teknik menyelesaikan masalah-masalah optimasi (memaksimalkan atau meminimumkan) tetapi hanya terbatas pada masalah-masalah yang dapat diubah menjadi fungsi linear. Secara khusus, persoalan program linear merupakan suatu persoalan untuk menentukan besarnya masing-masing nilai variabel sehingga nilai fungsi tujuan atau objektif yang linear menjadi optimum (memaksimalkan atau meminimumkan) dengan memperhatikan adanya kendala yang ada, yaitu kendala yang harus dinyatakan dalam bentuk ketidaksamaan yang linear (Ariyanti, N., & Azizah, N. L., 2019).

Program linier merupakan teknik optimasi yang banyak dipakai untuk permasalahan operasi dan pengolahan pada system yang sederhana sampai sistem yang kompleks (Wurbs, R. A., 1996) serta sangat membantu dalam penyelesaian masalah-masalah pengembangan sumberdaya air yang kompleks, hal ini terbukti dengan banyaknya ahli yang menganalisis permasalahan sumberdaya air yang

komplek ke dalam bentuk kesamaan-kesamaan maupun ketidaksamaan matematis yang linier (Tarigan, A., 2001). Menurut Sayekti, R.W., (2012) pemilihan program linier memiliki keuntungan sebagai berikut :

1. Metode ini dapat dipakai untuk menyelesaikan system dengan perubah dan kendala yang cukup banyak;
2. Penggunaan metode ini mudah dan akurat;
3. Fungsi matematikanya sederhana;
4. Hasilnya cukup baik.

Program linier bersifat analitis sehingga analisisnya memakai model matematika dengan tujuan menemukan penyelesaian masalah yang optimal. Dengan persyaratan-persyaratan yang dikehendaki oleh kendala (*constraint function*) dalam bentuk ketidaksamaan dan kesamaan fungsi yang linier. Kedua fungsi dari program linier yaitu fungsi tujuan (*objective function*) dan fungsi kendala (*constraint function*) yang diekspresikan dalam bentuk matematik.

1. Fungsi tujuan (*objective function*) adalah fungsi yang menggambarkan tujuan/sasaran di dalam program linear yang dimaksudkan untuk menentukan nilai optimum dari fungsi tersebut yaitu nilai maksimal untuk masalah keuntungan (Zenis, F. M., 2016).
2. Fungsi pembatas (*constrain function*) dalam analisa optimalisasi, sumber daya yang dianalisa tentu pada kondisi terbatas. Keterbatasan sumber daya yang akan tersedia inilah yang dijadikan sebagai fungsi kendala. Jadi fungsi kendala berisi tentang batasan-batasan dalam melakukan optimalisasi (Amin, M.N., Maricar, F., dan Putra, M., 2021).

Penyelesaian masalah optimasi dengan program linier dimulai dengan menentukan variabel-variabel keputusan yang hendak dicari nilai optimumnya, kemudian dibentuk fungsi tujuannya serta diidentifikasi kendala-kendala yang dihadapi dan dinyatakan secara fungsional, berupa persamaan atau pertidaksamaan. Sesudah pemodelan selesai barulah dilakukan perhitungan atau iterasi untuk mencapai kondisi optimum.

Model matematis yang digunakan untuk mengemukakan suatu permasalahan pemrograman linier dengan menggunakan persamaan 30 dan persamaan 31 : (Risfiyanto, L., Anwar, N., & Margini, N. F., 2017)

1. Fungsi tujuan :

$$Z = A_1X_1 + A_2.X_2 + \dots + A_n.X_n \quad (30)$$

2. Fungsi kendala / pembatas :

$$a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + a_{13}X_3 + \dots + a_{1n}X_n \leq b_1 \quad (31)$$

$$a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + a_{23}X_3 + \dots + a_{2n}X_n \leq b_2$$

$$a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \dots + a_{mn}X_n \leq b_m$$

$$X_n \geq 0$$

Dimana :

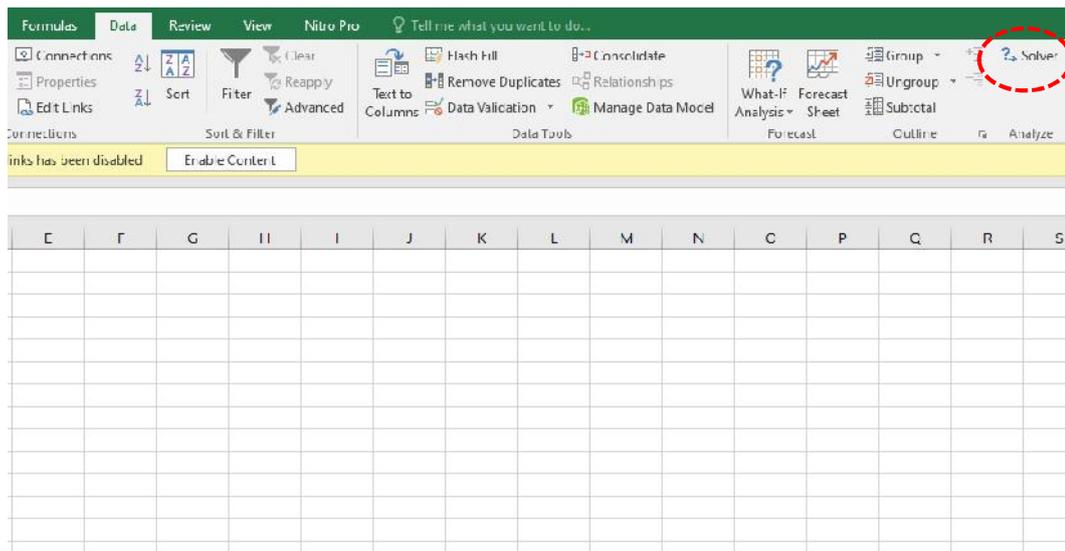
Z = fungsi tujuan / sasaran

X_n = variable putusan, harus bernilai ≥ 0

B_m = fungsi kendala

II.5.3. Solver

Solver merupakan fasilitas tambahan (*add-in*) yang disediakan dalam Microsoft Excel menggunakan teknik dari riset operasi yang berfungsi untuk mencari solusi atau nilai optimal (maksimum atau minimum) suatu formula dalam satu sel yang disebut sel objektif yang memenuhi kendala (batasan) pada sebuah lembar kerja atau *worksheet*.

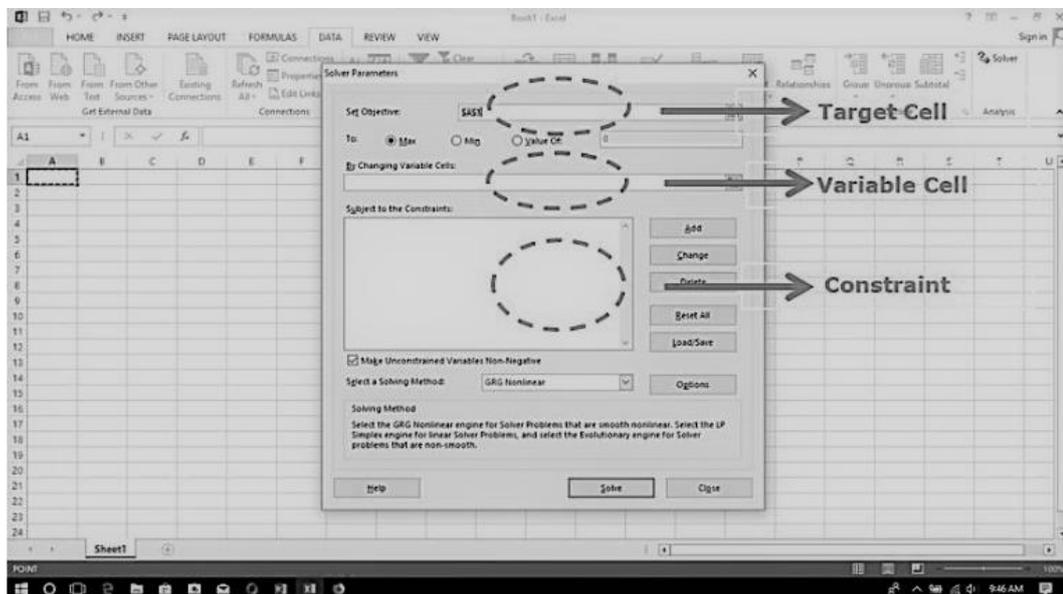


Gambar 3. Tampilan Solver pada Microsoft Excel

Solver mengolah sekelompok sel disebut variabel keputusan yang merupakan bagian dari rumus perhitungan dari sel tujuan dan kendala. Solver menyesuaikan nilai dalam sel variable keputusan untuk memenuhi batas pada sel kendala dan menghasilkan hasil yang diinginkan untuk sel objektif (Aurino, 2018).

Solver merupakan bagian dari serangkaian perintah/command yang seringkali disebut *what-if analysis tool*. Fasilitas ini bekerja dengan sel-sel suatu grup yang saling terhubung, baik secara langsung ataupun tidak *langsung (directly-indirectly)*, untuk formula pada sel target. Memahami konsep dasar dari apa yang dilakukan Solver dan bagaimana cara kerjanya merupakan hal yang penting. Ada 3 komponen utama yang harus dipahami sebagai berikut (Arifianto, Y. D., 2018) :

1. “Target Cell” merupakan *cell* yang menunjukkan hasil atau tujuan persoalan.
2. “Variable Cells” adalah sejumlah *cell* yang dapat diubah menjadi hasil yang diinginkan.
3. “Constraints”. Komponen ini merupakan larangan atau batasan yang dapat dilakukan Solver untuk menyelesaikan persoalan.



Gambar 4. Parameter solver

II.6. Kerangka Pikir

