

LAPORAN TUGAS AKHIR

**PERENCANAAN TEKNIS DAN KAJIAN SISTEM
PENGENDALIAN PROYEK DENGAN METODE EARNED VALUE
PADA BENDUNG SUSUKAN KABUPATEN MAGELANG**

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Dalam Menyelesaikan
Pendidikan Tingkat Sarjana (Strata-1)
Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Diponegoro
Semarang



Penyusun :

DIDIP DIMAS P.B	L2A 002 041
RENI WIDYASTUTI W.S	L2A 005 098

**JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG**

2009

ABSTRAK

Kata Kunci : perencanaan teknis bendung, metode *earned value*

Dalam tahapan proyek dimulai dari perencanaan teknis sampai pada pelaksanaan pembangunan bendung ini, diperlukan suatu manajemen konstruksi yang mempengaruhi kualitas dan kuantitas proyek. Penerapan manajemen konstruksi baik perkiraan jadwal maupun biaya sangat bermanfaat, karena dapat memberikan peringatan dini mengenai hal-hal yang mungkin akan terjadi pada masa yang akan datang. Dan salah satu cara pengendalian biaya dan waktu adalah analisa nilai hasil (*earned value analysis*) yang dapat mengintegrasikan biaya dan waktu secara tepat.

Tujuan penulisan skripsi ini adalah melakukan studi tentang perencanaan teknis proyek dan memberikan gambaran mengenai sistem pengendalian waktu dan biaya dengan metode *earned value* pada proyek Rehabilitasi Bendung Susukan, Kabupaten Magelang.

Dalam perencanaan teknis bendung diperlukan data-data curah hujan, peta topografi dan luas daerah irigasi untuk menentukan daerah aliran sungai, pendimensian bendung dan rencana anggaran biaya pekerjaan. Untuk melakukan studi tentang metode *earned value* pada penulisan ini, dilakukan dua kali evaluasi, yaitu pada minggu ke-5 dan ke-9 untuk dilakukan perbandingan. Evaluasi tersebut mencakup berapa besar pengeluaran biaya dan prestasi kemajuan proyek.

Dari hasil penelitian didapatkan, bendung direncanakan dengan pintu intake sebelah kanan dengan kebutuhan air $4,1 \text{ m}^3/\text{dtk}$, tinggi bendung 4,3 m dengan tipe mercu bulat dan tanpa kolam olak, lebar bendung 15 meter. Anggaran biaya konstruksi bendung Susukan direncanakan sebesar Rp. 248.416.971,00. Menurut hasil evaluasi pada pekerjaan bendung, waktu perkiraan selesai proyek pada evaluasi I lebih lama (195 hari) daripada waktu rencana proyek (105 hari). Dan berbeda dengan evaluasi II (minggu ke-9), perkiraan waktu penyelesaian proyek akan lebih cepat (104 hari) daripada waktu rencana pelaksanaan proyek (105 hari). Untuk perkiraan biaya pada selesainya proyek, kedua evaluasi menunjukkan nilai yang lebih kecil daripada rencana anggaran biaya awal, evaluasi I sebesar Rp. 227.874.085,50 dan evaluasi II sebesar Rp. 246.172.893,50.

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala anugrah-Nya sehingga Penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir pada Perencanaan Bendung Slinga Kabupaten Purbalingga Jawa Tengah.

Laporan Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan akademis bagi mahasiswa jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Manfaat dari Tugas Akhir ini adalah memperluas wawasan, memahami, dan mengembangkan rekayasa sipil berdasarkan mata kuliah yang telah didapat. Selain itu, supaya dapat berpikir secara menyeluruh dalam pengetahuan rekayasa sipil.

Namun waktu yang singkat ini telah membatasi Penulis untuk menguraikan seluruh perencanaan pembangunan proyek secara mendetail pada pembuatan laporan ini. Penulis juga menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam isi laporan ini. Hal ini disebabkan karena keterbatasan kemampuan dan pengetahuan Penulis. Oleh karena itu segala saran dan kritik yang dapat membantu dalam penyempurnaan isi laporan ini sangat kami harapkan.

Laporan Tugas Akhir ini Penulis susun berdasarkan data yang ada dan pengamatan Penulis. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih, atas segala bantuan dan bimbingan yang telah diberikan selama tugas akhir sampai tersusunnya laporan ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu Ir. Sri Sangkawati, MS., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
2. Bapak Ir. Arif Hidayat, CES., MT., selaku Ketua Bidang Akademis Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro dan Dosen Wali Penulis.
3. Bapak DR. Ir. Sriyana, MS., selaku Dosen Pembimbing I.
4. Bapak Jati Utomo DH, ST., MM., Msc., PhD., selaku Dosen Pembimbing II.
5. Ibu Ir. Ismiyati, MS, selaku dosen wali (2142)
6. Bapak Ir. Salamun, MS, selaku dosen wali (2161)

7. Bapak Ir. M. Agung Wibowo ,MM.,M.Sc.,Phd., selaku Sekertaris Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
8. Bapak Martono, dari PSDA Provinsi JawaTengah.
9. Bapak Bugi Triambodo, Bapak Slamet Mutasim, dari CV. Pendawa Putra.
10. Orang tua dan keluarga Penulis, yang telah memberi dukungan moral, spiritual dan finansial.
11. Semua teman-teman angkatan 2002 dan 2005 yang telah memotivasi penyelesaian laporan ini.
12. Bagian Administrasi yang telah membantu kelancaran dalam surat-menyurat, Pak Fauzun, Mas Jarwo, Mbak Anik, Mas Indro.
13. Semua pihak yang telah banyak membantu penulis, baik secara moril maupun materil, yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Akhir kata, penulis berharap semoga laporan ini dapat menambah referensi mata kuliah dan bermanfaat bagi perkembangan penguasaan ilmu rekayasa sipil di Jurusan Teknik Sipil Universitas Diponegoro.

Semarang, Februari 2010

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAKSI	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Maksud dan Tujuan	I-2
1.3 Kegunaan Penulisan	I-2
1.4 Ruang Lingkup Masalah	I-2
1.5 Sistematika Penulisan	I-3
 BAB II GAMBARAN UMUM PROYEK	
2.1. Latar Belakang	II-1
2.2. Lokasi Proyek	II-1
2.3. Maksud dan Tujuan	II-3
2.4. Ruang Lingkup Pekerjaan	II-4
2.5. Data Proyek	II-4
 BAB III TINJAUAN PUSTAKA	
3.1 Uraian Umum	III-1
3.2 Analisis Hidrologi	III-1

3.2.1	Perhitungan curah hujan rata-rata DAS	III-1
3.2.1.1.	Curah Hujan Daerah	III-1
3.2.1.2.	Cara Poligon <i>Thiessen</i>	III-2
3.2.1.3.	Cara <i>Isohyet</i>	III-3
3.2.2	Analisis Frekuensi	III-4
3.2.2.1	Pengukuran Dispersi	III-4
3.2.2.2	Pemilihan Jenis Sebaran	III-6
3.2.2.3	Metode Gumbel	III-8
3.2.2.4	Metode distribusi <i>Log Pearson III</i>	III-10
3.2.2.5	Uji Keselarasan Distribusi	III-12
3.2.2.6	Pengukuran Curah Hujan Rencana	III-14
3.2.2.7	Plotting Data Curah Hujan	III-14
3.2.2.8	Intensitas Curah Hujan.....	III-14
3.2.3	Analisis Debit Banjir Rencana	III-17
3.2.3.1	Metode <i>Der Weduwen</i>	III-17
3.2.3.2	Metode <i>Haspers</i>	III-18
3.2.3.3	Metode Manual Jawa Sumatera	III-19
3.2.3.4	Metode Rasional	III-20
3.2.3.5	Metode <i>Passing Capacity</i>	III-21
3.3	Perhitungan Neraca Air	III-22
3.3.1	Analisis Kebutuhan Air	III-23
3.3.1.1	Kebutuhan Air untuk Tanaman	III-24
3.3.1.2	Kebutuhan Air untuk Irigasi	III-30
3.3.2	Analisis Debit Andalan	III-31
3.3.3	Neraca Air.....	III-33
3.4	Perencanaan Konstruksi Bendung	III-34
3.4.1	Perencanaan Hidraulis Bendung	III-34
3.4.1.1	Elevasi Mercu Bendung	III-34
3.4.1.2	Lebar Efektif Bendung.....	III-34

3.4.1.3	Tinggi Muka Air Banjir di Atas Mercu Bendung.....	III-35
3.4.1.4	Tinggi Muka Air Banjir di Hilir Bendung.....	III-36
3.4.1.5	Penentuan Dimensi Mercu Bulat.....	III-37
3.4.1.6	Tinjauan Gerusan di Hilir Bendung	III-37
3.4.1.7	Tinjauan Backwater di Hulu Bendung	III-38
3.4.2	Perencanaan Bangunan Pelengkap.....	III-40
3.4.2.1	Perencanaan Pintu Pengambilan.....	III-40
3.4.2.2	Pintu Pembilas Bendung.....	III-42
3.4.3	Perencanaan Saluran Pembawa	III-43
3.4.3.1	Perencanaan Hidraulis Saluran.....	III-43
3.4.4	Analisis Stabilitas Bendung.....	III-43
3.4.4.1	Akibat Berat Sendiri Bendung.....	III-44
3.4.4.2	Gaya Angkat (<i>Uplift Pressure</i>).....	III-44
3.4.4.3	Gaya Gempa	III-44
3.4.4.4	Gaya Hidrostatik	III-45
3.4.4.5	Gaya Akibat Tekanan Tanah Aktif dan Pasif.	III-46
3.4.5	Analisis Stabilitas Bangunan	III-47
3.4.5.1	Stabilitas terhadap Guling	III-47
3.4.5.2	Stabilitas terhadap Geser	III-47
3.4.5.3	Stabilitas terhadap Eksentrisitas	III-48
3.4.5.4	Stabilitas terhadap Daya Dukung Tanah	III-48
3.5	Pengendalian Proyek	III-49
3.5.1	Pengendalian Waktu	III-50
3.5.2	Pengendalian Mutu Pekerjaan.....	III-50
3.5.3	Pengendalian Biaya.....	III-51
3.6	Konsep metode <i>Earned Value</i>	III-51
3.6.1	Analisis Kinerja Pelaksanaan Pekerjaan.....	III-53

3.6.2 Metode Analisis	III-55
3.6.3 Terminologi Dasar	III-56
3.6.4 Variansi	III-60
3.6.5 Indeks Pelaksanaan Pekerjaan	III-61
3.6.6 Status Proyek Keseluruhan	III-62
3.6.7 Estimasi Untuk Menyelesaikan Proyek dan Peramalan Biaya	III-62
3.6.8 Analisis Penyimpangan Jadwal dan Biaya	III-63

BAB IV METODOLOGI

4.1 Uraian Umum	IV-1
4.2 Tahap Persiapan	IV-1
4.3 Tahap Perolehan Data	IV-2
4.4 Analisis dan Pengolahan Data	IV-3
4.5. Diagram Alir Perencanaan	IV-4

BAB V ANALISIS HIDROLOGI

5.1 Uraian Umum	V-1
5.2 Daerah Aliran Sungai (DAS)	V-2
5.3 Analisis Curah Hujan Rata-Rata Daerah Aliran Sungai	V-2
5.3.1 Data Curah Hujan Harian Maksimum	V-3
5.3.2 Analisis Curah Hujan Dengan Metode <i>Thiessen</i>	V-5
5.4 Analisis Frekuensi Curah Hujan Rencana	V-6
5.4.1 Pengukuran Dispersi	V-6
5.4.2 Pemilihan Jenis Sebaran	V-9
5.4.3 Pengujian Kecocokan Sebaran	V-10
5.4.4 Pengukuran Curah Hujan Rencana	V-12
5.4.5 Plotting Distribusi Curah Hujan	V-13
5.5 Perhitungan Intensitas Curah Hujan	V-14

5.6 Perhitungan Debit Banjir Rencana	V-15
5.6.1 Metode Weduwen	V-15
5.6.2 Metode Haspers	V-18
5.6.3 Metode Rasional	V-19
5.6.4 Metode FSR Jawa Sumatera	V-21
5.6.5 Metode Passing Capacity	V-21
5.6.6 Pemilihan Debit Banjir Rencana	V-24
5.7 Analisis Kebutuhan Air	V-24
5.7.1 Kebutuhan Air untuk Tanaman	V-25
5.7.2 Kebutuhan Air untuk Irigasi	V-38
5.8 Analisis Debit Andalan	V-39
5.9 Neraca Air	V-44

BAB VI PERENCANAAN KONSTRUKSI

6.1 Perencanaan Hidraulis Bendung	VI-1
6.1.1 Elevasi Mercu Bendung	VI-1
6.1.2 Lebar Efektif Bendung	VI-1
6.1.3 Tinggi Muka Air Banjir di Atas Mercu Bendung.....	VI-2
6.1.4 Tinggi Muka Air Banjir di Hilir Bendung.....	VI-3
6.1.5 Penentuan Dimensi Mercu Bulat.....	VI-5
6.1.6 Tinjauan Terhadap Gerusan.....	VI-7
6.1.7 Tinjauan Terhadap Backwater.....	VI-9
6.2 Perencanaan Bangunan Pelengkap.....	VI-12
6.2.1 Perencanaan Pintu Pengambilan.....	VI-12
6.2.2 Perencanaan Pintu Pembilas Bendung.....	VI-15
6.3 Perencanaan Saluran Pembawa	VI-22
6.3.1. Perencanaan Hidraulis Saluran	VI-22
6.4 Analisis Stabilitas Bendung	VI-23

6.4.1	Perhitungan Gaya-Gaya Saat Kondisi Normal	VI-24
6.4.1.1	Perhitungan Gaya	VI-24
6.4.1.2	Stabilitas Bendung Pada Saat Kondisi Normal	VI-28
6.4.2	Stabilitas Selama Terjadi Banjir Rencana	VI-29
6.4.2.1	Gaya Tekan ke atas	VI-29
6.4.2.2	Stabilitas Bendung Pada Saat Kondisi Banjir.....	VI-31

BAB VII RENCANA ANGGARAN BIAYA

7.1.	Uraian Umum	VII-1
7.2.	Rencana Anggaran Biaya	VII-1
7.2.1.	Perhitungan Volume Pembangunan Bendung.....	VII-1
7.2.1.1.	Pekerjaan Tanah	VII-1
7.2.1.2.	Pekerjaan Pasangan	VII-2
7.2.1.3.	Pekerjaan Siaran	VII-6
7.2.1.4.	Pekerjaan Gebalan Rumput	VII-8
7.2.1.5.	Pekerjaan Beton	VII-8
7.2.2.	Daftar Harga Satuan Upah, Bahan dan Alat	VII-9
7.2.3.	Analisis Harga Satuan Pekerjaan	VII-10
7.2.4.	Rencana Anggaran Biaya	VII-14
7.3	Jadwal Pelaksanaan	VII-15
7.3.1	Analisis Teknik Tenaga Kerja	VII-15
7.3.1.1	Pekerjaan Persiapan	VII-15
7.3.1.2	Pekerjaan Tanah	VII-16
7.3.1.3	Pekerjaan Pasangan	VII-18
7.3.1.4	Pekerjaan Lain-lain	VII-20
7.3.2	Jadwal Waktu Pelaksanaan (<i>Time Schedule</i>)	VII-20
7.3.3	<i>Network Planning</i>	VII-23

**BAB VIII ANALISIS HASIL PENELITIAN DENGAN
METODE *EARNED VALUE***

8.1 Anggaran Biaya sesuai Rencana	VIII-1
8.2 Evaluasi Anggaran Biaya Realisasi	VIII-5
8.2.1 Anggaran Biaya Saat Evaluasi.....	VIII-5
8.2.2 Evaluasi Mingguan Kemajuan Prestasi Proyek	VIII-7
8.2.3 Evaluasi Keuangan Biaya Aktual	VIII-8
8.3 Perhitungan Berdasarkan Konsep <i>Earned Value</i>	VIII-12
8.3.1 Proses Pengolahan data.....	VIII-12
8.3.2 Varian Konstruksi.....	VIII-12
8.3.3 Hasil Saat Evaluasi	VIII-12
8.4 Proses Evaluasi	VIII-24
8.5 Analisa Waktu.....	VIII-26

**BAB IX PEMBAHASAN HASIL PENELITIAN
DENGAN METODE *EARNED VALUE***

9.1 Pembahasan.....	IX-1
---------------------	------

BAB X KESIMPULAN DAN SARAN

10.1 Kesimpulan.....	X-1
10.2 Saran	X-2

DAFTAR PUSTAKA**GAMBAR RENCANA****LAMPIRAN**

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	<i>Reduced Mean (Yn)</i>	III-9
Tabel 3.2	<i>Reduced Standard Deviation (S)</i>	III-9
Tabel 3.3	<i>Reduced Variate (Yt)</i>	III-10
Tabel 3.4	Harga k untuk Distribusi <i>Log Pearson III</i>	III-11
Tabel 3.5	Nilai Kritis untuk Distribusi Chi Kuadrat	III-13
Tabel 3.6	Faktor Reduksi	III-19
Tabel 3.7	<i>Growth Factor (GF)</i>	III-20
Tabel 3.8	Harga Koefisien run off	III-20
Tabel 3.9	Perhitungan Neraca Air.....	III-22
Tabel 3.10	Koefisien Tanaman untuk Padi dan Palawija Menurut Nedesco/Prosida	III-26
Tabel 3.11	Koefisien Curah Hujan untuk Padi	III-27
Tabel 3.12	Koefisien Curah Hujan Rata-Rata Bulanan dengan ET tanaman Palawija Rata-rata Bulanan dan CUrah Hujan Mean Bulanan	III-28
Tabel 3.13	Koefisien Kebutuhan Air selama Penyiapan Lahan	III-29
Tabel 3.14	Harga-harga Koefisien Kontraksi Pilar (Kp)	III-34
Tabel 3.15	Harga-harga Koefisien Kontraksi Pangkal Bendung (Ka).....	III-35
Tabel 3.16	Harga-harga Proporsi Tekanan (ζ).....	III-36
Tabel 5.1	Luas Pengaruh Stasiun Hujan Terhadap DAS Sungai Kanci	V-3
Tabel 5.2	Data Curah Hujan Bulanan Stasiun Kalegen	V-4
Tabel 5.3	Data Curah Hujan Bulanan Stasiun Kaliloro	V-4
Tabel 5.4	Data Curah Hujan Bulanan Stasiun Tempuran	V-5
Tabel 5.5	Rekapitulasi Data Cutah Hujan Harian Maksimum.....	V-5
Tabel 5.6	Perhitungan Curah Hujan Rata-rata Harian Maksimum dengan Metode <i>Thiessen</i>	V-6
Tabel 5.7	Parameter Statistik Curah Hujan.....	V-7
Tabel 5.8	Parameter Pemilihan Distribusi Curah Hujan.....	V-9
Tabel 5.9	Perhitungan Uji Chi-kuadrat	V-11

Tabel 5.10 Distribusi Frekuensi Metode Log Pearson Tipe III	V-12
Tabel 5.11 Pengukuran Curah Hujan Rencana Metode Log Person Tipe III .	V-13
Tabel 5.12 Persentase dan Probabilitas Data Curah Hujan	V-13
Tabel 5.13 Perhitungan Intensitas Curah Hujan	V-14
Tabel 5.14 Perhitungan Debit Banjir Metode Weduwen	V-18
Tabel 5.15 Perhitungan Debit Banjir Metode Haspers	V-19
Tabel 5.16 Perhitungan Debit Banjir Metode Rasional	V-21
Tabel 5.17 Harga koefisien Kekasaran <i>Bazin</i>	V-22
Tabel 5.18 Rekapitulasi Debit Banjir Rencana	V-24
Tabel 5.19 Suhu Udara	V-26
Tabel 5.20 Kelembapan Udara	V-26
Tabel 5.21 Kecepatan Angin	V-27
Tabel 5.22 Penyinaran Matahari 12 Jam (%)	V-27
Tabel 5.23 Perhitungan Evapotranspirasi Cara Penman	V-30
Tabel 5.24 Koefisien Tanaman untuk Padi dan Palawija Menurut Nedeco atau Porosida	V-31
Tabel 5.25 Curah Hujan Bulanan 20% Kering (mm/bln)	V-32
Tabel 5.26 Koefisien Curah Hujan untuk Padi	V-33
Tabel 5.27 Koefisien Curah Hujan Rata-rat Bulanan dengan ET Tanaman Palawija Rata-rata Bulanan dan Curah Hujan Mean Bulanan	V-33
Tabel 5.28 Koefisien Kebutuhan Air Selama Penyiapan Lahan	V-34
Tabel 5.29 Perhitungan Kebutuhan Air untuk Padi	V-36
Tabel 5.30 Perhitungan Kebutuhan Air untuk Palawija	V-37
Tabel 5.31 Perhitungan Curah Hujan Bulanan 20 % Kering Tidak Terpenuhi	V-39
Tabel 5.32 Perhitungan Hari Hujan Rata-rata	V-40
Tabel 5.33 Perhitungan Debit Andalan	V-43
Tabel 5.34 Pola Tanam Secara Teoritis dan Perhitungan Neraca Air	V-45
Tabel 5.35 Grafik Neraca Air	V-46
Tabel 6.1 Perhitungan h	VI-5
Tabel 6.2 Perhitungan Kedalaman Normal (y_n)	VI-11

Tabel 6.3	Perhitungan Backwater	VI-11
Tabel 6.4	Hasil Perhitungan Berat Sendiri.....	VI-24
Tabel 6.5	Hasil Perhitungan Rembesan dan Tekanan Air pada saat normal .	VI-25
Tabel 6.6	Hasil Perhitungan Beban <i>Uplift pressure</i>	VI-25
Tabel 6.7	Hasil Perhitungan Beban Gempa	VI-26
Tabel 6.8	Hasil Perhitungan Tekanan Hidrostatik	VI-26
Tabel 6.9	Hasil Perhitungan Tekanan Tanah	VI-27
Tabel 6.10	Rekapitulasi Perhitungan Gaya - gaya	VI-27
Tabel 6.11	Hasil Perhitungan Rembesan dan Tekanan Air pada Saat Banjir..	VI-29
Tabel 6.12	Hasil Perhitungan Beban <i>Uplift pressure</i> Kondisi Banjir	VI-30
Tabel 6.13	Hasil Perhitungan Gaya Hidrostatik Kondisi Banjir	VI-30
Tabel 6.14	Rekapitulasi Perhitungan Gaya – gaya pada Kondisi Banjir	VI-30
Tabel 7.1	Daftar Harga Satuan Upah dan Bahan	VII-9
Tabel 7.2	Analisis Harga Satuan Pekerjaan	VII-10
Tabel 7.3	Rencana Anggaran Biaya.....	VII-14
Tabel 8.1	Bobot Kemajuan setiap Kegiatan sampai dengan Minggu ke-5	VIII-1
Tabel 8.2	Anggaran Biaya Proyek menurut Rencana pada Minggu ke-5	VIII-2
Tabel 8.3	Bobot Kemajuan setiap Kegiatan sampai dengan Minggu ke-9	VIII-3
Tabel 8.4	Anggaran Biaya Proyek menurut Rencana pada Minggu ke-9	VIII-4
Tabel 8.5	Anggaran Biaya Proyek pada Minggu ke-5	VIII-6
Tabel 8.6	Anggaran Biaya Proyek pada Minggu ke-9	VIII-7
Tabel 8.7	Rekapitulasi Kemajuan Prestasi Proyek sampai dengan Minggu ke-9	VIII-8
Tabel 8.8	Rekapitulasi Biaya Aktual pada Minggu ke-5	VIII-8
Tabel 8.9	Rekapitulasi Biaya Aktual pada Minggu ke-9	VIII-9
Tabel 8.10	Laporan Prestasi Pekerjaan Proyek pada Minggu ke-5	VIII-13
Tabel 8.11	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Evaluasi I pada Minggu ke-5	VIII-16
Tabel 8.12	Laporan Prestasi Pekerjaan Proyek pada Minggu ke-9	VIII-18
Tabel 8.13	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Evaluasi II pada Minggu ke-9	VIII-21
Tabel 8.14	Indikator, Varians dan Indeks Konsep <i>Earned Value</i>	VIII-23
Tabel 9.1	Rekapitulasi Hasil Evaluasi Minggu ke-5 dan ke-9.....	IX-2

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Lokasi Bendung	III-3
Gambar 2.2	Keadaan hilir Bendung sebelum direhabilitasi.....	III-3
Gambar 2.3	Keadaan hulu Bendung sebelum direhabilitasi	III-22
Gambar 3.1	Sketsa stasiun curah hujan cara rata-rata hitung	III-2
Gambar 3.2	Poligon <i>Thiessen</i>	III-3
Gambar 3.3	Metode <i>Isohyet</i>	III-3
Gambar 3.4	Jenis-jenis penampang.....	III-22
Gambar 3.6	Lebar efektif mercu bendung	III-35
Gambar 3.7	Elevasi air di hulu dan hilir bendung	III-36
Gambar 3.8	Sketsa gerusan di hilir bendung	III-38
Gambar 3.9	EGL-HGL backwater	III-39
Gambar 3.10	Sketsa backwater di hulu bendung.....	III-40
Gambar 3.11	Bangunan pengambilan	III-42
Gambar 3.12	Gaya-gaya yang bekerja pada tubuh bendung.....	III-43
Gambar 3.13	Langkah-langkah proses pengendalian	III-49
Gambar 3.14	Diagram garis ACWP dan BCWS	III-57
Gambar 3.15	Diagram garis BCWP dan BCWS	III-58
Gambar 3.16	Diagram garis ACWP dan BCWP	III-59
Gambar 3.17	Diagram garis BCWS, ACWP dan BCWP	III-60
Gambar 4.1	Diagram Alir Perencanaan	IV-4
Gambar 5.1	Sketsa catchment area bendung dengan cara thiessen	V-3
Gambar 5.2	Potongan melintang sungai P 00+00.....	V-23
Gambar 6.1	Harga-harga koefisien C_0 fungsi H_1/r	VI-2
Gambar 6.2	Penampang melintang di hilir bendung.....	VI-4
Gambar 6.3	Jari-jari mercu bendung	VI-5
Gambar 6.4	Sketsa bendung Susukan dengan kondisi air	VI-6
Gambar 6.5	Grafik untuk menentukan D_m	VI-8

Gambar 6.6	Definisi profil muka air	VI-9
Gambar 6.7	Pintu pengambilan.....	VI-13
Gambar 6.8	Pintu bilas bendung	VI-16
Gambar 6.9	Penulangan pelat lantai.....	VI-22
Gambar 6.10	Bendung dengan kondisi air.....	VI-32
Gambar 6.11	Gaya yang bekerja pada bendung pada kondisi air normal.....	VI-33
Gambar 6.12	Gaya yang bekerja pada bendung pada kondisi air banjir.....	VI-34
Gambar 7.1	Tampak samping bendung	VII-1
Gambar 7.2	Dinding penahan tanah bagian hulu bendung	VII-2
Gambar 7.3	Dinding penahan tanah bagian hilir sebelah kiri bendung	VII-3
Gambar 7.4	Dinding penahan tanah bagian hilir sebelah kanan bendung	VII-4
Gambar 7.5	Tubuh bendung	VII-5
Gambar 7.6	Sayap bendung	VII-7
Gambar 7.7	Kurva S rencana	VII-22
Gambar 8.1	Kurva S rencana dan realisasi	VIII-11
Gambar 8.2	Grafik BCWP, BCWS, dan ACWP dari perhitungan menggunakan metode <i>earned value</i> pada minggu ke-5	VIII-17
Gambar 8.3	Grafik BCWP, BCWS, dan ACWP dari perhitungan menggunakan metode <i>earned value</i> pada minggu ke-9	VIII-22
Gambar 8.4	Diagram Precedence Diagram Method (PDM)	VIII-28
Gambar 8.5	Diagram Batang	VIII-29

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Gambar Rencana Bendung Susukan, Dokumen Kontrak, Rencana Kerja dan Syarat-syarat, Daftar Harga Satuan Bahan Bangunan, dan lain-lain.
- Lampiran 2 Lembar Asistensi, Surat-surat Tugas Akhir.

BAB I PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Hampir di setiap wilayah Indonesia terdapat banyak sungai besar maupun kecil yang menguasai hampir 80% hajat hidup masyarakat Indonesia, terutama petani sebagai basis dasar negara Agraris. Sehingga perlu dikembangkan potensi - potensi sungai tersebut guna meningkatkan hasil produksi pertanian, salah satunya dengan membangun bendung.

Bendung sebagai salah satu contoh bangunan air mencakup hampir keseluruhan aspek bidang ketekniksipilan, yaitu struktur, air, tanah, geoteknik, dan manajemen konstruksi didalam perencanaan teknis strukturnya. Untuk mendapatkan struktur bendung yang tepat perlu dilakukan analisis dan perhitungan yang detail dan menyeluruh, hal ini dikarenakan adanya hubungan saling ketergantungan dari banyak aspek dalam pelaksanaannya. Oleh karena alasan – alasan di atas, kami sebagai penulis memilih Bendung sebagai objek judul Tugas Akhir ini dan kami sebagai calon Sarjana Sipil harus mampu merencanakan secara teknis struktur bangunan sipil, dalam hal ini adalah bendung.

Dalam tahapan proyek dimulai dari perencanaan teknis sampai pada pelaksanaan pembangunan bendung ini, diperlukan suatu manajemen konstruksi yang mempengaruhi kualitas dan kuantitas proyek. Penerapan manajemen konstruksi yang signifikan adalah pada penjadwalan dan pengendalian proyek. Penerapan manajemen konstruksi baik perkiraan jadwal maupun biaya sangat bermanfaat, karena dapat memberikan peringatan dini mengenai hal-hal yang mungkin akan terjadi pada masa yang akan datang. Dan salah satu cara pengendalian biaya dan waktu adalah analisa nilai hasil (*earned value analysis*) yang dapat

mengintegrasikan biaya dan waktu secara tepat, untuk itu kami coba mengetengahkan cara analisa tersebut.

Pengendalian waktu dan biaya yang pada studi kasus ini menyangkut perencanaan teknis pada Proyek Rehabilitasi Bendung Susukan, Desa Beseran Kecamatan Kaliangkrik, Kabupaten Magelang.

1.2 MAKSUD DAN TUJUAN STUDI

1. Melakukan studi tentang perencanaan teknis proyek Rehabilitasi Bendung Susukan, kabupaten Magelang.
2. Memberikan gambaran mengenai sistem pengendalian waktu dan biaya dengan analisa nilai hasil (*earned value analysis*) pada proyek Rehabilitasi Bendung Susukan, kabupaten Magelang.

1.3 KEGUNAAN PENULISAN

1. Merencanakan secara teknis dalam pembangunan salah satu bangunan air, yaitu bendung.
2. Memberi manfaat teoritis, yaitu menambah wawasan kajian manajemen konstruksi, khususnya dalam teknik dan metode pengendalian suatu proyek.
3. Perencana mendapatkan teknik dan metode pengendalian alternatif yang bisa digunakan untuk memantau dan mengendalikan pelaksanaan proyek konstruksi.
4. Mengurangi disefisiensi dalam pelaksanaan pekerjaan konstruksi.

1.4. RUANG LINGKUP MASALAH

Dalam penulisan tugas akhir ini perlu diadakan pembatasan masalah agar penulisan lebih terfokus pada masalah yang dihadapi. Adapun penulisan tugas akhir ini dititikberatkan pada :

1. Perencanaan teknis bendung Susukan, meliputi analisa hidrologi, perhitungan hidrolika bendung dan perhitungan Rencana Anggaran Biaya proyek.

2. Membuat analisa terhadap proyek dengan menggunakan indikator konsep *earned value* sebagai berikut :
 - BCWS (*Budgeted Cost of Work Scheduled*)
 - ACWP (*Actual Cost of Work Performed*)
 - BCWP (*Budgeted Cost of Work Performed*)
 - CV (*Cost Varians*), dan SV (*Scheduled Varians*)
 - CPI (*Cost Performance Index*) dan SPI (*Scheduled Performance Index*)
3. Pengendalian penyelesaian suatu proyek sehingga total waktu pelaksanaan proyek tidak berubah meskipun ada keterlambatan pelaksanaan suatu kegiatan.

1.5. SISTEMATIKA PENULISAN

Laporan tugas akhir ini disusun dalam beberapa bab, dan sub bab. Adapun isi dari tiap-tiap bab tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang, maksud dan tujuan studi, kegunaan penulisan, ruang lingkup masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II GAMBARAN UMUM PROYEK

Berisi pembahasan latar belakang, tujuan, data-data proyek dan ruang lingkup pekerjaan.

BAB III TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas tentang teori, gambaran dan uraian-uraian yang menjelaskan tentang dasar-dasar perencanaan bangunan air dan juga berisi penjelasan mengenai dasar-dasar teori yang dijadikan bahan referensi penulisan tugas akhir, pembahasan spesifikasi pengendalian proyek dengan konsep *earned value*.

BAB IV METODOLOGI

Berisi tentang tahapan penulisan meliputi kerangka penulisan yang terdiri dari metode pengumpulan data-data baik primer maupun sekunder yang digunakan, evaluasi data dan perumusan masalah yang timbul.

BAB V ANALISIS HIDROLOGI

Pada bab ini membahas tentang pengolahan data curah hujan yang digunakan untuk mendapatkan besarnya debit banjir rencana sebagai dasar dari perhitungan perencanaan.

BAB VI PERENCANAAN KONSTRUKSI

Bab ini membahas perencanaan teknis bendung beserta bangunan pelengkap.

BAB VII RENCANA ANGGARAN BIAYA

Bab ini membahas tentang analisis harga satuan, daftar harga bahan dan upah kerja, volume pekerjaan, Rencana Anggaran Biaya (RAB) dan jadwal pelaksanaan yang berisi tentang time schedule pelaksanaan, dan kurva S.

BAB VIII ANALISIS HASIL PENELITIAN DENGAN METODE *EARNED VALUE*

Berisi analisis penulis dan pembahasan mengenai aplikasi metode analisis nilai hasil (*earned value analysis*), identifikasi varians dan juga melakukan analisa terhadap perkiraan biaya untuk pekerjaan tersisa.

BAB IX PEMBAHASAN HASIL PENELITIAN DENGAN METODE *EARNED VALUE*

Berisi tentang pembahasan penulis terhadap hasil analisa pada bab Kajian Sistem Pengendalian Waktu dan Biaya Proyek Dengan Konsep *Earned Value*.

BAB X KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi tentang kesimpulan dan saran dari penulis terhadap keseluruhan ruang lingkup masalah yang telah dibahas.

DAFTAR PUSTAKA

GAMBAR RENCANA

LAMPIRAN-LAMPIRAN

BAB II GAMBARAN UMUM PROYEK

2.1 LATAR BELAKANG

Kali Kanci yang terletak di sebelah barat kabupaten Magelang merupakan andalan bagi pengembangan kesejahteraan masyarakat di daerah tersebut. Kali Kanci berasal dari Gunung Sumbing dan mengalir ke arah selatan melalui bagian hulu menuju ke Sungai Progo. Panjang sungai dari hulu ke hilir sekitar 2 km. Luas Daerah Aliran Sungai (DAS) Kali Kanci dari anak sungai paling hulu sampai dengan muara adalah 35,709 km².

Semula masyarakat setempat membuat bangunan bendung tradisional yang bersifat darurat berupa tumpukan - tumpukan batu kali yang berfungsi untuk membendung, menaikkan elevasi muka air normal, dan membelokkan aliran sebagian debit Kali Kanci ke saluran irigasi Susukan desa Beseran sehingga dapat mengairi daerah pertaniannya. Bendung sementara yang dibuat oleh swadaya masyarakat ini, memang cukup berhasil dan menguntungkan dalam fungsinya. Namun bila ditinjau dari segi teknis dan konstruksi, bangunan ini tidak memenuhi syarat dan tidak memadai sehingga hasilnya kurang maksimal. Oleh karena itu, perlu adanya bangunan utama berupa bendung tetap (weir) dengan konstruksi pasangan batu kali dan beton. Diharapkan dengan tinjauan teknis dan konstruksi yang lebih tepat, hasilnya dapat lebih optimal dan berguna bagi masyarakat.

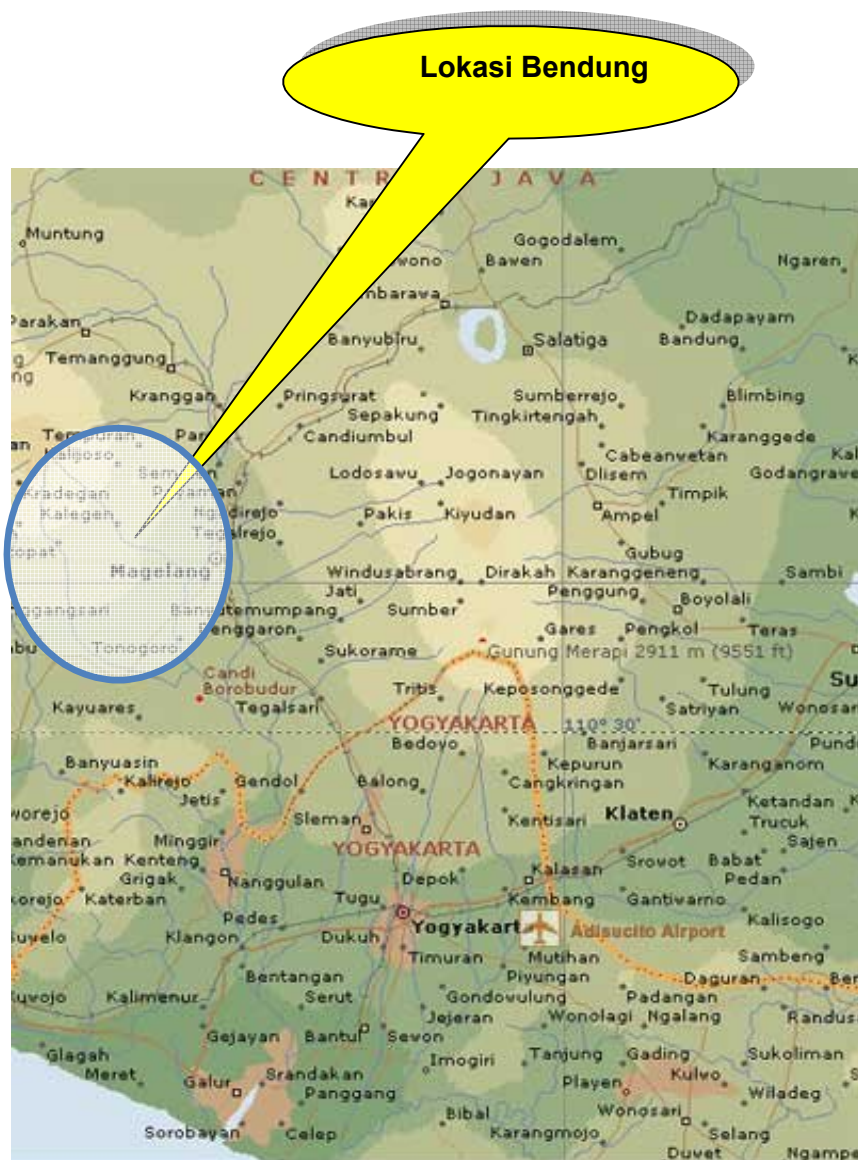
2.2 LOKASI PROYEK

Lokasi proyek Bendung Susukan terletak di :

Desa : Beseran
Kecamatan : Kaliangkrik

Kabupaten : Magelang
Propinsi : Jawa Tengah

Bendung Susukan secara kedinasan termasuk wilayah kerja Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Magelang Propinsi Jawa Tengah. Secara geografis lokasi bendung Susukan terletak di antara $7^{\circ}27'30''$ - $7^{\circ}28'47''$ Lintang Selatan dan $110^{\circ}08'00''$ - $110^{\circ}09'06''$ Bujur Timur.



Gambar 2.1 Lokasi bendung Susukan

2.3 MAKSUD DAN TUJUAN

Pembangunan bendung Susukan ini mempunyai maksud untuk mengakomodasi dan merespon positif usulan petani untuk menunjang peningkatan pertumbuhan ekonomi, meningkatkan pendapatan petani, dan mengoptimalisasi pemanfaatan sumber daya air.

Tujuan perencanaan bendung untuk pembangunan bendung Susukan adalah :

- a. Mengganti konstruksi bendung awal yang masih berupa batu – batu yang disusun oleh penduduk setempat sebagai bendung yang hasilnya masih kurang maksimal.
- b. Mengatur sistem irigasi yang lebih baik sehingga penyaluran debit air dapat tercukupi.



Gambar 2.2 Keadaan Hilir Bendung Susukan Sebelum direhabilitasi



Gambar 2.3 Keadaan Hulu Bendung Susukan sebelum direhabilitasi

Dari gambar diatas dapat dilihat keadaan Kali Kanci sebelum dibangun bendung Susukan, di sebelah kanan sungai terdapat *intake* untuk saluran irigasi Susukan, tapi untuk menaikkan elevasi muka air sungai masih menggunakan cara tradisional yaitu dengan menggunakan batu yang disusun oleh masyarakat setempat sebagai bendung.

2.4 RUANG LINGKUP PEKERJAAN

Paket pekerjaan pada proyek Bendung susukan ini meliputi pembangunan mercu bendung pada Kali Kanci untuk mengairi saluran Irigasi Susukan desa Beseran.

2.5. DATA PROYEK

Proyek ini bertempat di Kabupaten Magelang. Berikut ini data-data proyek tersebut.

1. Nama kegiatan : Rehabilitasi Bendung dan Saluran Irigasi (2P0A)
2. Paket pekerjaan : Rehabilitasi Bendung dan Jaringan Irigasi Susukan, Desa Beseran
3. Lokasi kegiatan : Desa Beseran, Kec. Kaliangkrik
4. Nilai proyek : Rp. 273.258.000,-
5. Durasi proyek : 105 hari kalender

BAB III

TINJAUAN PUSTAKA

3.1 URAIAN UMUM

Bendung merupakan bangunan air, dimana dalam perencanaan dan pelaksanaannya melibatkan berbagai disiplin ilmu yang mendukung, seperti ilmu hidrologi, hidrolika, irigasi, teknik sungai, pondasi, mekanika tanah, dan ilmu teknik lingkungan untuk menganalisis dampak lingkungan akibat pembangunan bendung tersebut.

Untuk menunjang proses perencanaan bendung maka berbagai teori dan rumus-rumus dari berbagai studi pustaka sangat diperlukan, terutama ketika pengolahan data maupun desain rencana bangunan air.

3.2 ANALISIS HIDROLOGI

Analisis data hidrologi untuk memperoleh besarnya debit banjir rencana. Debit banjir rencana merupakan debit maksimum rencana di sungai atau saluran alamiah dengan periode ulang tertentu yang dapat dialirkan tanpa membahayakan lingkungan sekitar dan stabilitas sungai.

Dalam mendapatkan debit banjir rencana yaitu dengan menganalisis data curah hujan maksimum pada daerah aliran sungai yang diperoleh dari beberapa stasiun hujan terdekat yaitu stasiun Tempuran, Kaliloro, dan Kalegen.

3.2.1. Perhitungan curah hujan rata-rata daerah aliran sungai

Ada tiga metode yang biasa digunakan untuk mengetahui besarnya curah hujan rata-rata pada suatu DAS, yaitu sebagai berikut :

3.2.1.1 Cara Rata-rata Hitung

Cara menghitung rata-rata aritmetis (*arithmetic mean*) adalah cara yang paling sederhana. Metode rata-rata hitung dengan

menjumlahkan curah hujan dari semua tempat pengukuran selama satu periode tertentu dan membaginya dengan banyaknya tempat pengukuran. Jika dirumuskan dalam suatu persamaan adalah sebagai berikut :

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 \dots + R_n}{n}$$

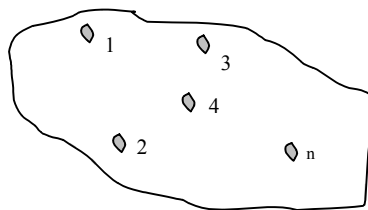
Dimana :

\bar{R} = curah hujan rata-rata (mm)

$R_1 \dots R_n$ = besarnya curah hujan pada masing-masing stasiun (mm)

n = banyaknya stasiun hujan

(Sumber : Sri Harto, Analisis Hidrologi, 1993)



Gambar 3.1 Sketsa stasiun curah hujan cara rata-rata hitung

3.2.1.2 Cara Poligon Thiessen

Cara ini memperhitungkan luas daerah yang mewakili dari stasiun-stasiun hujan yang bersangkutan, untuk digunakan sebagai faktor bobot dalam perhitungan curah hujan rata-rata.

$$\begin{aligned} \text{Rumus : } \bar{R} &= \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A_1 + A_2 \dots + A_n} \\ &= \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A} \end{aligned}$$

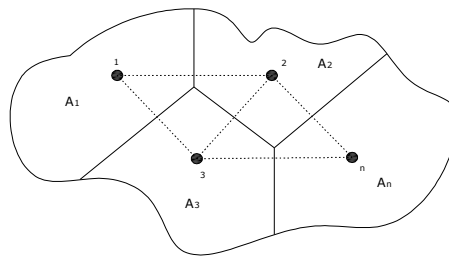
$$\bar{R} = R_1 W_1 + R_2 W_2 + \dots + R_n W_n$$

Dimana : \bar{R} = curah hujan rata-rata (mm)

$R_1 \dots R_2 \dots R_n$ = curah hujan masing-masing stasiun (mm)

$W_1...W_2...W_n$ = faktor bobot masing-masing stasiun yaitu % daerah pengaruh terhadap luas keseluruhan.

(Sumber : Sri Harto, Analisis Hidrologi, 1993)



Gambar 3.2 Pembagian daerah dengan cara poligon Thiessen

3.2.1.3 Cara Isohyet

Isohyet adalah garis lengkung yang merupakan harga curah hujan yang sama. Umumnya sebuah garis lengkung menunjukkan angka yang bulat. *Isohyet* ini diperoleh dengan cara interpolasi harga-harga curah hujan yang tercatat pada penakar hujan lokal (R_{nt}).

Rumus :

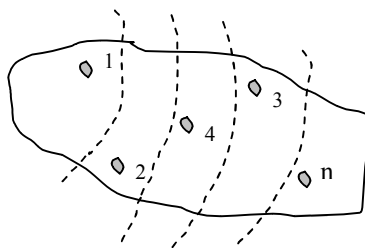
$$X_1 = \frac{a + b}{2}; X_2 = \frac{b + c}{2}; X_3 = \frac{c + d}{2}; X_4 = \frac{d + e}{2}$$

Keterangan :

\bar{R} = curah hujan rata-rata (mm)

X_n = nilai rerata antara dua garis *isohyet*

(Sumber : Sri Harto, Analisis Hidrologi, 1993)



Gambar 3.3 Pembagian daerah cara garis Isohyet

3.2.2 Analisis Frekuensi

Dari curah hujan rata-rata dari berbagai stasiun yang ada di daerah aliran sungai, selanjutnya dianalisis secara statistik untuk mendapatkan pola sebaran data curah hujan yang sesuai dengan pola sebaran data curah hujan rata-rata.

3.2.2.1 Pengukuran Dispersi

Pada kenyataannya tidak semua varian dari suatu variable hidrologi terletak atau sama dengan nilai rata-ratanya. Variasi atau dispersi adalah besarnya derajat dari sebaran varian di sekitar nilai rata-ratanya. Cara mengukur besarnya dispersi disebut pengukuran dispersi. Adapun cara pengukuran dispersi antara lain :

a. Standar Deviasi (S)

$$\text{Rumus : } S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}}$$

(Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisis Data. Jilid I.

Soewarno, hal : 20)

Dimana :

S = standar deviasi

X_i = nilai varian ke i

\bar{X} = nilai rata-rata varian

n = jumlah data

b. Koefesien *Skewness* (CS)

Kemencengan (*skewness*) adalah suatu nilai yang menunjukkan derajat ketidak simetrisan dari suatu bentuk distribusi.

Rumus :

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{(n-1)(n-2)S^3}$$

(*Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisis Data .Jilid I.*
Soewarno, hal : 29)

Dimana :

CS = koefisien *skewness*

X_i = nilai varian ke i

\bar{X} = nilai rata-rata varian

n = jumlah data

S = standar deviasi

c. Pengukuran Kurtosis

Pengukuran kurtosis dimaksud untuk mengukur keruncingan dari bentuk kurva distribusi, yang umumnya dibandingkan dengan distribusi normal.

Rumus :

$$C_K = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{S^4}$$

(*Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuki Analisis Data. Jilid I.*
Soewarno, hal : 30)

Dimana :

CK = koefisien kurtosis

X_i = nilai varian ke i

\bar{X} = nilai rata-rata varian

n = jumlah data

S = standar deviasi

d. Koefisien Variasi (CV)

Koefisien Variasi adalah nilai perbandingan antara deviasi standar dengan nilai rata-rata hitung suatu distribusi.

Rumus :

$$C_v = \frac{S}{\bar{X}}$$

(*Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisis Data. Jilid I. Soewarno, hal : 29*)

Dimana :

CV = koefisien variasi

\bar{X} = nilai rata-rata varian

Dari nilai-nilai di atas, kemudian dilakukan pemilihan jenis sebaran yaitu dengan membandingkan koefisien distribusi dari metode yang akan digunakan.

3.2.2.2 Pemilihan Jenis Sebaran

Ada berbagai macam distribusi teoretis yang kesemuanya dapat dibagi menjadi dua yaitu distribusi diskrit dan distribusi kontinyu. Yang diskrit adalah binomial dan poisson, sedangkan yang kontinyu adalah Normal, Log Normal, Gama, Beta, Pearson dan Gumbel.

Untuk memilih jenis sebaran, ada beberapa macam distribusi yang sering dipakai yaitu :

a. Distribusi Normal

Dalam analisis hidrologi distribusi normal sering digunakan untuk menganalisis frekwensi curah hujan, analisis statistik dari distribusi curah hujan tahunan, debit rata-rata tahunan.

Distribusi tipe normal, mempunyai koefisien kemencengan (*Coefficient of skewness*) atau $CS = 0$.

b. Distribusi Log Normal

Distribusi Log Normal, merupakan hasil transformasi dari distribusi Normal, yaitu dengan mengubah varian X menjadi nilai logaritmik varian X . Distribusi ini dapat diperoleh juga dari distribusi Log Pearson Tipe III, apabila nilai koefisien kemencengan $CS = 0$.

Distribusi tipe Log Normal, mempunyai koefisien kemencengan (*Coefficient of skewness*) atau $CS = 3 CV + CV^3$.

Syarat lain distribusi sebaran Log Normal $CK = CV^8 + 6 CV^6 + 15 CV^4 + 16 CV^2 + 3$.

c. Distribusi Gumbel I

Distribusi Tipe I Gumbel atau Distribusi Extrim Tipe I digunakan untuk analisis data maksimum, misalnya untuk analisis frekwensi banjir.

Distribusi Tipe I Gumbel, mempunyai koefisien kemencengan (*Coefficient of skewness*) atau $CS \leq 1,139$ dan $Ck \leq 5,4002$.

d. Distribusi Log Pearson Tipe III

Distribusi Log Pearson Tipe III atau Distribusi Extrim Tipe III digunakan untuk analisis variable hidrologi dengan nilai varian minimum misalnya analisis frekwensi distribusi dari debit minimum (*low flows*).

Distribusi Log Pearson Tipe III, mempunyai koefisien kemencengan (*Coefficient of skewness*) atau $CS \neq 0$.

Setelah pemilihan jenis sebaran dilakukan maka prosedur selanjutnya yaitu mencari curah hujan rencana periode ulang 2, 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun.

Dipilih jika metode di atas tidak cocok dengan analisa, maka rumus yang digunakan adalah :

$$C_s = \frac{n}{(n-1)(n-2)S^3} \sum (R_i - \bar{R})^3$$

$$C_v = (S_x / \bar{R})$$

$$C_k = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)S^4} \sum (R_i - \bar{R})^4$$

Dimana :

C_s = Koefisien Keruncingan (*skewness*)

C_k = Koefisien Kurtosis

C_v = Koefisien variansi perbandingan deviasi standart dengan rata-rata

R_i = Curah hujan masing-masing pos (mm)

R = Curah hujan rata-rata (mm)

S_x = Standart deviasi

(Sumber : Hidrologi untuk Pengairan, Ir. Suyono Sastrodarsono)

Dengan mengikuti pola sebaran yang sesuai selanjutnya dihitung curah hujan rencana dalam beberapa metode ulang yang akan digunakan untuk mendapatkan debit banjir rencana. Analisa statistik tersebut terdiri atas beberapa metode, yaitu :

3.2.2.3 Metode Gumbel

$$\text{Rumus : } X_T = \bar{X} + \frac{(Y_t - Y_n)}{S_n} \times S_x$$

Dimana :

X_T = curah hujan rencana dalam periode ulang T tahun (mm)

R = curah hujan rata-rata hasil pengamatan (mm)

Y_t = *reduced variabel*, parameter Gumbel untuk periode T tahun

Y_n = *reduced mean*, merupakan fungsi dari banyaknya data (n)

S_n = *reduced standar deviasi*, merupakan fungsi dari banyaknya data (n)

$$S_x = \text{standar deviasi} = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

X_i = curah hujan maksimum (mm)

n = lamanya pengamatan

(Sumber : DPU Pengairan, metode Perhitungan Debit Banjir, SK SNI M-18-1989-F)

Tabel 3.1 Reduced Mean (Y_n)

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0.4952	0.4996	0.5035	0.507	0.51	0.5128	0.5157	0.5181	0.5202	0.522
20	0.5236	0.5252	0.5268	0.5283	0.5296	0.53	0.582	0.5882	0.5343	0.5353
30	0.5363	0.5371	0.538	0.5388	0.5396	0.54	0.541	0.5418	0.5424	0.543
40	0.5463	0.5442	0.5448	0.5453	0.5458	0.5468	0.5468	0.5473	0.5477	0.5481
50	0.5485	0.5489	0.5493	0.5497	0.5501	0.5504	0.5508	0.5511	0.5515	0.5518
60	0.5521	0.5524	0.5527	0.553	0.5533	0.5535	0.5538	0.554	0.5543	0.5545
70	0.5548	0.555	0.5552	0.5555	0.5557	0.5559	0.5561	0.5563	0.5565	0.5567
80	0.5569	0.557	0.5572	0.5574	0.5576	0.5578	0.558	0.5581	0.5583	0.5585
90	0.5586	0.5587	0.5589	0.5591	0.5592	0.5593	0.5595	0.5596	0.8898	0.5599
100	0.56									

(Sumber : CD Soemarto,1999)

Tabel 3.2 Reduced Standard Deviation (S)

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0.9496	0.9676	0.9833	0.9971	1.0095	1.0206	1.0316	1.0411	1.0493	1.0565
20	1.0628	1.0696	1.0754	1.0811	1.0864	1.0915	1.0961	1.1004	1.1047	1.108
30	1.1124	1.1159	1.1193	1.226	1.1255	1.1285	1.1313	1.1339	1.1363	1.1388
40	1.1413	1.1436	1.1458	1.148	1.1499	1.1519	1.1538	1.1557	1.1574	1.159
50	1.1607	1.1623	1.1638	1.1658	1.1667	1.1681	1.1696	1.1708	1.1721	1.1734
60	1.1747	1.1759	1.177	1.1782	1.1793	1.1803	1.1814	1.1824	1.1834	1.1844
70	1.1854	1.1863	1.1873	1.1881	1.189	1.1898	1.1906	1.1915	1.1923	1.193
80	1.1938	1.1945	1.1953	1.1959	1.1967	1.1973	1.198	1.1987	1.1994	1.2001
90	1.2007	1.2013	1.2026	1.2032	1.2038	1.2044	1.2046	1.2049	1.2055	1.206
100	1.2065									

(Sumber : CD Soemarto,1999)

Tabel 3.3 Reduced Variate (Yt)

Periode Ulang	Reduced Variate
2	0.3665
5	1.4999
10	2.2502
20	2.9606
25	3.1985
50	3.9019
100	4.6001
200	5.2960
500	6.2140
1000	6.9190
5000	8.5390
10000	9.9210

(Sumber : CD Soemarto,1999)

3.2.2.4 Metode distribusi Log Pearson III

$$\text{Rumus : } \text{Log } X_T = \overline{\text{Log } X} + k.S_x.\text{Log } X$$

$$\text{Nilai rata-rata : } \overline{\text{Log } X} = \frac{\sum \text{Log } x}{n}$$

$$\text{Standar deviasi : } S_x = \sqrt{\frac{\sum (\text{Log } x - \overline{\text{Log } X})^2}{n-1}}$$

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Log } X_i - \overline{\text{Log } X})}{(n-1)(n-2)S^2}$$

Logaritma debit dengan waktu balik yang dikehendaki dengan rumus :

$$\text{Log } Q = \overline{\text{Log } X} + G.S_x$$

$$G = \frac{n \sum (\text{Log } X_i - \overline{\text{Log } X})^3}{(n-1)(n-2)S_i^3}$$

Dimana :

LogXt = Logaritma curah hujan dalam periode ulang T tahun (mm)

$\overline{\text{Log } X}$ = jumlah pengamatan

n = Jumlah pengamatan

Cs = Koefisien Kemencengan

(Sumber : DPU Pengairan, Metode Perhitungan Debit Banjir, SK SNI M-18-1989-F).

Tabel 3.4 Harga k untuk Distribusi Log Pearson III

Kemencengan	Periode Ulang (tahun)							
	2	5	10	25	50	100	200	500
(CS)	Peluang (%)							
	50	20	10	4	2	1	0.5	0.1
3.0	-0.396	0.420	1.180	2.278	3.152	4.051	4.970	7.250
2.5	-0.360	0.518	1.250	2.262	3.048	3.845	4.652	6.600
2.2	-0.330	0.574	1.840	2.240	2.970	3.705	4.444	6.200
2.0	-0.307	0.609	1.302	2.219	2.912	3.605	4.298	5.910
1.8	-0.282	0.643	1.318	2.193	2.848	3.499	4.147	5.660
1.6	-0.254	0.675	1.329	2.163	2.780	3.388	6.990	5.390
1.4	-0.225	0.705	1.337	2.128	2.706	3.271	3.828	5.110
1.2	-0.195	0.732	1.340	2.087	2.626	3.149	3.661	4.820
1.0	-0.164	0.758	1.340	2.043	2.542	3.022	3.489	4.540
0.9	-0.148	0.769	1.339	2.018	2.498	2.957	3.401	4.395
0.8	-0.132	0.780	1.336	1.998	2.453	2.891	3.312	4.250
0.7	-0.116	0.790	1.333	1.967	2.407	2.824	3.223	4.105
0.6	-0.099	0.800	1.328	1.939	2.359	2.755	3.132	3.960
0.5	-0.083	0.808	1.323	1.910	2.311	2.686	3.041	3.815
0.4	-0.066	0.816	1.317	1.880	2.261	2.615	2.949	3.670
0.3	-0.050	0.824	1.309	1.849	2.211	2.544	2.856	5.525
0.2	-0.033	0.831	1.301	1.818	2.159	2.472	2.763	3.380
0.1	-0.017	0.836	1.292	1.785	2.107	2.400	2.670	3.235
0.0	0.000	0.842	1.282	1.751	2.054	2.326	2.576	3.090
-0.1	0.017	0.836	1.270	1.761	2.000	2.252	2.482	3.950
-0.2	0.033	0.850	1.258	1.680	1.945	2.178	2.388	2.810
-0.3	0.050	0.830	1.245	1.643	1.890	2.104	2.294	2.675
-0.4	0.066	0.855	1.231	1.606	1.834	2.029	2.201	2.540
-0.5	0.083	0.856	1.216	1.567	1.777	1.955	2.108	2.400
-0.6	0.099	0.857	1.200	1.528	1.720	1.880	2.016	2.275
-0.7	0.116	0.857	1.183	1.488	1.663	1.806	1.926	2.150
-0.8	0.132	0.856	1.166	1.488	1.606	1.733	1.837	2.035
-0.9	0.148	0.854	1.147	1.407	1.549	1.660	1.749	1.910
-1.0	0.164	0.852	1.128	1.366	1.492	1.588	1.664	1.800
-1.2	0.195	0.844	1.086	1.282	1.379	1.449	1.501	1.625
-1.4	0.225	0.832	1.041	1.198	1.270	1.318	1.351	1.465
-1.6	0.254	0.817	0.994	1.116	1.166	1.200	1.216	1.280
-1.8	0.282	0.799	0.945	1.035	1.069	1.089	1.097	1.130

-2.0	0.307	0.777	0.895	0.959	0.980	0.990	1.995	1.000
-2.2	0.330	0.752	0.844	0.888	0.900	0.905	0.907	0.910
-2.5	0.360	0.711	0.771	0.793	1.798	0.799	0.800	0.802
-3.0	0.396	0.636	0.660	0.666	0.666	0.667	0.667	0.668

(Sumber : CD Soemarto, 1999).

3.2.2.5 Uji Keselarasan Distribusi

Uji keselarasan distribusi ini digunakan pengujian Chi-kuadrat yang dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sample data yang dianalisis.

Rumus :

$$X^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(Ef - Of)^2}{Ef}$$

(Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisis Data. Jilid I.

Soewarno, hal : 34)

Dimana :

X^2 = harga Chi-kuadrat

G = jumlah sub-kelompok

Of = frekwensi yang terbaca pada kelas yang sama

Ef = frekwensi yang diharapkan sesuai pembagian kelasnya.

Adapun prosedur pengujian Chi-kuadrat adalah sebagai berikut :

- ✓ Urutkan data pengamatan dari yang terbesar ke yang terkecil atau sebaliknya.
- ✓ Hitung jumlah kelas yang ada yaitu $Nc = 1 + 1,33 \ln(n)$.
- ✓ Dalam pembagian kelas disarankan agar dalam masing-masing kelas terdapat minimal tiga buah data pengamatan.
- ✓ Tentukan derajat kebebasan (DK) = $G - P - 1$ (nilai $P = 2$ untuk distribusi normal dan binomial, untuk distribusi poisson dan Gumbel nilai $P = 1$).
- ✓ Hitung n .

- ✓ Nilai E_f = jumlah data (n) / Jumlah kelas.
- ✓ Tentukan nilai O_f untuk masing-masing kelas.
- ✓ Jumlah G Sub-group $\frac{(E_f - O_f)^2}{E_f}$ untuk menentukan nilai Chi-kuadrat.
- ✓ Didapat nilai X^2 , harus $< X^2 CR$

Dapat disimpulkan bahwa setelah diuji dengan Chi-kuadrat pemilihan jenis sebaran memenuhi syarat distribusi, maka curah hujan rencana dapat dihitung.

Tabel 3.5 Nilai kritis untuk Distribusi Chi Kuadrat

Dk	Derajat Kepercayaan							
	0.995	0.99	0.975	0.95	0.05	0.025	0.01	0.005
1	0.0000393	0.000157	0.000982	0.00393	3.841	5.024	6.635	7.879
2	0.100	0.0201	0.0506	0.103	5.991	7.378	9.210	10.597
3	0.0717	0.115	0.216	0.352	7.815	9.348	11.345	12.838
4	0.207	0.297	0.484	0.711	9.488	11.143	13.277	14.860
5	0.412	0.554	0.831	1.145	11.070	12.832	15.086	16.750
6	0.676	0.872	1.237	1.635	12.592	14.449	16.812	18.548
7	0.989	1.239	1.69	2.167	14.067	16.013	18.475	20.278
8	1.344	1.646	2.18	2.733	15.507	17.535	20.09	21.955
9	1.735	2.088	2.7	3.325	16.919	19.023	21.666	23.589
10	2.156	2.558	3.247	3.940	18.307	20.483	23.209	25.188
11	2.603	3.053	3.816	4.575	19.675	21.92	24.725	26.757
12	3.074	3.571	4.404	5.226	21.026	23.337	26.217	28.300
13	3.565	4.107	5.009	5.892	22.362	24.736	27.688	29.819
14	4.075	4.660	5.629	6.571	23.685	26.119	29.141	31.319
15	4.601	5.229	6.161	7.261	24.996	27.488	30.578	32.801
16	5.142	5.812	6.908	7.962	26.296	28.845	32.000	34.267
17	5.697	6.408	7.564	8.672	27.587	30.191	33.409	35.718
18	6.265	7.015	8.231	9.390	28.869	31.526	34.805	37.156
19	6.844	7.633	8.907	10.117	30.144	32.852	36.191	38.582
20	7.434	8.260	9.591	10.851	31.410	34.17	37.566	39.997
21	8.034	8.897	10.283	11.591	32.671	35.479	38.932	41.401
22	8.643	9.542	10.982	12.338	33.924	36.781	40.289	42.796
23	9.260	10.196	11.689	13.091	36.172	38.076	41.638	44.181
24	9.886	10.856	12.401	13.848	36.415	39.364	42.980	45.558
25	10.52	11.524	13.120	14.611	37.652	40.646	44.314	46.928
26	11.16	12.198	13.844	15.379	38.885	41.923	45.642	48.290
27	11.808	12.879	14.573	16.151	40.113	43.194	46.963	49.645
28	12.461	13.565	15.308	16.928	41.337	44.461	48.278	50.993
29	13.121	14.256	16.047	17.708	42.557	45.722	49.588	52.336
30	13.787	14.953	16.791	18.493	43.773	46.979	50.892	53.672

(Sumber : CD Soemarto, 1999)

3.2.2.6 Pengukuran Curah Hujan Rencana

Tujuan pengukuran curah hujan rencana adalah untuk mendapatkan curah hujan periode ulang tertentu yang akan digunakan untuk mencari debit banjir rencana.

Untuk menghitung curah hujan rencana menggunakan parameter pemilihan distribusi curah hujan.

3.2.2.7 Ploting Data Curah Hujan

Ploting distribusi curah hujan dilakukan untuk mengetahui beda antara frekuensi yang diharapkan (E_f) dengan frekuensi yang terbaca (O_f). Sebelum plotting terlebih dahulu dihitung peluang (P) masing-masing curah hujan rata-rata dengan rumus :

$$P = \frac{m}{n+1} ; \quad \text{dimana : } P = \text{peluang}$$

m = nomor urut
n = jumlah data

3.2.2.8 Intensitas Curah Hujan

Intensitas curah hujan adalah ketinggian curah hujan yang terjadi pada suatu kurun waktu di mana air tersebut berkonsentrasi. Analisis intensitas curah hujan ini dapat diproses dari data curah hujan yang telah terjadi pada masa lampau.

a. Menurut Dr. Mononobe

Rumus yang dipakai :

$$I = \frac{R_{24}}{24} * \left[\frac{24}{t} \right]^{2/3}$$

(Perbaikan dan Pengaturan Sungai, Dr.Ir.Suyono Sosrodarsono dan Dr.Masateru Tominaga,hal : 32)

Dimana :

I = intensitas curah hujan (mm/jam)

R24 = curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm)

t = lamanya curah hujan (jam)

b. Menurut Sherman

Rumus yang digunakan :

$$I = \frac{a}{t^b}$$

(Hidrologi Teknik, Ir.CD.Soemarto,B.I.E.Dipl.H, hal : 15)

$$\log a = \frac{\sum_{i=1}^n (\log i) \sum_{i=1}^n (\log t)^2 - \sum_{i=1}^n (\log t \cdot \log i) \sum_{i=1}^n (\log t)}{n \sum_{i=1}^n (\log t)^2 - \left(\sum_{i=1}^n (\log t) \right)^2}$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (\log i) \sum_{i=1}^n (\log t) - n \sum_{i=1}^n (\log t \cdot \log i)}{n \sum_{i=1}^n (\log t)^2 - \left(\sum_{i=1}^n (\log t) \right)^2}$$

Dimana :

I = intensitas curah hujan (mm/jam)

t = lamanya curah hujan (menit)

a,b = konstanta yang tergantung pada lama curah hujan yang terjadi di daerah aliran.

n = banyaknya pasangan data i dan t

c. Menurut Talbot

Rumus yang dipakai :

$$I = \frac{a}{(t + b)}$$

(Hidrologi Teknik, Ir.CD.Soemarto,B.I.E.Dipl.H, hal : 15)

Dimana :

I = intensitas curah hujan (mm/jam)

t = lamanya curah hujan (menit)

a,b = konstanta yang tergantung pada lama curah hujan yang terjadi di daerah aliran.

n = banyaknya pasangan data i dan t

$$a = \frac{\sum_{j=1}^n (i.t) \sum_{j=1}^n (i^2) - \sum_{j=1}^n (i^2.t) \sum_{i=1}^n (i)}{n \sum_{j=1}^n (i^2) - \left[\sum_{j=1}^n (i) \right]^2}$$

$$b = \frac{\sum_{j=1}^n (i) \sum_{j=1}^n (i.t) - n \sum_{j=1}^n (i^2.t)}{n \sum_{j=1}^n (i^2) - \left[\sum_{j=1}^n (i) \right]^2}$$

d. Menurut Ishiguro

Rumus yang digunakan :

$$I = \frac{a}{\sqrt{t} + b}$$

(Hidrologi Teknik, Ir.CD.Soemarto,B.I.E.Dipl.H, hal : 15)

Dimana :

I = intensitas curah hujan (mm/jam)

t = lamanya curah hujan (menit)

a,b = konstanta yang tergantung pada lama curah hujan yang terjadi di daerah aliran

n = banyaknya pasangan data i dan t

$$a = \frac{\sum_{j=1}^n (i \cdot \sqrt{t}) \sum_{j=1}^n (i^2) - \sum_{j=1}^n (i^2 \cdot \sqrt{t}) \sum_{j=1}^n (i)}{n \sum_{j=1}^n (i^2) - \left[\sum_{j=1}^n (i) \right]^2}$$

$$b = \frac{\sum_{j=1}^n (i) \sum_{j=1}^n (i \cdot \sqrt{t}) - n \sum_{j=1}^n (i^2 \cdot \sqrt{t})}{n \sum_{j=1}^n (i^2) - \left[\sum_{j=1}^n (i) \right]^2}$$

3.2.3 Debit Banjir Rencana

Metode untuk mendapatkan debit banjir rencana dapat menggunakan metode sebagai berikut :

3.2.3.1 Metode *Der Weduwen*

Digunakan untuk luas DAS ≤ 100 km²

Rumus : $Q_{max} = \alpha \times \beta \times q \times A$

$$\alpha = \frac{1 - 4,1}{\beta \cdot qn + 7}$$

$$\beta = \frac{120 + ((t+1)/(t+9)) \cdot A}{120 + A}$$

$$qn = \frac{Rn}{240} \times \frac{67,65}{t + 1,45}$$

$$t = 0,25 \times L \times Q^{-0,25} \times I^{-0,25}$$

Dimana :

Q_{max} = debit banjir (m³/dtk)

Rn = curah hujan maksimum harian (mm/jam)

α = koefisien pelimpasan air hujan (*run off*)

β = koefisien reduksi luasan untuk curah hujan di DAS

qn = luasan curah hujan (m³/dtk km²)

A = luas daerah pengaliran (km²)

t = lamanya hujan (jam)

L = panjang sungai (km)

I = kemiringan sungai

(Sumber : DPU Pengairan, Metode Perhitungan Debit Banjir, SK SNI M-18-1989-F)

3.2.3.2 Metode *Haspers*

Rumus : $Q_n = \alpha \cdot \beta \cdot q_n \cdot A$

$$\alpha = \frac{1 + 0,012 \cdot A^{0,70}}{1 + 0,075 \cdot A^{0,70}}$$

$$\frac{1}{\beta} = 1 + \frac{t + 3,70 \cdot 10^{-0,40t}}{t^2 + 15} \cdot \frac{A^{0,75}}{12}$$

$$q_n = \frac{t \cdot R_n}{3,6 \cdot t}$$

$$t = 0,10 \cdot L^{0,80} \cdot i^{-0,30}$$

$$R_n = \frac{t \cdot R_t}{t + 1}$$

Dimana :

Q_n = Debit banjir (m³/dt)

R_n = Curah hujan harian maksimum (mm/hari)

α = Koefisien limpasan air hujan (*run off*)

β = Koefisien pengurangan daerah untuk curah hujan DAS

q_n = Curah hujan (m³/dt.km²)

A = Luas daerah aliran (km²)

t = Lamanya curah hujan (jam)

L = Panjang sungai (km)

i = Kemiringan sungai

(Sumber : DPU Pengairan, Metode Perhitungan Debit Banjir, SK SNI M-18-1989-F)

3.2.3.3 Metode Manual Jawa Sumatra

Digunakan untuk luas DAS > 100 km²

Persamaan yang digunakan :

$$APBAR = PBAR \cdot ARF$$

$$SIMS = H / MSL$$

$$LAKE = \frac{\text{Luas DAS di hulu bendung}}{\text{Luas DAS total}}$$

$$V = 1,02 - 0,0275 \text{ Log (AREA)}$$

$$MAF = 8.10^{-6} \cdot AREA^v \cdot APBAR^{2,455} \cdot SIMS^{0,177} \cdot (1 \pm LAKE)^{-0,85}$$

$$Q = GF \cdot MAF$$

Parameter yang digunakan :

AREA : Luas DAS (km²)

PBAR : Hujan 24 jam maksimum merata tahunan (mm)

ARF : Faktor reduksi (tabel 3.7)

SIMS : Indeks kemiringan = H / MSL

H : Beda tinggi antara titik pengamatan dengan ujung sungai tertinggi (m)

MSL : Panjang sungai sampai titik pengamatan (km)

LAKE : Indek danau

GF : *Growth factor* (table 3.8)

Q : Debit banjir rencana

Tabel 3.6 Faktor reduksi (ARF)

DAS (km ²)	ARF
1 - 10	0,99
10 - 30	0,97
30 - 3000	1,52 - 0,0123 log A

(Sumber : Banjir Rencana Untuk Bangunan Air, Joesron Loebis, 1990)

Tabel 3.7 Growth Factor (GF)

Return Period T	Luas <i>cathment</i> area (km ²)					
	<180	300	600	900	1200	>1500
5	1.28	1.27	1.24	1.22	1.19	1.17
10	1.56	1.54	1.48	1.49	1.47	1.37
20	1.88	1.84	1.75	1.70	1.64	1.59
50	2.35	2.30	2.18	2.10	2.03	1.95
100	2.78	2.72	2.57	2.47	2.37	2.27

(Sumber : Banjir Rencana Untuk Bangunan Air, Joesron Loebis, 1990)

3.2.3.4 Metode Rasional

Metode ini dapat menggambarkan hubungan antara debit limpasan dengan besar curah hujan statis. Dua komponen utama yang digunakan yaitu waktu konsentrasi (t_c) dan intensitas curah hujan (I).

$$\text{Rumus : } Q = 0,278 \times C \times I \times A$$

Dimana :

Q = Debit maksimum (m³/dtk)

A = Luas DAS (km²)

C = koefisien limpasan (lihat tabel 3.8)

I = Intensitas curah hujan selama waktu konsentrasi (mm/jam)

(Sumber : Suyono Sosrodarsono, Hidrologi Untuk Pengairan)

Tabel 3.8 Harga Koefisien run off

Kondisi Daerah Pengaliran dan Sungai	Harga C
Daerah pegunungan yang curam	0,75 – 0,90
Daerah pegunungan tersier	0,70 – 0,80
Tanah bergelombang dan hutan	0,50 – 0,75
Tanah dataran yang ditanami	0,45 – 0,60
Persawahan yang dialiri	0,70 – 0,80
Sungai di daerah pegunungan	0,75 – 0,85
Sungai kecil di dataran	0,45 – 0,75
Sungai besar yang lebih dari setengah daerah pengalirannya terdiri dari dataran	0,50 – 0,75

(Sumber : Suyono Sosrodarsono, Hidrologi Untuk Pengairan, 1998)

3.2.3.5 Metode *Passing Capacity*

Cara ini dipakai dengan jalan mencari informasi yang dipercaya tentang tinggi muka air banjir maksimum yang pernah terjadi. Selanjutnya dihitung besarnya debit banjir rencana dengan rumus :

$$Q = AxV$$

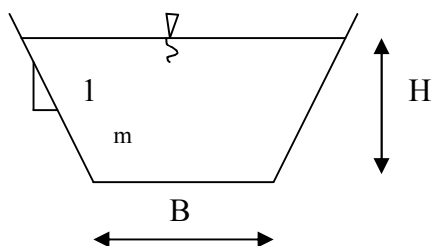
$$V = c \cdot \sqrt{R \cdot I} \quad (\text{Rumus Chezy})$$

$$c = \frac{87}{1 + \frac{m}{\sqrt{R}}}$$

$$R = \frac{A}{P}$$

Dimana :

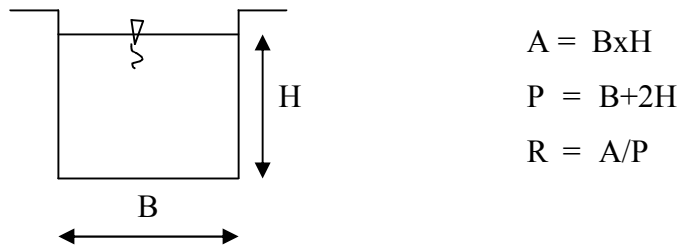
- Q = Volume banjir yang melalui tampang (m³/dtk)
- A = Luas penampang basah (m²)
- V = Kecepatan aliran (m/dtk)
- R = Jari – jari hidrolis (m)
- I = Kemiringan sungai
- P = Keliling penampang basah sungai(m)
- c = Koefisien *Chezy*
- B = Lebar sungai (m)



$$A = (B+mH)H$$

$$P = B+2H(1+m^2)^{0,5}$$

$$R = A/P$$



Gambar 3.4 Jenis-jenis penampang

3.3 PERHITUNGAN NERACA AIR

Perhitungan neraca air dilakukan untuk mengecek apakah air yang tersedia cukup memadai untuk memenuhi kebutuhan air irigasi atau tidak. Perhitungan neraca air ini pada akhirnya akan menghasilkan kesimpulan mengenai :

- Pola tanam akhir yang akan dipakai untuk jaringan irigasi yang sedang di rencanakan
- Penggambaran akhir daerah proyek irigasi.

Ada tiga unsur pokok dalam perhitungan neraca air yaitu:

1. Kebutuhan Air
2. Tersedianya Air
3. Neraca Air

Tabel 3.9 Perhitungan Neraca Air

BIDANG	Parameter yg dihitung	Neraca Air	Kesimpulan
Metereologi	Evaporasi dan Curah Hujan		
Agrounomi dan Tanah	Pola Tanam Koefisien Tanam	Kebutuhan Air Irigasi	
Jaringan irigasi	Efisiensi Irigasi		Jarak debitkebutuhan Tanas Daerah irigasi Pola Tanam Pengaturan recasi
Topografi	Daerah Layanan	Debit Available	
Hidrologi	Debit Available	Debit Minimumu perselenggara bulan periode 5 th kering bangunan utama	

(Sumber : Standar Perencanaan Irigasi, KP-01, 1986)

3.3.1 Analisis Kebutuhan Air

Menurut jenisnya ada dua macam pengertian kebutuhan air, yaitu :

1. Kebutuhan air untuk tanaman (*Consumptive Use*)

Kebutuhan air untuk tanaman (*Consumptive Use*) yaitu banyaknya air yang dibutuhkan tanaman untuk membuat jaringan tanaman (batang dan daun) dan untuk diuapkan (*evapotranspirasi*), *perkolasi*, curah hujan, pengolahan lahan, dan pertumbuhan tanaman.

Rumus :

$$I_r = E_{Tc} + P - R_e + WLR$$

(*Buku Petunjuk Perencanaan Irigasi, PU Pengairan, Hal 5*)

Dimana :

I_r = kebutuhan air (mm/hari)

E = evaporasi (mm/hari)

T = transpirasi (mm)

P = perkolasi (mm)

B = infiltrasi (mm)

W = tinggi genangan (mm)

R_e = hujan efektif (mm/hari)

2. Kebutuhan air untuk irigasi

Kebutuhan air untuk irigasi yaitu kebutuhan air yang digunakan untuk menentukan pola tanaman untuk menentukan tingkat efisiensi saluran irigasi sehingga didapat kebutuhan air untuk masing-masing jaringan.

Perhitungan kebutuhan air irigasi ini dimaksudkan untuk menentukan besarnya debit yang akan dipakai untuk mengairi daerah irigasi. Setelah sebelumnya diketahui besarnya efisiensi irigasi. Besarnya efisiensi irigasi tergantung dari besarnya kehilangan air yang terjadi pada saluran pembawa dari mulut bendung sampai petak sawah. Kehilangan air tersebut disebabkan karena penguapan, perkolasi, kebocoran dan sadap liar.

3.3.1.1 Kebutuhan Air untuk Tanaman

1. Evapotranspirasi

Besarnya evapotranspirasi dihitung dengan menggunakan metoda Penman yang dimodifikasi oleh Nedeco/Prosida seperti diuraikan dalam PSA – 010. Evapotranspirasi dihitung dengan menggunakan rumus-rumus teoritis empiris dengan memperhatikan faktor-faktor meteorologi yang terkait seperti suhu udara, kelembaban, kecepatan angin dan penyinaran matahari.

Evapotranspirasi tanaman yang dijadikan acuan adalah rerumputan pendek (albedo = 0,25). Selanjutnya untuk mendapatkan harga evapotranspirasi harus dikalikan dengan koefisien tanaman tertentu. Sehingga evapotranspirasi sama dengan evapotranspirasi potensial hasil perhitungan Penman x *crop factor*. Dari harga evapotranspirasi yang diperoleh, kemudian digunakan untuk menghitung kebutuhan air bagi pertumbuhan dengan menyertakan data curah hujan efektif.

Rumus evapotranspirasi Penman yang telah dimodifikasi adalah sebagai berikut :

$$\text{Rumus: } E_{to} = \frac{1}{L^{-1}x\delta + \Delta(H_{sh}^{ne} - H_{lo}^{ne})} + \frac{\delta E_q}{\delta + A}$$

Dimana :

E_{to} = indek evaporasi yang besarnya sama dengan evapotranspirasi dari rumput yang dipotong pendek (mm/hr)

H_{sh}^{ne} = jaringan radiasi gelombang pendek (Longly/day)

$$= \{ 1,75 \{ 0,29 \cos \Omega + 0,52 r \times 10^{-2} \} \} \times \alpha \text{ ahsh} \times 10^{-2}$$

$$= \{ \text{aah} \times f(r) \} \times \alpha \text{ ahsh} \times 10^{-2}$$

$$= \text{aah} \times f(r) \text{ (Tabel Penman 5)}$$

α = albedo (koefisien reaksi), tergantung pada lapisan permukaan yang ada untuk rumput = 0,25

R_a = $\alpha \text{ ah} \times 10^{-2}$

= radiasi gelombang pendek maksimum secara teori (Longly/day)

= jaringan radiasi gelombang panjang (*Longly/day*)

$$= 0,97 \alpha Tai^4 \times (0,47 - 0,770 \sqrt{ed} x \{1 - 8/10(1 - r)\})$$

$$H_{sh}^{ne} = f(Tai) \times f(Tdp) \times f(m)$$

$$f(Tai) = \alpha Tai^4 \text{ (Tabel Penman 1)}$$

= efek dari temperature radiasi gelombang panjang

$$m = 8 (1 - r)$$

$$f(m) = 1 - m/10$$

= efek dari angka nyata dan jam penyinaran matahari terang maksimum pada radiasi gelombang panjang

r = lama penyinaran matahari relatif

Eq = evaporasi terhitung pada saat temperatur permukaan sama dengan temperatur udara (mm/hr)

$$= 0,35 (0,50 + 0,54 \mu^2) \times (ea - ed)$$

$$= f(\mu^2) \times PZwa) sa - PZwa$$

μ^2 = kecepatan angin pada ketinggian 2m di atas tanah (Tabel Penman 3)

PZwa = ea = tekanan uap jenuh (mmHg) (Tabel Penman 3)

= ed = tekanan uap yang terjadi (mmHg) (Tabel Penman 3)

L = panas laten dari penguapan (*longly/minutes*)

Δ = kemiringan tekanan uap air jenuh yang berlawanan dengan dengan kurva temperatur pada temperatur udara (mmHg/0C)

δ = konstanta Bowen (0,49 mmHg/0C), kemudian dihitung Eto.

catatan : 1 *Longly/day* = 1 kal/cm²hari

2. Perkolasi

Perkolasi adalah meresapnya air ke dalam tanah dengan arah vertikal ke bawah, dari lapisan tidak jenuh. Besarnya perkolasi dipengaruhi oleh sifat-sifat tanah, kedalaman air tanah dan sistem perakarannya. Koefisien perkolasi adalah sebagai berikut :

- a. Berdasarkan kemiringan :
- lahan datar = 1 mm/hari
 - lahan miring > 5% = 2 – 5 mm/hari
- b. Berdasarkan tekstur :
- berat (lempung) = 1 – 2 mm/hari
 - sedang (lempung kepasiran) = 2 -3 mm/hari
 - ringan = 3 – 6 mm/hari.

Dari pedoman diatas, harga perkolasi untuk perhitungan kebutuhan air di daerah irigasi Susukan diambil sebesar 2 mm/hari karena jenis tanahnya bertekstur sedang (lempung kepasiran) dengan karakteristik pengolahan tanah yang baik.

3. Koefisien Tanaman (Kc)

Besarnya koefisien tanaman (Kc) tergantung dari jenis tanaman dan fase pertumbuhan. Pada perhitungani ini digunakan koefisien tanaman untuk padi dengan varietas unggul mengikuti ketentuan Nedeco/Prosida. Harga-harga koefisien tanaman padi dan palawija disajikan pada tabel 3.10 sebagai berikut :

Tabel 3.10 Koefisien Tanaman Untuk Padi dan Palawija Menurut Nedeco/Prosida

Bulan	Padi		Palawija	
	Varietas Biasa	Varietas Unggul	Jagung	Kacang Tanah
0,50	1,20	1,20	0,50	0,50
1,00	1,20	1,27	0,59	0,51
1,50	1,32	1,33	0,96	0,66
2,00	1,40	1,30	1,05	0,85
2,50	1,35	1,15	1,02	0,95
3,00	1,24	0,00	0,95	0,95
3,50	1,12			0,95
4,00	0,00			0,55
4,50				0,55

(Sumber : Dirjen Pengairan, Bina Program PSA 010, 1985)

4. Curah Hujan Efektif (Re)

a. Besarnya Curah Hujan Efektif

Curah hujan efektif adalah bagian dari curah hujan total yang digunakan oleh akar-akar tanaman selama masa pertumbuhan. Besarnya curah hujan efektif dipengaruhi oleh :

- Cara pemberian air irigasi (rotasi, menerus atau berselang)
- Laju pengurangan air genangan di sawah yang harus ditanggulangi
- Kedalaman lapisan air yang harus dipertahankan di sawah
- Cara pemberian air di petak
- Jenis tanaman dan tingkat ketahanan tanaman terhadap kekurangan air

Untuk irigasi tanaman padi, curah hujan efektif diambil 20% kemungkinan curah hujan bulanan rata-rata tak terpenuhi

b. Koefisien Curah Hujan Efektif

Besarnya koefisien curah hujan efektif untuk tanaman padi berdasarkan tabel 3.11

Tabel 3.11 Koefisien Curah Hujan Untuk Padi

Bulan	Golongan					
	1	2	3	4	5	6
0,50	0,36	0,18	0,12	0,09	0,07	0,06
1,00	0,70	0,53	0,35	0,26	0,21	0,18
1,50	0,40	0,55	0,46	0,36	0,29	0,24
2,00	0,40	0,40	0,50	0,46	0,37	0,31
2,50	0,40	0,40	0,40	0,48	0,45	0,37
3,00	0,40	0,40	0,40	0,40	0,46	0,44
3,50	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,45
4,00	0,00	0,20	0,27	0,30	0,32	0,33
4,50			0,13	0,20	0,24	0,27
5,00				0,10	0,16	0,20
5,50					0,08	0,13
6,00						0,07

(Sumber : Dirjen Pengairan, Bina Program PSA 010, 1985)

Sedangkan untuk tanaman palawija besarnya curah hujan efektif ditentukan dengan metode curah hujan bulanan yang dihubungkan dengan curah hujan rata-rata bulanan serta evapotranspirasi tanaman rata-rata bulanan berdasarkan tabel 3.12

Tabel 3.12 Koefisien Curah Hujan Rata-rata Bulanan dengan ET Tanaman Palawija Rata-rata Bulanan dan Curah Hujan Mean Bulanan

Curah Hujan Bulanan/mm	mean mm	12,5	25	37,5	50	62,5	75	87,5	100	112,5	125	137,5	150	162,5	175	187,5	200
ET tanaman Rata-rata Bulanan/mm	25	Curah Hujan rata-rata bulanan/mm															
	50	8	16	24													
	75	8	17	25	32	39	46										
	100	9	18	27	34	41	48	56	62	69							
	125	9	19	28	35	43	52	59	66	73	80	87	94	100			
	150	10	20	30	37	46	54	62	70	76	85	97	98	107	116	120	
	175	10	21	31	39	49	57	66	74	81	89	97	104	112	119	127	133
	200	11	23	32	42	52	61	69	78	86	95	103	111	118	126	134	141
	225	11	24	33	44	54	64	73	82	91	100	106	117	125	134	142	150
	250	12	25	35	47	57	68	78	87	96	106	115	124	132	141	150	159
		13	25	38	50	61	72	84	92	102	112	121	132	140	150	158	167
Tampungan Efektif		20	25	37,5	50	62,5	75	100	125	150	175	200					
Faktor tampungan		0,73	0,77	0,86	0,93	0,97	1,00	1,02	1,04	1,06	1,07	1,08					

(Sumber : Ref.FAO, 1977)

5. Kebutuhan Air untuk Pengolahan Lahan

a. Pengolahan Lahan untuk Padi

Kebutuhan air untuk pengolahan atau penyiraman lahan menentukan kebutuhan minimum air irigasi. Faktor-faktor yang menentukan besarnya kebutuhan air untuk pengolahan tanah, yaitu besarnya penjemuran, lamanya pengolahan (periode pengolahan) dan besarnya evaporasi dan perkolasi yang terjadi.

Menurut PSA-010, waktu yang diperlukan untuk pekerjaan penyiapan lahan adalah selama satu bulan (30 hari). Kebutuhan air untuk pengolahan tanah bagi tanaman padi diambil 200 mm, setelah tanam selesai lapisan air di sawah ditambah 50 mm. Jadi kebutuhan air yang diperlukan untuk penyiapan lahan dan untuk lapisan air awal setelah tanam selesai seluruhnya menjadi 250 mm.

Sedangkan untuk lahan yang tidak ditanami (sawah bero) dalam jangka waktu 2,5 bulan diambil 300 mm.

Untuk memudahkan perhitungan angka pengolahan tanah digunakan tabel koefisien Van De Goor dan Zijlstra pada tabel 3.13 berikut ini :

Tabel 3.13 Koefisien Kebutuhan Air Selama Penyiapan Lahan

Eo + 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 : Buku Petunjuk Perencanaan Irigasi, 1986)

b. Pengolahan Lahan untuk Palawija

Kebutuhan air untuk penyiapan lahan bagi palawija sebesar 50 mm selama 15 hari yaitu 3,33 mm/hari, yang digunakan untuk menggarap lahan yang ditanami dan untuk menciptakan kondisi lembab yang memadai untuk persemian yang baru tumbuh.

6. Kebutuhan Air untuk Pertumbuhan

Kebutuhan air untuk pertumbuhan padi dipengaruhi oleh besarnya evapotranspirasi tanaman (Etc), perkolasi tanah (p), penggantian air genangan (W) dan hujan efektif (Re). Sedangkan kebutuhan air untuk pemberian pupuk padi tanaman apabila terjadi pengurangan air (sampai tingkat tertentu) pada petak sawah sebelum pemberian pupuk.

3.3.1.2 Kebutuhan Air untuk Irigasi

1. Pola Tanaman dan Perencanaan Tata Tanam

Pola tanam adalah suatu pola penanaman jenis tanaman selama satu tahun yang merupakan kombinasi urutan penanaman. Rencana pola dan tata tanam dimaksudkan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air, serta menambah intensitas luas tanam. Suatu daerah irigasi pada umumnya mempunyai pola tanam tertentu, tetapi bila tidak ada pola yang biasa digunakan pada daerah tersebut direkomendasikan pola tanaman padi-padi-palawija.

Pemilihan pola tanam ini didasarkan pada sifat tanaman hujan dan kebutuhan air.

a. Sifat tanaman padi terhadap hujan dan kebutuhan air

- Pada waktu pengolahan memerlukan banyak air
- Pada waktu pertumbuhannya memerlukan banyak air dan pada saat berbunga diharapkan hujan tidak banyak agar bunga tidak rusak dan padi baik.

b. Palawija

- Pada waktu pengolahan membutuhkan air lebih sedikit daripada padi
- Pada pertumbuhan sedikit air dan lebih baik lagi bila tidak turun hujan.

Setelah diperoleh kebutuhan air untuk pengolahan lahan dan pertumbuhan, kemudian dicari besarnya kebutuhan air untuk irigasi berdasarkan pola tanam dan rencana tata tanam dari daerah yang bersangkutan.

2. Efisiensi Irigasi

Besarnya efisiensi irigasi tergantung dari besarnya kehilangan air yang terjadi pada saluran pembawa, mulai dari bendung sampai petak sawah. Kehilangan air tersebut disebabkan karena penguapan, perkolasi, kebocoran dan sadap liar. Besarnya angka efisiensi tergantung pada penelitian lapangan pada daerah irigasi.

Pada perencanaan jaringan irigasi, tingkat efisiensi ditentukan menurut kriteria standar perencanaan yaitu sebagai berikut ;

- Kehilangan air pada saluran primer adalah 7,5 – 12,5 %, diambil 10%
Faktor koefisien = $100/90 = 1,11$.
- Kehilangan air pada saluran sekunder adalah 7,5 – 15,5 %, diambil 13%
Faktor koefisien = $100/87 = 1,15$.

3.3.2 Analisis Debit Andalan

Perhitungan debit andalan bertujuan untuk menentukan areal persawahan yang dapat diairi. Perhitungan ini menggunakan cara analisis *water balance* dari Dr.F.J. Mock berdasarkan data curah hujan bulanan, jumlah hari hujan, evapotranspirasi dan karakteristik hidrologi daerah pengaliran.

Prinsip perhitungan ini adalah bahwa hujan yang jatuh di atas tanah (presipitasi) sebagian akan hilang karena penguapan (evaporasi), sebagian akan hilang menjadi aliran permukaan (*direct run off*) dan sebagian akan masuk tanah (infiltrasi). Infiltrasi mula-mula menjenuhkan permukaan (*top soil*) yang kemudian menjadi perkolasi dan akhirnya keluar ke sungai sebagai *base flow*.

Perhitungan debit andalan meliputi :

1. Data curah hujan

R_s = curah hujan bulanan (mm)

n = jumlah hari hujan.

2. Evapotranspirasi

Evapotranspirasi terbatas dihitung dari evapotranspirasi potensial metode Penman.

$$dE / E_{to} = (m / 20) \times (18 - n)$$

$$dE = (m / 20) \times (18 - n) \times E_{to}$$

$$E_{tl} = E_{to} - dE$$

Dimana :

dE = selisih evapotranspirasi potensial dan evapotranspirasi terbatas.

E_{to} = evapotranspirasi potensial.

- Et1 = evapotranspirasi terbatas
M = prosentase lahan yang tidak tertutup vegetasi.
= 10 – 40 % untuk lahan yang tererosi.
= 30 – 50 % untuk lahan pertanian yang diolah.

3. Keseimbangan air pada permukaan tanah

Rumus mengenai air hujan yang mencapai permukaan tanah, yaitu :

$$S = R_s - E_{t1}$$

$$SMC(n) = SMC(n-1) + IS(n)$$

$$WS = S - IS$$

Dimana :

$$S = \text{kandungan air tanah}$$

$$R_s = \text{curah hujan bulanan}$$

$$E_{t1} = \text{evapotranspirasi terbatas}$$

$$IS = \text{tampungan awal / Soil Storage (mm)}$$

$$IS(n) = \text{tampungan awal / Soil Storage bulan ke-n (mm)}$$

$$SMC = \text{kelembaban tanah / Soil Storage Moisture (mm) diambil antara 50 - 250 mm}$$

$$SMC(n) = \text{kelembaban tanah bulan ke - n}$$

$$SMC(n-1) = \text{kelembaban tanah bulan ke - (n-1)}$$

$$WS = \text{water surplus / volume air berlebih}$$

4. Limpasan (*run off*) dan tampungan air tanah (*ground water storage*)

$$V(n) = k.V(n-1) + 0,5.(1-k). I(n)$$

$$dV_n = V(n) - V(n-1)$$

Dimana :

$$V(n) = \text{volume air tanah bulan ke-n}$$

$$V(n-1) = \text{volume air tanah bulan ke-(n-1)}$$

$$k = \text{faktor resesi aliran air tanah diambil antara 0-1,0}$$

$$I = \text{koefisien infiltrasi diambil antara 0-1,0}$$

Harga k yang tinggi akan memberikan resesi yang lambat seperti pada kondisi geologi lapisan bawah yang sangat lulus air. Koefisien infiltrasi ditaksir berdasarkan kondisi porositas tanah dan kemiringan daerah pengaliran.

Lahan yang porous mempunyai infiltrasi lebih tinggi dibanding tanah lempung berat. Lahan yang terjal menyebabkan air tidak sempat berinfiltrasi ke dalam tanah sehingga koefisien infiltrasi akan kecil.

5. Aliran sungai

Aliran dasar = infiltrasi – perubahan volume air dalam tanah

$B(n)$ = $I - dV(n)$

Aliran permukaan = volume air lebih – infiltrasi

$D(ro)$ = $WS - I$

Aliran sungai = aliran permukaan + aliran dasar

Run off = $D(ro) + B(n)$

Debit = $\frac{\text{aliran sungai} \times \text{luas DAS}}{\text{satu bulan (Detik)}}$

3.3.3 Neraca Air

Dari hasil perhitungan neraca air, kebutuhan pengambilan yang dihasilkannya untuk pola tanam yang dipakai akan dibandingkan dengan debit andalan untuk tiap setengah bulan dan luas daerah yang bisa diairi, luas daerah irigasi, jatah debit air dan pola pengaturan rotasi. Apabila debit sungai melimpah, maka luas daerah irigasi adalah tetap karena luas maksimum daerah layanan dan proyek yang akan direncanakan sesuai dengan pola tanam yang dipakai. Jika debit sungai kurang maka terjadi kekurangan debit, maka ada tiga pilihan yang perlu dipertimbangkan sebagai berikut :

- Luas daerah irigasi dikurangi.
- Melakukan modifikasi pola tanam.
- Rotasi teknis/golongan.

3.4 PERENCANAAN KONSTRUKSI BENDUNG

3.4.1 PERENCANAAN HIDRAULIS BENDUNG

3.4.1.1 Elevasi Mercu Bendung

Elevasi mercu bendung ditentukan berdasarkan muka air rencana pada bangunan sadap. Disamping itu kehilangan tinggi energi perlu ditambahkan untuk alat ukur, pengambilan, saluran primer dan pada kantong Lumpur.

3.4.1.2 Lebar Efektif Bendung

Lebar efektif bendung di sini adalah jarak antar pangkal-pangkalnya (abutment), menurut kriteria lebar bendung ini diambil sama dengan lebar rata-rata sungai yang setabil atau lebar rata-rata muka air banjir tahunan sungai yang bersangkutan atau diambil lebar maksimum bendung tidak lebih dari 1,2 kali lebar rata-rata sungai pada ruas yang stabil.

Berikut adalah persamaan lebar bendung :

$$B_e = B - 2(nK_p + K_a)H_1$$

(Irigasi dan Bangunan Air, Gunadharna, Hal :114)

Dimana :

B_e = lebar efektif bendung (m).

n = jumlah pilar.

K_p = koefisien kontraksi pilar.

K_a = koefisien kontraksi pangkal bendung.

H_1 = tinggi energi di atas mercu (m).

Tabel 3.14 Harga-harga Koefisien kontraksi Pilar (K_p)

No	Uraian	Harga K_p
1	Untuk pilar segi 4 dengan sudut-sudut yang dibulatkan pada jari-jari yang hampir sama dengan 0,1 tebal pilar	0,02

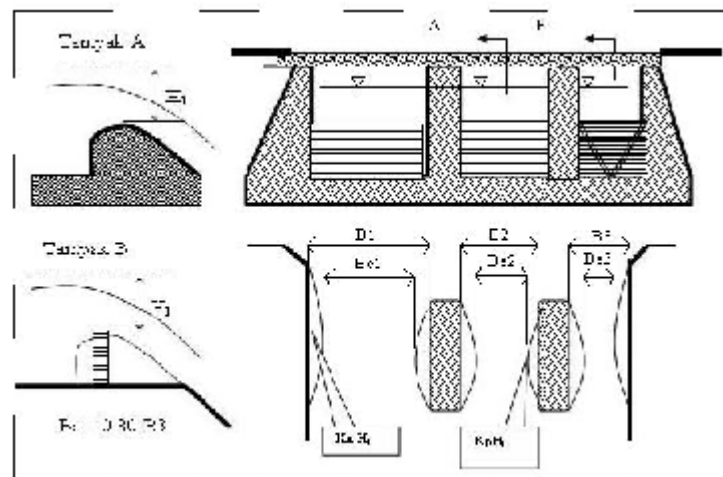
2	Untuk pilar berujung bulat	0,01
3	Untuk pilar berujung runcing	0,00

(Sumber : Irigasi dan Bangunan Air, Gunadarma)

Tabel 3.15 Harga-harga koefisien kontraksi pangkal bendung (Ka)

No	Uraian	Harga (Ka)
1	Untuk pangkal tembok segi 4 dengan tembok hulu pada 90° kearah aliran	0,2
2	Untuk pangkal tembok segi 4 dengan tembok hulu pada 90° kearah aliran dengan $0,5 H_1 > r > 0,15 H_1$	0,1
3	Untuk pangkal tembok bulat dimana $r > 0,5 H_1$ dan tembok hulu tidak lebih dari 45° kearah aliran	0,00

(Sumber : Irigasi dan Bangunan Air, Gunadarma)



Gambar 3.6 Lebar Efektif Mercu Bendung

3.4.1.3 Tinggi Muka Air Banjir di Atas Mercu Bendung

Persamaan tinggi energi di atas mercu (H_1) menggunakan rumus debit bendung dengan mercu bulat, yaitu :

$$Q = C_d \cdot \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot g \cdot B_e \cdot H_1^{3/2}$$

(Buku Petunjuk Perencanaan Irigasi, PU Pengairan, Hal :80)

Dimana :

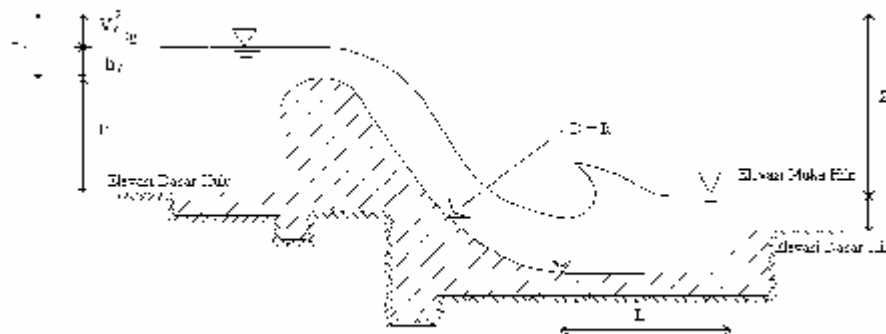
Q = debit (m³/det)

C_d = koefisien debit

g = percepatan gravitasi (m/det²)

B_e = lebar efektif bendung (m)

H_1 = tinggi energi di atas mercu (m)



Gambar 3.7 Elevasi Air di Hulu dan Hilir Bendung

3.4.1.4 Tinggi Muka Air Banjir di Hilir Bendung

Perhitungan dilakukan dengan rumus, sebagai berikut :

$$V = c \times \sqrt{R \times I}$$

(*Hidrolika Terapan Aliran Pada Saluran Terbuka & Pipa, Robert J Kodoatie, hal 127*)

$$A = (b + m.h).h$$

$$P = b + 2.h\sqrt{1 + m^2}$$

$$R = \frac{A}{P}$$

Perhitungan h dengan coba-coba.

Elevasi muka air di hilir bendung = elevasi dasar hilir + h

3.4.1.5 Penentuan Dimensi Mercu Bulat

Tipe mercu untuk Benduna Susukan ini menggunakan tipe mercu bulat. Sehingga besar jari-jari mercu bendung (r) = $0,1H_1 - 0,7 H_1$.

3.4.1.6 Tinjauan Gerusan Di Hilir Bendung

Tinjauan terhadap gerusan bendung digunakan untuk menentukan tinggi dinding halang (koperan) di ujung hilir bendung. Untuk mengatasi gerusan tersebut dipasang apron yang berupa pasangan batu kosong sebagai selimut lintang bagi tanah asli. Batu yang dipakai untuk apron harus keras, padat, awet dan mempunyai berat jenis 2,4 Ton/m³. Untuk menghitung kedalaman gerusan digunakan metode Lacey.

Rumus :

$$R = 0,47 \left(\frac{Q}{f} \right)^{1/3}$$

(Standar Perencanaan Irigasi KP-02, hal 104)

$$f = 1,76 D_m^{1/2}$$

Dimana :

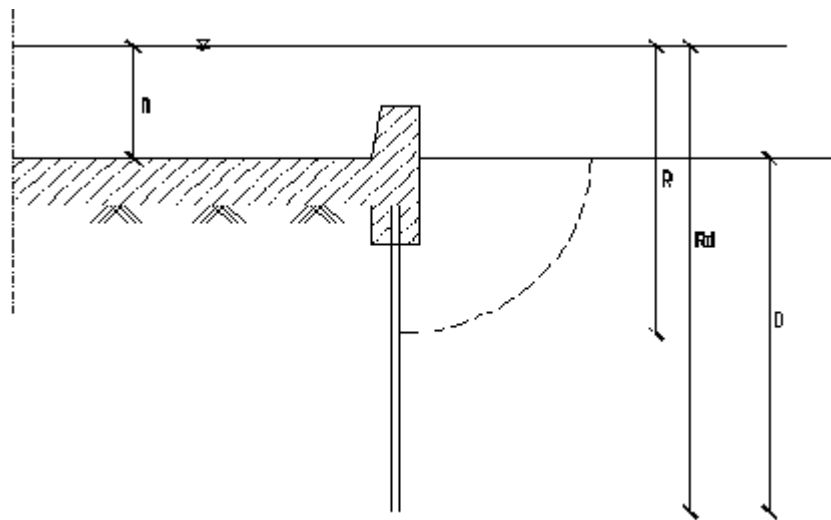
R = kedalaman gerusan di bawah permukaan air banjir (m)

D_m = diameter rata-rata material dasar sungai (mm)

Q = debit yang melimpah di atas mercu (m³/det)

f = faktor lumpur Lacey

Menurut Lacey, kedalaman gerusan bersifat empiris, maka dalam penggunaannya dikalikan dengan angka keamanan sebesar 1,5.



Gambar 3.8 Sketsa Gerusan di Hilir Bendung

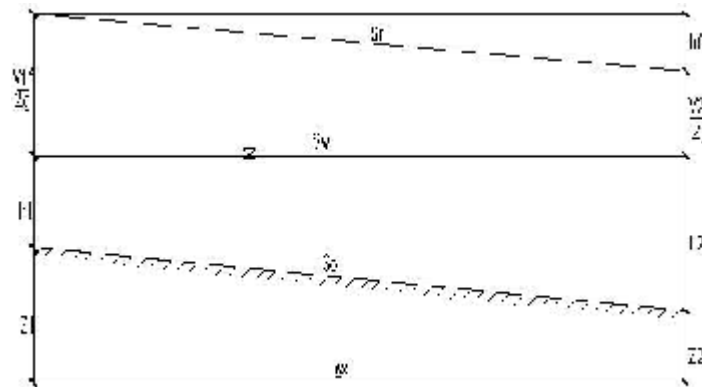
Keterangan :

- Rd = tinggi muka air sampai *sheet pile* (m)
- D = panjang *sheet pile* (m)
- H = tinggi muka air di hilir bendung (m)
- R = kedalaman gerusan (m)

3.4.1.7 Tinjauan Backwater Di Hulu Bendung

Perhitungan *backwater* bertujuan untuk mengetahui peninggian muka air pada bagian hulu akibat pembangunan bendung, sehingga dapat menentukan tinggi tanggul yang harus dibuat. Dengan diketahuinya muka air di hulu bendung maka dapat ditentukan :

- a. Tinggi tanggul di hulu.
- b. Panjang tanggul yang harus dibuat (seberapa jauh pengaruh *backwater*).



Gambar 3.9 EGL – HGL Backwater

Dimana :

h_1 = kedalaman air tanpa bendung.

h_2 = tinggi muka air akibat bendung.

S_o = kemiringan dasar sungai.

S_w = kemiringan muka air.

S_f = kemiringan garis energi.

$$Z_1 + h_1 + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + h_2 + \frac{V_2^2}{2g} + hf$$

$$h_1 + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 - Z_2 = h_2 + \frac{V_2^2}{2g} + hf$$

$$\underbrace{h_1 + \frac{V_1^2}{2g}}_{E_1} + \underbrace{Z_1 - Z_2}_{\Delta x} = \underbrace{h_2 + \frac{V_2^2}{2g}}_{E_2} + hf$$

$$E_1 + S_o \cdot \Delta x = E_2 + S_f \cdot \Delta x$$

$$(S_o \cdot \Delta x) - (S_f \cdot \Delta x) = E_2 - E_1$$

$$\Delta x = \frac{E_1 - E_2}{S_o - S_f}$$

Dimana :

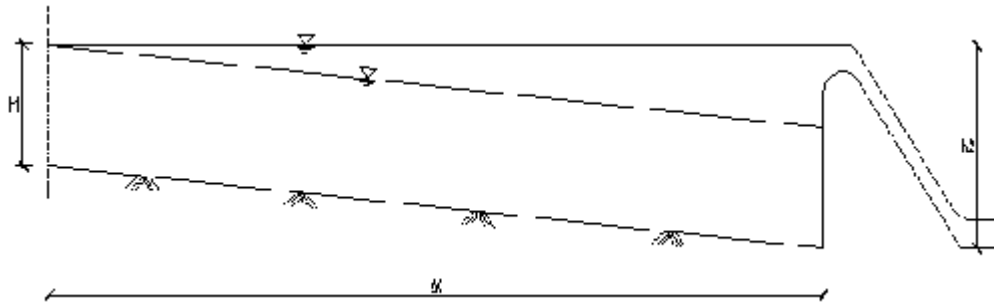
$$S_f = \frac{n^2 \cdot V^2}{2.22 \cdot R^{4/3}}$$

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2}$$

$$A = (b + mh)h$$

$$P = b + 2h\sqrt{1 + m^2}$$

$$R = \frac{A}{P}$$



Gambar 3.10 Sketsa *Backwater* di Hulu Bendung

3.4.2 PERENCANAAN BANGUNAN PELENGKAP

3.4.2.1 Perencanaan Pintu Pengambilan

Bangunan pengambilan adalah sebuah bangunan berupa pintu air yang terletak di samping kiri bendung. Fungsi bangunan ini adalah untuk membelokkan aliran air dari sungai dalam jumlah yang diinginkan untuk kebutuhan irigasi. Saluran pembilas pada bangunan pengambilan dilengkapi dengan pintu dan bagian depannya terbuka untuk menjaga jika terjadi muka air tinggi selama banjir. Besarnya bukaan pintu tergantung dengan kecepatan aliran masuk yang diinginkan. Kecepatan ini tergantung pada ukuran butir bahan yang diangkut.

Elevasi lantai *intake* diambil minimal satu meter di atas lantai hulu bendung karena sungai mengangkut pasir dan kerikil. Pada keadaan ini makin tinggi lantai dari dasar sungai maka akan semakin baik, sehingga pencegahan angkutan sedimen dasar masuk ke *intake* juga makin baik. Tetapi bila lantai *intake* terlalu tinggi maka debit air yang tersadap menjadi sedikit, untuk itu perlu membuat *intake* arah melebar. Agar penyadapan air dapat terpenuhi dan pencegahan sedimen masuk ke *intake*

dapat dihindari, maka perlu diambil perbandingan tertentu antara lebar dengan tinggi bukaan.

Pada perencanaan bendung ini direncanakan *intake* kiri dengan pintu berlubang satu, lebar satu pintu tidak lebih dari 2,5 meter dan diletakkan di bagian hulu. Pengaliran melalui bawah pintu *intake*, sedangkan besarnya debit dapat diatur melalui tinggi bukaan pintu. Kapasitas pengambilan harus sekurang-kurangnya 120% dari kebutuhan pengambilan (*dimention requirement*), guna menambah fleksibilitas dan agar dapat memenuhi kebutuhan yang lebih tinggi selama umur proyek, sehingga :

$$Q_n = 1,2 * Q$$

(Standar perencanaan Irigasi KP-02)

$$Q_n = \mu.a.b.\sqrt{2.g.z}$$

(Buku Petunjuk Perencanaan Irigasi, PU Pengairan, Hal: 76)

Dimana :

Q_n = debit rencana (m³/det)

Q = kebutuhan air di sawah (m³/det)

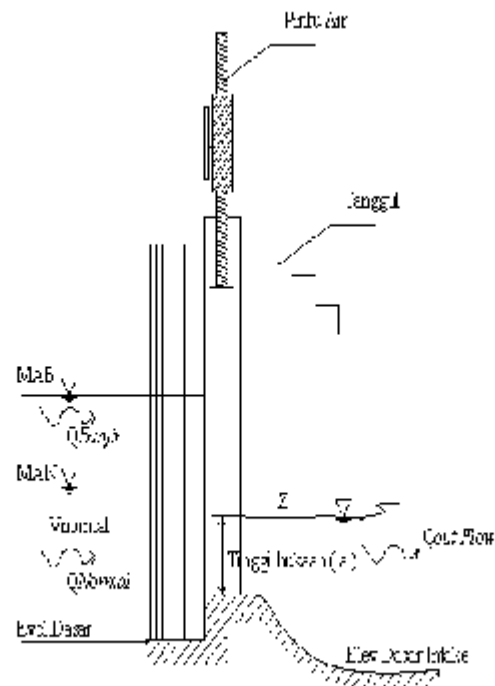
μ = koefisien debit

a = tinggi bukaan (m)

b = lebar bukaan (m)

g = gaya gravitasi = 9,81 m/det²

z = kehilangan tinggi energi pada bukaan antara 0,15 – 0,30 m



Gambar 3.11 Bangunan Pengambilan

3.4.2.2 Pintu Pembilas Bendung

Pintu pembilas atau penguras kantong lumpur tidak boleh terjadi gangguan selama pembilasan, oleh karena itu aliran pada pintu penguras tidak boleh tenggelam. Penurunan kecepatan aliran akan mengakibatkan menurunnya kapasitas angkutan sedimen, oleh karena itu untuk menambah kecepatan aliran tidak boleh berkurang, untuk menambah kecepatan aliran maka dibuat kemiringan saluran yang memungkinkan untuk kemudahan dalam transport sedimen.

Persamaan :

$$Q_n = \mu . a . b . \sqrt{2 . g . z}$$

(Buku Petunjuk Perencanaan Irigasi, PU Pengairan, Hal: 76)

3.4.3 PERENCANAAN SALURAN PEMBAWA

3.4.3.1 Perencanaan Hidraulis Saluran

Dasar perhitungan saluran pembawa adalah menggunakan persamaan Sticker yang dianggap sebagai saluran tetap, dimana dimensi saluran dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Q = V \cdot A$$

$$A = (b + m \cdot h)h$$

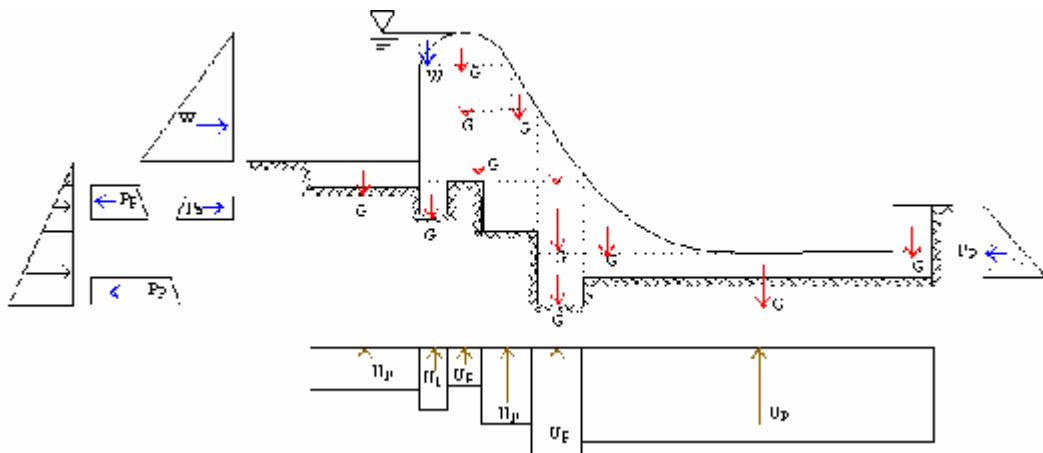
$$P = b + 2 \cdot h \sqrt{m^2 + 1}$$

$$R = \frac{A}{P}$$

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2}$$

(Standar Perencanaan Irigasi KP-03, hal 15)

3.4.4 ANALISIS STABILITAS BENDUNG



Gambar 3.12 Gaya-gaya Yang Bekerja pada Tubuh Bendung

Keterangan :

W : Gaya Hidrostatik

Up : Gaya Angkat (*Uplift Pressure*)

Pa : Tekanan Tanah Aktif

Pp : Tekanan Tanah Pasif

G : Gaya Akibat Berat Sendiri

Stabilitas bendung dianalisis pada tiga macam kondisi yaitu pada saat sungai kosong, normal dan pada saat sungai banjir. Tinjauan stabilitas yang diperhitungkan dalam perencanaan suatu bendung meliputi :

3.4.4.1 Akibat Berat Sendiri Bendung

$$\text{Rumus: } G = V * \gamma$$

(Standar Perencanaan Irigasi KP-02)

Dimana :

V = Volume (m³)

γ = berat jenis bahan, beton = 2,4 T/m³

3.4.4.2 Gaya Angkat (*Uplift Pressure*)

$$\text{Rumus : } P_x = H_x - H$$

$$P_x = H_x - \left(L_x * \frac{\Delta H}{L} \right)$$

(Irigasi dan Bangunan Air, Gunadarma Hal 131)

Dimana :

P_x = *Uplift Pressure* (tekanan air) pada titik X (T/m²)

L_x = jarak jalur rembesan pada titik x (m)

L = panjang total jalur rembesan (m)

ΔH = beda tinggi energi (m)

H_x = tinggi energi di hulu bendung

3.4.4.3 Gaya Gempa

Rumus :

$$a_d = n(a_c x z)^m$$

$$E = \frac{a_d}{g}$$

(Standar Perencanaan Irigasi KP-06)

Dimana:

a_d = percepatan gempa rencana (cm/dt²)

n, m = koefisien untuk masing-masing jenis tanah

a_c = percepatan kejut dasar (cm/dt²)

z = faktor yang tergantung dari letak geografis (dapat dilihat pada “Pete Zona Seismik untuk Perencanaan Bangunan Air Tahan Gempa” Lampiran 1)

E = koefisien gempa

G = percepatan gravitasi = 9,81 m/dt².

Dari koefisien gempa di atas, kemudian dicari besarnya gaya gempa dan momen akibat gaya gempa dengan rumus:

Gaya Gempa, $H_e = E \times G$

Dimana:

E = koefisien gempa

H_e = gaya gempa

G = berat bangunan (Ton)

Momen : $\rightarrow M = K \times \text{Jarak (m)}$

3.4.4.4 Gaya Hidrostatik

Rumus: $W_u = c \cdot \gamma_w [h_2 + \frac{1}{2} \zeta (h_1 - h_2)] A$

(Irigasi dan Bangunan Air, Gunadharma, hal 131)

Dimana:

c = proporsional luas di mana tekanan hidrostatik bekerja ($c = 1$ untuk semua tipe pondasi)

γ_w = berat jenis air (kg/m³) = 1000 kg/m³ = 1 T/m³

h_2 = kedalaman air hilir (m)

h_1 = kedalaman air hulu (m)

ζ = proporsi tekanan, diberikan pada tabel 2.10 (m)

A = luas dasar (m²)

Wu = gaya tekanan ke atas resultante (Ton)

Tabel 3.16 Harga-harga ζ

Tipe Pondasi Batuan	Proporsi Tekanan
Berlapis horisontal	1,00
Sedang, pejal (<i>massive</i>)	0.67
Baik, pejal	0.50

(Sumber : Irigasi dan Bangunan Air, Gunadarma)

3.4.4.5 Gaya Akibat Tekanan Tanah Aktif dan Pasif

- Tekanan tanah aktif dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Pa = \frac{1}{2} \gamma_{sub} * Ka * h^2 \quad Ka = \tan^2(45^\circ - \phi / 2)$$

$$\gamma_{sub} = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

$$= \left[\gamma_w \frac{Gs + e}{1 + e} \right] - \gamma_w \quad ; \text{dimana } \gamma_w = 1 \text{ T/m}^3$$

$$= \left[\gamma_w \frac{Gs - 1}{1 + e} \right]$$

- Tekanan tanah pasif dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Pp = \frac{1}{2} \gamma_{sub} * Kp * h^2$$

$$Kp = \tan^2(45^\circ + \phi / 2)$$

$$\gamma_{sub} = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

$$= \left[\gamma_w \frac{Gs + e}{1 + e} \right] - \gamma_w \quad ; \text{dimana } \gamma_w = 1 \text{ T/m}^3$$

$$= \left[\gamma_w \frac{Gs - 1}{1 + e} \right]$$

Keterangan :

Pa = tekanan tanah aktif (T/m²)

Pp = tekanan tanah pasif (T/m²)

ϕ = sudut geser dalam ($^{\circ}$)

g = gravitasi bumi = 9,81 m/detik²

h = kedalaman tanah aktif dan pasif (m)

γ_{sub} = berat jenis *submerged* / tanah dalam keadaan terendam (T/m³)

γ_{sat} = berat jenis *saturated* / tanah dalam keadaan jenuh (T/m³)

γ_w = berat jenis air = 1,0 T/m³

Gs = *Spesifik Gravity*

e = *Void Ratio*

Setelah menganalisis gaya-gaya tersebut, kemudian diperiksa stabilitas bendung terhadap guling, geser, pecahnya struktur, erosi bawah tanah (piping) dan daya dukung tanah.

3.4.5 ANALISIS STABILITAS BANGUNAN

3.4.5.1 Stabilitas Terhadap Guling

$$\text{Rumus : } Sf = \frac{\sum M_t}{\sum M_g} \geq 1,5$$

Di mana : Sf = faktor keamanan

$\sum M_t$ = besarnya momen vertikal (KNm)

$\sum M_g$ = besarnya momen horisontal (KNm)

(Sumber : DPU Pengairan, Standar Perencanaan Irigasi KP-02)

3.4.5.2 Stabilitas Terhadap Geser

$$\text{Rumus : } Sf = \frac{\sum R_v}{\sum R_h} \geq 1,5$$

Di mana : Sf = faktor keamanan

$\sum V$ = besarnya gaya vertikal (KN)

ΣH = besarnya gaya horisontal (KN)

(Sumber : DPU Pengairan, Standar Perencanaan Irigasi KP-02)

3.4.5.3 Stabilitas Terhadap Eksentrisitas

$$\text{Rumus : } a = \frac{\Sigma Mt - \Sigma Mg}{\Sigma V}$$

$$e = (B/ 2 - a) < 1/6 . B$$

Dengan : B = lebar dasar bendung yang ditinjau (m)

(Sumber : DPU, Standar Perencanaan Irigasi KP-02)

3.4.5.4 Terhadap Daya Dukung Tanah

Rumus daya dukung tanah Terzaghi :

$$q_{ult} = c . N_c + \gamma . N_q . D_f + 0,5 . \gamma . B . N$$

(Mekanika Tanah Jilid I, Braja M. Das)

$$\bar{\sigma} = \frac{q_{ult}}{SF}$$

Kontrol :

$$\sigma_{maks} = \frac{RV}{B} \left(1 + \frac{6.e}{B} \right) < \bar{\sigma}$$

$$\sigma_{min} = \frac{RV}{B} \left(1 - \frac{6.e}{B} \right) > 0$$

(Teknik Bendung, Ir.Soedibyo, Hal : 107)

Dimana :

SF = faktor keamanan

RV = gaya vertikal (Ton)

B = panjang tubuh bendung (m)

σ = tegangan yang timbul (T/m²)

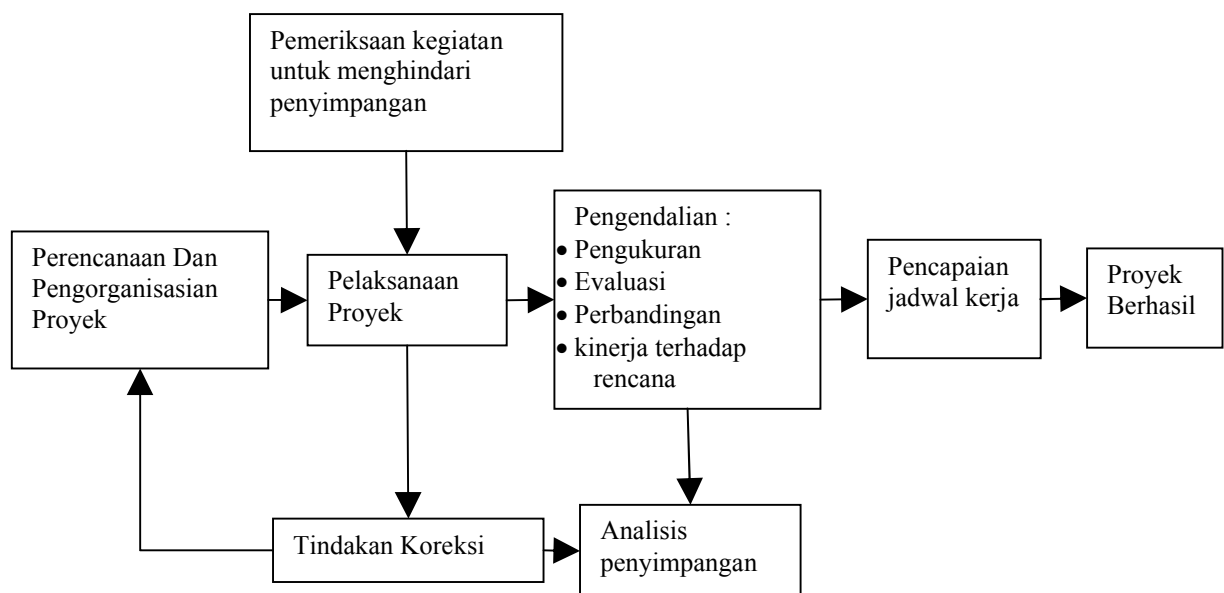
$\bar{\sigma}$ = tegangan ijin (T/m²)

3.5. PENGENDALIAN PROYEK

Selain melakukan perencanaan yang baik dan matang terhadap sumber daya, perencanaan sistem pengendalian proyek harus mendapatkan perhatian yang sama besarnya. Hal ini dikarenakan pengendalian proyek adalah suatu tahap dimana dilakukan control terhadap pelaksanaan, apakah pelaksanaan proyek sesuai dengan yang direncanakan atau tidak. Syarat penting untuk mencapai keberhasilan suatu proyek adalah proses pengendalian yang efektif terhadap biaya, waktu dan mutu.

Proses pengendalian proyek dalam setiap kegiatan konstruksi terdiri dari tiga langkah pokok (Dipohusodo, 1996) :

1. Menetapkan standar kinerja.
2. Mengukur kinerja terhadap standar.
3. Memperbaiki penyimpangan terhadap standar bila terjadi penyimpangan.



Gambar 3.13. Langkah-Langkah Proses Pengendalian

(Sumber : Istimawan Dipohusodo “Manajemen Proyek dan Konstruksi Jilid 2”, 1996).

Pada prinsipnya setiap pelaksanaan pekerjaan selalu diawali dengan perencanaan, kemudian selama pelaksanaan pekerjaan, dilakukan pengendalian agar hasil pekerjaan yang dicapai sesuai dengan yang direncanakan.

3.5.1 Pengendalian waktu

Pengendalian waktu ditujukan agar waktu pelaksanaan konstruksi dapat berlangsung seperti yang direncanakan. Keterlambatan akan menjadi kerugian bagi pemilik pekerjaan maupun bagi kontraktor.

Bagi pemilik, keterlambatan berarti mundurnya waktu pemanfaatan bangunan, sedangkan bagi kontraktor akan berakibat bertambahnya biaya tidak langsung yang diperlukan untuk menyelesaikan konstruksi.

Teknik pengendalian waktu yang biasa digunakan antara lain :

1. Metode jaringan kerja :
 - Metode jalur kritis (CPM)
 - Metode *Precedence* Diagram
 - PERT (*Program Evaluation and Review Technique*)
2. *Bar chart*
3. *Linear scheduling*

3.5.2 Pengendalian mutu pekerjaan

Pengendalian mutu proses konstruksi harus diarahkan pada upaya untuk memenuhi persyaratan yang dinyatakan dalam bentuk kriteria perencanaan dan penyusunan spesifikasi jenis pekerjaan. Pada prinsipnya usaha pengendalian mutu pekerjaan mempunyai tujuan, yaitu :

1. Mengarahkan agar pelaksanaan konstruksi sesuai dengan spesifikasi teknis dan dokumen kontrak.
2. Mencakup pertimbangan ekonomi dalam penetapan jenis material dan metode konstruksi yang dipakai dengan memastikan bahwa perencanaannya telah memenuhi syarat peraturan bangunan.

Singkatnya pengendalian mutu pekerjaan dilakukan melalui pengawasan pelaksanaan pekerjaan yang harus dilakukan sesuai dengan gambar konstruksi, persyaratan teknis dan peraturan-peraturan yang berlaku.

3.5.3 Pengendalian biaya

Posisi biaya proyek pada saat monitoring tidak terlepas dari status (kemajuan) pada saat monitoring. Dengan kata lain, biaya proyek pada saat monitoring diperoleh dengan membandingkan total pengeluaran biaya (berdasarkan laporan keuangan) dengan rencana anggaran pada tingkat kemajuan tercapai pada saat yang sama (berdasarkan laporan kemajuan). Dari sini akan dapat disimpulkan apakah biaya proyek pada tingkat kemajuan tersebut lebih besar, sama atau lebih kecil dari proyeksi anggaran yang telah direncanakan.

3.6. KONSEP PENGENDALIAN BIAYA DAN JADWAL *EARNED VALUE*

Pada suatu proyek konstruksi perencanaan dan pengendalian proyek harus dipandang sebagai satu kesatuan yang terintegrasi dalam system pengelolaan proyek. Terlebih untuk proyek besar seperti yang telah disebutkan sebelumnya, dimana akan terdapat banyak kegiatan dan logika ketergantungan yang akan melibatkan banyak pihak.

Dalam kasus ini sangat penting untuk merencanakan suatu sistem pengendalian proyek yang sistematis dan komprehensif. Sistem pengendalian diciptakan untuk memastikan agar perencanaan dapat mendorong pelaksanaan berjalan dengan lancar dan menciptakan sistem pengendalian yang efektif dan efisien dalam mengontrol 3 aspek utama : biaya, waktu dan mutu.

Suatu konsep pengendalian terintegrasi yang dapat menganalisis penyimbangan biaya dan jadwal pertama kali diperkenalkan oleh Departemen Pertahanan AS pada tahun 1967. Konsep ini dikenal dengan *C/SCSC* (*Cost/Schedule Control System Criteria*) atau *earned value* (soemardi, dkk.,

2005). Konsep ini telah berkembang pesat dan mulai diterapkan dalam manajemen proyek konstruksi. Konsep ini dipadukan dengan konsep perencanaan bertingkat yang membagi proyek menjadi sub-sub proyek.

Umpan balik sangat penting terhadap keberhasilan dalam proyek apapun. Umpan balik yang tepat waktu dan dan tepat sasaran akan membuat manajer proyek untuk mengidentifikasi masalah lebih cepat dan membuat beberapa penyesuaian yang bisa menjaga proyek berjalan sesuai dengan waktu dan biaya.

Earned Value Analysis (EVA), atau analisa nilai yang diperoleh telah terbukti sebagai salah satu cara yang paling efektif untuk mengukur pekerjaan proyek dan sebagai alat umpan balik dalam mengatur proyek. Cara tersebut memungkinkan para manajer untuk mendekati diri pada siklus managerial *plan-do-check-act* (merencanakan-melakukan-memeriksa-tindakan).

Metode earned value ini dapat membantu dengan jelas dan objektif dimanakah perkembangan proyek dan kemanakah perkembangan tersebut akan berlangsung. Metode ini menggunakan pola-pola dan kejadian yang sering terjadi di masa lampau untuk dijadikan prediksi di masa depan sebagai prinsip-prinsip dasar.

Selain itu, metode earned value mencakup pengorganisasian dengan metodologi yang dibutuhkan untuk menyatukan manajemen proyek yang terdiri dari lingkup proyek, jadwal dan biaya. Sehingga dapat memainkan peran yang sangat vital dalam menjawab pertanyaan-pertanyaan manajerial yang sangat penting terhadap sukses tidaknya suatu proyek. Antara lain, apakah hasil pekerjaan proyek sesuai dengan rencana awal pekerjaan, seberapa efisienkah penggunaan waktu proyek, kapan proyek akan selesai, apakah hasil pekerjaan proyek melebihi atau bahkan kurang dari anggaran biaya proyek, seberapa efisienkah penggunaan sumber daya proyek, jenis pekerjaan apakah yang paling menyita anggaran, dan berapa perkiraan biaya seluruh proyek.

Jika penggunaan metode earned value dalam suatu proyek memperlihatkan bahwa proyek tersebut di belakang jadwal atau melebihi anggaran biaya, manajer

proyek dapat memanfaatkan metodologi *earned value* ini untuk membantu mengidentifikasi dimanakah masalah yang terjadi, apakah masalah tersebut dapat mempengaruhi pekerjaan proyek, dan apa yang perlu dilakukan agar proyek kembali pada jalur yang semestinya.

3.6.1 Analisis kinerja pelaksanaan pekerjaan

Analisis kinerja pelaksanaan pekerjaan umumnya dilakukan terhadap 3 pusat control, yaitu : paket pekerjaan, *cost account*, dan *overheads*.

1. Paket Pekerjaan (*Work Package*)

Kontrol terhadap *work package* umumnya dilakukan secara langsung dengan meninjau variasi antara anggaran dengan kenyataan. Ini dimungkinkan karena paket pekerjaan tersebut direncanakan sedemikian rupa sehingga volumenya tidak terlalu besar dan waktunya tidak terlalu panjang seperti sudah diuraikan sebelumnya. Suatu paket pekerjaan adalah suatu satuan pekerjaan yang cukup besar untuk menghitung biaya yang diperlukan tetapi juga harus cukup kecil sehingga setiap penyimpangan yang terjadi dapat diidentifikasi dengan segera sebelum menjadi berbahaya. Biasanya waktu pelaksanaan paket pekerjaan adalah antara 4 sampai 8 minggu. Dengan waktu yang singkat tersebut maka kemajuan pekerjaan dan analisa biaya dapat dilakukan berdasarkan paket pekerjaan yang telah diselesaikan. Estimasi yang bersifat subjektif dibatasi untuk paket pekerjaan yang sudah dimulai tetapi belum selesai. Biasanya kontrol dilakukan berdasarkan laporan bulanan. Suatu estimasi optimis yang dilakukan pada bulan pertama dengan segera dapat diselesaikan pada bulan berikutnya.

2. *Cost Account*

Analisis kinerja pada unit pekerjaan/*cost account* yang lebih besar dapat dilakukan dengan pendekatan yang sama. Biasanya kemajuan pekerjaan secara total merupakan estimasi subjektif yang digambarkan dalam kurva S proyek. Metode yang dianjurkan menginginkan agar faktor subjektifitas ini dapat dikurangi sebanyak mungkin. Untuk proyek kecil, kinerja biasanya diukur untuk keseluruhan proyek secara global dinilai tidak cukup sensitive untuk dapat memberikan reaksi atas setiap deviasi yang terjadi. Untuk itu proyek harus dipecah dan setiap bagian atau tingkatan dari WBS dapat dijadikan *cost account* terhadap mana kinerja yang akan dinilai. Konsep yang sistematis ini memungkinkan analisa kinerja dapat dilakukan pada setiap tingkat pada WBS.

3. *Overheads*

Untuk menganalisa biaya harus dibedakan antara biaya langsung dan biaya tidak langsung. Biaya langsung seperti tenaga kerja, material dan peralatan dapat dengan mudah dialokasikan pada setiap paket pekerjaan. Sementara itu biaya tidak langsung (*overheads*) dapat dikategorikan atas dua bagian :

- *Direct overheads* yang dapat dialokasikan proporsional terhadap paket pekerjaan, misalnya : *overheads* unit perancangan,
- *Indirect overheads* seperti administrasi kantor pusat, gaji direksi, dll yang dapat didistribusikan ke dalam paket pekerjaan, *overhead* ini harus dianalisis tersendiri dan biasanya dibuat linear terhadap waktu.

3.6.2 Metode analisis

Saat ini banyak metode yang dapat digunakan untuk melakukan pengendalian terhadap proyek. Secara tradisional kemajuan pekerjaan (kontrol waktu) dan biaya direfleksikan oleh parameter yang sama, yaitu bobot penyerapan dana pada suatu saat tertentu. Untuk proyek dengan skala besar tinjauan diatas diperkirakan kurang memadai untuk dapat menganalisis dan mengetahui dengan tepat kemajuan pekerjaan (*schedule*) dan kondisi keuangan (pengeluaran dan *earned value*).

Tujuan utama dari penerapan konsep *earned value* pada suatu proyek adalah untuk mengontrol kemajuan proyek (waktu) dan mengefektifkan pengeluaran biaya agar sesuai dengan *budget* yang telah direncanakan (*GES Solutions, 1999*). Selama tahap konstruksi *earned value* juga menyediakan informasi mengenai :

1. Biaya aktual yang telah diserap suatu pekerjaan, berdasarkan penyerapan dana dari sumber daya yang telah dipergunakan oleh pekerjaan tersebut.
2. Nilai pekerjaan tersebut, berdasarkan kemajuan yang telah dicapainya.
3. Variasi biaya dan jadwal yang mencerminkan adanya *under run* (lebih cepat atau lebih murah) atau *over run* (lebih lambat atau lebih mahal).
4. Kecenderungan penyelesaian pekerjaan tersebut berdasarkan data-data variansi yang telah dialami. Berdasarkan penelitian, proyek-proyek yang baru menyelesaikan 15% pekerjaannya namun telah *over-budget* biasanya mengalami *over run* (lebih mahal dari yang telah direncanakan) pada saat penyelesaiannya (*CMS Information System, 1999*)

3.6.3 Terminologi dasar

Dalam konsep *earned value* dikenal beberapa parameter untuk mengendalikan biaya proyek antara lain :

a. *BCWS (Budgeted Cost Work Schedule)*

BCWS adalah merupakan anggaran biaya yang dialokasikan berdasarkan rencana kerja yang telah disusun terhadap waktu. BCWS dihitung dari akumulasi anggaran biaya yang direncanakan untuk pekerjaan dalam periode waktu tertentu. BCWS pada akhir proyek (penyelesaian 100%) disebut *BAC (Budget At Completion)*. BCWS juga menjadi tolok ukur kinerja waktu dari pelaksanaan proyek. BCWS merefleksikan penyerapan biaya rencana secara kumulatif untuk setiap paket-paket pekerjaan berdasarkan urutannya sesuai jadwal yang direncanakan. Penyerapan biaya ini direncanakan untuk setiap *cost account* dan dapat dijumlahkan untuk mendapat rencana biaya bagi setiap tingkat WBS dan OBS yang lebih tinggi. $BCWS_{cum}$ adalah rencana kumulatif penyerapan biaya sampai pada periode tertentu.

b. *BCWP (Budgeted Cost Work Performed)*

BCWP yaitu kemajuan yang telah dicapai berdasarkan nilai uang dari pekerjaan-pekerjaan yang telah diselesaikan pada periode waktu tertentu. BCWP inilah yang disebut *earned value*. BCWP dinilai berdasarkan prosentase pekerjaan yang telah dilaksanakan yang dinilai dengan suatu ukuran kemajuan pekerjaan yang telah ditetapkan dan merupakan akumulasi dari pekerjaan-pekerjaan yang telah diselesaikan. BCWP ini dapat disajikan per periode atau kumulatif dan dihitung mulai dari *basic cost account* dan dijumlahkan untuk elemen WBS dan OBS yang lebih tinggi. Kesulitan utama dalam mengestimasi BCWP adalah untuk mengestimasi kemajuan suatu paket pekerjaan yang telah dimulai tetapi belum selesai. Namun faktor

subjektif ini telah dibatasi jika setiap paket pekerjaan tidak terlalu lama.

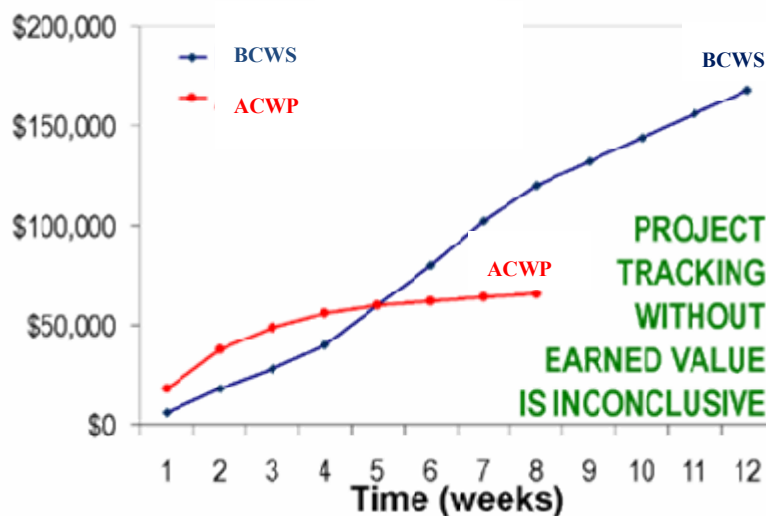
c. *ACWP (Actual Cost Work Performed)*

ACWP adalah biaya actual yang dikeluarkan untuk menyelesaikan pekerjaan sampai pada periode tertentu. ACWP dapat disajikan per periode atau kumulatif.

d. *BAC (Budget At Completion)*

BAC adalah budget rencana yang akan diserap oleh keseluruhan proyek atau keseluruhan pekerjaan. Nilainya adalah nilai proyek tersebut atau nilai kontrak yang harus diselesaikan atau nilai keseluruhan pekerjaan.

Berikut ini adalah penjelasan dari ke-empat terminologi diatas. Yang berupa kombinasi dari elemen-elemen metode earned value.



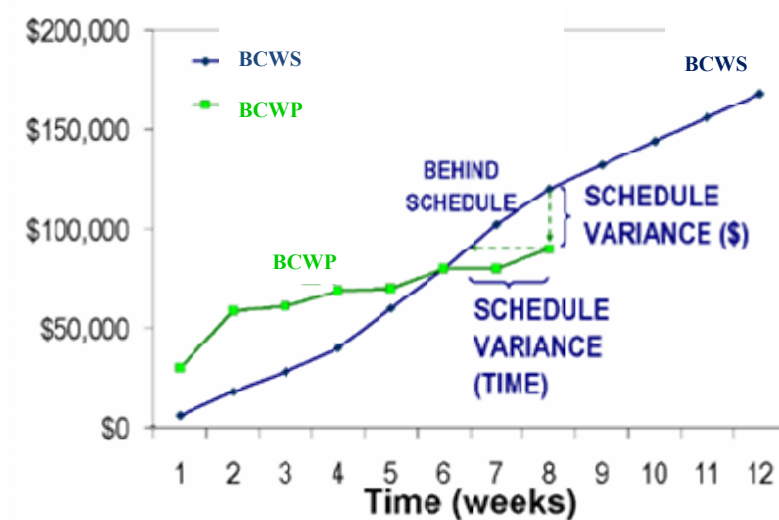
Gambar 3.14 Diagram Garis ACWP dan BCWS

(Sumber : Project management institute Inc, www.pmi.org)

Sangat membantu apabila melihat contoh proyek yang tidak menggunakan metode *earned value* . Mengingat bahwa sebuah proyek

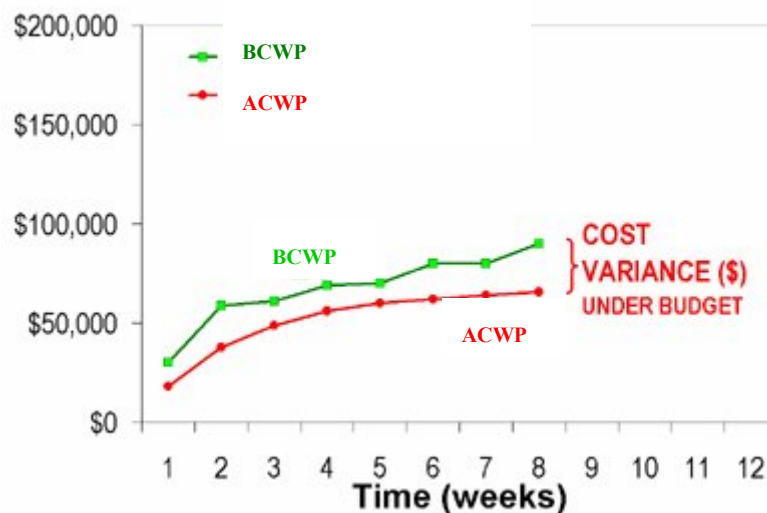
yang telah direncanakan dengan mendetail, termasuk jadwal kerja untuk semua elemen kerja. **Gambar 3.14** menggambarkan jumlah total anggaran dari proyek (*planned value*) ini terhadap fungsi waktu (digambarkan dengan garis biru, dan diberi nama BCWS). Gambar diatas juga menunjukkan jumlah biaya actual ACWP (*actual cost*) pada titik minggu ke-8. Bagi mereka yang tidak terbiasa dengan konsep *earned value*, grafik diatas mungkin menggambarkan bahwa proyek tersebut *overbudget* pada minggu ke-empat dan kemudian *underbudget* dari minggu ke-6 sampai minggu ke-8.

Hal yang kurang dari grafik diatas adalah penjelasan tentang berapa besar pekerjaan yang telah diselesaikan di dalam proyek. Apabila proyek telah selesai pada minggu ke-delapan, maka proyek dalam posisi *underbudget* dan terlaksana di depan jadwal. Tapi, di lain pihak, sebenarnya proyek hanya mencapai 10% pada minggu ke-delapan, dan terlihat proyek mengalami *overbudget* dan dibelakang jadwal. Sebuah metode diperlukan untuk mengukur pelaksanaan teknik pekerjaan secara objektif dan menyeluruh, dan hal itulah yang dapat dilakukan konsep earned value.



Gambar 3.15 Diagram garis BCWP dan BCWS
(Sumber : Project management institute Inc, www.pmi.org)

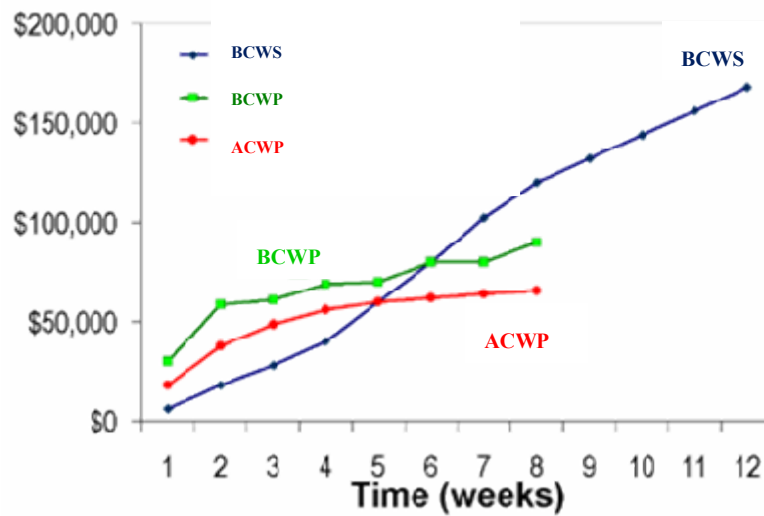
Gambar 3.15 menunjukkan garis BCWP (hijau) sama dengan garis BCWS pada gambar 3.14. grafik diatas mengindikasikan bahwa pelaksanaan proyek dimulai lebih cepat dari yang telah direncanakan tapi melambat dengan signifikan dan jatuh dibelakang jadwal pada minggu ke-7 dan ke-8. Grafik ini menggambarkan aspek dari konsep *earned value*. Melihat kepada jalur kritis dari jadwal proyek.



Gambar 3.16 Diagram garis ACWP dan BCWP

(Sumber : Project management institute Inc, www.pmi.org)

Gambar 3.16 menunjukkan garis yang sama, yaitu garis BCWP (hijau) dengan *actual cost* dari gambar 3.14 maka dapat dilihat bahwa proyek sebenarnya mengalami *under budget* , namun relative dengan jumlah pekerjaan dengan pekerjaan yang telah dilaksanakan sejak dimulainya proyek. Ini merupakan kesimpulan yang lebih baik dibandingkan dengan kesimpulan yang diambil dari gambar 3.14



Gambar 3.17 Diagram garis BCWS, ACWP dan BCWP
(Sumber : Project management institute Inc, www.pmi.org)

Gambar 3.17 memperlihatkan semua garis secara bersama-sama (BCWP, BCWS dan ACWP), yang merupakan tipe dari konsep *earned value* grafik garis. Metode terbaik dalam membaca grafik ini adalah, pertama-tama, tentukan garis BCWP kemudian bandingkan dengan BCWS (untuk jadwal pekerjaan) dan ACWP (untuk biaya pekerjaan). Jadi dapat dilihat dari grafik diatas merupakan pemahaman yang benar dari biaya pekerjaan dan jadwal pekerjaan tergantung dari mengukur pekerjaan teknis secara objektif. Hal ini merupakan prinsip dasar dari metode *earned value*.

3.6.4 Variansi

a. *SV (Schedule Variance)*

Yaitu variansi atau perbedaan antara kemajuan pekerjaan yang dicapai dengan yang direncanakan pada periode tertentu yang menunjukkan posisi kemajuan pekerjaan tersebut pada periode tersebut. SV_{cum} kumulatif adalah variansi antara kemajuan pekerjaan yang telah dicapai dengan yang direncanakan.

$$SV = BCWP - BCWS$$

b. *CV (Cost Variance)*

Yaitu variansi atau perbedaan antara biaya yang harus dikeluarkan untuk mengerjakan suatu pekerjaan pada periode tertentu dengan kemajuan pekerjaan yang dicapai pada periode tersebut yang menggambarkan posisi keuangan pekerjaan pada periode yang bersangkutan. CV_{cum} adalah kumulatif variansi antara biaya yang telah dikeluarkan dengan kemajuan aktual kumulatif.

$$CV = BCWP - ACWP$$

c. *VAC (Variance at Completion)*

Yaitu variansi biaya yang diperkirakan akan terjadi pada saat proyek telah selesai berdasarkan produktifitas terakhir sedangkan VAC_{cum} berdasarkan produktivitas rata-rata.

$$VAC = BAC - EAC$$

$$VAC_{cum} = BAC - EAC_{cum}$$

3.6.5 Indeks Pelaksanaan Pekerjaan

a. *SPI (Schedule Performance Index)*

Yaitu indeks yang menunjukkan produktivitas pekerjaan (efisiensi jadwal) berdasarkan kemajuan yang dicapainya pada periode tertentu sedangkan SPI_{cum} adalah indeks produktivitas pekerjaan berdasarkan kumulatif kemajuan yang dicapainya sampai periode tertentu.

$$SPI = BCWP / BCWS$$

$$SPI_{cum} = BCWP_{cum} / BCWS_{cum}$$

b. *CPI (Cost Performance Index)*

Yaitu indeks yang menunjukkan produktifitas keuangan (efisiensi biaya) atau keuangan berdasarkan penyerapan biaya yang sebenarnya terjadi sampai pada penyerapan proyek berdasarkan penyerapan biaya yang sebenarnya terjadi pada periode tertentu. CPI_{cum} adalah indeks yang menunjukkan produktivitas periode tertentu.

$$CPI = BCWP / ACWP$$

$$CPI_{cum} = BCWP_{cum} / ACWP_{cum}$$

3.6.6 Status Proyek Keseluruhan

- a. *PC (Present Complete)* yaitu presentase kemajuan pekerjaan yang telah dicapai sampai pada periode tertentu berdasarkan *budget* yang direncanakan.

$$PC = BCWP_{cum} / BAC$$

- b. *PS (Present Spent)* yaitu presentase biaya yang telah diserap sampai pada periode tertentu dibandingkan dengan jumlah rencana yang dianggarkan atau perkiraan jumlah total berdasarkan perkiraan uang yang harus dikeluarkan pada saat penyelesaian proyek berdasarkan produktivitas akhir atau produktivitas rata-rata.

$$PS = ACWP_{cum} / BAC$$

$$PS_{cum} = ACWP_{cum} / EAC$$

3.6.7 Estimasi Untuk Menyelesaikan Proyek dan Peramalan Biaya Akhir

- a. *ETC (Estimate to Complete)* yaitu sejumlah biaya yang diperlukan untuk menyelesaikan proyek berdasarkan data produktivitas terakhir yang dicapai.

$$ETC = (BAC - BCWP_{cum}) / CPI$$

- b. *EAC (Estimate at Complete)* adalah besarnya biaya yang akan diserap secara keseluruhan oleh proyek berdasarkan data produktivitas terakhir yang dicapai. Sedangkan *EAC_{cum}* adalah besarnya biaya yang akan diserap secara keseluruhan oleh produk berdasarkan data produktivitas rata-rata.

$$EAC = ACWP_{cum} + ETC$$

3.6.8 Analisis Penyimpangan Jadwal dan Biaya

Kondisi pelaksanaan pekerjaan ditinjau dari sisi pemanfaatan waktu dan biaya yang direpresentasikan dengan nilai *Schedule Variance (SV)* dan *Cost Variance (CV)* adalah sebagai berikut :

$$SV = BCWP - BCWS$$

Schedule Variance = 0 ; proyek tepat waktu

Schedule Variance > 0 ; proyek lebih cepat

Schedule Variance < 0 ; proyek terlambat

$$CV = BCWP - ACWP$$

Cost Variance = 0 ; biaya proyek sesuai rencana

Cost Variance > 0 ; biaya lebih kecil dari rencana

Cost Variance < 0 ; biaya lebih besar dari rencana

Penyimpangan jadwal dan biaya diatas memberikan indikasi dalam bentuk rupiah besar keterlambatan atau majunya proyek dari jadwal tetapi tidak memberikan informasi secara tepat posisi kemajuan proyek terhadap pekerjaan-pekerjaan yang utama. Ini dapat diatasi dengan menyajikan barchart proyek secara integrasi.

Dalam hal terjadi penyimpangan seperti keterlambatan atau biaya yang lebih besar dari rencana, harus dapat diidentifikasi factor penyebabnya seperti : kesalahan estimasi, kesulitan teknis akibat medan yang berat, biaya material dan kinerja pekerja tidak seperti yang diharapkan.

Penyimpangan jadwal biaya dan biaya dinyatakan dalam rupiah seperti penggunaan variansi di atas tidak dapat menggambarkan kondisi keterlambatan relative terhadap satuan unit anggaran. Keterlambatan sebesar 5 juta rupiah dari anggaran 100 juta adalah tidak berarti bila dibandingkan dengan jila anggarannya 10 juta. Hal ini menunjukkan bahwa parameter variansi yang digunakan kurang dapat ,emggabarlan relatifitas tingkat kepentingan sebuah kemajuan atau keterlambatan jika dibandingkan dengan

nilai total proyek. Untuk itu digunakan SPI dan CPI yang berupa nilai indeks yang dapat lebih menggambarkan kondisi yang diharapkan di atas.

Pengertian yang diberikan CPI dan SPI adalah sebagai berikut :

- SPI = 1 ; proyek tepat waktu
- SPI > 1 ; proyek tepat waktu
- SPI < 1 ; proyek terlambat

- CPI = 0 ; biaya proyek sesuai rencana
- CPI > 0 ; biaya lebih kecil dari rencana
- CPI < 0 ; biaya lebih besar dari rencana

CPI dan SPI ini dihitung untuk setiap *cost account* dan tingkat di atasnya. Pada tingkat yang lebih tinggi perhitungan CPI dan SPI dilakukan dengan sederhana yaitu menjumlahkan parameter-parameter tingkat yang berada di bawahnya. Mungkin terjadi kasus kinerja jelek di suatu bagian ditutupi oleh kinerja yang baik di bagian lain, sehingga kinerja suatu tingkat secara rata-rata menjadi baik. Hal ini tidak perlu dikhawatirkan karena seharusnya setiap penanggung jawab suatu *cost account* akan mengetahui kondisi nyata tingkat di bawahnya dan dapat mengidentifikasi sumber penyimpangan. Sebagai parameter lain, CPI dan SPI dapat disajikan untuk periode yang ditinjau dan kondisi kumulatifnya

BAB IV METODOLOGI

4.1 URAIAN UMUM

Metodologi adalah suatu cara atau langkah yang ditempuh dalam memecahkan suatu persoalan dengan mempelajari, mengumpulkan, mencatat dan menganalisa semua data-data yang diperoleh. Metodologi merupakan langkah awal dari pembuatan suatu penulisan karya ilmiah yang menuntut penyusunannya secara sistematis. Dalam metode penyusunan laporan ini langkah pertama yang dilakukan adalah melakukan studi pustaka yaitu tinjauan teori yang berhubungan dengan proyek yang bersangkutan. Studi pustaka ini diambil dari buku-buku (literatur-literatur) atau diktat mata kuliah yang berhubungan dengan pembuatan Tugas Akhir tersebut.

Setelah itu dilakukan pengumpulan data yang meliputi data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dari observasi dan informasi di lapangan. Sedangkan data sekunder diperoleh dari literatur-literatur yang berhubungan dengan pembuatan Tugas Akhir tersebut, juga data tercatat dari narasumber yang terkait.

Data yang diperoleh kemudian diseleksi dan dikumpulkan, jika masih terdapat kekurangan diusahakan untuk dilengkapi. Setelah semua data yang diperlukan terkumpul kemudian dilakukan evaluasi dan analisis untuk mendapatkan data yang benar dan akurat yang selanjutnya penyusunan laporan dapat dilakukan.

4.2 TAHAP PERSIAPAN

Tahap persiapan merupakan rangkaian kegiatan sebelum memulai pengumpulan data dan pengolahannya. Dalam tahap awal ini disusun hal-hal penting untuk mengefektifkan waktu dan kegiatan yang dilakukan. Adapun tahapan tersebut antara lain :

1. Studi pustaka mengenai masalah yang berhubungan dengan bendung beserta fasilitas-fasilitasnya dan jaringan irigasinya.
2. Menentukan kebutuhan data.
3. Pengadaan persyaratan administrasi
4. Mendata instansi yang akan dijadikan narasumber
5. Survey ke lokasi untuk mendapatkan gambaran umum kondisi di lapangan

4.3 TAHAP PEROLEHAN DATA

Dalam proses perencanaan, diperlukan analisis yang teliti. Semakin rumit permasalahan yang dihadapi maka makin kompleks pula analisis yang akan dilakukan. Untuk dapat melakukan analisis yang baik, diperlukan data/informasi, teori konsep dasar dan alat bantu yang memadai, sehingga kebutuhan akan data sangat mutlak diperlukan. Data primer diperoleh dengan pengukuran di lapangan. Data-data sekunder yang digunakan dalam perencanaan ini diperoleh dari instansi yang tersebut diatas adalah sebagai berikut :

1. Peta Topografi, didapatkan dari Fakultas Geografi, Universitas Negeri Semarang, yang terdiri dari :
 - a. Peta lokasi Daerah Aliran Sungai (DAS)
 - b. Peta kontur lokasi bendung.
2. Data Geologi, didapatkan dari Fakultas Geografi, Universitas Negeri Semarang dan Dinas Pengairan Kabupaten Magelang, yang terdiri dari :
 - a. Jenis tanah dan batuan yang ada dibawah permukaan.
3. Data Hidrologi, didapatkan dari PSDA Propinsi Jawa Tengah, Jl. Madukoro blok AA-BB, Semarang, yang terdiri dari :
 - a. Data curah hujan maksimum dan hujan rata-rata.
4. Data lain, dari BMG Kota Semarang :
 - a. Data meteorologi dan klimatologi.
 - b. Data keadaan lingkungan.

Adapun metode perolehan data sekunder dalam tugas akhir ini dilakukan dengan cara :

1. Metode literatur yaitu suatu metode yang digunakan untuk mendapatkan data dengan cara mengumpulkan, mengidentifikasi dan mengolah data.
2. Metode wawancara yaitu metode yang digunakan untuk mendapatkan data dengan cara melakukan wawancara kepada narasumber terkait yaitu PSDA Provinsi Jawa Tengah.

4.4 ANALISIS DAN PENGOLAHAN DATA

Pengolahan data meliputi kegiatan pengakumulasian, pengelompokan jenis data, kemudian dilanjutkan dengan analisis. Pada tahapan ini dilakukan proses pengolahan dan analisis data meliputi :

a. Analisis data debit

Tidak ada data debit yang tercatat dari sungai tersebut. Untuk merencanakan bendung ini akan digunakan cara perhitungan debit dengan memakai data curah hujan. Data debit banjir berhubungan erat dengan dimensi bendung. Karena bendung direncanakan untuk dapat bertahan dan kuat dalam kurun waktu yang lama, maka debit banjir yang dibutuhkan adalah debit banjir terbesar yang diperkirakan akan terjadi pada kurun waktu tersebut, dalam perencanaan ini debit banjir rencana yang akan dihitung adalah debit banjir rencana 10, 20,50 dan 100 tahun.

b. Analisis data hujan

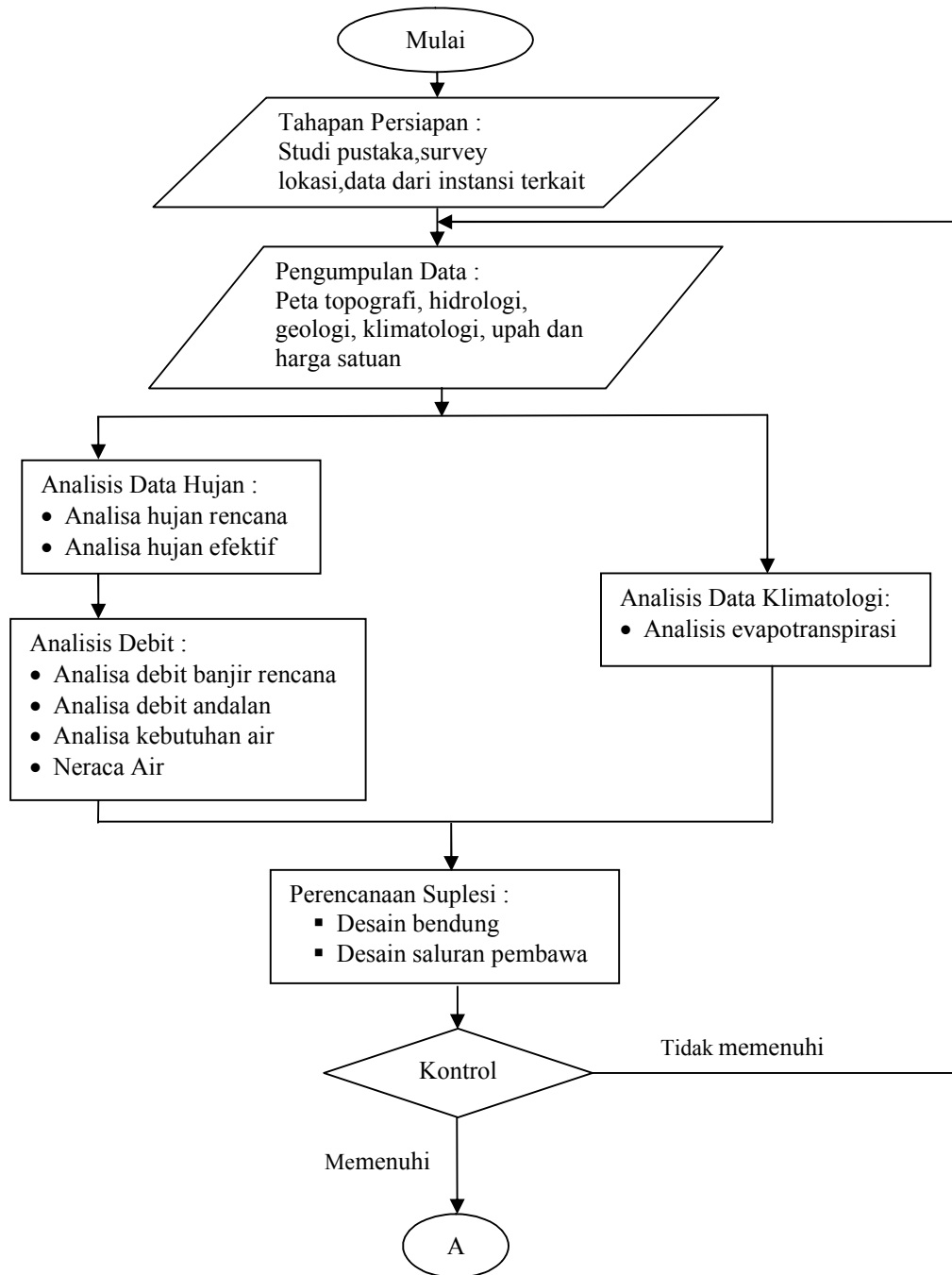
Analisa data hujan digunakan untuk menentukan curah hujan rencana yang akan dipakai sebagai dasar dalam perencanaan limpasan air hujan pembuang permukaan.

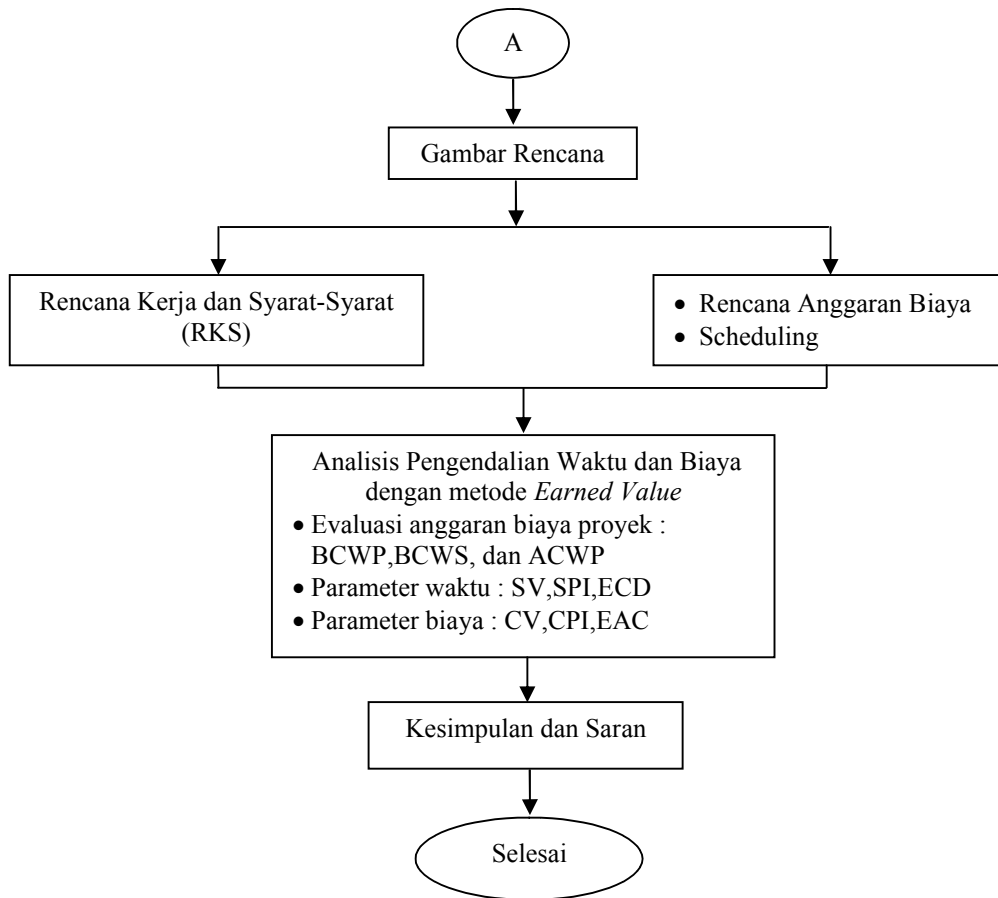
c. Analisis klimatologi

Analisis klimatologi digunakan untuk menentukan besarnya evapotranspirasi yang digunakan untuk analisis kebutuhan air untuk penyiapan lahan.

4.5 DIAGRAM ALIR PERENCANAAN

Proses penyusunan Tugas Akhir ini meliputi perencanaan teknis Bendung Susukan kabupaten Magelang dan kajian sistem pengendalian waktu dan biaya proyek dengan metode Earned Value yang disajikan dalam diagram alir berikut :





Gambar 4.1 Diagram Alir Perencanaan

BAB V ANALISIS HIDROLOGI

5.1. URAIAN UMUM

Dalam merencanakan bangunan air, analisis yang penting perlu ditinjau adalah analisis hidrologi. Analisis hidrologi diperlukan untuk menentukan besarnya debit banjir rencana yang mana debit banjir rencana akan berpengaruh besar terhadap besarnya debit maksimum maupun kestabilan konstruksi yang akan dibangun. Pada perencanaan bendung ini, data curah hujan harian selama periode 10 tahun yang akan dijadikan dasar perhitungan dalam menentukan debit banjir rencana.

Data hujan harian selanjutnya akan diolah menjadi data curah hujan rencana, yang kemudian akan diolah menjadi debit banjir rencana. Data hujan harian didapatkan dari beberapa stasiun di sekitar lokasi rencana bendung, di mana stasiun tersebut masuk dalam *catchment area* atau daerah pengaliran sungai.

Adapun langkah-langkah dalam analisis hidrologi adalah sebagai berikut :

- a. Menentukan Daerah Aliran Sungai (DAS) beserta luasnya.
- b. Menentukan luas pengaruh daerah stasiun-stasiun penakar hujan sungai.
- c. Menentukan curah hujan maksimum tiap tahunnya dari data curah hujan yang ada.
- d. Menganalisis curah hujan rencana dengan periode ulang T tahun.
- e. Menghitung debit banjir rencana berdasarkan besarnya curah hujan rencana diatas pada periode ulang T tahun.
- f. Menghitung debit andalan yang merupakan debit minimum sungai yang dapat untuk keperluan irigasi.
- g. Menghitung kebutuhan air di sawah yang dibutuhkan untuk tanaman.

- h. Menghitung neraca air yang merupakan perbandingan antara debit air yang tersedia dengan debit air yang dibutuhkan untuk keperluan irigasi.

5.2. DAERAH ALIRAN SUNGAI (DAS)

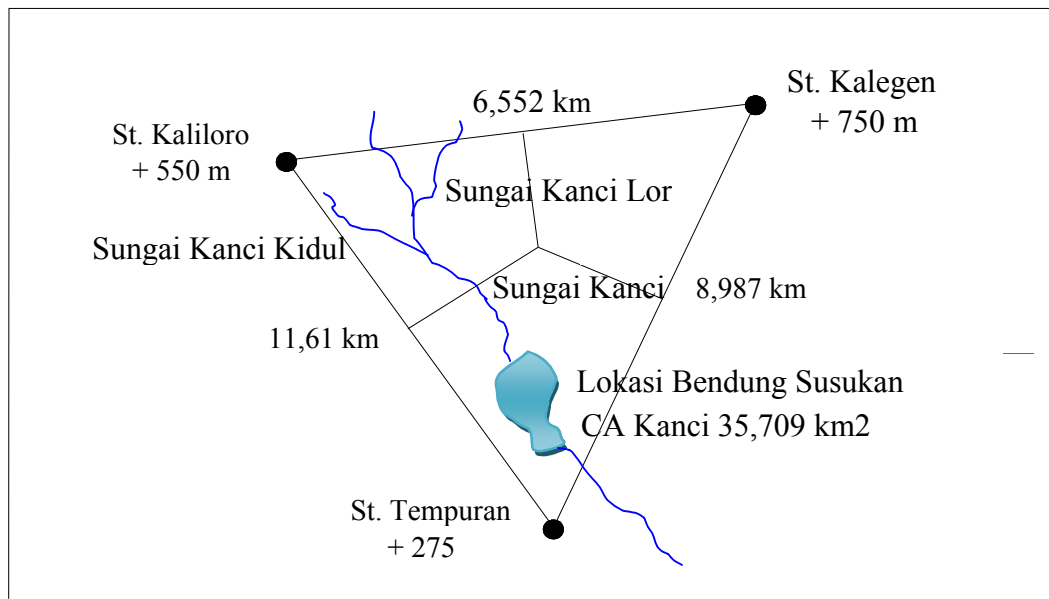
Sebelum menentukan daerah aliran sungai, terlebih dahulu menentukan lokasi bangunan air (bendung) yang akan direncanakan. Dari lokasi bendung ini ke arah hulu, kemudian ditentukan batas daerah aliran sungai dengan menarik garis imajiner yang menghubungkan titik-titik yang memiliki kontur tertinggi sebelah kiri dan kanan sungai yang ditinjau.

Dari peta topografi didapat luas daerah aliran sungai (DAS) Kanci sebesar 35,709 km². Untuk peta daerah aliran sungai (DAS) dapat dilihat pada lampiran 1.

5.3. ANALISIS CURAH HUJAN RATA-RATA DAERAH ALIRAN SUNGAI (DAS)

Dari metode perhitungan curah hujan yang ada, digunakan metode Thiessen karena kondisi topografi dan jumlah stasiun memenuhi syarat untuk digunakan metode ini. Adapun jumlah stasiun yang masuk di lokasi daerah pengaliran sungai berjumlah tiga buah stasiun yaitu Sta. Tempuran, Sta. Kaliloro, dan Sta. Kalegen.

Dari tiga stasiun tersebut masing-masing dihubungkan untuk memperoleh luas daerah pengaruh dari tiap stasiun. Di mana masing-masing stasiun mempunyai daerah pengaruh yang dibentuk dengan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung antara dua stasiun.



Gambar 5.1 Sketsa Catchment Area Bendung Susukan Dengan Cara Thiessen

Berdasarkan hasil pengukuran dengan kertas milimeter, luas pengaruh dari tiap stasiun ditunjukkan pada tabel 5.1.

Tabel 5.1. Luas Pengaruh Stasiun Hujan Terhadap DAS Sungai Kanci

No.STA	Nama STA	luas (km ²)	bobot(%)
K74	Kalegen	11.841	33.16
75	Kaliloro	14.268	39.96
91	Tempuran	9.600	26.88
		35.709	100.000

(Sumber : Hasil Pengukuran)

5.3.1. Data Curah Hujan Maksimum

Tabel 5.2. Data Curah Hujan Bulanan Stasiun Kalegen

No.Sta : K 74
Elevasi : +750 m
Lintang Selatan : -7,463478
Bujur Timur : 110,172

NO	TAHUN	CURAH HUJAN BULANAN												R
		JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEPT	OKT	NOV	DES	MAKS
1	1998	386	567	505	279	104	148	143	132	139	635	404	347	635
2	1999	702	1168	310	206	196	91	26	50	5	351	532	649	1168
3	2000	508	1889	636	360	158	41	15	43	37	442	355	384	1889
4	2001	403	236	333	258	80	175	136	42	50	575	399	235	403
5	2002	443	205	124	280	94	11	12	0	5	13	322	542	542
6	2003	402	502	399	118	61	38	0	0	13	110	421	311	502
7	2004	331	255	370	334	184	0	0	0	0	0	493	660	660
8	2005	205	257	237	413	85	157	102	26	96	89	233	423	423
9	2006	746	335	242	308	335	38	0	0	0	0	57	499	746
10	2007	186	482	290	251	141	117	0	0	0	48	299	667	667

(Sumber : Dinas PSDA Provinsi Jawa Tengah)

Tabel 5.3. Data Curah Hujan Bulanan Stasiun Kaliloro

No.Sta : 75
Elevasi : +550 m
Lintang Selatan : -7,471938
Bujur Timur : 110,113348

NO	TAHUN	CURAH HUJAN BULANAN												R
		JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEPT	OKT	NOV	DES	MAKS
1	1998	281	640	554	358	316	330	356	144	215	585	587	480	640
2	1999	967	587	366	392	157	56	20	65	7	353	499	463	967
3	2000	664	295	431	444	199	143	27	41	49	446	333	418	664
4	2001	637	343	433	203	110	205	78	3	34	748	665	269	665
5	2002	486	253	199	287	68	9	0	0	0	42	322	542	542
6	2003	508	477	598	149	127	19	0	0	51	170	353	474	598
7	2004	463	313	485	435	165	9	52	5	29	120	493	660	660
8	2005	236	554	279	278	89	235	136	85	190	151	264	812	812
9	2006	477	479	244	519	262	84	9	0	0	0	132	655	655
10	2007	192	488	388	369	234	57	55	0	0	113	314	713	713

(Sumber : Dinas PSDA Provinsi Jawa Tengah)

Tabel 5.4. Data Curah Hujan Bulanan Stasiun Tempuran

No.Sta : 91
Elevasi : +275 m
Lintang Selatan : -7,542484
Bujur Timur : 110,191032

NO	TAHUN	CURAH HUJAN BULANAN												R
		JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEPT	OKT	NOV	DES	MAKS
1	1998	355	201	174	112	128	170	87	25	88	298	416	320	355
2	1999	489	432	327	186	124	61	15	9	3	304	438	388	489
3	2000	382	212	358	367	159	63	6	37	51	280	449	362	449
4	2001	315	215	377	184	108	90	96	0	24	791	398	131	791
5	2002	249	309	130	312	124	20	19	0	0	0	512	385	512
6	2003	383	441	419	107	183	35	0	0	0	163	387	321	441
7	2004	194	226	318	118	172	9	126	0	0	61	411	475	475
8	2005	217	350	225	155	0	129	92	9	87	122	248	536	536
9	2006	534	259	182	306	177	15	0	0	0	0	66	661	661
10	2007	148	357	297	376	272	35	4	0	0	36	166	461	461

(Sumber : Dinas PSDA Provinsi Jawa Tengah)

Tabel 5.5. Rekapitulasi Data Curah Hujan Harian Maksimum

NO	TAHUN	KALEGEN	KALILORO	TEMPURAN
1	1998	635	640	355
2	1999	1168	967	489
3	2000	1889	664	449
4	2001	403	665	791
5	2002	542	542	512
6	2003	502	598	441
7	2004	660	660	475
8	2005	423	812	536
9	2006	746	655	661
10	2007	131	712	461

(Sumber : Dinas PSDA Provinsi Jawa Tengah)

5.3.2 Analisis Curah Hujan dengan Metode Thiessen

Untuk perhitungan curah hujan dengan metode Thiessen digunakan persamaan 2.2.

Rumus :

$$\bar{R} = \frac{A_1 \cdot R_1 + A_2 \cdot R_2 + \dots + A_n \cdot R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

Dimana :

\bar{R} = curah hujan maksimum rata-rata (mm)

R_1, R_2, \dots, R_n = curah hujan pada stasiun 1,2,.....,n (mm)

A_1, A_2, \dots, A_n = luas daerah pada poligon 1,2,.....,n (Km²)

Hasil perhitungan curah hujan ditunjukkan pada tabel 5.6.

Tabel 5.6. Perhitungan Curah Hujan Rata-rata Harian Maksimum dengan Metode Thiessen

NO	TAHUN	KALEGEN		KALILORO		TEMPURAN		RH max (R1+R2+R3)
		Bobot	33,16 %	Bobot	33,96 %	Bobot	26,88 %	
		Rmax	R1 bobot*Rmax	Rmax	R2 bobot*Rmax	Rmax	R3 bobot*Rmax	
1	1998	635	210.57	640	217.34	355	95.42	523
2	1999	1168	387.31	967	328.39	489	131.44	847
3	2000	1889	626.39	664	225.49	449	120.69	973
4	2001	403	133.63	665	225.83	791	212.62	572
5	2002	542	179.73	542	184.06	512	137.63	501
6	2003	502	166.46	598	203.08	441	118.54	488
7	2004	660	218.86	660	224.14	475	127.68	571
8	2005	423	140.27	812	275.76	536	144.08	560
9	2006	746	247.37	655	222.44	661	177.68	647
10	2007	131	43.44	712	241.80	461	123.92	409

(Sumber : Hasil Perhitungan)

5.4. ANALISIS FREKUENSI CURAH HUJAN RENCANA

Dari hasil perhitungan curah hujan rata-rata maksimum metode *Thiessen* di atas perlu ditentukan kemungkinan terulangnya curah hujan harian maksimum guna menentukan debit banjir rencana.

5.4.1. Pengukuran Dispersi

Suatu kenyataan bahwa tidak semua nilai dari suatu variabel hidrologi terletak atau sama dengan nilai rata-ratanya, tetapi kemungkinan ada nilai yang

lebih besar atau lebih kecil dari nilai rata-ratanya. besarnya dispersi dapat dilakukan pengukuran dispersi, yakni melalui perhitungan parametrik statistik untuk $(X_i - \bar{X})$, $(X_i - \bar{X})^2$, $(X_i - \bar{X})^3$, $(X_i - \bar{X})^4$ terlebih dahulu.

Dimana :

X_i = besarnya curah hujan daerah (mm)

\bar{X} = rata-rata curah hujan maksimum daerah (mm)

Perhitungan parametrik stasistik dapat dilihat pada tabel 5.7.

Tabel 5.7. Parameter Statistik Curah Hujan

NO	TAHUN	RH	(Xi-X)	(Xi-X) ²	(Xi-X) ³	(Xi-X)*4
		Rencana (mm)				
1	1998	523	-86	47524	10360232	2258530576
2	1999	847	238	293764	159220088	86297287700
3	2000	973	364	446224	298077632	199115858200
4	2001	572	-37	71289	19034163	5082121521
5	2002	501	-108	38416	7529536	1475789056
6	2003	488	-121	33489	6128487	1121513121
7	2004	571	-38	70756	18821096	5006411536
8	2005	560	-49	65025	16581375	4228250625
9	2006	647	38	116964	40001688	13680577300
10	2007	409	-200	10816	1124864	116985856
	JUMLAH	6091	3041	1,194,267	576,879,161	318,383,325,491
	rata-rata	609				

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Macam pengukuran dispersi antara lain sebagai berikut :

1. Standar Deviasi (S)

Perhitungan standar deviasi digunakan rumus sebagai berikut :

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}}$$

Dimana :

S = standart deviasi

\bar{X} = nilai rata-rata varian

X_i = nilai varian ke i

n = jumlah data

$$S = \sqrt{\frac{1194267}{10}}$$

$$S = 345,582$$

2. Koefisien *Skewness* (C_S)

Perhitungan koefisien *skewness* digunakan rumus sebagai berikut :

$$C_S = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)S^3}$$

Dimana :

C_S = koefisien *skewness*

X_i = nilai varian ke i

\bar{X} = nilai rata-rata varian

n = jumlah data

S = standar deviasi

$$C_S = \frac{10 * (576879161)}{(10-1)(10-2)345,582^3}$$

$$C_S = 1,941$$

3. Pengukuran Kurtosis (C_K)

Perhitungan kurtosis digunakan rumus sebagai berikut :

$$C_K = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{S^4}$$

Dimana :

C_K = koefisien kurtosis

X_i = nilai varian ke i

\bar{X} = nilai rata-rata variat

n = jumlah data

S = Standar Deviasi

$$C_K = \frac{1}{10} * (318383325491) \\ 345,582^4$$

$$C_K = 2.232$$

4. Koefisien Variasi (C_V)

Perhitungan koefisien variasi digunakan rumus sebagai berikut :

$$C_V = \frac{S}{\bar{X}}$$

Dimana :

C_V = koefisien variasi

\bar{X} = nilai rata-rata variasi

S = standar deviasi

$$C_V = \frac{345,582}{609}$$

$$C_V = 0.567$$

5.4.2. Pemilihan Jenis Sebaran

Ketentuan dalam pemilihan distribusi tercantum dalam Tabel 5.8

Tabel 5.8 Parameter Pemilihan Distribusi Curah Hujan

Jenis sebaran	Kriteria	Hasil	Keterangan
Log Normal	$C_s = 3 C_v + C_v^3 = 0.688$ $C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3 = 3.47$	$C_s = 0.584$ $C_k = -0.706$	
Log pearson	$C_s \neq 0$	$C_s = 0.584$	Dipilih

Tipe III			
Gumbel	Cs= 1.14 Ck= 5.4	C _S = 0.584 C _K = -0.706	

Berdasarkan parameter data hujan skala normal maka dapat mengestimasi distribusi yang cocok dengan curah hujan tertentu. Adapun distribusi yang dipakai dalam perhitungan ini adalah metode Log Pearson Tipe III. Pemilihan distribusi dilakukan tiap-tiap stasiun dengan maksud agar diperoleh tingkat keyakinan yang maksimal karena ada kemungkinan terdapat perbedaan dari siklus terjadinya curah hujan dari masing-masing stasiun. Untuk menguatkan perkiraan pemilihan distribusi yang kita ambil, maka dilakukan pengujian distribusi dengan menggunakan metode Chi-kuadrat dari masing-masing jenis distribusi.

5.4.3 Pengujian Kecocokan Sebaran

Pengujian kecocokan sebaran digunakan menguji sebaran data apakah memenuhi syarat untuk data perencanaan. Pengujian kecocokan sebaran digunakan metode Chi-kuadrat dengan rumus sebagai berikut :

$$X^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(Ef - Of)^2}{Ef}$$

Dimana :

X^2 = harga Chi-kuadrat

G = jumlah sub-kelompok

Of = frekwensi yang terbaca pada kelas yang sama

Ef = frekwensi yang diharapkan sesuai pembagian kelasnya.

Perhitungan :

$G = 1 + 1,33 \ln N$, di mana N adalah jumlah data

$G = 1 + 1,33 \ln 10$

$G = 4,062$ diambil 10

$dk = G - (R + 1)$

R = nilai untuk distribusi normal dan binominal R = 2 dan untuk distribusi poisson R = 1

$$dk = 10 - (2 + 1) = 7$$

$$Ef = \frac{N}{G}$$

$$Ef = \frac{10}{10} = 1$$

$$\Delta X = (X_{maks} - X_{min}) / (G - 1)$$

$$\Delta X = (973 - 409) / (10 - 1)$$

$$\Delta X = 62,667$$

$$X_{awal} = X_{min} - \frac{1}{2} \Delta X$$

$$= 409 - \frac{1}{2} * 62,667 = 377,667$$

Tabel 5.9 Perhitungan Uji Chi-kuadrat

No	Probabilitas (%)	Of	Ef	Ef-Of	(Ef-Of) ² /Ei
1	377,667 < X < 440,334	1	1	0	0
2	440,334 < X < 503,001	2	1	-1	1
3	503,001 < X < 565,668	2	1	-1	1
4	565,668 < X < 628,335	2	1	-1	1
5	628,335 < X < 691,002	1	1	0	0
6	691,002 < X < 753,669	0	1	1	1
7	753,669 < X < 816,336	0	1	1	1
8	816,336 < X < 879,003	1	1	0	1
9	879,003 < X < 941,670	0	1	1	0
10	941,670 < X < 1,004,337	1	1	0	1
Jumlah		10	f2		7

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Dari perhitungan diatas diperoleh nilai Chi-kuadrat $(\lambda h)^2 = 7$

Batas kritis nilai Chi-kuadrat untuk dk = 7 dengan $\alpha = 5\%$ dari tabel Chi-kuadrat dapatkan nilai $(\lambda h)^2_{cr} = 14.067$. Nilai $(\lambda h)^2 = 7 < (\lambda h)^2_{cr} = 14.067$ maka pemilihan distribusi Log Pearson Tipe III memenuhi syarat.

5.4.4 Pengukuran Curah Hujan Rencana

Tujuan pengukuran curah hujan rencana adalah untuk mendapatkan curah hujan periode ulang tertentu yang akan digunakan untuk mencari debit banjir rencana. Dari perhitungan parameter pemilihan distribusi curah hujan, untuk menghitung curah hujan rencana digunakan metode Distribusi Log Pearson Tipe III.

Untuk menghitung curah hujan rencana dengan metode ini digunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned} \text{Log } Y &= \text{Log } \bar{X} + k \cdot S \\ X &= 10^{(\text{log} Y)} \end{aligned}$$

Dimana :

$\text{Log } Y$ = besarnya variabel log dengan jangka waktu ulang T tahun

$\text{Log } \bar{X}$ = Log curah hujan rata-rata tengah (mean)

K = faktor frekuensi untuk sebaran Log Pearson Tipe III

(CD Soemarto Tabel 8.8)

S = standar deviasi

X = besarnya variabel curah hujan dengan jangka waktu ulang T tahun

Tabel 5.10 Distribusi Frekuensi Metode Log Pearson Tipe III

No	Tahun	X	Log Xi	Log Xi - Log Xrt	(Log Xi - Log Xrt) ²	(Log Xi - Log Xrt) ³
1	1998	523	2.718502	-0.052259	0.002730965	-0.000142717
2	1999	847	2.927883	0.157123	0.024687664	0.003879002
3	2000	973	2.988113	0.217353	0.047242116	0.010268193
4	2001	572	2.757396	-0.013364	0.000178604	-0.000002387
5	2002	501	2.699838	-0.070923	0.005030015	-0.000356742
6	2003	488	2.688420	-0.082341	0.006779958	-0.000558265
7	2004	571	2.756636	-0.014124	0.000199493	-0.000002818
8	2005	560	2.748188	-0.022572	0.000509509	-0.000011501
9	2006	647	2.810904	0.040144	0.001611537	0.000064693

10	2007	409	2.611723	-0.159037	0.025292772	-0.004022487
Jumlah			27.707603	0.000000	0.114263	0.009115
Log Xrt			2.770760324			

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Tabel 5.11 Pengukuran Curah Hujan Rencana Metode Log Pearson Tipe III

No	Periode	Peluang	S.Log X	Log Xrt	Cs	k	Log Y	X
1	2	50	0.112675855	2.770760324	0.884973525	-0.15045	2.753808749	567.29473
2	5	20	0.112675855	2.770760324	0.884973525	0.80660	2.861644788	727.184793
3	10	10	0.112675855	2.770760324	0.884973525	1.38820	2.927176588	845.622613
4	25	4	0.112675855	2.770760324	0.884973525	2.06074	3.002956048	1006.82977
5	50	2	0.112675855	2.770760324	0.884973525	2.53189	3.056042711	1137.73917
6	100	1	0.112675855	2.770760324	0.884973525	0.94544	2.877288731	753.856582

(Sumber : Hasil Perhitungan)

5.4.5. Ploting Distribusi Curah Hujan

Ploting distribusi curah hujan dilakukan untuk mengetahui beda antara frekuensi yang diharapkan (Ef) dengan frekuensi yang terbaca (Of). Sebelum plotting terlebih dahulu dihitung peluang (P) masing-masing curah hujan rata-rata dengan rumus :

$$P = \frac{m}{n+1} ; \quad \text{dimana : } P = \text{peluang, } m = \text{nomor urut, } n = \text{jumlah data}$$

Tabel 5.12 Persentase dan Probabilitas Data Curah Hujan

No	x	$P = \frac{m}{n+1}$	%
1	409	0.090909	9.09
2	488	0.181818	18.18
3	501	0.272727	27.27
4	523	0.363636	36.36
5	560	0.454545	45.45
6	571	0.545454	54.54
7	572	0.636363	63.63
8	647	0.727272	72.72
9	847	0.818181	81.81
10	973	0.909090	90.90

(Sumber : Hasil Perhitungan)

5.5. PERHITUNGAN INTENSITAS CURAH HUJAN

Perhitungan intensitas curah hujan ini menggunakan metode Dr. Mononobe yang merupakan sebuah variasi dari rumus-rumus curah hujan jangka pendek, persamaannya sebagai berikut :

$$I = \frac{R_{24}}{24} * \left[\frac{24}{t} \right]^{2/3}$$

Dimana :

I = intensitas curah hujan (mm/jam)

R₂₄ = curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm)

t = lamanya curah hujan (jam)

Hasil perhitungan intensitas curah hujan disajikan pada Tabel 5.13

Tabel 5.13 Perhitungan Intensitas Curah Hujan

t	R 24					
	R 2	R 5	R 10	R 25	R 50	R 100
	567.29	727.18	845.62	1006.82	1137.73	753.85
1	196.67	252.10	293.16	349.05	394.43	261.35
2	123.89	158.81	184.68	219.89	248.48	164.64
3	94.55	121.20	140.94	167.80	189.62	125.64
4	78.05	100.05	116.34	138.52	156.53	103.72
5	67.26	86.22	100.26	119.37	134.89	89.38
6	59.56	76.35	88.78	105.71	119.46	79.15
7	53.75	68.89	80.11	95.39	107.79	71.42
8	49.17	63.03	73.29	87.26	98.61	65.34
9	45.45	58.27	67.76	80.67	91.16	60.40
10	42.37	54.31	63.16	75.20	84.98	56.31
11	39.76	50.97	59.27	70.57	79.75	52.84
12	37.52	48.10	55.93	66.59	75.25	49.86
13	35.57	45.60	53.02	63.13	71.34	47.27
14	33.86	43.40	50.47	60.09	67.90	44.99
15	32.34	41.45	48.20	57.39	64.85	42.97
16	30.97	39.70	46.17	54.97	62.12	41.16
17	29.75	38.13	44.34	52.79	59.66	39.53
18	28.63	36.71	42.68	50.82	57.43	38.05

19	27.62	35.41	41.17	49.02	55.39	36.70
20	26.69	34.22	39.79	47.37	53.53	35.47
21	25.84	33.12	38.51	45.86	51.82	34.34
22	25.05	32.11	37.34	44.46	50.24	33.29
23	24.32	31.17	36.25	43.16	48.77	32.31
24	23.64	30.30	35.23	41.95	47.41	31.41

(Sumber : Hasil Perhitungan)

5.6 PERHITUNGAN DEBIT BANJIR RENCANA

Analisis debit banjir rencana dapat dihitung dengan menggunakan rumus-rumus sebagai berikut :

5.6.1 Metode Weduwen

$$\text{Rumus : } Q_n = \alpha \cdot \beta \cdot q \cdot A$$

$$\alpha = 1 - \frac{4.1}{\beta \cdot q + 7}$$

$$\beta = \frac{120 + \frac{t+1}{t+9} \cdot A}{120 + A}$$

$$q_n = \frac{R_n \cdot 67.65}{240 \cdot t + 1.45}$$

$$t = 0,25 \cdot L \cdot Q^{-0,125} \cdot I^{-0,25}$$

$$I_s = \frac{H}{L}$$

Dimana :

Q_n = debit banjir (m³/det) dengan kemungkinan tak terpenuhi n %

R_n = curah hujan harian maksimum (mm/hari) dengan kemungkinan tidak terpenuhi n %.

α = koefisien limpasan air hujan (*run off*)

β = koefisien pengurangan daerah untuk curah hujan DAS

q_n = curah hujan (m³/det/km²)

A = luas daerah aliran (km²) sampai 100 km²

- t = lamanya curah hujan (jam) yaitu pada saat-saat kritis curah hujan yang mengacu pada terjadinya debit puncak
- L = panjang sungai (km)
- I_s = gradien sungai atau medan
- H = beda tinggi (m)

Perhitungan :

• **Periode ulang 2 tahun**

Untuk $R_2 = 567,29$ mm

Asumsi $t = 0,5$ jam

$$I_s = \frac{H}{L} = \frac{0,025}{2} = 0,0125$$

$$\beta = \frac{120 + \frac{0,5+1}{0,5+9} \cdot 35,709}{120 + 35,709} = 0,807$$

$$q = \frac{567,29}{240} \cdot \frac{67,65}{0,5+1,45} = 82,002 \text{ (m}^3/\text{det/km}^2\text{)}$$

$$\alpha = 1 - \frac{4,1}{(0,807 \times 82,002) + 7} = 0,944$$

$$Q = 0,944 \times 0,807 \times 82,002 \times 35,709 = 2230,324 \text{ m}^3 / \text{det}$$

$$t = 0.25 \times 2 \times 2230,324^{-0.125} \times 0,0125^{-0.25}$$

t = 0,5 jam.....(ok)

• **Periode Ulang 5 tahun**

$R_5 = 727,18$ mm

Asumsi $t = 0,5$ jam

$$\beta = 0,807$$

$$q = 105,115 \text{ (m}^3/\text{dtk/km}^2\text{)}$$

$$\alpha = 0,955$$

$$Q = 2893,41 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

$$t = 0,5 \text{ Jam}$$

- **Periode Ulang 10 tahun**

$$R_{10} = 845,62 \text{ mm}$$

$$\text{Asumsi } t = 0,5 \text{ jam}$$

$$\beta = 0,807$$

$$q = 122,235 \text{ m}^3/\text{dtk}/\text{km}^2$$

$$\alpha = 0,961$$

$$Q = 3385,245 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

$$t = 0,5 \text{ jam}$$

- **Periode Ulang 20 tahun**

$$R_{20} = 1006,83 \text{ mm}$$

$$\text{Asumsi } t = 0,5 \text{ jam}$$

$$\beta = 0,807$$

$$q = 145,539 \text{ m}^3/\text{dtk}/\text{km}^2$$

$$\alpha = 0,967$$

$$Q = 4055,207 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

$$t = 0,5 \text{ jam}$$

- **Periode Ulang 50 tahun**

$$R_{50} = 1137,74 \text{ mm}$$

$$\text{Asumsi } t = 0,5 \text{ jam}$$

$$\beta = 0,807$$

$$q = 164,462 \text{ m}^3/\text{dtk}/\text{km}^2$$

$$\alpha = 0,971$$

$$Q = 4599,538 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

$$t = 0,5 \text{ jam}$$

- **Periode Ulang 100 tahun**

$$R_{100} = 753,86 \text{ mm}$$

$$\text{Asumsi } t = 0,5 \text{ jam}$$

$$\beta = 0,807$$

$$q = 108,971 \text{ m}^3/\text{det}/\text{km}^2$$

$$\alpha = 0,957$$

$$Q = 3004,164 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

$$t = 0,5 \text{ jam}$$

Tabel 5.14. Perhitungan Debit Banjir Rencana Metode Weduwen

No	Periode Ulang	Rn (mm)	Q (m ³ /det)
1	2	567,29	2230,324
2	5	727,18	2893,410
3	10	845,62	3385,245
4	20	1006,83	4055,207
5	50	1137,74	4599,538
6	100	753,86	3004,164

(Sumber : Perhitungan)

5.6.2 Metode Haspers

Untuk menghitung besarnya debit dengan metode Haspers digunakan persamaan 2.19.

$$Qt = \alpha \cdot \beta \cdot q_n \cdot A$$

dimana :

- Koefisien *Runoff* (α)

$$\alpha = \frac{1 + 0.012A^{0.7}}{1 + 0.75A^{0.7}}$$

- Koefisien Reduksi (β)

$$\frac{1}{\beta} = 1 + \frac{t + 3.7 \times 10^{-0.4t}}{t^2 + 15} \times \frac{A^{3/4}}{12}$$

- Waktu konsentrasi (t)

$$t = 0.1 \times L^{0.8} \times I^{-0.3}$$

- Intensitas Hujan

- Untuk $t < 2$ jam

$$Rt = \frac{tR_{24}}{t + 1 - 0.0008 * (260 - R_{24})(2 - t)^2}$$

b. Untuk $2 \text{ jam} \leq t \leq 19 \text{ jam}$

$$R_t = \frac{tR_{24}}{t+1}$$

c. Untuk $19 \text{ jam} \leq t \leq 30 \text{ jam}$

$$R_t = 0.707R_{24}\sqrt{t+1}$$

Dimana t dalam jam dan R_t, R_{24} (mm)

- Hujan maksimum (q_n)

$$q_n = \frac{R_n}{3.6 * t} ; \text{Dimana } t \text{ dalam (jam), } q_n \text{ (m}^3\text{/km}^2\text{/sec)}$$

Dimana :

Q_t = debit banjir rencana ($\text{m}^3\text{/det}$)

R_n = curah hujan maksimum (mm/hari)

q_n = debit persatuan luas ($\text{m}^3\text{/det.Km}^2$)

Tabel 5.15 Perhitungan Debit Banjir dengan Metode Haspers

No.	Periode tahun	Rmax mm	A Km2	L Km	I	t	Rn	qn	Koef. Red	Koef. Alir	Qt
								M3/det.km			m3/det
1	2	567.29	35.70	2	0.0125	0.605	164.736	75.636	0.654	0.113	199.601
2	5	727.18	35.70	2	0.0125	0.605	188.630	86.667	0.654	0.113	228.711
3	10	845.62	35.70	2	0.0125	0.605	203.282	93.334	0.654	0.113	246.305
4	20	1006.83	35.70	2	0.0125	0.605	220.088	101.051	0.654	0.113	266.670
5	50	1137.74	35.70	2	0.0125	0.605	231.646	106.357	0.654	0.113	280.672
6	100	753.86	35.70	2	0.0125	0.605	192.129	88.213	0.654	0.113	232.732

(Sumber : Hasil Perhitungan)

5.6.3 Metode Rasional

Perhitungan metode rasional menggunakan rumus 2.15 sebagai berikut :

$$Q = \frac{1}{3.6} \cdot f \cdot r \cdot A$$

Dimana :

Q = debit banjir rencana ($\text{m}^3\text{/det}$)

f = koefisien pengaliran

r = intensitas hujan selama t jam (mm/jam)

$$r = \frac{R_{24} 24^{2/3}}{24T} = R_{24} \left[\frac{0,347}{T^{2/3}} \right]$$

$$T = \frac{l}{w}$$

T = waktu konsentrasi (jam)

$$w = 20 \frac{H^{0,6}}{l} \text{ (m/det)}$$

$$w = 72 \frac{H^{0,6}}{l} \text{ (Km/jam)}$$

w = waktu kecepatan perambatan (m/det atau Km/jam)

l = jarak dari ujung daerah hulu sampai titik yang ditinjau (Km)

A = luas DAS (Km²)

H = beda tinggi ujung hulu dengan titik tinggi yang ditinjau (Km)

Dari data diketahui :

- R_{\max} periode ulang 2 tahun = 567.29 mm
- R_{\max} periode ulang 5 tahun = 727.18 mm
- R_{\max} periode ulang 10 tahun = 845.62 mm
- R_{\max} periode ulang 20 tahun = 1006.83 mm
- R_{\max} periode ulang 50 tahun = 1137.74 mm
- R_{\max} periode ulang 100 tahun = 753.86 mm
- A = 35,709 km²
- f = 0,75 (untuk daerah perbukitan)
- H = 0.025 km
- l = 2 km

Tabel 5.16 Perhitungan Debit Banjir dengan Metode Rasional

Periode Ulang	A	Rt	L	H	f	w	T	R	Q
	km ²	mm	km	km		km/jam	jam	mm/jam	m ³ /det
2	35.709	567.29	2	0.025	0.75	3.936	0.254	490.737	3650.780
5	35.709	727.18	2	0.025	0.75	3.936	0.254	629.050	4679.739
10	35.709	845.62	2	0.025	0.75	3.936	0.254	731.504	5441.937
20	35.709	1006.83	2	0.025	0.75	3.936	0.254	870.956	6479.373
50	35.709	1137.74	2	0.025	0.75	3.936	0.254	984.199	7321.830
100	35.709	753.86	2	0.025	0.75	3.936	0.254	652.122	4851.384

(Sumber : Hasil Perhitungan)

5.6.4 Metode FSR Jawa Sumatera

DAS Kanci yang ditinjau dalam Tugas Akhir ini seluas 35,709 km² maka perhitungan debit banjir rencana dengan metode ini tidak diperlukan, karena syarat luas DAS yang digunakan adalah >100 km².

5.6.5 Metode Passing Capacity

Rumus :

$$Q = AxV$$

$$V = c \cdot \sqrt{R \cdot I} \quad (\text{Rumus Chezy})$$

$$c = \frac{87}{1 + \frac{m}{\sqrt{R}}}$$

$$R = \frac{A}{P}$$

$$A = \sum_{i=1}^n A_i, P = \sum_{i=1}^n P_i$$

Dimana :

Q = Volume banjir yang melalui tampang (m³/dtk)

A = Luas penampang basah (m²)

- V = Kecepatan aliran (m/dtk)
R = Jari – jari hidrolis (m)
I = Kemiringan sungai
P = Keliling penampang basah sungai(m)
c = Koefisien *Chezy*
B = Lebar sungai (m)

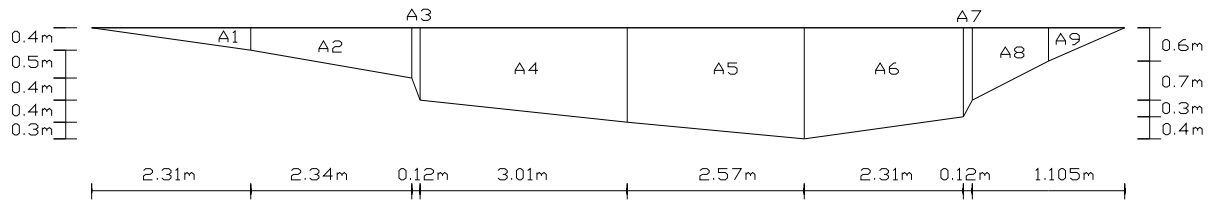
Tabel 5.17 Harga koefisien Kekasaran *Bazin* (m)

Jenis Dinding	M
Dinding sangat halus	0,06
Dinding halus (papan, batu)	0,16
Dinding batu pecah	0,46
Dinding tanah sangat teratur	0,85
Saluran tanah dengan kondisi biasa	1,30
Saluran tanah dengan dasar batu pecah dan tebing rumput	1,75

(Sumber : Kp – 02 – 1986)

Dari penampang melintang sungai didapat :

$$I = 0,13333333$$



Gambar 5.2 Potongan melintang sungai P 00+00

$$Q = AxV$$

$$A = \sum_{i=1}^n A$$

$$= 17,11 \text{ m}^2$$

$$P = \sum_{i=1}^n P$$

$$= 50,712 \text{ m}$$

$$R = \frac{A}{P} = 17,11 / 50,712 = 0,337 \text{ m}$$

$$V = c \cdot \sqrt{R \cdot I}$$

$$c = \frac{87}{1 + \frac{m}{\sqrt{R}}} = \frac{87}{1 + \frac{1,75}{\sqrt{0,337}}} = 21,671$$

$$V = 21,671 \sqrt{0,337 \times 8,92E^{-5}}$$

$$= 0,119 \text{ m/dtk}$$

$$Q = AxV = 17,11 \times 0,119 = 2,033 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

Tabel 5.18 Rekapitulasi Debit Banjir Rencana Periode Ulang T Tahun

METODE	DEBIT BANJIR RENCANA PERIODE ULANG T TAHUN					
	Q2	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100
Weduwen	2230,324	2893,410	3385,245	4055,207	4599,538	3004,164
Haspers	199,601	228,711	246,305	266,670	280,672	232,732
Rasional	3650,78	4679,739	5441,937	6479,373	7321,830	4851,384
<i>Passing</i>	2,033					

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Dari kelima metode yang dipilih, maka Debit banjir yang digunakan adalah debit yang mendekati nilai debit *Passing Capacity* yaitu debit dari Haspers sebesar $Q = 246,305 \text{ m}^3/\text{dtk}$.

5.7 ANALISIS KEBUTUHAN AIR

Menurut jenisnya ada dua macam pengertian kebutuhan air, yaitu :

1. Kebutuhan Air untuk Tanaman (*Consumptive Use*)

Yaitu banyaknya air yang dibutuhkan tanaman untuk membuat jaring tanaman (batang dan daun) dan untuk diuapkan (evapotranspirasi), perkolasi, curah hujan, pengolahan lahan, dan pertumbuhan tanaman.

Rumus : $I_r = ET_c + P - R_e + WLR$

Dimana :

I_r = kebutuhan air (mm/hari)

E = evaporasi (mm/hari)

T = transpirasi (mm)

P = perkolasi (mm)

B = infiltrasi (mm)

W = tinggi genangan (mm)

R_e = hujan efektif (mm/hari)

2. Kebutuhan Air untuk Irigasi

Yaitu kebutuhan air yang digunakan untuk menentukan pola tanaman untuk menentukan tingkat efisiensi saluran irigasi sehingga didapat kebutuhan air untuk masing-masing jaringan.

Perhitungan kebutuhan air irigasi ini dimaksudkan untuk menentukan besarnya debit yang akan dipakai untuk mengairi daerah irigasi. Setelah sebelumnya diketahui besarnya efisiensi irigasi. Besarnya efisiensi irigasi tergantung dari besarnya kehilangan air yang terjadi pada saluran pembawa, mulut dari bendung sampai petak sawah. Kehilangan air tersebut disebabkan karena penguapan, perkolasi, kebocoran dan sadap liar.

5.7.1 Kebutuhan Air untuk Tanaman

1. Evapotranspirasi

Besarnya evapotranspirasi dihitung dengan menggunakan metoda Penman yang dimodifikasi oleh Nedeco/Prosida seperti diuraikan dalam PSA – 010. Evapotranspirasi dihitung dengan menggunakan rumus-rumus teoritis empiris dengan memperhatikan faktor-faktor meteorologi yang terkait seperti suhu udara, kelembaban, kecepatan angin dan penyinaran matahari.

Evapotranspirasi tanaman yang dijadikan acuan adalah rerumputan pendek (abeldo = 0,25). Selanjutnya untuk mendapatkan harga evapotranspirasi harus dikalikan dengan koefisien tanaman tertentu. Sehingga evapotranspirasi sama dengan evapotranspirasi potensial hasil perhitungan Penman x *crop factor*. Dari harga evapotranspirasi yang diperoleh, kemudian digunakan untuk menghitung kebutuhan air bagi pertumbuhan dengan menyertakan data curah hujan efektif.

Data-data klimatologi yang digunakan dalam perhitungan evapotranspirasi disajikan dalam tabel 5.19 suhu udara, tabel 5.20 kelembaban udara, tabel 5.21 kecepatan angin, dan tabel 5.22 penyinaran matahari 12 jam (%).

Tabel 5.19 Suhu Udara

DATA : TEMPERATUR BULANAN RATA-RATA
STASIUN : Tempuran
KOORDINAT : 110,191032 BT dan -7,542484 LS
ELEVASI : + 275 m DPL

NO	TAHUN	BULAN											
		JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUNI	JULI	AGT	SEPT	OKT	NOV	DES
1	1996	26.10	26.30	26.20	26.90	26.70	25.10	24.80	24.40	25.10	25.80	26.60	26.00
2	1997	26.10	26.60	27.20	26.10	26.60	26.60	27.00	26.20	26.40	26.60	25.20	26.40
3	1998	25.80	26.00	25.70	26.00	25.70	25.90	25.20	25.30	25.50	25.90	25.50	25.50
4	1999	25.30	25.80	26.10	26.40	25.90	25.70	25.10	24.00	25.20	27.80	25.60	25.80
5	2000	26.30	26.50	26.80	26.70	26.50	26.00	25.20	24.90	26.00	26.60	26.20	25.60
6	2001	26.00	26.10	25.90	26.40	26.10	25.40	25.60	25.70	25.30	26.20	25.90	23.30
7	2002	25.50	25.90	25.70	26.00	26.10	25.70	25.10	24.90	25.30	25.90	25.70	25.60
8	2003	25.50	25.80	25.70	26.20	26.00	25.70	24.80	24.50	24.90	25.70	26.30	26.50
9	2004	25.90	25.90	26.30	27.10	26.80	26.30	25.80	24.90	25.50	26.60	26.40	25.70
10	2005	26.30	26.00	25.90	26.40	26.80	25.70	24.80	25.00	25.20	25.30	25.80	25.30
11	2006	25.80	25.50	25.60	26.00	26.20	25.50	25.40	25.10	25.70	25.70	26.00	26.00
12	2007	25.90	26.30	26.10	26.60	26.20	25.90	25.30	25.80	25.90	26.20	26.20	25.90
RATA-RATA		25.88	26.06	26.10	26.40	26.30	25.79	25.34	25.06	25.50	26.19	25.95	25.63

(Sumber : PSDA Provinsi Jawa Tengah)

Tabel 5.20 Kelembaban Udara

DATA : KELEMBABAN RELATIF
STASIUN : Tempuran
KOORDINAT : 110,191032 BT dan -7,542484 LS
ELEVASI : + 275 m DPL

NO	TAHUN	BULAN											
		JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUNI	JULI	AGT	SEPT	OKT	NOV	DES
1	1996	88.00	87.00	88.00	92.00	96.00	95.00	93.00	83.00	86.00	85.00	85.00	88.00
2	1997	87.00	84.00	85.00	87.00	91.00	98.00	99.00	98.00	98.00	98.00	88.00	96.00
3	1998	98.00	91.00	96.00	94.00	88.00	88.00	87.00	83.00	82.00	84.00	86.00	86.00
4	1999	86.00	85.00	84.00	86.00	84.00	86.00	83.00	81.00	73.00	71.00	84.00	98.00
5	2000	88.00	84.00	87.00	87.00	86.00	83.00	82.00	81.00	75.00	80.00	81.00	83.00
6	2001	84.00	82.00	86.00	86.00	85.00	84.00	83.00	81.00	86.00	84.00	87.00	78.00
7	2002	88.00	87.00	86.00	86.00	86.00	87.00	86.00	87.00	83.00	84.00	88.00	86.00
8	2003	86.00	87.00	89.00	87.00	85.00	88.00	86.00	83.00	85.00	87.00	87.00	85.00
9	2004	87.00	86.00	86.00	83.00	84.00	83.00	83.00	86.00	87.00	85.00	86.00	86.00
10	2005	86.00	86.00	88.00	85.00	85.00	85.00	83.00	84.00	83.00	87.00	87.00	86.00
11	2006	87.00	87.00	86.00	85.00	86.00	87.00	86.00	85.00	79.00	84.00	85.00	86.00
12	2007	81.00	86.00	85.00	85.00	86.00	86.00	85.00	86.00	85.00	84.00	86.00	87.00
RATA-RATA		87.17	86.00	87.17	86.92	86.83	87.50	86.33	84.83	83.50	84.42	85.83	87.08

(Sumber : PSDA Provinsi Jawa Tengah)

Tabel 5.21 Kecepatan Angin

DATA : KECEPATAN ANGIN (m/dt)
STASIUN : Tempuran
KOORDINAT : 110,191032 BT dan -7,542484 LS
ELEVASI : + 275 m DPL

NO	TAHUN	BULAN											
		JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUNI	JULI	AGT	SEPT	OKT	NOV	DES
1	1996	0.71	0.53	0.65	0.68	0.68	0.51	0.77	0.66	1.10	1.10	0.90	1.00
2	1997	0.74	0.58	0.81	0.69	0.58	0.60	0.82	0.85	1.05	1.02	0.80	0.90
3	1998	0.75	0.60	0.70	0.58	0.65	0.52	0.90	0.66	0.77	0.88	0.76	0.88
4	1999	0.75	0.73	0.65	0.98	0.77	0.72	0.91	0.80	1.60	2.08	0.80	1.00
5	2000	0.71	0.60	0.65	0.68	0.63	0.88	1.07	1.07	1.44	1.47	1.37	1.22
6	2001	0.67	0.66	0.76	0.79	0.67	0.61	0.78	0.78	1.03	1.08	0.79	0.82
7	2002	0.94	0.94	1.00	1.07	0.82	0.56	0.50	0.70	1.38	0.44	0.44	1.07
8	2003	0.98	0.98	0.71	0.58	0.71	0.64	0.85	0.71	0.37	0.47	0.41	0.58
9	2004	0.54	0.27	0.37	0.61	0.51	0.37	0.44	0.37	0.85	1.25	0.71	0.34
10	2005	0.19	0.47	0.72	0.81	0.81	0.72	0.69	0.8+	1.00	1.03	0.86	0.83
11	2006	0.58	0.81	0.97	0.94	0.69	0.61	0.89	0.92	0.97	1.17	0.97	0.81
12	2007	0.64	0.67	1.03	0.97	0.61	0.58	0.62	0.86	0.83	0.94	1.10	1.00
RATA-RATA		0.82	0.71	0.82	0.85	0.68	0.56	1.16	0.84	1.03	1.08	1.24	1.31

(Sumber : PSDA Provinsi Jawa Tengah)

Tabel 5.22 Penyinaran Matahari 12 Jam (%)

DATA : PENYINARAN MATAHARI (%)
STASIUN : Tempuran
KOORDINAT : 110,191032 BT dan -7,542484 LS
ELEVASI : + 275 m DPL

NO	TAHUN	BULAN											
		JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUNI	JULI	AGT	SEPT	OKT	NOV	DES
1	1996	18.00	25.00	15.00	12.00	60.00	50.00	78.00	28.00	30.00	16.00	15.00	16.00
2	1997	21.00	28.00	43.00	41.00	64.00	56.00	49.00	55.00	26.00	28.00	12.00	9.00
3	1998	23.00	44.00	43.00	38.00	50.00	56.00	47.00	63.00	40.00	62.00	35.00	41.00
4	1999	35.00	41.00	43.00	48.00	64.00	67.00	67.00	68.00	55.00	51.00	53.00	67.00
5	2000	51.00	51.00	58.00	52.00	42.00	62.00	54.00	52.00	43.00	38.00	44.00	46.00
6	2001	24.00	31.00	32.00	30.00	48.00	63.00	30.00	39.00	17.00	38.00	32.00	28.00
7	2002	30.00	40.00	38.00	40.00	50.00	51.00	46.00	45.00	15.00	43.00	33.00	32.00
8	2003	23.00	40.00	37.00	34.00	54.00	30.00	41.00	42.00	30.00	34.00	30.00	49.00
9	2004	28.00	41.00	38.00	49.00	49.00	46.00	54.00	53.00	42.00	35.00	36.00	28.00
10	2005	34.00	46.00	36.00	50.00	41.00	50.00	40.00	33.00	42.00	35.00	30.00	39.00
11	2006	34.00	26.00	37.00	51.00	42.00	36.00	48.00	46.00	50.00	32.00	33.00	38.00
12	2007	35.00	37.00	38.00	52.00	43.00	37.00	49.00	47.00	51.00	33.00	34.00	39.00
RATA-RATA		35.60	40.91	45.80	45.18	60.70	67.11	54.82	51.91	44.10	40.45	43.00	48.00

(Sumber : PSDA Provinsi Jawa Tengah)

Rumus evapotranspirasi Penman yang telah dimodifikasi adalah sebagai berikut :

$$\text{Rumus : } E_{to} = \frac{1}{L^{-1}x\delta + \Delta(H_{sh}^{ne} - H_{lo}^{ne})} + \frac{\delta E_q}{\delta + A}$$

Dimana :

Eto = indeks evaporasi yang besarnya sama dengan evapotranspirasi dari rumput yang dipotong pendek (mm/hr)

$$\begin{aligned} H_{sh}^{ne} &= \text{jaringan radiasi gelombang pendek (Longly/day)} \\ &= \{ 1,75 \{ 0,29 \cos \Omega + 0,52 r \times 10^{-2} \} \} \times \alpha a^h_{sh} \times 10^{-2} \\ &= \{ a_{ah} \times f(r) \} \times \alpha a^h_{sh} \times 10^{-2} \\ &= a_{ah} \times f(r) \text{ (Tabel Penman 5)} \end{aligned}$$

α = albedo (koefisien reaksi), tergantung pada lapisan permukaan yang ada untuk rumput = 0,25

$$\begin{aligned} Ra &= \alpha a^h \times 10^{-2} \\ &= \text{radiasi gelombang pendek maksimum secara teori (Longly/day)} \\ &= \text{jaringan radiasi gelombang panjang (Longly/day)} \\ &= 0,97 \alpha Tai^4 \times (0,47 - 0,770 \sqrt{ed} x \{ 1 - 8/10(1-r) \}) \end{aligned}$$

$$H_{sh}^{ne} = f(Tai) \times f(Tdp) \times f(m)$$

$$f(Tai) = \alpha Tai^4 \text{ (Tabel Penman 1)}$$

= efek dari temperature radiasi gelombang panjang

$$m = 8(1-r)$$

$$f(m) = 1 - m/10$$

= efek dari angka nyata dan jam penyinaran matahari terang maksimum pada radiasi gelombang panjang

r = lama penyinaran matahari relatif

Eq = evaporasi terhitung pada saat temperatur permukaan sama dengan temperatur udara (mm/hr)

$$= 0,35 (0,50 + 0,54 \mu_2) \times (e_a - e_d)$$

$$= f(\mu_2) \times PZ^{wa} \text{ sa} - PZ^{wa}$$

μ_2 = kecepatan angin pada ketinggian 2m diatas tanah (Tabel Penman 3)

PZ^{wa} = e_a = tekanan uap jenuh (mmHg) (Tabel Penman 3)

= e_d = tekanan uap yang terjadi (mmHg) (Tabel Penman 3)

L = panas laten dari penguapan (*Longly/minutes*)

Δ = kemiringan tekanan uap air jenuh yang berlawanan dengan dengan kurva temperatur pada temperatur udara (mmHg/ 0C)

δ = konstanta Bowen (0,49 mmHg/ 0C)

catatan : 1 *Longly/day* = 1 kal/cm²hari

Setelah semua besaran diketahui harganya, kemudian dihitung besarnya Eto.
Perhitungan evapotranspirasi Penman disajikan pada tabel 5.23

Tabel 5.23 Perhitungan Evapotranspirasi cara Penman
LETAK DAERAH : -07 32' 32,94" LS

No.	Dasar	Unit	Jan	Feb	Mar	April	Mei	Juni	Juli	Agt	Sep	Okto	Nov	Des
1	Suhu Udara	C	25.88	26.06	26.10	26.40	26.30	25.79	25.34	25.06	25.50	26.19	25.95	25.63
2	Kelembaban Relatif	%	87.17	86.00	87.17	86.92	86.83	87.50	86.33	84.83	83.50	84.42	85.83	87.08
3	Kecepatan Angin (U)	m/det	0.82	0.71	0.82	0.85	0.68	0.56	1.16	0.84	1.03	1.08	1.24	1.31
4	Penyinaran Matahari 8 Jam (Q1)	%	35.60	40.91	45.80	45.18	60.70	67.11	54.82	51.91	44.10	40.45	43.00	48.00
5	Albedo (r)		0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
6	Transfer ke 12 Jam = 0, 786 Q1+ 3,45	%	31.43	35.60	39.45	38.96	51.16	56.20	46.54	44.25	38.11	35.25	37.25	41.18
Perhitungan (Prosida/Penman)														
7	Tabel 2a dan 2b dengan (1) $f(Tai) \times 10^{-2}$		9.07	9.08	9.08	9.13	9.12	9.06	9.00	8.97	9.02	9.10	9.08	9.02
8	Tabel 2a dan 2b dengan (1) $L^{-1} \times 10^2$		2.55	2.56	2.56	2.62	2.60	2.54	2.47	2.45	2.50	2.59	2.56	2.50
9	Tabel 2a dan 2b dengan (1) $P_z^{wa} \cdot Jsa$	mmHg	25.74	25.31	25.31	25.89	25.74	24.94	24.20	23.90	24.49	25.60	25.31	24.49
10	Tabel 2a dan 2b dengan (1)		1.98	1.98	1.98	2.01	2.01	1.97	1.93	1.92	1.95	2.00	1.98	1.95
11	(2) x (9) P_z^{wa}	mmHg	22.44	21.77	22.06	22.50	22.35	21.82	20.89	20.28	20.45	21.61	21.72	21.33
12	Tabel 3 dengan (11) $f(Tdp)$		0.106	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11
13	(9) - (11) $P_z^{wa} \cdot Jsa - P_z^{wa}$	mmHg	3.30	3.54	3.25	3.39	3.39	3.12	3.31	3.62	4.04	3.99	3.59	3.16
14	Tabel 4 dengan (3) $x f(U_2)$		0.16	0.15	0.16	0.16	0.15	0.14	0.19	0.16	0.18	0.19	0.20	0.21
15	(13) x (14)		0.53	0.54	0.53	0.56	0.50	0.43	0.64	0.59	0.73	0.74	0.72	0.65
16	Tabel 5 dengan Lintang $ca^{Hsh} \times 10^{-2}$		9.12	9.16	8.90	8.32	7.64	7.25	7.37	7.93	8.59	8.99	9.08	9.06
17	Tabel 6 dengan (6) $a_{sh} \times f(r)$		0.34	0.35	0.37	0.37	0.42	0.44	0.40	0.39	0.36	0.35	0.36	0.38
18	(16) x (17)		3.09	3.25	3.29	3.06	3.17	3.15	2.93	3.08	3.13	3.18	3.28	3.41
19	8 x [1 - (6)]		5.49	5.15	4.84	4.88	3.91	3.50	4.28	4.46	4.95	5.18	5.02	4.71
20	1 - [(19)/10]		0.45	0.48	0.52	0.51	0.61	0.65	0.57	0.55	0.50	0.48	0.50	0.53
21	(7) x (12) x (20)		0.43	0.49	0.51	0.49	0.59	0.65	0.57	0.61	0.56	0.49	0.50	0.54
22	(18) - (21)		2.65	2.76	2.78	2.57	2.58	2.51	2.36	2.47	2.58	2.69	2.78	2.87
23	(8) x (22)		6.76	7.07	7.12	6.73	6.71	6.37	5.83	6.05	6.44	6.95	7.11	7.17
24	(15) + (23)		7.30	7.61	7.64	7.29	7.21	6.80	6.47	6.64	7.17	7.69	7.83	7.82
25	(24) : (10) E_o	mm/hari	3.69	3.84	3.86	3.63	3.59	3.45	3.35	3.46	3.68	3.85	3.95	4.01
26	Jumlah Hari		31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
27	Evaporasi		114.3	107.5	119.7	108.8	111.2	103.5	103.9	107.2	110.3	119.3	118.6	124.3

2. Perkolasi

Perkolasi adalah meresapnya air ke dalam tanah dengan arah vertikal ke bawah, dari lapisan tidak jenuh. Besarnya perkolasi dipengaruhi oleh sifat-sifat tanah, kedalaman air tanah dan sistem perakarannya. Koefisien perkolasi adalah sebagai berikut :

- a. Berdasarkan kemiringan :
 - lahan datar = 1 mm/hari
 - lahan miring > 5% = 2 – 5 mm/hari
- b. Berdasarkan tekstur :
 - berat (lempung) = 1 – 2 mm/hari
 - sedang (lempung kepasiran) = 2 -3 mm/hari
 - ringan = 3 – 6 mm/hari

Dari pedoman diatas, harga perkolasi untuk perhitungan kebutuhan air di daerah Irigasi Susukan diambil sebesar **2 mm/hari**.

3. Koefisien Tanaman (Kc)

Besarnya koefisien tanaman (Kc) tergantung dari jenis tanaman dan fase pertumbuhan. Pada perhitungani ini digunakan koefisien tanaman untuk padi dengan varietas unggul mengikuti ketentuan Nedeco/Prosida. Harga-harga koefisien tanaman padi dan palawija disajikan pada tabel 5.24 sebagai berikut ini.

Tabel 5.24 Koefisien Tanaman untuk Padi dan Palawija Menurut Nedeco/Prosida

Bulan	Padi		Palawija	
	Varietas Biasa	Varietas Unggul	Jagung	Kacang Tanah
0,50	1,20	1,20	0,50	0,50
1,00	1,20	1,27	0,59	0,51
1,50	1,32	1,33	0,96	0,66
2,00	1,40	1,30	1,05	0,85
2,50	1,35	1,15	1,02	0,95
3,00	1,24	0,00	0,95	0,95
3,50	1,12			0,95

4,00	0,00			0,55
4,50				0,55

(Sumber : Dirjen Pengairan, Bina Program PSA 010, 1985)

4. Curah Hujan Efektif (Re)

a. Besarnya Curah Hujan Efektif

Curah hujan efektif adalah bagian dari curah hujan total yang digunakan oleh akar-akar tanaman selama masa pertumbuhan. Untuk irigasi tanaman padi, curah hujan efektif diambil 20% kemungkinan curah hujan bulanan rata-rata tak terpenuhi seperti tabel 5.25 berikut.

Tabel 5.25 Curah Hujan Bulanan 20%Kering (mm/bln)

NO	TAHUN	CURAH HUJAN BULANAN											
		JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUNI	JULI	AGT	SEPT	OKT	NOV	DES
1	1998	386	567	505	279	104	148	143	132	139	635	404	347
2	1999	702	1168	310	206	196	91	26	50	5	351	532	649
3	2000	508	1889	636	360	158	41	15	43	37	442	355	384
4	2001	403	236	333	258	80	175	136	42	50	575	399	235
5	2002	443	205	124	280	94	11	12	0	5	13	322	542
6	2003	402	502	399	118	61	38	0	0	13	110	421	311
7	2004	331	255	370	334	184	0	0	0	0	0	493	660
8	2005	205	257	237	413	85	157	102	26	96	89	233	423
9	2006	746	335	242	308	335	38	0	0	0	0	57	499
10	2007	186	482	290	251	141	117	0	0	0	48	299	667
	X	431.2	589.6	344.6	280.7	143.8	81.6	43.4	29.3	34.5	226.3	351.5	471.7
	SD	183.6	537.8	145.0	82.21	81.34	64.33	59.21	41.67	47.98	250.0	136.1	155.70
	K	-0.842	-0.842	-0.842	-0.842	-0.842	-0.842	-0.842	-0.842	-0.842	-0.842	-0.842	-0.842
	R20% bl	276.6	136.8	222.5	211.6	75.3	27.4	-6.45	-5.79	-5.89	15.8	236.9	340.6
	R20%hr	8.92	4.56	7.18	6.83	2.69	0.88	-0.22	-0.19	-0.20	0.51	7.64	11.35

(Sumber : Perhitungan)

Keterangan :

X = curah hujan bulanan rata-rata (mm)

SD = standar deviasi

R20% bl = curah hujan efektif 20% kering bulanan (mm)

= $X + (K \times SD)$; $K = -0.842$

R20% hr = curah hujan efektif 20% kering harian (mm)

= $R20\% \text{ bl}/m$, m = jumlah hari dalam satuan bulan

b. Koefisien Curah Hujan Efektif

Besarnya koefisien curah hujan efektif untuk tanaman padi berdasarkan tabel 5.26.

Tabel 5.26 Koefisien Curah Hujan untuk Padi

<i>Bulan</i>	<i>Golongan</i>					
	1	2	3	4	5	6
0,50	0,36	0,18	0,12	0,09	0,07	0,06
1,00	0,70	0,53	0,35	0,26	0,21	0,18
1,50	0,40	0,55	0,46	0,36	0,29	0,24
2,00	0,40	0,40	0,50	0,46	0,37	0,31
2,50	0,40	0,40	0,40	0,48	0,45	0,37
3,00	0,40	0,40	0,40	0,40	0,46	0,44
3,50	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,45
4,00	0,00	0,20	0,27	0,30	0,32	0,33
4,50			0,13	0,20	0,24	0,27
5,00				0,10	0,16	0,20
5,50					0,08	0,13
6,00						0,07

(Sumber : Dirjen Pengairan, Bina Program PSA 010, 1985)

Sedangkan untuk tanaman palawija besarnya curah hujan efektif ditentukan dengan metode curah hujan bulanan yang dihubungkan dengan curah hujan rata-rata bulanan serta evapotranspirasi tanaman rata-rata bulanan berdasarkan tabel 5.27.

Tabel 5.27 Koefisien Curah Hujan Rata-rata Bulanan dengan ET Tanaman Palawija Rata-rata Bulanan dan Curah Hujan Mean Bulanan

Curah Hujan Bulanan/mm	Mean Mm	12,5	25	37,5	50	62,5	75	87,5	100	112,5	125	137,5	150	162,5	175	187,5	200	
ET tanaman Rata-rata Bulanan/mm	25	8	16	24	Curah Hujan rata-rata bulanan/mm													
	50	8	17	25	32	39	46											
	75	9	18	27	34	41	48	56	62	69								
	100	9	19	28	35	43	52	59	66	73	80	87	94	100				
	125	10	20	30	37	46	54	62	70	76	85	97	98	107	116	120		
	150	10	21	31	39	49	57	66	74	81	89	97	104	112	119	127	133	
	175	11	23	32	42	52	61	69	78	86	95	103	111	118	126	134	141	
	200	11	24	33	44	54	64	73	82	91	100	106	117	125	134	142	150	
	225	12	25	35	47	57	68	78	87	96	106	115	124	132	141	150	159	

	250	13	25	38	50	61	72	84	92	102	112	121	132	140	150	158	167
Tampungan Efektif		20	25	37,5	50	62,5	75	100	125	150	175	200					
Faktor tampungan		0,73	0,77	0,86	0,93	0,97	1,00	1,02	1,04	1,06	1,07	1,08					

(Sumber : Ref.FAO, 1977)

5. Kebutuhan Air untuk Pengolahan Lahan

a. Pengolahan Lahan untuk Padi

Kebutuhan air untuk pengolahan atau penyiraman lahan menentukan kebutuhan maksimum air irigasi. Faktor-faktor yang menentukan besarnya kebutuhan air untuk pengolahan tanah, yaitu besarnya penjemuran, lamanya pengolahan (periode pengolahan) dan besarnya evaporasi dan perkolasi yang terjadi.

Menurut PSA-010, waktu yang diperlukan untuk pekerjaan penyiapan lahan adalah selama satu bulan (30 hari). Kebutuhan air untuk pengolahan tanah bagi tanaman padi diambil 200 mm, setelah tanam selesai lapisan air di sawah ditambah 50 mm. Jadi kebutuhan air yang diperlukan untuk penyiapan lahan dan untuk lapisan air awal setelah tanam selesai seluruhnya menjadi 250 mm. Sedangkan untuk lahan yang tidak ditanami (sawah bero) dalam jangka waktu 2,5 bulan diambil 300 mm.

Untuk memudahkan perhitungan angka pengolahan tanah digunakan tabel koefisien Van De Goor dan Zijlstra pada tabel 5.28 berikut ini.

Tabel 5.28 Koefisien Kebutuhan Air Selama Penyiapan Lahan

Eo + 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 : Buku Petunjuk Perencanaan Irigasi, 1986)

b. Pengolahan Lahan untuk Palawija

Kebutuhan air untuk penyiapan lahan bagi palawija sebesar 50 mm selama 15 hari yaitu 3,33 mm/hari, yang digunakan untuk menggarap lahan yang ditanami dan untuk menciptakan kondisi lembab yang memadai untuk persemian yang baru tumbuh.

6. Kebutuhan Air untuk Pertumbuhan

Kebutuhan air untuk pertumbuhan padi dipengaruhi oleh besarnya evapotranspirasi tanaman (Etc), perkolasi tanah (p), penggantian air genangan (W) dan hujan efektif (Re). Sedangkan kebutuhan air untuk pemberian pupuk pada tanaman apabila terjadi pengurangan air (sampai tingkat tertentu) pada petak sawah sebelum pemberian pupuk.

Perhitungan angka kebutuhan air untuk tanaman padi disajikan pada tabel 5.29 dan tanaman palawija tabel 5.30

Tabel 5.29 Perhitungan Kebutuhan Air Untuk Tanaman Palawija

Uraian		Okto	Nop	Des	Jan	Peb	Mar	April	Mei	Juni	Juli	Agus	Sep	
Eo		3.69	3.84	3.86	3.63	3.59	3.45	3.35	3.46	3.68	3.85	3.95	4.01	
p		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
Eo + p		4.85	4.95	5.01	4.69	4.84	4.86	4.63	4.59	4.45	4.35	4.46	4.68	
Hujan 20% Kering		0.51	7.64	11.35	8.92	4.56	7.18	6.83	2.69	0.88	-0.22	-0.19	-0.20	
Faktor Hujan dengan 2 Golongan (Fn) Tiap 2 minggu	1	0.18	Hujan Efektif (Re) Re = Hujan x Fn	0.09	1.38	2.04	1.61	0.82	1.29	1.23	0.48	0.16	-0.04	-0.03
	2	0.53		0.27	4.05	6.02	4.73	2.42	3.81	3.62	1.43	0.47	-0.12	-0.10
	3	0.55		0.28	4.20	6.24	4.91	2.51	3.95	3.76	1.48	0.48	-0.12	-0.10
	4	0.4		0.20	3.06	4.54	3.57	1.82	2.87	2.73	1.08	0.35	-0.09	-0.08
	5	0.4		0.20	3.06	4.54	3.57	1.82	2.87	2.73	1.08	0.35	-0.09	-0.08
	6	0.4		0.20	3.06	4.54	3.57	1.82	2.87	2.73	1.08	0.35	-0.09	-0.08
	7	0.4		0.20	3.06	4.54	3.57	1.82	2.87	2.73	1.08	0.35	-0.09	-0.08
	8	0.2		0.10	1.53	2.27	1.78	0.91	1.44	1.37	0.54	0.18	-0.04	-0.04
Koefisien Tanaman (KF)	1	1.2	Evapotranspirasi (Et) Et = Eo x KF	4.62	4.74	4.81	4.42	4.61	4.63	4.35	4.30	4.14	4.02	4.15
	2	1.27		4.89	5.02	5.09	4.68	4.88	4.90	4.61	4.55	4.38	4.26	4.39
	3	1.33		5.12	5.26	5.33	4.90	5.11	5.13	4.82	4.77	4.59	4.46	4.60
	4	1.3		5.00	5.14	5.21	4.79	4.99	5.02	4.72	4.66	4.49	4.36	4.50
	5	1.15		4.42	4.55	4.61	4.24	4.42	4.44	4.17	4.12	3.97	3.86	3.98
	6	0		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pengolahan Lahan (30 Hari)	2 Minggu ke-1	Lp	9.38	9.45	9.48	9.28	9.38	9.39	9.25	9.22	9.14	9.08	9.14	
		Lp - R ₁	9.29	8.07	7.44	7.68	8.56	8.10	8.02	8.74	8.98	9.12	9.18	
		(Lp - R ₁)*0.120	1.13	1.13	1.14	1.11	1.13	1.13	1.11	1.11	1.10	1.09	1.10	
	2 Minggu ke-2	Lp	9.38	9.45	9.48	9.28	9.38	9.39	9.25	9.22	9.14	9.08	9.14	
		Lp - R ₂	9.11	5.40	3.47	4.55	6.96	5.58	5.63	7.80	8.67	9.20	9.24	
		(Lp - R ₂)*0.120	1.13	1.13	1.14	1.11	1.13	1.13	1.11	1.11	1.10	1.09	1.10	
Pertumbuhan dengan W = 3,33 mm/hari	2 Minggu ke-1	Et ₁ + p + w - Re ₃	8.67	4.87	2.90	3.85	6.43	5.01	4.93	7.15	7.99	8.47		
	2 Minggu ke-2	Et ₂ + p + w - Re ₄	9.01	6.30	4.88	5.44	7.38	6.36	6.20	7.81	8.36	8.68		
	2 Minggu ke-3	Et ₃ + p + w - Re ₅	9.24	6.53	5.12	5.66	7.61	6.59	6.42	8.02	8.57	8.88		
	2 Minggu ke-4	Et ₄ + p + w - Re ₆	9.13	6.41	5.00	5.55	7.50	6.48	6.31	7.92	8.46	8.78		
Pertumbuhan (mm/det/ha)	2 Minggu ke-5	Et ₅ + p - Re ₇	5.22	2.49	1.07	1.67	3.59	2.57	2.44	4.05	4.62	4.94		
	2 Minggu ke-6	Et ₆ + p - Re ₈	0.90	-0.53	-1.27	-0.78	0.09	-0.44	-0.37	0.46	0.82	1.04		

Tabel 5.30 Perhitungan Kebutuhan Air Untuk Tanaman Padi

Uraian			Okt	Nov	Des	Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	
Eo	mm/hari		3.69	3.84	3.86	3.63	3.59	3.45	3.35	3.46	3.68	3.85	3.95	4.01	
p	mm/hari		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
Eo + p	mm/hari		4.690	4.840	4.860	4.630	4.590	4.450	4.350	4.460	4.680	4.850	4.950	5.010	
Hujan 20 % Kering	mm/hari		0.510	7.640	11.350	8.920	4.560	7.180	6.830	2.690	0.880	-0.220	0.000	-0.200	
Re mean	mm/bulan		226.3	351.5	471.7	431.2	589.6	344.6	280.7	143.8	81.6	43.4	29.3	34.5	
Eo	mm/bulan		114.39	115.20	119.66	112.53	104.11	106.95	100.50	107.26	110.40	119.35	122.45	120.30	
Curah Hujan Re	mm/bulan		15.8	236.9	340.6	276.6	136.8	222.5	211.6	75.3	27.4	-6.45	-5.79	-5.89	
Re terkoreksi [Re.t]	mm/hari		0.51	7.64	11.35	8.92	4.56	7.18	6.83	2.69	0.88	-0.22	-0.19	-0.2	
Koefesien Tanaman (KF)	1	0.5	Evapotranspirasi (Et) $Et = Eo + KF \times 1,15$	2.697	2.783	2.795	2.662	2.639	2.559	2.501	2.565	2.691	2.789	2.846	2.881
	2	0.59		3.182	3.284	3.298	3.141	3.114	3.019	2.951	3.026	3.175	3.291	3.359	3.399
	3	0.96		5.178	5.343	5.365	5.112	5.067	4.913	4.802	4.924	5.167	5.354	5.465	5.531
	4	1.05		5.663	5.844	5.868	5.591	5.542	5.373	5.253	5.385	5.651	5.856	5.977	6.050
	5	1.02		5.501	5.677	5.701	5.431	5.384	5.220	5.103	5.232	5.490	5.689	5.806	5.877
	6	0.95		5.124	5.288	5.310	5.058	5.015	4.862	4.752	4.873	5.113	5.299	5.408	5.473
Pengolahan Lahan	2 Minggu ke-1	Lp	3.333	3.333	3.333	3.333	3.333	3.333	3.333	3.333	3.333	3.333	3.333	3.333	
		Lp - Re.t	2.823	-4.307	-8.017	-5.587	-1.227	-3.847	-3.497	0.643	2.453	3.553	3.523	3.533	
Pertumbuhan (mm/det/ha)	2 Minggu ke-1	$Et_1 - Re.t$	2.19	-4.86	-8.56	-6.26	-1.92	-4.62	-4.33	-0.13	1.81	3.01	3.04	3.08	
	2 Minggu ke-2	$Et_2 - Re.t$	2.67	-4.36	-8.05	-5.78	-1.45	-4.16	-3.88	0.34	2.30	3.51	3.55	3.60	
	2 Minggu ke-3	$Et_3 - Re.t$	4.67	-2.30	-5.98	-3.81	0.51	-2.27	-2.03	2.23	4.29	5.57	5.65	5.73	
	2 Minggu ke-4	$Et_4 - Re.t$	5.15	-1.80	-5.48	-3.33	0.98	-1.81	-1.58	2.70	4.77	6.08	6.17	6.25	
	2 Minggu ke-5	$Et_5 - Re.t$	4.99	-1.96	-5.65	-3.49	0.82	-1.96	-1.73	2.54	4.61	5.91	6.00	6.08	
	2 Minggu ke-6	$Et_6 - Re.t$	4.61	-2.35	-6.04	-3.86	0.45	-2.32	-2.08	2.18	4.23	5.52	5.60	5.67	

5.7.2 Kebutuhan Air untuk Irigasi

1. Pola Tanaman dan Perencanaan Tata Tanam

Pola tanam adalah suatu pola penanaman jenis tanaman selama satu tahun yang merupakan kombinasi urutan penanaman. Rencana pola dan tata tanam dimaksudkan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air, serta menambah intensitas luas tanam. Suatu daerah irigasi pada umumnya mempunyai pola tanam tertentu, tetapi bila tidak ada pola yang bisa pada daerah tersebut direkomendasikan pola tanaman padi-palawija-palawija.

Setelah diperoleh kebutuhan air untuk pengolahan lahan dan pertumbuhan, kemudian dicari besarnya kebutuhan air untuk irigasi berdasarkan pola tanam dan rencana tata tanam dari daerah yang bersangkutan.

Rencana pola tanam untuk jaringan Irigasi Susukan adalah sebagai berikut :

Padi (100%) – Palawija (100%) – Palawija (100%)

- Masa Tanam Padi I

Pengolahan tanah dan pembibitan padi mulai Oktober I s/d Oktober II.

Pertumbuhan padi sampai panen mulai November I s/d Januari II.

- Masa Tanam Palawija I

Pengolahan tanah dan pembibitan padi mulai Februari I s/d Februari II.

Pertumbuhan padi sampai panen mulai Maret I s/d Mei II.

- Masa Tanam Palawija II

Pengolahan tanah palawija mulai Juni I.

Pertumbuhan palawija mulai Juni II s/d September I.

Pengeringan mulai September II s/d Oktober I.

2. Efisiensi Irigasi

Besarnya efisiensi irigasi tergantung dari besarnya kehilangan air yang terjadi pada saluran pembawa, mulai dari bendung sampai petak sawah. Kehilangan air tersebut disebabkan karena penguapan, perkolasi, kebocoran dan

sadap liar. Besarnya angka efisiensi tergantung pada penelitian lapangan pada daerah irigasi.

Pada perencanaan jaringan irigasi, tingkat efisiensi ditentukan menurut kriteria standar perencanaan yaitu sebagai berikut :

- Kehilangan air pada saluran primer adalah 10 – 15 %, diambil 10%
Faktor koefisien = $100/90 = 1,11$
- Kehilangan air pada saluran sekunder adalah 7,5 – 15,5 %, diambil 13%
Faktor koefisien = $100/87 = 1,15$

5.8 ANALISIS DEBIT ANDALAN

Perhitungan debit andalan bertujuan untuk menentukan areal persawahan yang dapat diairi. Perhitungan ini menggunakan cara analisis *water balance* dari Dr. F.J. Mock berdasarkan data curah hujan bulanan, jumlah hari hujan, evapotranspirasi dan karakteristik hidrologi daerah pengaliran.

Perhitungan debit andalan meliputi :

1. Data Curah Hujan

Untuk perhitungan debit andalan digunakan curah hujan 20 % tidak terpenuhi pada data ke-m di mana :

$$m = \frac{n}{5} + 1 \quad (n = \text{jumlah data})$$

$$= \frac{10}{5} + 1 = 3$$

Tabel 5.31 Perhitungan Curah Hujan Bulanan 20% Tidak Terpenuhi

NO	BULAN	JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUNI	JULI	AGT	SEPT	OKT	NOV	DES
1	mm	192	253	199	149	68	9	0	0	0	0	132	269
2	mm	236	295	244	206	80	20	0	0	0	42	264	418
3	mm	331	313	279	278	157	57	9	0	0	113	314	463
4	mm	463	343	366	287	172	61	20	0	7	120	387	474
5	mm	477	477	388	308	184	91	27	3	29	151	398	480
6	mm	486	482	431	358	196	157	50	26	34	170	416	542
7	mm	508	502	433	369	234	175	87	42	51	353	421	655

8	mm	637	567	485	392	262	205	102	65	51	446	493	660
9	mm	701	1168	554	435	316	235	136	85	190	585	532	713
10	mm	967	1889	636	519	335	330	356	144	215	791	587	812

(Sumber : Perhitungan)

Tabel 5.32 Perhitungan Hari Hujan Rata-rata

NO												
	JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUNI	JULI	AGT	SEPT	OKT	NOV	DES
1	8	17	14	12	5	2	0	0	0	0	10	13
2	17	18	15	14	5	2	0	0	0	3	13	15
3	17	20	17	16	7	3	2	0	0	4	17	21
4	19	20	19	17	8	4	2	0	3	7	18	21
5	20	21	21	18	10	7	3	1	4	13	20	21
6	23	23	22	18	11	7	3	2	4	15	21	24
7	23	23	22	18	13	11	5	3	4	16	23	24
8	23	24	23	18	13	14	6	4	8	18	23	25
9	24	24	25	21	15	15	8	4	10	20	24	26
10	28	26	25	24	17	19	23	11	15	26	25	27

(Sumber : Perhitungan)

2. Evapotranspirasi

Evapotranspirasi terbatas dihitung dari evapotranspirasi potensial metoda Penman.

$$dE / Eto = (m / 20) x (18 - n)$$

$$dE = (m / 20) x (18 - n) x Eto$$

$$Etl = Eto - dE$$

Dimana :

dE = selisih evapotranspirasi potensial dan evapotranspirasi terbatas.

Eto = evapotranspirasi potensial.

Etl = evapotranspirasi terbatas.

M = prosentase lahan yang tidak tertutup vegetasi.

= 10 – 40 % untuk lahan yang tererosi.

= 30 – 50 % untuk lahan pertanian yang diolah.

Diambil prosentase lahan 30% karena lahan digunakan untuk pertanian.

3. Keseimbangan air pada permukaan tanah

Rumus tentang air hujan yang mencapai permukaan tanah, yaitu :

$$S = R_s - E_{t1}$$

$$SMC(n) = SMC(n-1) + IS(n)$$

$$WS = S - IS$$

Dimana :

S = kandungan air tanah.

R_s = curah hujan bulanan minimum dari 5 stasiun yang ditinjau.

E_{t1} = evapotranspirasi terbatas.

IS = tampungan awal / *Soil Storage* (mm).

IS (n) = tampungan awal / *Soil Storage* bulan ke-n (mm).

SMC = kelembaban tanah/ *Soil Storage Moisture* (mm) diambil antara 50 - 250 mm.

SMC (n) = kelembaban tanah bulan ke – n

SMC (n-1) = kelembaban tanah bulan ke – (n-1)

WS = *water surplus* / volume air berlebih.

4. Limpasan (*run off*) dan tampungan air tanah (*ground water storage*)

$$V(n) = k.V(n-1) + 0,5.(1-k). I(n)$$

$$dV_n = V(n) - V(n-1)$$

Dimana :

V (n) = volume air tanah bulan ke-n.

V (n-1) = volume air tanah bulan ke-(n-1).

k = faktor resesi aliran air tanah diambil antara 0-1,0

I = koefisien infiltrasi diambil antara 0-1,0

Harga k yang tinggi akan memberikan resesi yang lambat seperti pada kondisi geologi lapisan bawah yang sangat lulus air. Koefisien infiltrasi ditaksir berdasarkan kondisi porositas tanah dan kemiringan daerah pengaliran.

5. Aliran Sungai

Aliran dasar, B(n) = infiltrasi (I) – perubahan volume air dalam tanah ($dV_{(n)}$)

Aliran permukaan = volume air lebih – infiltrasi

D (ro) = WS – I

Aliran sungai = aliran permukaan + aliran dasar

Run off = D (ro) + B(n)

Debit = $\frac{\text{aliransungai} \times \text{luas DAS}}{\text{satubulan}(\text{detik})}$

Luas DAS Kali Kanci adalah **35,709 km²**.

Hasil perhitungan debit andalan dapat dilihat pada tabel 5.33

Tabel 5.33 Perhitungan Debit Andalan Metode F J Mock

Parameter Terpakai :

1. m	=	10 - 50 %	5. Faktor resesi aliran air tanah	k =	0.900
2. Kapasitas kelembaban tanah /SMC (mm)	=	1000 mm	6. Penyimpanan awal (initial storage)	IS =	500 mm
3. Daerah Aliran Sungai (km2)	=	35.709 km ²	7. Faktor aliran hujan lebat	PF =	5 %
4. Koefisien infiltrasi (i)	=	0.30			

NO	URAIAN	JAN	FEB	MRT	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOV	DES
1	Curah Hujan Rh20%(mm/bln)	331	313	279	278	157	57	9	0	0	113	314	463
2	Hari Hujan (hari)	14	14	16	13	8	4	0	0	0	4	16	14
LIMITED TRANSPIRATION													
3	Evapotranspirasi (Eto)	114.27	107.55	119.66	108.82	111.18	103.50	103.95	107.24	110.34	119.26	118.62	124.32
4	Exposed Surface (%)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
5	dE/Eto = (m/20)*(18 - n)	0.0600	0.0600	0.0300	0.0750	0.1500	0.2100	0.2700	0.2700	0.2700	0.2100	0.0300	0.0600
6	dE = (5)*(3)	6.856	6.453	3.590	8.161	16.677	21.736	28.066	28.954	29.791	25.045	3.558	7.459
7	Et1 = Eto - dE = (3)-(6)	107.41	101.10	116.07	100.66	94.51	81.77	75.88	78.28	80.55	94.22	115.06	116.86
WATER BALANCE													
8	Rs - Et1=(S) = (1) - (7)	223.59	211.90	162.93	177.34	62.49	-24.77	-66.88	-78.28	-80.55	18.78	198.94	346.14
9	Run Off Storm (5%*1)	16.55	15.65	13.95	13.90	7.85	2.85	0.45	0.00	0.00	5.65	15.70	23.15
10	Soil Storage (Is) = (8) - (9)	207.04	196.25	148.98	163.44	54.64	-27.62	-67.33	-78.28	-80.55	13.13	183.24	322.99
11	Soil Moisture(SMC)	307	296	249	263	155	72	33	22	19	113	283	423
12	Water Surplus (Ws) = (8) - (10)	16.550	15.650	13.950	13.900	7.850	2.850	0.450	0.000	0.000	5.650	15.700	23.150
RUN OFF dan WATER STORAGE													
13	Infiltrasi = I*(12), I = 0.3	4.97	4.70	4.19	4.17	2.36	0.86	0.14	0.00	0.00	1.70	4.71	6.94
14	0.5*(K+1)*(13), K = 0.9	4.72	4.46	3.98	3.96	2.24	0.81	0.13	0.00	0.00	1.61	4.47	6.60
15	K*V(n - 1)	450.00	409.25	372.33	338.68	308.38	279.55	252.33	227.21	204.49	184.04	167.09	154.40
16	Storage Vol.(Vn) = (14)+(15)	454.72	413.71	376.31	342.64	310.61	280.36	252.46	227.21	204.49	185.65	171.56	161.00
17	dVn = Vn - V(n-1)	-45.28	-41.01	-37.39	-33.67	-32.03	-30.25	-27.91	-25.25	-22.72	-18.84	-14.09	-10.56
18	Base Flow = (13) - (17)	50.25	45.71	41.58	37.84	34.38	31.10	28.04	25.25	22.72	20.53	18.80	17.50
19	Direct Run Off = (12)+(9)-(13)	28.14	26.61	23.72	23.63	13.35	4.85	0.77	0.00	0.00	9.61	26.69	39.36
20	Run Off = (18) + (19)	78.38	72.31	65.29	61.47	47.73	35.95	28.81	25.25	22.72	30.14	45.49	56.86
21	Debit (m3/det)=(20)*luas DAS/(3.4*24*n)	14.17	14.47	11.80	11.48	8.63	6.72	5.21	4.56	4.24	5.45	8.50	10.28
22	Debit (litr/det)	14169.9	14472.9	11803.8	11482.7	8627.9	6715.42	5207.88	4563.85	4244.38	5448.4	8497.8	10278.7
23	Jumlah Hari	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31

5.9 NERACA AIR

Dari hasil perhitungan neraca air, kebutuhan pengambilan yang dihasilkannya untuk pola tanam yang dipakai akan dibandingkan dengan debit andalan untuk tiap bulan dan luas daerah yang bisa diairi, luas daerah irigasi, jatah debit air dan pola pengaturan rotasi. Apabila debit sungai melimpah, maka luas daerah irigasi adalah tetap karena luas maksimum daerah layanan dan proyek yang akan direncanakan sesuai dengan pola tanam yang dipakai. Jika debit sungai kurang maka terjadi kekurangan debit, maka ada tiga pilihan yang perlu dipertimbangkan sebagai berikut :

- Luas daerah irigasi dikurangi
- Luas daerah irigasi tetap tetapi ada suplesi debit dari bendung lain.
- Melakukan modifikasi pola tanam
- Rotasi teknis/golongan.

Hasil analisa pola tanam secara teoritis dan neraca air disajikan dalam tabel 5.34.

Sedangkan grafik neraca air dapat dilihat pada tabel 5.35.

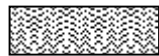
Tabel 5.34 Pola Tanam Secara Teoritis dan Perhitungan Neraca Air

Uraian	Okt		Nov		Des		Jan		Feb		Mrt		Apr		Mei		Jun		Jul		Ags		Sep	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Masa Tanam I Padi (100%)	LP	LP	PD	PD	PD	PD	PD	PD																
Masa Tanam II Palawija (100%)									LP	PLW-1	PLW-1	PLW-1	PLW-1	PLW-1	PLW-1	PLW-1								
Masa Tanam III Palawija (100%)																LP	PLW-2	PLW-2	PLW-2	PLW-2	PLW-2	PLW-2	PLW-2	PLW-2
Kebutuhan Air (lt/det/ha) A	1.13	1.13	4.87	6.30	5.12	5.00	1.67	-0.78	3.33	-1.92	-4.16	-2.27	-1.58	-1.73	2.18	-2.05	3.33	1.81	3.51	5.57	6.17	6.00	5.67	3.73
S = Sawah = A*0.116	0.13	0.13	0.56	0.73	0.59	0.58	0.19	-0.09	0.13	-0.22	-4.82	-0.26	-0.18	-0.20	0.25	-0.24	0.13	0.21	0.41	0.65	0.71	0.70	0.66	0.43
T = Sekunder = S * 1,15	0.15	0.15	0.64	0.84	0.68	0.67	-0.22	-0.10	0.15	-0.25	-5.54	-0.30	-0.21	-0.23	0.29	-0.28	0.15	0.24	0.47	0.75	0.82	0.81	0.76	0.50
S = Primer = T * 1,11	0.17	0.17	0.71	0.93	0.75	0.74	-0.24	-0.11	0.17	-0.28	-6.15	-0.33	-0.23	-0.25	0.32	-0.31	0.17	0.27	0.27	0.83	0.91	0.90	0.84	0.56
Luas Areal irigasi = 47 ha																								
Q Kebutuhan (m ³ /det)	0.45	0.45	1.91	2.5	2.02	1.99	0.00	0.00	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.86	0.00	0.45	0.72	1.15	2.31	2.44	2.41	2.26	1.49
Q Tersedia (m ³ /det)	5.45	5.45	8.50	8.50	10.28	10.28	14.17	14.17	14.47	14.47	11.80	11.80	11.48	11.48	8.63	8.63	6.72	6.72	5.21	5.21	4.56	4.56	4.24	4.24
Surplus (m ³ /det)	5.00	5.00	6.59	6.00	8.26	8.29	14.17	14.17	14.02	14.47	11.80	11.80	11.48	11.48	7.77	8.63	6.27	6.00	4.06	2.90	2.12	2.15	1.98	2.75
Defisit (m ³ /det)																								

Keterangan :



Pengeringan



Penyiapan Lahan

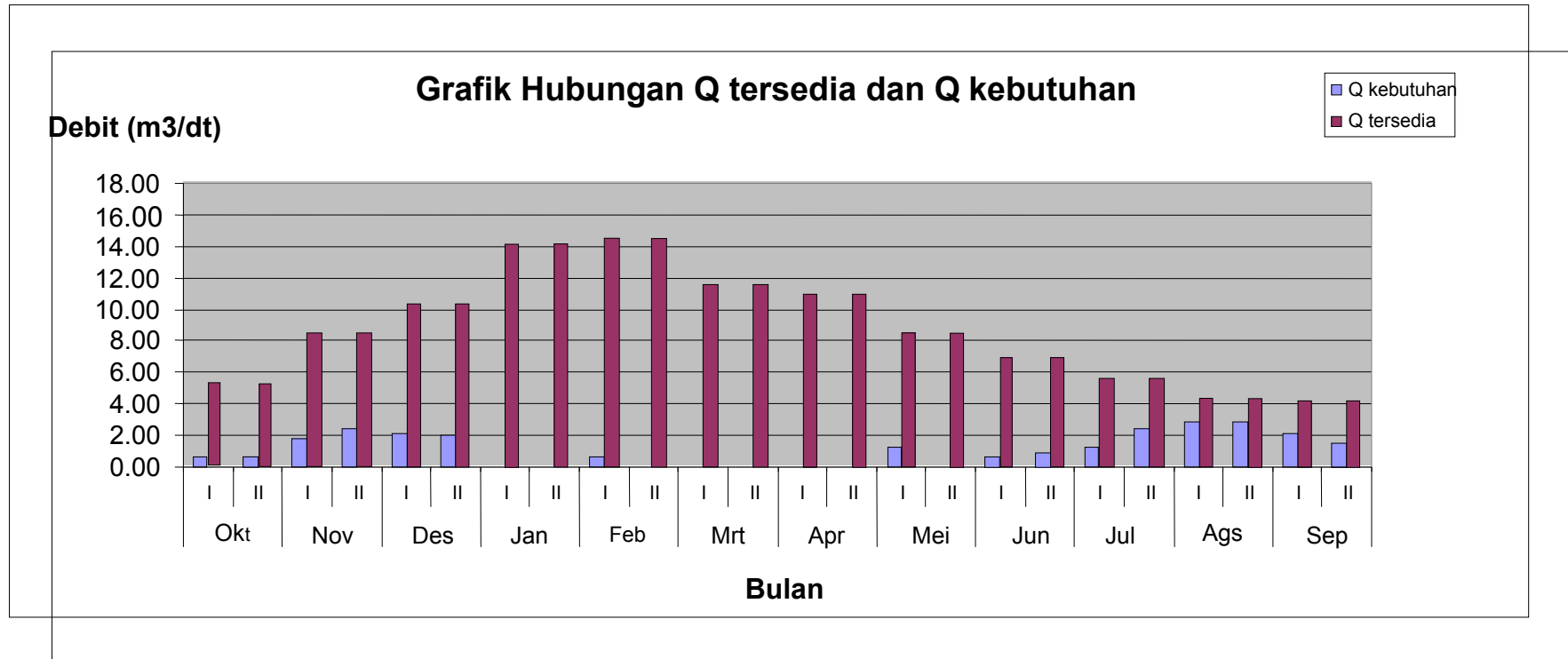


Tanaman Padi



Tanaman Palawija

Tabel 5.35 Grafik Neraca Air



BAB VI PERENCANAAN KONSTRUKSI

6.1. Perencanaan Hidraulis Bendung

6.1.1. Elevasi Mercu Bendung

Elevasi mercu bendung untuk perencanaan bangunan bendung Susukan menggunakan dasar dari data elevasi dari saluran suplesi Beseran yaitu puncak dinding beton +649,705, dengan tinggi air maksimum diijinkan dalam saluran suplesi Beseran adalah 30 cm dibawah dinding cor beton berarti air paling tinggi dalam saluran adalah +651.405. sedangkan elevasi dasar sungai didapat +650.

Perhitungan elevasi bendung Susukan:

a. Elevasi saluran suplesi Beseran	= +650,705
b. Kehilangan pada pintu inlet	= 0,10 m
c. Kehilangan oleh slope saluran	= 0,10 m
d. Keamanan	= 0,095 m
e. Elevasi mercu bendung	= +651

Dari data dan perhitungan di atas maka didapat data perencanaan :

1. Elevasi mercu bendung	= +651
2. Elevasi dasar sungai	= +650
3. Tinggi mercu bendung	= 1 m

6.1.2. Lebar Efektif Bendung

Karena adanya pilar dan bangunan pembilas, maka lebar total bendung tidak seluruhnya dapat dimanfaatkan untuk melewati debit yang ada. Jadi lebar efektif bendung lebih pendek dari lebar bendung yang sebenarnya.

Persamaan lebar efektif bendung :

$$B_e = B - 2 (n.K_p + K_a).H_1$$

Dimana :

B_e = lebar efektif bendung (m)

B = lebar bendung (m) = 15 m

- n = jumlah pilar = 1
 K_p = koefisien kontraksi pilar = 0,01
 K_a = koefisien kontraksi pangkal bendung = 0,2
 H_1 = tinggi energi (m)

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 B_e &= B - 2 (n.K_p + K_a).H_1 \\
 &= 15 - 2 (1* 0,01 + 0,2) H_1 \\
 &= 15 - 0,42H_1
 \end{aligned}$$

6.1.3. Tinggi Muka Air Banjir di Atas Mercu Bendung

Perhitungan tinggi muka air banjir di atas mercu menggunakan persamaan debit bendung dengan mercu bulat :

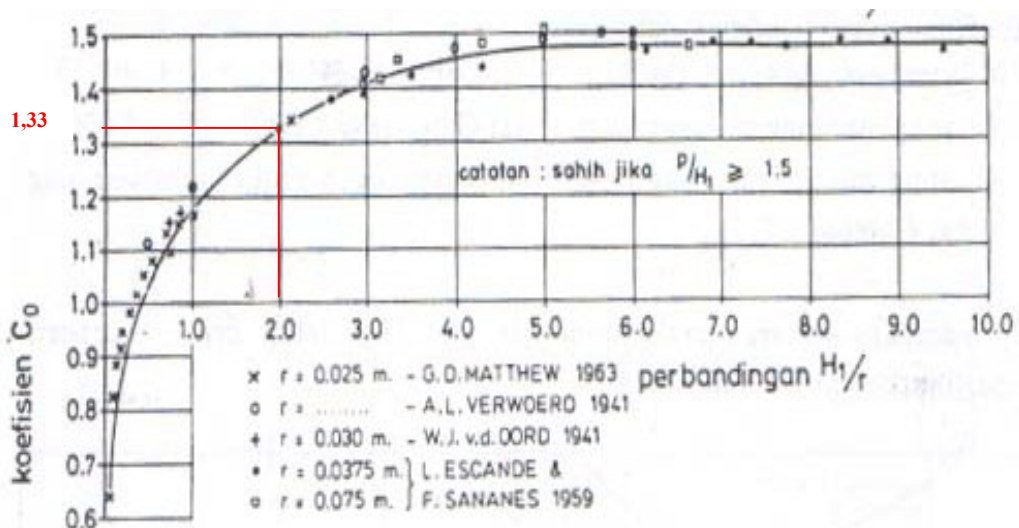
$$Q = Cd * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3}g} * B_e * H_1^{1.5}$$

Dimana :

$$Q = \text{Debit (m}^3/\text{dtk)} = 246,31 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

$$Cd = \text{Koefisien debit (Cd = C}_0.C_1.C_2)$$

Direncanakan $p/H_1 \geq 1,5$ dan $r = 0.5 H_1$, maka didapat $H_1/r = 2$, dari tabel didapat nilai $C_0 = 1.33$. Dimisalkan besar $C_1 = 1$ dan $C_2 = 1$



Gambar 6.1. Harga-harga Koefisien C_0 Fungsi H_1/r

$$g = \text{Percepatan gravitasi} = 9,8 \text{ m/dtk}^2$$

$$B_e = \text{Panjang mercu (m)} = 15 - 0,42 H_1$$

$$H_1 = \text{Tinggi energi diatas mercu (m)}$$

Perhitungan :

$$246,31 = 1,33 * \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{2}{3} * 9,8 * (15 - 0,42 H_1) * H_1^{1,5}}$$

$$108,62 = 15 H_1^{1,5} - 0,42 H_1^{2,5}$$

Dengan cara coba-coba diperoleh $H_1 = 4,05$

$$B_e = 15 - 0,42 H_1$$

$$= 15 - 0,42 * 4,05 = 13,299 \text{ m}$$

Dari hasil perhitungan di atas maka dapat ditentukan elevasi muka air banjir dan tinggi air di atas mercu yaitu :

$$\text{Elevasi muka air banjir} = \text{elevasi mercu} + H_1 = +651 + 4,05 = +655,05$$

Untuk menentukan tinggi air di atas mercu dapat dicari dengan persamaan : $H_d = H_1 - k$

Dimana :

$$k = \frac{v^2}{2g} \text{ dengan } v = \frac{Q}{B_e * H_1} = \frac{246,31}{13,299 * 4,05} = 4,57 \text{ m/dtk}$$

$$k = \frac{4,57^2}{2 * 9,8} = 1,06 \text{ m}$$

Jadi tinggi air di atas mercu adalah : $H_d = 4,05 - 1,06 = 2,98 \text{ m}$

6.1.4. Tinggi Muka Air Banjir di Hilir Bendung

Diketahui :

$$\text{Debit banjir (Q)} = 246,31 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

$$\text{Lebar rata-rata sungai} = 15 \text{ m}$$

$$\text{Kemiringan sungai (I}_s) = 0.001$$

$$\gamma_B (\text{koefisien Bazin}) = 1.5$$

Rumus Chezy :

$$A = (b + m h) h$$

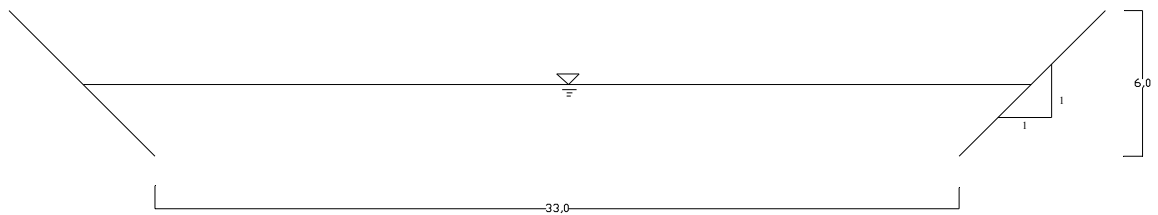
$$V = c . \sqrt{R . I}$$

$$c = \frac{87}{1 + \frac{\gamma_B}{\sqrt{R}}}$$

$$P = b + 2h \sqrt{m^2 + 1}$$

$$R = \frac{A}{P}$$

$$Q = A * V$$



Gambar 6.2. Penampang di Hilir Bendung

Perhitungan :

$$\begin{aligned} A &= (b + m h) h \\ &= (15 + 0.5 * h)h \\ &= 15h + 0.5h^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= b + 2h \sqrt{m^2 + 1} \\ &= 15 + 2 * h \sqrt{0,5^2 + 1} \\ &= 15 + 2.236h \end{aligned}$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{15h + 0.5h^2}{15 + 2.236h}$$

$$c = \frac{87}{1 + \frac{1,5}{\sqrt{\frac{15h + 0,5h^2}{15 + 2,236h}}}}$$

$$V = c \cdot \sqrt{R \cdot I}$$

$$Q = A * V$$

$$= \frac{87}{1 + \frac{1,5}{\sqrt{\frac{15h + 0,5h^2}{15 + 2,236h}}}} \sqrt{\frac{15h + 0,5h^2}{15 + 2,236h}} * 0,001$$

Tabel 6.1. Perhitungan h

h (m)	A (m ²)	P (m)	R (m)	c	V (m/dtk)	Q (m ³ /dtk)
1.50	24.750	18.354	1.348	110.397	4.054	100.336
2.00	34.000	19.472	1.746	118.492	4.951	168.346
2.45	42.753	20.478	2.088	124.133	5.672	242.484
2.47	43.151	20.523	2.103	124.357	5.702	246.057

(sumber : perhitungan)

Berdasarkan perhitungan pada tabel 5.1. didapat h = 2,47 m, maka :

Elevasi dasar sungai = +650

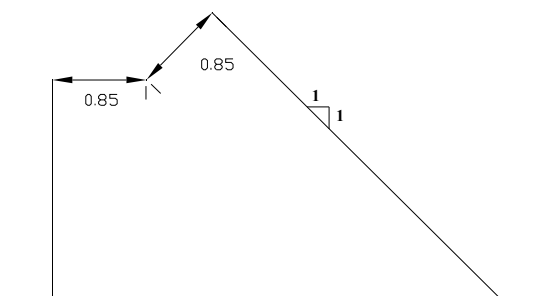
Elevasi muka air di hilir bendung = +650 + 2,47

= +652,47

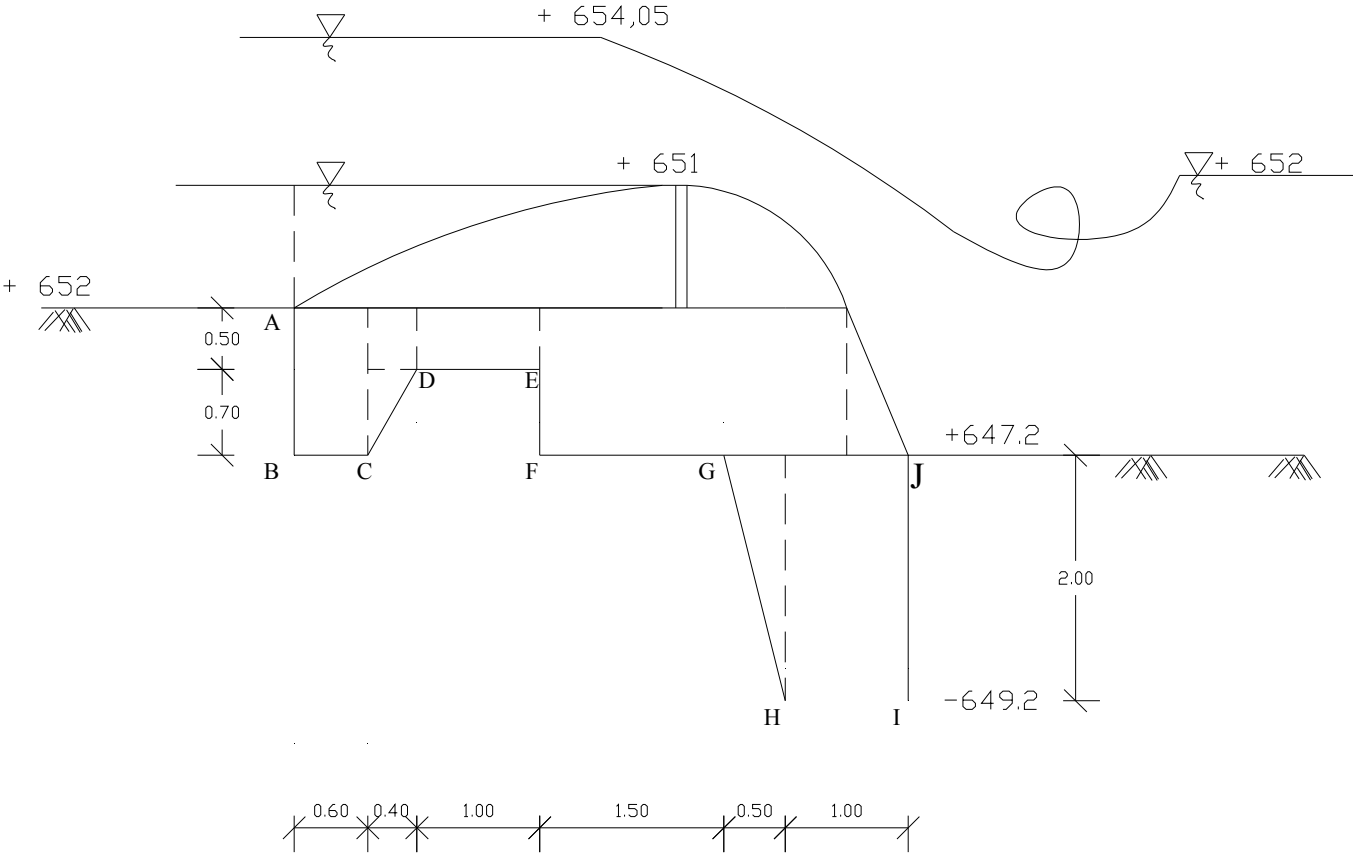
6.1.5. Penentuan Dimensi Mercu Bulat

Bendung untuk saluran suplesi Beseran direncanakan menggunakan pasangan siaran sehingga besar jari-jari mercu bendung (r) = 0,1H₁ – 0,7 H₁. maka diambil :

$$r = 0,2 H_1 = 0,2 * 4,05 = 0,85 \text{ m}$$



Gambar 6.3. Jari-Jari Mercu Bendung



Gambar 6.4 Bendung Susukan dengan kondisi air

6.1.6. Tinjauan Terhadap Gerusan

Tinjauan terhadap gerusan digunakan untuk menentukan tinggi dinding halang (koperan) di ujung hilir bendung. Untuk menghitung kedalaman gerusan digunakan metode Lacey.

Persamaan :

$$R = 0,47 \left(\frac{Q}{f} \right)^{1/3}$$

Dimana :

R = kedalaman gerusan (m)

Q = debit outflow = 246,31 (m³/dtk)

f = faktor lumpur Lacey = 1,76 (Dm)^{0,5}

Dm = diameter rata-rata material

Perhitungan :

$$A = Be \cdot Hd = 13,299 \cdot 2,98 = 39,63 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{rata-rata}} = Q/A$$

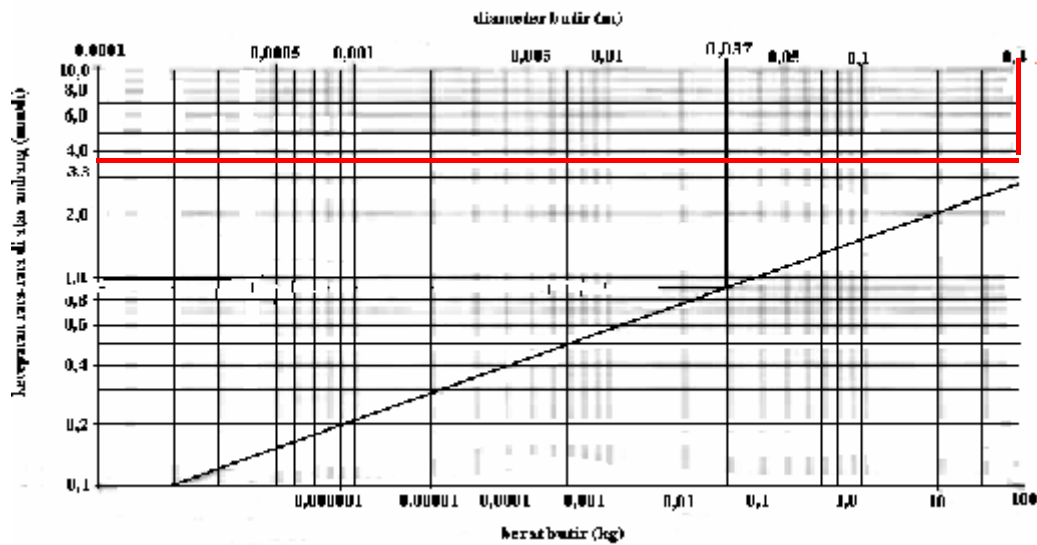
$$= 246,31 / 39,63 = 6,22 \text{ m/dtk}$$

Untuk menghitung turbulensi dan aliran yang tidak stabil, R ditambah 1,5 nya lagi (data empiris).

Tebal lapisan pasangan batu kosong sebaiknya diambil 2 sampai 3 kali d_{40} dicari dari kecepatan rata-rata aliran dengan bantuan Gambar 5.7.

Gambar 5.7 dapat dipakai untuk menentukan d_{40} dari campuran pasangan batu kosong dari kecepatan rata-rata selama terjadi debit rencana diatas ambang bangunan.

Untuk menentukan Dm dapat dilihat dari grafik berikut :



Gambar 6.5. Grafik Untuk Menentukan Dm

Dari grafik di atas didapat $D_m = 0,4 \text{ m}$

$$f = 1,76 (D_m)^{0,5}$$

$$= 1,76 * (0,4)^{0,5} = 1,113$$

$$R = 0,47 \left(\frac{Q}{f} \right)^{1/3}$$

$$= 0,47 \left(\frac{80}{1,113} \right)^{1/3} = 1,954 \text{ m}$$

Dengan angka keamanan $S = 1,5$ maka :

$$R = 1,5 * 1,954 = 2,931 \text{ m}$$

Berdasarkan perhitungan kedalaman gerusan maka bila dibandingkan, kedalaman pondasi bendung = $4 \text{ m} > 2,931 \text{ m}$, sehingga konstruksi aman terhadap gerusan.

Tebal lapisan batu kosong : $3 \times d_{40} = 3 \times 0,4 = 1,2 \text{ m}$

Panjang apron = $4 (2,931 - 2,47) = 1,844 \text{ m}$

6.1.7. Tinjauan Terhadap Backwater

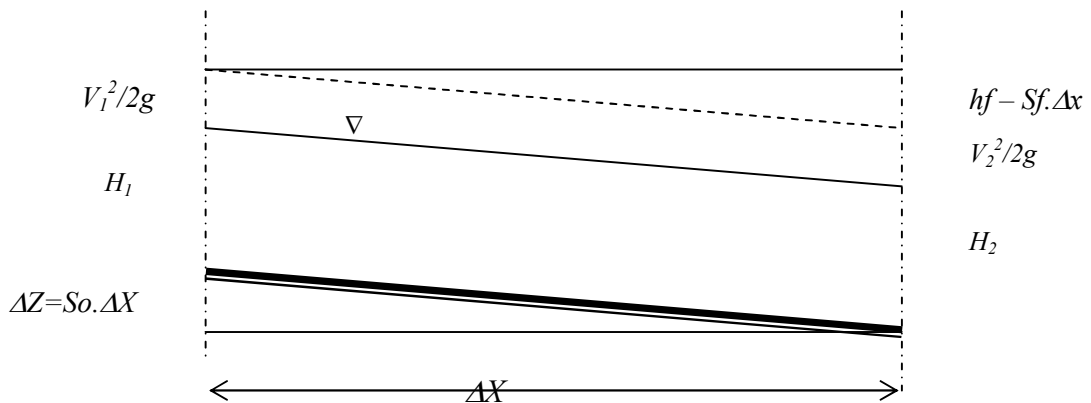
Perhitungan backwater bertujuan untuk mengetahui besar pengaruh yang disebabkan oleh peninggian muka air pada bagian hulu akibat pembangunan bendung sehingga dapat ditentukan tinggi tanggul yang harus dibuat.

Persamaan :

$$z_1 + y_1 + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + y_2 + \frac{v_2^2}{2g} + hf$$

Dimana :

- z = Ketinggian dasar saluran dari garis referensi
- y = Kedalaman air dari dasar saluran
- V = Kecepatan rata-rata
- g = Percepatan gravitasi
- hf = Kehilangan energi karena gesekan dasar saluran



Gambar 6.6. Definisi Profil Muka Air

$$\underbrace{\Delta z + y_1 + \frac{v_1^2}{2g}}_{E_1} = \underbrace{y_2 + \frac{v_2^2}{2g}}_{E_2} + hf$$

$$E_1 + S_0 \Delta X = E_2 + S_f \Delta X$$

atau

$$\Delta X = \frac{E_2 - E_1}{S_0 - S_f}$$

Dimana :

$$S_f = \frac{Q^2}{c^2 A^2 R}$$

$$A = (B + m y) y$$

$$V = c \cdot \sqrt{R \cdot I}$$

$$c = \frac{87}{1 + \frac{\gamma_B}{\sqrt{R}}}$$

$$R = \frac{A}{P}$$

$$P = B + 2y \sqrt{m^2 + 1}$$

Diketahui :

$$\gamma_B = 1.5$$

$$H_1 = 4,05 \text{ m}$$

$$B_{\text{rata-rata}} = 13,299 \text{ m}$$

$$S_0 = 0,0571$$

$$m = 1$$

$$Q = 246,31 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

$$\text{Elevasi dasar bendung} = +650$$

$$\text{Elevasi muka air bendung} = +655,05$$

Perhitungan :

$$Q = A \cdot c \cdot R^{\frac{1}{2}} S_0^{\frac{1}{2}}$$

$$= (B + m y) y \cdot \frac{87}{1 + \frac{1,5}{\sqrt{15y + y^2}}} \cdot \left(\frac{15y + y^2}{15 + 2,828y} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot S_0^{1/2}$$

$$246,31 = (B + m y) y * \frac{87}{1,5} * \left(\frac{15y + y^2}{15 + 2.828y}\right)^{\frac{1}{2}} * (0,571)^{1/2}$$

$$\sqrt{\frac{15y + y^2}{15 + 2,828y}}$$

Berikut adalah tabel perhitungan kedalaman normal dengan cara trial and error :

Tabel 6.2. Perhitungan Kedalaman Normal (y_n)

y (m)	A (m ²)	P (m)	R (m)	c	V (m/dtk)	Q (m ³ /dtk)
1.20	19.440	18.394	1.057	35.379	8.691	168.957
1.30	21.190	18.676	1.135	36.126	9.195	194.845
1.40	22.960	18.959	1.211	36.817	9.681	222.285
1.48	24.390	19.185	1.271	37.333	10.059	245.334

(Sumber : Perhitungan)

Dari hasil perhitungan di atas maka didapat $y_n = H_2 = 1,48$ m.

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2 (B + m * y_n)}{g * (B + m * y_n)^3}} = \sqrt[3]{\frac{246,31^2 (15 + y_n)}{9,81 * (15 + y_n)^3}}$$

$$= 2,83 \text{ m}$$

Dari hasil perhitungan maka didapat. $y_c > y_n$ berarti tipe aliran adalah superkritis. Berikut ini adalah tabel perhitungan panjang pengaruh backwater akibat pembangunan bendung di Kali Kanci.

Tabel 6.3. Perhitungan Backwater

h m	A m ²	P m	R m	c	V m/dtk	E m	E2 - E1 m	Sf	Sf	So - Sf	Δx m	x
4.05	77.153	26.453	2.917	46.318	18.902	22.278	0.000	0.00172	8.6E-04	0.056	0.000	0.00
4.00	76.000	26.312	2.888	46.213	18.768	21.971	0.308	0.00180	1.8E-03	0.055	5.557	5.56
3.50	64.750	24.898	2.601	45.074	17.369	18.893	3.078	0.00289	2.3E-03	0.055	56.214	61.77
3.00	54.000	23.484	2.299	43.736	15.848	15.814	3.079	0.00499	3.9E-03	0.053	57.910	119.68
2.50	43.750	22.070	1.982	42.123	14.172	12.747	3.067	0.00951	7.2E-03	0.050	61.525	181.21
2.00	34.000	20.656	1.646	40.108	12.296	9.714	3.033	0.02091	1.5E-02	0.042	72.408	253.61
1.50	24.750	19.242	1.286	37.458	10.151	6.758	2.956	0.05790	3.9E-02	0.018	167.066	420.68

(Sumber : Perhitungan)

Dari perhitungan di atas maka didapat panjang pengaruh backwater sepanjang 420,68 m. Untuk mengantisipasi pengaruh backwater maka perlu di analisis apakah sungai membutuhkan tanggul. Dilihat dari topografi, Kali Kanci semakin ke hulu maka tebing sungai menjadi semakin tinggi. Maka berdasarkan hal itu, tebing sungai dapat digunakan sebagai tanggul untuk menahan tinggi air akibat pengaruh backwater.

6.2. Perencanaan Bangunan Pelengkap

6.2.1. Perencanaan Pintu Pengambilan

Pintu intake harus mampu mengalirkan air minimal $Q = 4,24 \text{ m}^3 / \text{dt}$. Kapasitas pengambilan harus sekurang-kurangnya 120% dari kebutuhan pengambilan guna menambah fleksibilitas dan agar dapat memenuhi kebutuhan yang lebih tinggi selama umur proyek.

Persamaan :

$$Q_n = \mu \cdot a \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot z}$$

Dimana :

Q_n = debit rencana (m^3/dtk)

μ = koefisien debit = 0,8 (untuk bukaan di bawah permukaan air dengan kehilangan tinggi energi)

a = tinggi bukaan

b = lebar bukaan

z = kehilangan energi pada bukaan
= antara 0,15 – 0,30 diambil 0,20

g = percepatan gravitasi $9,81 \text{ m}/\text{dtk}^2$

Perhitungan :

b = 0,6

μ = 0,8

z = 0,2

$$Q_n = 0,8 \cdot a \cdot 0,4 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,2}$$

$$5,088 = 0,633 a ; a = 8 \text{ m}$$

✓ Dimensi balok pintu pengambilan.

Dimensi balok pengambilan sebagai berikut :

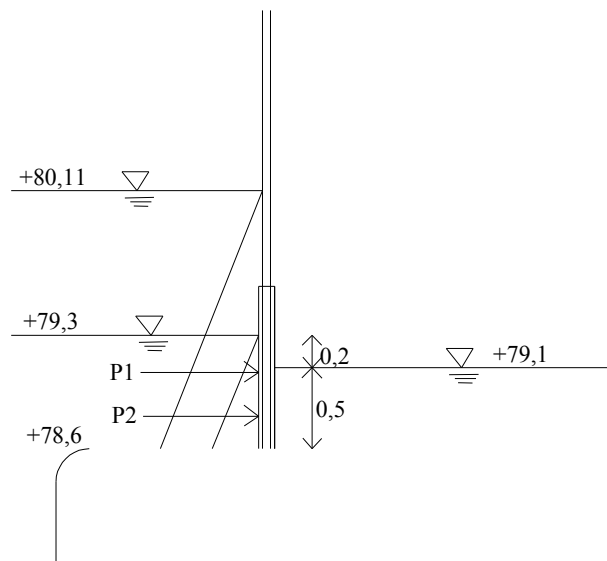
Lebar pintu = 0,4

Lebar teoritis = $0,4 + (2 \times 0,1) = 0,6$

Tebal papan kayu = 0,20 m

Berat jenis kayu = 80 kg/cm^2

γ_w = $1 \text{ ton/m}^3 = 0,001 \text{ kg/cm}^3$



Gambar 6.7. Pintu Pengambilan

$$P1 = h_1 \times \gamma_w$$

$$= 3,05 \times 1 = 3,05 \text{ t/m}^2$$

$$P2 = h_2 \times \gamma_w$$

$$= 0,8 \times 1 = 0,8 \text{ t/m}^2$$

$$P = \frac{P1 + P2}{2} \times H$$

$$= \frac{3,05 + 0,8}{2} \times 0,1 = 0,1925 \text{ t/m}^2 = 1,93 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Momen yang timbul} = 1/8 \times q \times l^2$$

$$= 1/8 \times 1,93 \times 60^2$$

$$= 868,5 \text{ kgcm}$$

$$W (\text{momen kelembaman}) = 1/6 \times t^2 \times h$$

Dimana h adalah lebar kayu yang ditinjau yaitu 20 cm :

$$\begin{aligned}w &= 1/6 \times t^2 \times 20 \\ &= 3,33 t^2\end{aligned}$$

✓ Mentukan tebal pintu

$$P = \frac{M}{W}$$

$$80 = \frac{868,5kgcm}{3,33t^2}$$

$$266,4 t^2 = 868,65$$

$$t = 3,26 = 5 \text{ cm}$$

Sehingga ukuran kayu yang digunakan 5/20

✓ Gaya pintu ke atas.

$$\begin{aligned}\text{Berat stang} &= F \text{ stang} \times (h \text{ pintu}) \times \text{berat jenis baja} \\ &= 0,0007065 \times 1 \times 7800 \\ &= 5,5105 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat daun pintu} &= h \text{ pintu} \times l \text{ pintu} \times t \text{ pintu} \times \text{berat jenis baja} \\ &= 1 \times 0,6 \times 0,06 \times 800 \\ &= 28,8 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat sambungan} &= 20\% \times \text{berat} \\ &= 20\% \times 28,8 \text{ kg} \\ &= 5,76 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat total pintu (G1)} &= 5,5105 + 28,8 + 5,76 \\ &= 40,0705 \text{ kg}\end{aligned}$$

Koefisien gesek baja alur dengan pintu (f) = 0,4

$$\begin{aligned}\text{Gaya gesek} &= 0,4 \times \text{tekanan air} \\ &= 0,4 \times 804 \\ &= 312,6 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\text{Berat total pintu} = 40,0705 \text{ kg}$$

$$\text{Gaya gesek} = 312,6 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}\text{Total (G)} &= G1 + \text{gaya gesek} = 40,0705 \text{ kg} + 312,6 \text{ kg} \\ &= 352,67 \text{ kg}\end{aligned}$$

Kontrol terhadap tegangan (σ)

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{Gp \text{ pintu}}{Fs \tan g} < \sigma \text{ baja} = 1400 \text{ kg/cm}^2 \\ &= \frac{352,67 \text{ kg}}{7,065 \text{ cm}^2} < 1400 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 49,996 < 1400 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Aman)}\end{aligned}$$

✓ Akibat Gaya tekan pintu bergerak turun

$$\begin{aligned}\text{Jumlah gaya (PK)} &= (\text{ Gaya Gesek} - G1) \\ &= (312,6 - 40,07) \\ &= 272,53 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\text{Rumus Euler} = PK = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L \cdot K^2}$$

Dimana :

$$E \text{ baja} = 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$I = \text{momen inersia} = 2 \times 3,974 = 7,948 \text{ cm}^4$$

LK = panjang tekuk

$$= 0,5 \times L \times \sqrt{2}$$

$$= 0,5 \times 2,5 \times \sqrt{2} = 1,76 \text{ m}$$

Kontrol terhadap gaya tekuk :

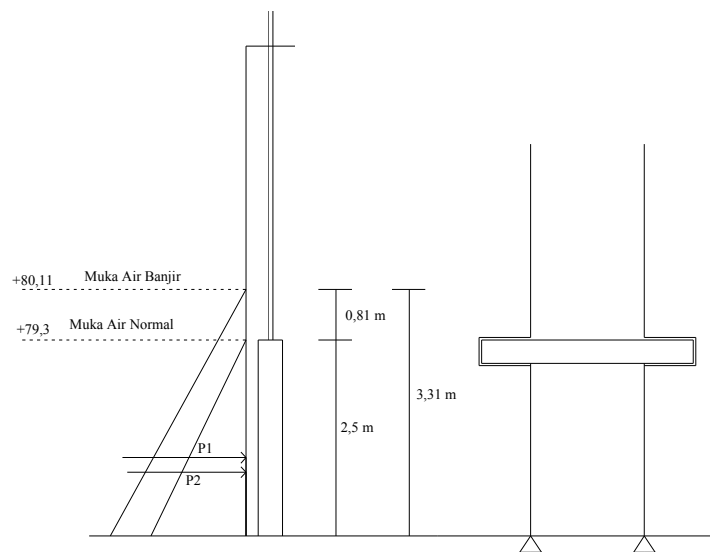
$$\begin{aligned}I &= \frac{PK \cdot LK^2}{\pi^2 \cdot E} < I = 7,948 \text{ cm}^4 \\ &= \frac{245,65 \times 176^2}{(3,14)^2 \cdot 2,1 \cdot 10^6} < I = 7,948 \text{ cm}^4 \\ &= 0,367 \text{ cm}^4 < 7,948 \text{ cm}^4 \text{ (Aman)}\end{aligned}$$

6.2.2. Perencanaan Pintu Pembilas Bendung

Diketahui :

$$\text{Lebar pintu (b)} = 1,5 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi pintu (H)} = 2,5 \text{ m}$$



Gambar 6.8. Pintu Bilas Bendung

Persamaan :

$$Q_n = m \cdot b \cdot h_{kr} \sqrt{2g \cdot \Delta h_{kr}}$$

Perhitungan :

$$h_{kr} = 2/3 H = 1,667 \text{ m}$$

$$\Delta h_{kr} = 1/3 H = 0,833 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} Q_n &= 1 \times 1,5 \times 1,667 \sqrt{2 \times 9,81 \times 0,833} \\ &= 10 \text{ m}^3/\text{dtk} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A &= (b + mh)h \\ &= (1,5 + 2,5)2,5 \\ &= 10 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= b + 2 \times h \sqrt{1 + m^2} \\ &= 1,5 + 2 \times 2,5 \sqrt{2} \\ &= 8,571 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= A/P \\ &= 10 \text{ m}^2 / 8,571 \text{ m} \\ &= 1,1667 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V &= Q/A \\ &= 10 / 10 \end{aligned}$$

$$= 1 \text{ m/dtk}$$

$$V = (1/n) \times R^{2/3} \times I^{1/2}$$

$$1 = (1/0,013) \times 1,1667^{2/3} \times I^{1/2}$$

$$0,0117 = I^{1/2}$$

$$I = 0,000136$$

Analisis Struktur Pintu Pembilas Bendung

Perhitungan ukuran beban yang digunakan adalah sebagai berikut :

- lebar pintu = 1,5 m
- lebar teoritis = 1,5 + (2 x 0,1) = 1,7 m
- Pintu ditinjau setinggi = 20 cm
- P kayu = 80 kg/cm³
- γ_w = 1 ton/m³ = 0,001 kg/cm³

Tekanan hidrostatik pada pintu :

$$P1 = h_1 \times \gamma_w$$

$$= 3,31 \times 1 = 3,31 \text{ t/m}^2$$

$$P2 = h_2 \times \gamma_w$$

$$= 2,50 \times 1 = 2,5 \text{ t/m}^2$$

$$P = \frac{P1 + P2}{2} \times H$$

$$= \frac{3,31 + 2,5}{2} \times 0,2 = 0,581 \text{ t/m}^2 = 5,81 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Momen yang timbul} = 1/8 \times q \times l^2$$

$$= 1/8 \times 5,81 \times 150^2$$

$$= 16340,625 \text{ kgcm}$$

$$W (\text{momen kelembaman}) = 1/6 \times t^2 \times h$$

Dimana h adalah lebar kayu yang ditinjau yaitu 20 cm :

$$w = 1/6 \times t^2 \times 20$$

$$= 3,333 \text{ t}^2$$

- ◆ Menentukan tebal pintu

$$P = \frac{M}{W}$$

$$80 = \frac{16340,625 \text{ kgcm}}{3,333t^2}$$

$$t = 7,83 = 10 \text{ cm}$$

Sehingga ukuran kayu yang digunakan 10/20

- ◆ Ukuran stang pengangkat pintu

- lebar pintu (b) = 1,7 m

- direncanakan diameter (d) = 5 cm

- tinggi pintu (hp) = 3,33 m

$$\begin{aligned} F \text{ stang} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 5^2 \\ &= 19,625 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen inersia (I)} &= \frac{1}{64} \times \pi \times d^4 \\ &= \frac{1}{64} \times 3,14 \times 5^4 \\ &= 30,66 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tekanan (P1)} &= h_1 \times \gamma_w \\ &= 3,7 \times 1000 = 3700 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(P2)} &= h_2 \times \gamma_w \\ &= 3,41 \times 1000 = 3410 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tekanan air} &= \frac{1}{2} \times (P1+P2) \times (\text{lebar pintu} \times \text{h pintu}) \times \gamma_w \\ &= \frac{1}{2} \times (3310+2500) \times (1,5 \times 2,5) \times 1,0 \\ &= 10893,75 \text{ kg} \end{aligned}$$

- ◆ Akibat Gaya tekan pintu bergerak naik ke atas

$$\begin{aligned} \text{Berat stang} &= 2 \times F \text{ stang} \times h \text{ pintu} \times \text{berat jenis baja} \\ &= 2 \times 0,0007065 \times 2,5 \times 7800 \\ &= 27,5535 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat daun pintu} &= h \text{ pintu} \times l \text{ pintu} \times t \text{ pintu} \times \text{berat jenis baja} \\ &= 2,5 \times 1,5 \times 0,1 \times 800 \\ &= 300 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat sambungan} &= 20\% \times \text{berat daun pintu} \\ &= 20\% \times 300 \text{ kg} \\ &= 60 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat total pintu (G1)} &= 27,5535 + 300 + 60 \\ &= 387,55 \text{ kg} \end{aligned}$$

Koefisien gesek baja alur dengan pintu (f) = 0,4

$$\begin{aligned} \text{Gaya gesek} &= 0,4 \times \text{tekanan air} \\ &= 0,4 \times 10893,75 \\ &= 4357,5 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\text{Berat total pintu} = 387,55 \text{ kg}$$

$$\text{Gaya gesek} = 4357,5 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Total (G)} &= \text{G1} + \text{gaya gesek} = 387,55 \text{ kg} + 4357,5 \text{ kg} \\ &= 4745,05 \text{ kg} \end{aligned}$$

Control terhadap tegangan (σ)

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{G_{\text{pintu}}}{2Fs \tan g} \langle \sigma \text{ baja} = 1400 \text{ kg/cm}^2 \\ &= \frac{4745,05 \text{ kg}}{2.19,625 \text{ cm}^2} \langle 1400 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 120,89 < 1400 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Aman)} \end{aligned}$$

◆ Akibat Gaya tekan pintu bergerak turun

$$\begin{aligned} \text{Jumlah gaya (PK)} &= (\text{Gaya Gesek} - \text{G1}) \\ &= (4357,5 - 387,55) \\ &= 3969,95 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\text{Rumus Euler} = PK = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L \cdot K^2}$$

Dimana :

$$E \text{ baja} = 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$I = \text{momen inersia} = 2 \times 30,66 \text{ cm}^4 = 61,32 \text{ cm}^4$$

LK = panjang tekuk

$$= 0,5 \times L \times \sqrt{2}$$

$$= 0,5 \times 4,1 \times \sqrt{2} = 2,89 \text{ m}$$

Kontrol terhadap gaya tekuk :

$$I = \frac{PK.LK^2}{\pi^2.E} < I = 61,32 \text{ cm}^4$$

$$= \frac{3969,95 \times 289^2}{(3,14)^2 \cdot 2,1 \cdot 10^6} < I = 61,32 \text{ cm}^4$$

$$= 16,014 \text{ cm}^4 < 61,32 \text{ cm}^4 \dots\dots(\text{Aman})$$

➤ **Perhitungan Pelat lantai**

- Pembebanan pelat lantai

Beban pada lantai adalah beban hidup dan beban berat sendiri, beban hidup $q = 500 \text{ kg/m}$, beban mati (tanpa balok) $q = 0,69 \text{ to/m}^2$

Beban terfaktor mengacu pada SKNI T.15 1991

$$q_d = 1,2 W_d + 1,6 W_l$$

$$= 1,2 \cdot 690 + 1,6 \cdot 500$$

$$= 1628 \text{ kgm} = 16280 \text{ N/m}$$

Direncanakan :

Tebal pelat = 120 mm

Lebar = 600 mm

Pelat tertumpu kantilever pada balok.

a. Bentang kantilever teoritis

a = 120 mm

l = L + a/2 = 600 + 120/2 = 660 mm

b. Periksa tebal pelat yang dipilih berhubungan dengan lendutan :

$$= \frac{\alpha.l}{h} \leq 30 ; h = 120 \text{ mm} ; l = 660 \text{ mm}$$

$\alpha = 2,4$ (untuk kantilever)

$$= \frac{2,4 \times 660}{120} \leq 30 = 13,2 \leq 30 \text{ tebal pelat memadai.}$$

- c. Menentukan momen lentur yang maksimum

Momen lentur yang terjadi pada ujung yang terjepit penuh adalah :

$$Md = \frac{1}{2} \cdot qd \cdot l^2$$

$$Md = \frac{1}{2} \cdot 1628 \cdot 0,660^2 = 3,545 \text{ kNm}$$

- d. Hitung tulangan ;

$$h = 120 \text{ mm}$$

$$c = 25 \text{ (lingkungan basah)}$$

Ø 10 diameter anggapan untuk batang tulangan utama

$$h = d + \frac{1}{2} \text{ tul. Utama} + c$$

$$d = 120 - 5 - 25 = 90 \text{ mm}$$

$$Md = 3,545 \text{ kNm} = 3,545 \cdot 10^6 \text{ kgmm}$$

$$f_s = 3300 \text{ kg/mm}^2$$

- e. Tulangan Geser

$$\text{Beton } c = 10 ; z = 0,85 d$$

$$A_s = \frac{Md}{f_s \cdot 0,925d} = \frac{3,545 \cdot 10^6}{180 \cdot 0,85 \cdot 120} = 257,44 \text{ mm}^2$$

$$\omega_o = \frac{100 \times 57,44}{1500 \times 90} = 0,1907$$

$$\omega_{\min} = 0,2 ; \omega_{\max} = 2,15$$

$$\omega_{\min} < \omega_o < \omega_{\max}$$

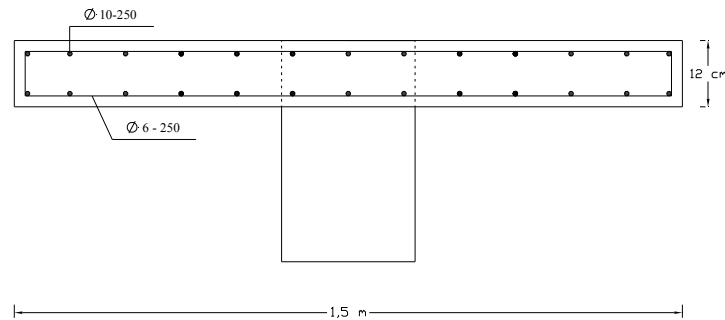
- f. Pilih tulangan

$$\text{Tulangan utama } A_s = 257,44 \text{ mm}^2$$

; pilih Ø 10 – 250

$$\text{Tulangan pembagi : 20\% dari } A_s = 257,44 \text{ mm}^2 = 51,58 \text{ mm}^2$$

; pilih Ø 6 - 250



Gambar 6.9. Penulangan Pelat Lantai

6.3. Perencanaan Saluran Pembawa

6.3.1. Perencanaan Hidraulis Saluran

Dasar perhitungan saluran pembawa dari bendung ke daerah irigasi desa Beseran adalah menggunakan persamaan Strickler yang dianggap sebagai aliran tetap yaitu sebagai berikut:

Persamaan :

$$V = k \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

Dimana :

V = kecepatan rata-rata

k = koefisien Strickler

R = jari-jari penampang hidraulis

I = kemiringan saluran

Diketahui :

$$V = 0,6 \text{ m/dtk}$$

$$Q = 0,4 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

$$B = 0,6 \text{ m}$$

$$m = 1$$

$$n = 60$$

Perhitungan :

$$Q = A \cdot V$$

$$0,4 = A \cdot 0,6$$

$$A = 0,4/0,6 = 0,667 \text{ m}^2$$

Bentuk penampang direncanakan menggunakan trapesium maka :

$$\begin{aligned} A &= (B + m h) h \\ &= (0,6 + 1 \cdot h)h \end{aligned}$$

$$0,667 = (0,6h + h^2)$$

$$h = 0,57 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} P &= B + 2h \sqrt{m^2 + 1} \\ &= 0,6 + 2h \sqrt{1^2 + 1} \\ &= 0,6 + 2 \cdot 0,57 = 1,74 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= \frac{A}{P} \\ &= \frac{0,667}{1,74} = 0,383 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V &= k \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \\ 0,6 &= 60 \cdot (0,323)^{2/3} \cdot I^{1/2} \\ 0,6 &= 28,246 \cdot I^{1/2} \\ I &= 0,00045123 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan didapat kedalaman air di saluran $h = 0,57 \text{ m}$ dan kemiringan dasar saluran rencana $I = 0,00045123$. Direncanakan tinggi saluran yaitu $h + \text{tinggi jagaan} = 0,57 + 0,23 = 0,8 \text{ m}$.

6.4. Analisis Stabilitas Bendung

Tipe Bendung

- mercu bendung : mercu ogee dengan bagian hulu miring 1:3
- jari – jari mercu : 1,75 m

Data Desain

1. Debit rencana (Q100) : 246,31 m³/s
2. Lebar total bendung (B) : 15 m
3. Lebar efektif (Be)
 - Tinggi mercu (p) : 1 m
 - K_p : 0,01 (ujung pilar bulat)
 - K_a : 0,1 (*abutment* bulat)

- Tinggi enersi di atas mercu (He) : 4,51 m
- Jumlah pilar (n) : 1

$$Be = B-2*(n Kp + Ka)*He$$

$$Be = 15-2*(1*0,01 + 0,1)* 3,05$$

$$= 13,72 \text{ m}$$

- 4. Tinggi jagaan (w) : 1,00 m
- 5. Elevasi mercu : + 651
- 6. Elevasi M.A hulu : + 655,05
- 7. Elevasi M.A hilir : + 652,47

Untuk menghitung stabilitas bendung harus di tinjau pada saat kondisi normal dan ekstrem seperti kondisi saat banjir. Ada beberapa gaya yang harus di hitung untuk mengetahui stabilitas bendung, antara lain :

- a. Berat sendiri Bendung
- b. Gaya Hidrostatik
- c. Gaya Angkat (*Up-lift*)
- d. Gaya Gempa
- e. Tekanan Tanah Pasif dan Aktif

6.4.1 Perhitungan Gaya – gaya pada saat kondisi normal

6.4.1.1 Perhitungan gaya

a. Berat sendiri Bendung

$$\gamma \text{ pasangan batu kali} = 22 \text{ kN/m}^2$$

lihat gambar 6.10 untuk melihat posisi notasi

Tabel 6.4 Hasil Perhitungan Berat Sendiri

No Gaya	Luas x massa jenis							Gaya Vertikal (-) kN	titik I	
									Lengan m	Momen
										Tahan (-) kNm
G1	1	x	1.5	x	1	x	22	33	4.7	155.10
G2	0.5	x	1	x	1.5	x	22	16.5	4.27	70.46
G3	1	x	0.4	x	1.5	x	22	13.2	4.2	55.44
G4	1	x	2	x	0.5	x	22	22	3.5	77.00
G5	1	x	1.5	x	3	x	22	99	1.8	178.20
G6	0.5	x	2	x	0.5	x	22	11	1.17	12.87

G7	1	x	2	x	2	x	22	88	0.5	44.00
G8	0.5	x	1.5	x	1	x	22	16.5	0.4	6.60
G9	0.5	x	3.5	x	1.5	x	22	57.75	1.41	81.43
G10	0.5	x	1.5	x	2	x	22	33	2.9	95.70
Total								674.41		1632.96

b. Gaya angkat (*uplift pressure*)

untuk menghitung tekanan ke atas maka dapat di lihat pada Tabel 6.2 dan Gambar 6.1 Sehingga rembesan yang terjadi sampai titik P.

Maka di dapat koefisien rembesan yang baru yaitu :

$$CL = \frac{Lv + 1/3Lh}{Hw} = \frac{4,1 + 1,3}{2,3} = 2,35$$

Tabel 6.5 Hasil Perhitungan Rembesan dan Tekanan Air pada saat normal

Titik	Garis	Panjang Rembesan			Tot (Lw) m	$\Delta H=Lw/Cw$ t/m2	H m	$P_x = H-\Delta H$ m
		LH	LV	1/3LH				
		m	m	m				
A					0	10.00	10.00	
B	A - B		1.2		1.2	0.51	22.00	3.00
C	B - C	0.6		0.2	1.4	0.60	22.00	21.40
D	C - D		0.8		2.2	0.94	15.00	14.06
E	D - E	1		0.3	2.5	1.06	15.00	13.94
F	E - F		0.7		3.2	1.36	20.00	18.64
G	F - G	1.5		0.5	3.7	1.57	22.00	20.43
H	G- H		2		5.7	2.43	43.00	40.57
I	H - I	1		0.3	6	2.55	43.00	40.45
J	I - J		2		8	3.40	22.00	18.60
Jumlah :		4.1		1.3				

Tabel 6.6 Hasil Perhitungan beban *Uplift pressure*

No Gaya	Luas x Tekanan	Gaya kNm	titik I		
			Lengan m	Momen Guling kNm	Momen Tahan kNm
U1	0.5 x 1.2 x (43 + 37.4)	48.24	2.60	125.42	
U2	0.5 x 0.6 x (37.4 + 36.5)	22.17	4.70	104.20	
U3	0.5 x 0.7 x (36.5 - 34.2)	0.75	-2.23		-1.67
	0.7 x (34.2)	22.23	-2.35		-52.24
U4	0.5 x 1 x (34.2 + 37.6)	35.90	3.50	125.65	
U5	0.5 x 0.7 x (37.6 + 34.4)	25.20	2.35	59.22	
U6	0.5 x 1.5 x (34.4 + 32)	49.80	2.25	112.05	

Laporan Tugas Akhir

*Perencanaan Teknis Dan Kajian Earned Value
Proyek Bendung Susukan Kabupaten Magelang*

*Didip Dimas P.B L2A 002 041
Reni Widnyastuti W.S L2A 005 098*

U7	0.5 x 2.1 x (32 - 21.6)	10.71	1.33	14.25	
	2.1 x (21.6)	44.50	1.00	44.50	
U8	0.5 x 1 x (21.6 + 20.1)	20.85	0.50	10.43	
	Jumlah	280.35		595.71	-52.91

c. Gaya Gempa

- Gaya akibat beban gempa berupa gaya horizontal (H_e) dan momen (M_e) besarnya :

$$H_e = E * G$$

Dimana E (koefisien gempa) = 0,14

Tabel 6.7 Hasil Perhitungan Beban Gempa

No Gaya	Koefisien Gempa	Gaya berat (G) kN	Gaya Gempa $K = E \times G$	titik I	
				Lengan m	Momen Guling kNm
K1	0.14	15.84	2.22	2.60	5.77
K2	0.14	3.08	0.43	2.46	1.06
K3	0.14	4.40	0.62	2.95	1.82
K4	0.14	11.00	1.54	2.95	4.54
K5	0.14	63.36	8.87	2.60	23.06
K6	0.14	11.00	1.54	2.40	3.70
K7	0.14	44.00	6.16	1.00	6.16
K8	0.14	7.92	1.11	1.33	1.47
K9	0.14	33.00	4.62	3.33	15.38
K10	0.14	14.30	2.00	3.53	7.07
Total		207.90	29.11		70.03

d. Gaya Hidrostatik

untuk mengetahui posisi notasi lihat Gambar 7.7

Tabel 6.8 Hasil Perhitungan Tekanan Hidrostatik

No Gaya	Luas x Tekanan							Gaya kN	titik I	
									Lengan m	Momen kNm
WH1	0,5	x	1	x	3	x	10	15	5,5	-82,5
WH2	0,5	x	1	x	3	x	10	15	3,53	52,95
Total								30		

e. Gaya akibat Tekanan Tanah

berdasarkan data dari penyelidikan tanah di hasilkan parameter tanah berupa :
angka pori (e) = 1,09 , rerata berat jenis (Gs) = 2,80 tegangan ijin = 6 kg/cm², Ø = 35°. Gaya akibat tekanan tanah ada dua macam :

1. Tekanan Tanah Aktif

$$Pa = \frac{1}{2} \gamma_{sub} \cdot Ka H^2$$

$$Ka = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)$$

$$\gamma_{sub} = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

$$\gamma_{sub} = \left[\gamma_w \frac{Gs + e}{1 + e} \right] - \gamma_w = \left[10 \frac{2,80 + 1,09}{1 + 1,09} \right] - 10 = 8,612 \text{ kN/m}^2$$

$$Ka = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{35}{2} \right) = 0,27$$

$$Pa = \frac{1}{2} \gamma_{sub} \cdot Ka H^2 = \frac{1}{2} \times 8,612 \times 0,27 \times 3,2^2 = 11,9 \text{ kN/m}^2$$

Tabel 6.9 Hasil Perhitungan Tekanan Tanah

No	Jenis	Gaya (kN)	Titik I	
			Lengan (m)	Momen (kNm)
1	Tekanan Tanah Aktif	11,9	2,4	28,56

Tabel 6.10 Rekapitulasi perhitungan Gaya - gaya

No	Jenis Gaya	Gaya		Momen	
		H (kN)	V (kN)	Tahan (kNm)	Guling (kNm)
1	Berat Sendiri		-474,41	-1632,96	
2	Gempa	29,11			70,03
3	Hidrostatik	30,00		-82,50	52,95
4	Uplift Pressure		280,35	-52,91	595,71
5	Tekanan Tanah aktif	11,90			28,56
	Jumlah	71,01	194,06	-1768,37	747,25

$$R_H = 71,01 \text{ kN}$$

$$R_V = 194,06 \text{ kN}$$

$$\Sigma Mt = -912,36 \text{ kNm}$$

$$\Sigma Mg = 747,25 \text{ kNm}$$

6.4.1.2 Stabilitas Bendung pada saat kondisi normal

Stabilitas di analisa terhadap :

1. Guling

$$Sf = \frac{\sum Mt}{\sum Mg} \geq 1,5$$

$$Sf = \frac{1768,37}{747,25} = 2,37 \geq 1,5 \text{ (Aman)}$$

2. Geser

$$Sf = \frac{\sum Rv}{\sum Rh} f \geq 1,5 ; \text{ nilai } f = 0,75 .$$

$$Sf = \frac{194,06}{71,01} \times 0,75 = 2,04 \geq 1,5 \text{ (Aman)}$$

3. Eksentrisitas

$$a = \frac{\sum Mt - \sum Mg}{\sum V} = \frac{1768,37 - 747,251}{194,06} = 5,261 \text{ m}$$

$$e = (B/2 - a) < B/6$$

$$e = (5,8/2 - 5,261) = -2,36 < 5,8 / 6 = 0,966 \text{ (Aman)}$$

4. Keamanan terhadap tekanan tanah

$$- \sigma = \frac{Rv}{L} \left(1 \pm \frac{6e}{L} \right)$$

$$- \sigma_1 = \frac{194,06}{5,8} \left(1 + \frac{6 \times (-2,36)}{5,8} \right) = - 48,22 \text{ kN/m}^2$$

$$- \sigma_2 = \frac{194,06}{5,8} \left(1 - \frac{6 \times (-2,36)}{5,8} \right) = 19,85 \text{ kN/m}^2$$

Berdasarkan penyelidikan tanah tegangan ijin di lokasi Bendung = $6,0 \text{ kg/cm}^2 = 550,8 \text{ KN/m}^2$ berarti **Aman**.

6.4.2. Stabilitas Selama Terjadi Banjir Rencana

Pada saat banjir gaya – gaya bekerja ada yang mengalami perubahan seperti gaya Tekan ke atas (*Uplift Pressure*) dan Hidrostatik, sementara gaya – gaya yang tetap adalah : Gaya akibat beban sendiri, Gaya Gempa, Tekanan Tanah, dan Gaya akibat Lumpur.

6.4.2.1. Gaya Tekan ke atas (*Uplift Pressure*)

Akibat banjir yang terjadi, maka ada perubahan garis rembesan (*creep Line*) yaitu:

1. $Q_{100} = 246,31 \text{ m}^3/\text{dt}$
2. Muka air hulu = +655,05 m
3. Bagian hilir = +652,47 m
4. $H_w = 655,05 - 652,47 = 2,58 \text{ m}$
5. $CL = \frac{4,1 + 1,3}{2,58} = 2,09$

Tabel 6.11 Hasil Perhitungan Rembesan dan Tekanan Air pada saat banjir

Titik	Garis	Panjang Rembesan			Tot (Lw) m	$\Delta H=Lw/Cw$ t/m ²	H	$P_x = H - \Delta H$
		LH	LV	1/3LH				
		m	m	m				
A				0		40.50	40.50	
B	A - B		1.2		1.2	0.59	52.50	51.91
C	B - C	0.6		0.2	1.4	0.68	52.50	51.82
D	C - D		0.8		2.2	1.07	47.20	46.13
E	D - E	1		0.3	2.5	1.22	47.20	45.98
F	E - F		0.7		3.2	1.56	52.50	50.94
G	F - G	1.5		0.5	3.7	1.80	52.50	50.70
H	G - H		2		5.7	2.78	88.50	85.72
I	H - I	1		0.3	6	2.93	88.50	85.57
J	I - J		2		8	3.90	68.50	64.60
Jumlah :		4.1		1.3	33.9			

Tabel 6.12 Hasil Perhitungan beban *Uplift pressure* kondisi banjir

No Gaya	Luas x Tekanan							Gaya kNm	titik I				
									Lengan m	Momen Guling kNm	Momen Tahan kNm		
U1	0.5	x	1.2	x	(	40.5	+	51.91	)	55.45	2.60	144.16	
U2	0.5	x	0.6	x	(	51.91	+	51.82	)	31.12	4.70	146.26	
U3	0.5	x	0.7	x	(	51.82	-	46.13	)	1.85	-2.23		
										29.98	-2.35	-4.12	
U4	0.5	x	1	x	(	46.13	+	45.98	)	46.06	3.50	161.19	
U5	0.5	x	0.7	x	(	45.98	+	50.94	)	33.92	2.35	79.72	
U6	0.5	x	1.5	x	(	50.94	+	50.7	)	76.23	2.25	171.52	
										36.07	1.33	47.97	
U7	0.5	x	2.1	x	(	85.72	-	50.7	)	176.58	1.00	176.58	
										85.65	0.50	42.82	
U8	0.5	x	1	x	(	85.72	+	85.57	)	85.65	0.50	42.82	
Jumlah										572.90		970.23	-74.59

Tabel 6.13 Hasil Perhitungan gaya Hidrostatik kondisi banjir

No Gaya	Luas x Tekanan							Gaya	titik I	
									Lengan	Momen
								kN	m	kNm
WV1			3.05	x	2.5	x	10	76.25	-4.25	-324.06
WV2	0.5	x	1	x	3	x	10	15.00	-4.00	-60.00
WV3	0.5	x	3	x	3	x	10	45.00	-1.25	-56.25
WV4			1.8	x	4	x	10	72.00	-0.25	-18.00
WV5	0.5	x	5.31	x	2.5	x	10	66.38	1.25	82.97
WH1	0.5	x	4.5	x	4.5	x	10	101.25	4.55	460.69
WH2	0.5	x	5.31	x	5.31	x	10	140.98	-3.77	-531.50
Total								516.86		-446.15

Tabel 6.14 Rekapitulasi perhitungan Gaya – gaya pada kondisi banjir

No	Jenis Gaya	Gaya		Momen	
		H (kN)	V (kN)	Tahan (kNm)	Guling (kNm)
1	Berat Sendiri		-674.41	-1632.96	
2	Gempa	29.11			70.03
3	Hidrostatik	39.73	274.63	-446.15	
4	<i>Uplift Pressure</i>		572.90	-74.90	970.23
5	Tekanan Tanah aktif	29.07			62.98
	Jumlah	97.90	173.12	-2154.01	1103.23

$$R_H = 97,9 \text{ kN}$$

$$R_V = -173,12 \text{ kN}$$

$$\Sigma Mt = -2154,01 \text{ kNm}$$

$$\Sigma Mg = 1103,23 \text{ kNm}$$

6.4.2.2 Stabilitas Bendung pada saat kondisi Banjir

Stabilitas di analisa terhadap :

1. Guling

$$Sf = \frac{\Sigma Mt}{\Sigma Mg} \geq 1,25$$

$$Sf = \frac{2154,01}{1103,23} = 1,95 \geq 1,25 \text{ (Aman)}$$

2. Geser

$$Sf = \frac{\Sigma R_V}{\Sigma R_H} f \geq 1,25 \text{ ; nilai } f = 0,75$$

$$Sf = \frac{173,12}{97,9} \times 0,75 = 1,32 \geq 1,25 \text{ (Aman)}$$

3. Eksentrisitas

$$a = \frac{\Sigma Mt - \Sigma Mg}{\Sigma V} = \frac{2154,01 - 1103,23}{173,12} = 6,07 \text{ m}$$

$$e = (B/2 - a) < B/6$$

$$e = (5,8/2 - 6,07) = -3,17 < 5,8/6 = 0,96 \text{ (Aman)}$$

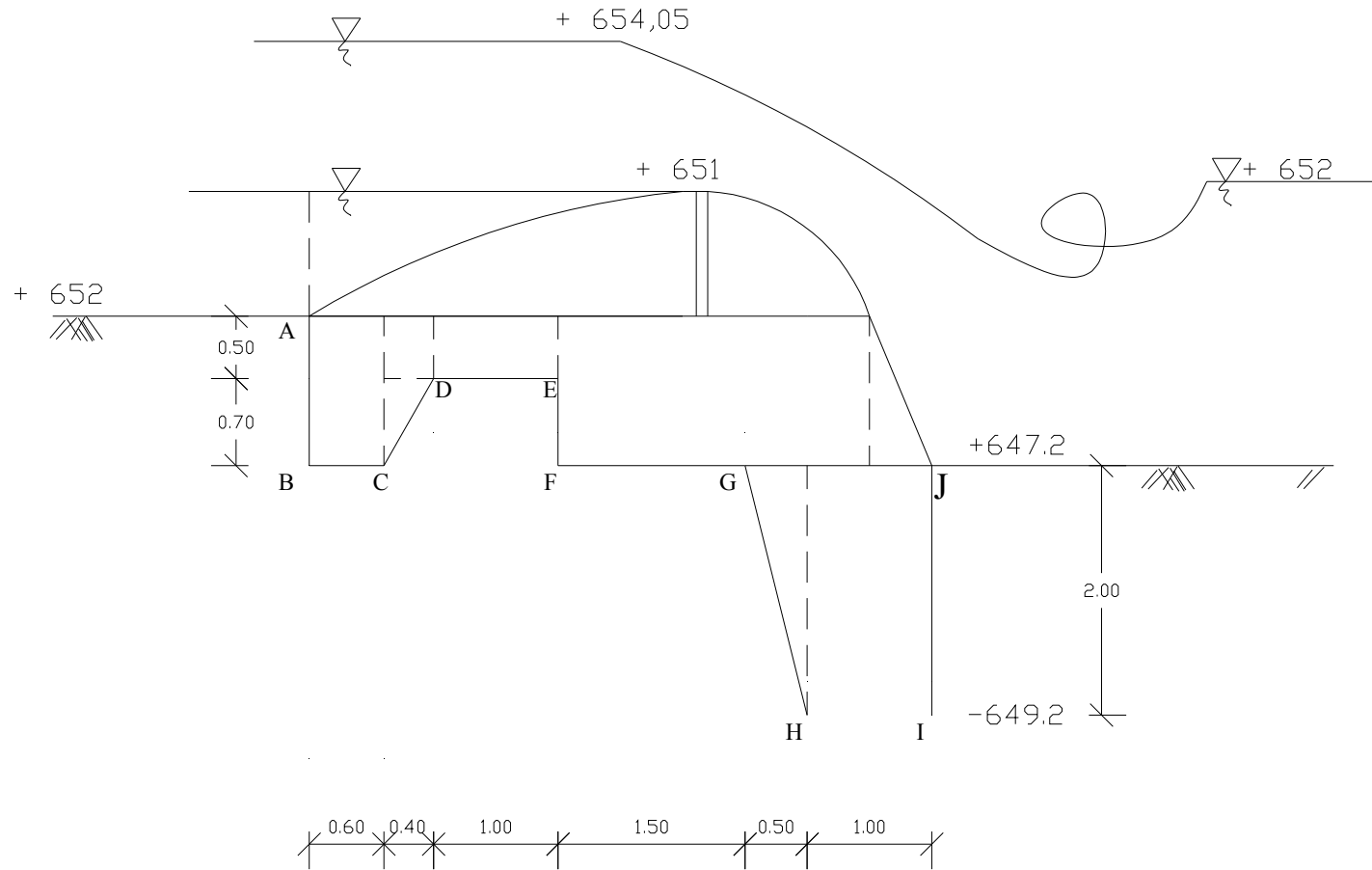
4. Keamanan terhadap tekanan tanah

$$-\sigma = \frac{R_V}{L} \left(1 \pm \frac{6e}{L} \right)$$

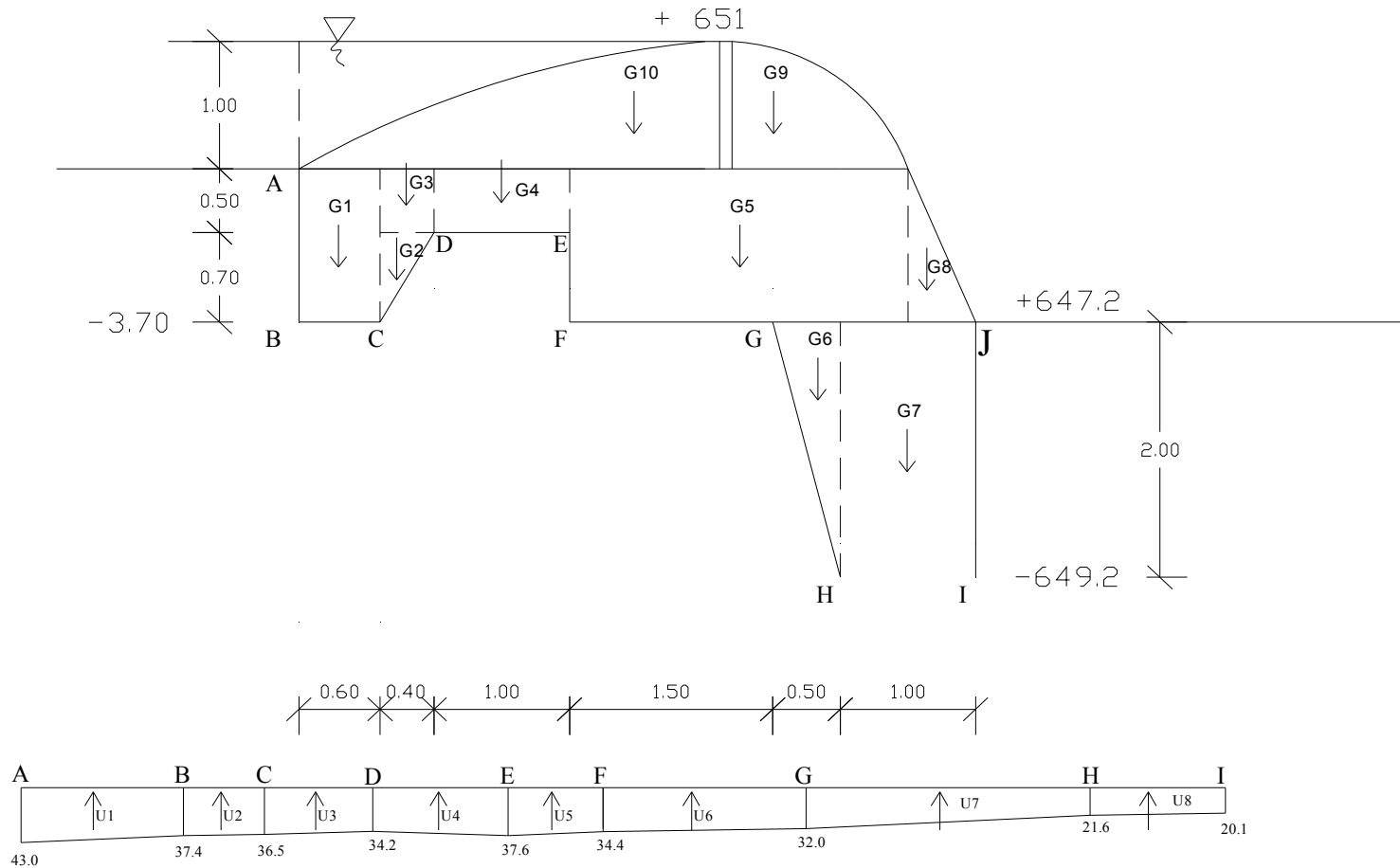
$$-\sigma_1 = \frac{173,12}{5,8} \left(1 + \frac{6 \times (-3,17)}{5,8} \right) = -68,05 \text{ kN/m}^2$$

$$-\sigma_2 = \frac{173,12}{5,8} \left(1 - \frac{6 \times (-3,17)}{5,8} \right) = 127,76 \text{ kN/m}^2$$

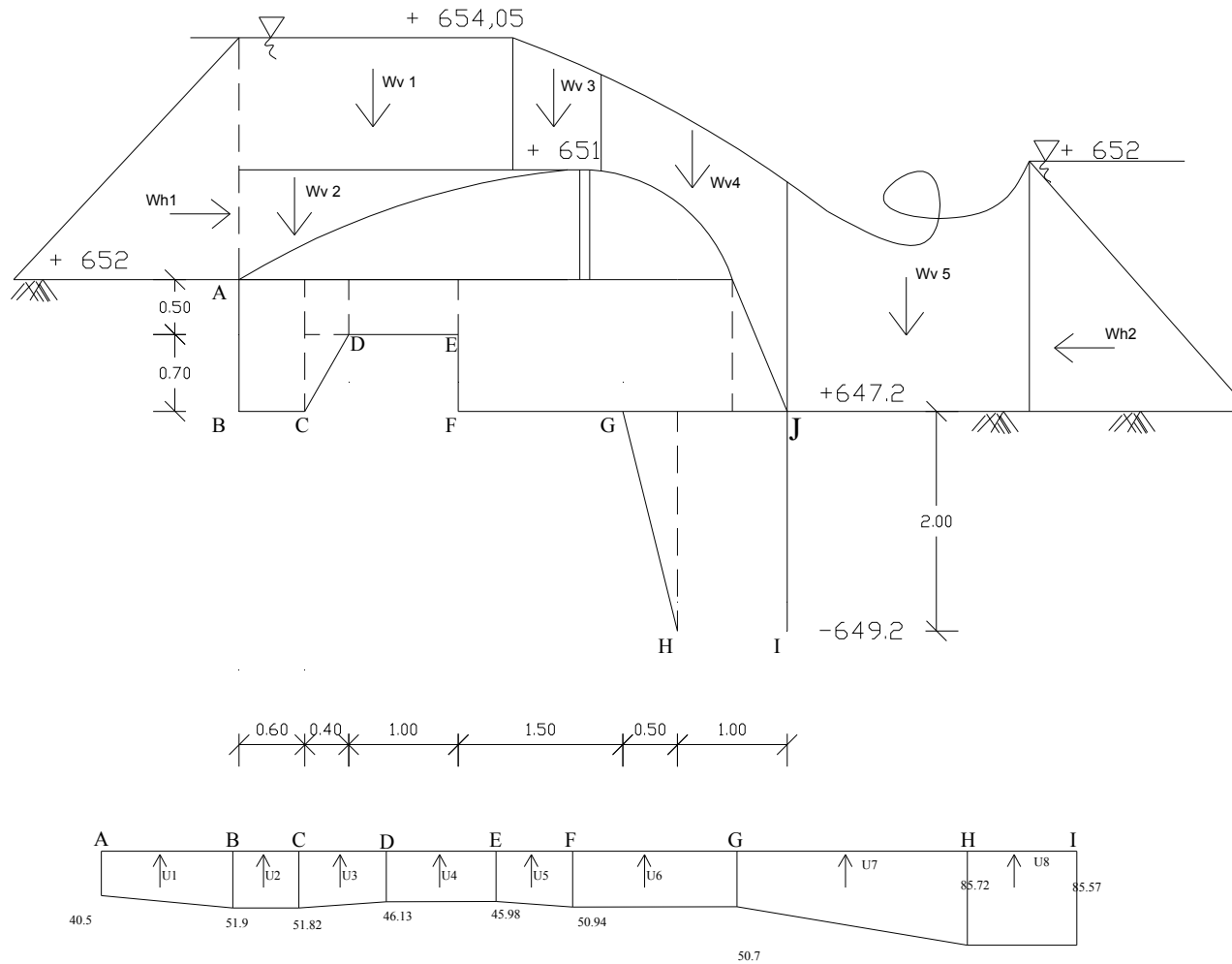
Berdasarkan penyelidikan tanah tegangan ijin di lokasi Bendung = $6,0 \text{ kg/cm}^2 = 550,8 \text{ KN/m}^2$ berarti **Aman**.



Gambar 6.10 Bendung dengan kondisi air



Gambar 6.11 Gaya yang bekerja pada bendung dengan kondisi air normal



Gambar 6.12 Gaya yang bekerja pada bendung dengan kondisi air banjir

BAB VII RENCANA ANGGARAN BIAYA

7.1. URAIAN UMUM

Pelaksanaan suatu pembangunan tidak terlepas dari anggaran biaya yang diperlukan. Untuk suatu proyek, diperlukan jadwal yang efektif dan efisien sehingga akan menghemat jumlah anggaran yang diperlukan. Pada bab ini akan diuraikan perhitungan rencana anggaran biaya mulai dari harga satuan pekerjaan sampai dengan jadwal yang nantinya akan digunakan sebagai acuan di dalam pelaksanaan.

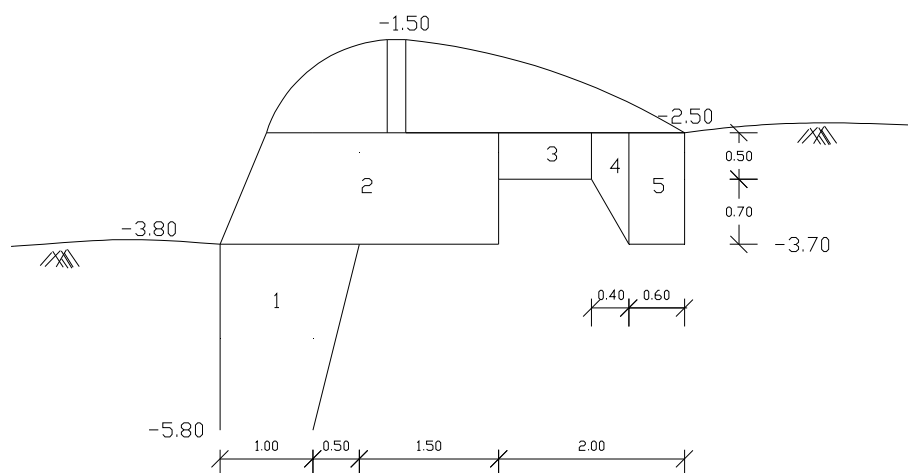
7.2. RENCANA ANGGARAN BIAYA

Rencana Anggaran Biaya (RAB) adalah perhitungan biaya suatu konstruksi berdasarkan gambar bestek dalam persyaratan terlampir.

Tujuan pembuatan rencana anggaran biaya adalah untuk memberikan gambaran yang pasti mengenai bentuk, besar biaya, pelaksanaan dan penyelesaian.

7.2.1. Perhitungan Volume Pembangunan Bendung Susukan

7.2.1.1. Pekerjaan Tanah



Gambar 7.1. Tampak Samping Bendung

a. Galian tanah bendung

- Lebar sungai = 15 m
- Panjang bendung = 5 m
- Tinggi = - 2,5 m(tanah asli sungai)
- Tinggi galian tubuh bendung (t)
 - Level terbawah = - 5,50 m
 - Maka (t) = -2,5 – (-5,5) = 3 m

Untuk volume tubuh bendung adalah :

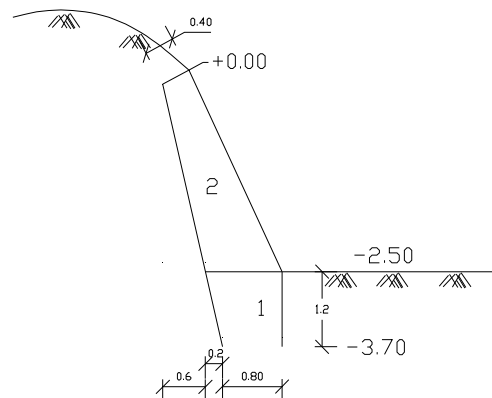
$$\begin{aligned} V &= p \times l \times t \\ &= 5 \times 15 \times 3 \\ &= 225 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

b. Timbunan tanah kembali

$$\begin{aligned} V &= 1/5 \times \text{galian tanah} \\ &= 1/5 \times 225 \text{ m}^3 = 45 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

7.2.1.2. Pekerjaan pasangan batu kali

a. Dinding penahan tanah pada hulu bendung



Gambar 7.2. Dinding Penahan Tanah bagian hulu bendung

Panjang DPT : 10m

Luasan :

$$\begin{aligned} L_1 &= (1 + 0,8) \times 1,2 \times \frac{1}{2} \\ &= 1,08 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

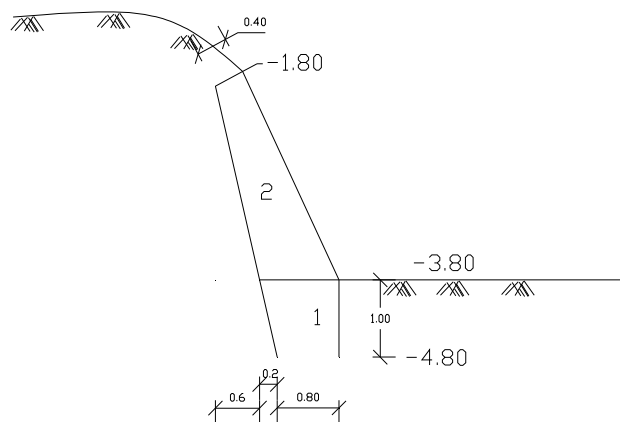
$$\begin{aligned} L_2 &= (1,6 + 0,4) \times 2,5 \times \frac{1}{2} - (0,6 \times 2,5 \times \frac{1}{2}) \\ &= 1,75 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$L_{\text{TOT}} = 2,83 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi Volumennya adalah} &= L_{\text{TOT}} \times \text{panjang DPT} \times \text{jumlah DPT di hulu} \\ &= 2,83 \times 10 \times 2 \\ &= 56,6 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

b. Dinding penahan tanah pada hilir bendung

- Bagian kiri bendung



Gambar 7.3. Dinding Penahan Tanah bagian hilir sebelah kiri bendung

Panjang DPT = 10 m

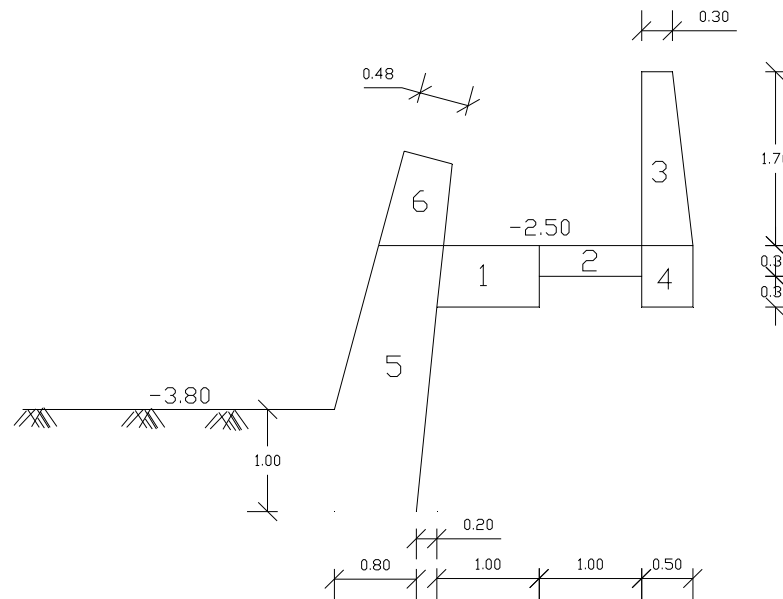
$$\begin{aligned} L_1 &= (1 + 0,8) \times 1 \times 0,5 \\ &= 0,9 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_2 &= (1,6 + 0,4) \times 2 \times 0,5 - (0,6 \times 2 \times 0,5) \\ &= 1,4 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$L_{\text{TOT}} = 2,3 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Volume pekerjaan} &= L \times \text{panjang bendung} \\ &= 2,3 \times 10 \\ &= 23 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- Bagian kanan bendung



Gambar 7.4. Dinding Penahan Tanah bagian hilir sebelah kanan bendung

Panjang DPT = 41 m

$$L_1 = 1 \times 0,6 = 0,6 \text{ m}^2$$

$$L_2 = 1 \times 0,3 = 0,3 \text{ m}^2$$

$$L_3 = (0,5+0,3) \times 1,7/2 = 0,68 \text{ m}^2$$

$$L_4 = 0,5 \times 0,6 = 0,3 \text{ m}^2$$

$$L_{5+6} = (1 + 0,8) \times 1 \times 0,5 + (1,6 + 0,4) \times 2 \times 0,5 - (0,6 \times 2 \times 0,5) \\ = 2,3 \text{ m}^2$$

$$L_{TOT} = 0,6 + 0,3 + 0,68 + 0,3 + 2,3 \\ = 4,18 \text{ m}^2$$

$$\text{Volume} = 41 \times 4,18 = 171,51 \text{ m}^3$$

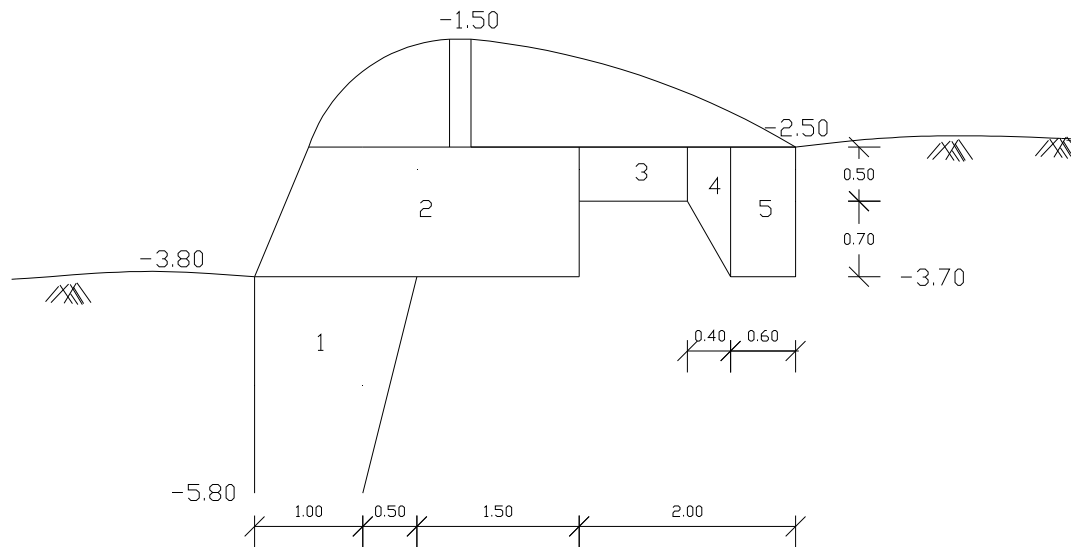
Pada saluran pelimpah :

$$L_{TOT} = 4,18 - (0,6+0,4) \times 0,7/2 \\ = 3,83 \text{ m}^2$$

Lebar saluran = 1 m

$$\text{Jadi volumenya} = 3,83 \times 1 = 3,83 \text{ m}^3$$

- Bagian utama bendung



Gambar 7.5. Tubuh Bendung

Panjang bendung = 15m

Ditambah dengan sayap bendung = 1m pada tiap sisi.

Jadi total panjang bendung = 15 + 1 + 1 = 17 m

$$L_1 = (1 + 1,5) \times 2/2 = 2,5 \text{ m}^2$$

$$L_2 = (3 + 2,8) \times 1,2/2 = 3,48 \text{ m}^2$$

$$L_3 = 0,5 \times 1 = 0,5 \text{ m}^2$$

$$L_4 = (0,5 + 1,2) \times 0,4/2 = 0,34 \text{ m}^2$$

$$L_5 = 0,5 \times 1,2 = \underline{0,6 \text{ m}^2}$$

$$= 7,42 \text{ m}^2$$

$$\text{Volume pasangan batu kali} = 17 \times 7,42$$

$$= 126,14 \text{ m}^2$$

$$\text{Total volume} = 56,6 + 23 + 171,51 + 3,83 + 126,14$$

$$= 380,880 \text{ m}^3$$

7.2.1.3. Pekerjaan siaran

- Bagian hulu dari bendung

$$\text{Panjang} = 10\text{m}$$

$$\text{Tinggi} = 2,5 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = 1,5 \text{ m}$$

$$\text{Jadi volumenya} = 10 \times 2,5 \times 1,5 \times 2 = 75 \text{ m}^2$$

- Bagian hilir dari bendung

Sebelah kiri dari bendung :

$$\text{Panjang} = 10 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi} = 2,5 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = 1,5 \text{ m}$$

$$\text{Volume} = 10 \times 2,5 \times 1,5 = 37,5 \text{ m}^2$$

Sebelah kanan dari bendung

$$\text{Panjang} = 26 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi} = 2 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = 1,5 \text{ m}$$

$$\text{Volume} = 26 \times 2 \times 1,5 = 78 \text{ m}^2$$

Pada bagian pelimpah saluran

$$\text{Panjang} = 1 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = 1,5 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi} = 0,8 \text{ m}$$

$$\text{Volume} = 1 \times 1,5 \times 0,8 = 1,2 \text{ m}^2$$

- Bagian tubuh bendung

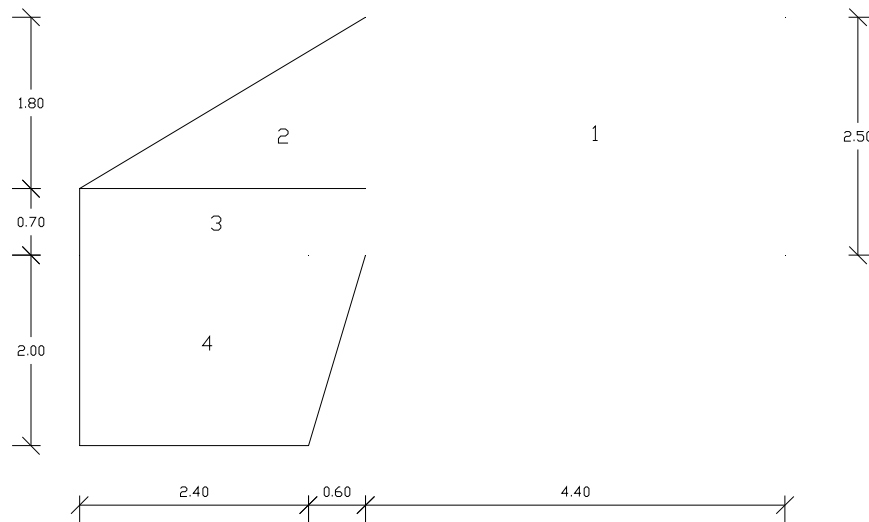
$$L_1 = (1,3 \times 1) \times 1/2 = 0,65 \text{ m}^2$$

$$L_2 = (3 \times 1) \times 1/2 = 1,5 \text{ m}^2$$
$$= 2,15 \text{ m}^2$$

Panjang bendung = 15 m

$$\text{Jadi volume pekerjaan siaran} : 15 \times 2,15 = 32,25 \text{ m}^2$$

- Bagian kanan dan kiri dari bendung (sayap bendung)



Gambar 7.6. Sayap Bendung

$$\begin{aligned}
 L_1 &= 4,4 \times 2,5 &= 11 \text{ m}^2 \\
 L_2 &= 1,8 \times 3 \times 0,5 &= 2,7 \text{ m}^2 \\
 L_3 &= 0,7 \times 3 &= 2,1 \text{ m}^2 \\
 L_4 &= (3 + 2,4) \times 2/2 &= \underline{7,4 \text{ m}^2} \\
 & &= 23,2 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Lubang pada bendung, digunakan sebagai pelimpah

$$\text{Lebar} = 0,4 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi} = 1,8 \text{ m}$$

$$\text{Luas lubang} = 0,4 \times 1,8 = 0,72 \text{ m}^2$$

Dari perhitungan diatas, didapatkan :

$$\text{Volume bagian kiri bendung} : 1,5 \times 23,2 = 34,8 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume bagian kanan bendung} : 1,5 \times (23,2 - 0,72) = 33,72 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total pekerjaan siaran} &= 32,25 + 78 + 1,2 + 37,5 + 75 + 34,8 + 33,72 \\
 &= 352,760 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

7.2.1.4. Pekerjaan gebalan rumput

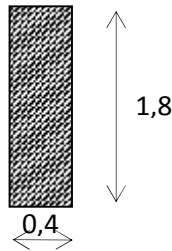
Panjang = 24,24 m

Lebar = 2,5 m

Luasan = $2,5 \times 24,24 = 60,6 \text{ m}^2$

7.2.1.5. Pekerjaan beton

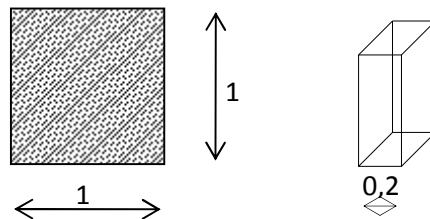
- Pada saluran irigasi di tubuh bendung



Tebal = 0,1 m
V = $0,4 \times 1,8 \times 0,1$
= $0,072 \text{ m}^3$

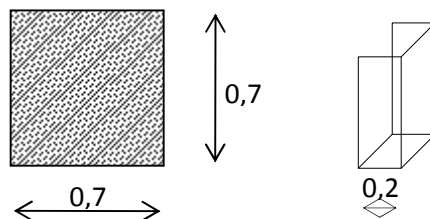
Terdapat dua pintu air = $2 \times 0,072$
= $0,144 \text{ m}^3$

- Sebagai pintu air pada bendung.



V = $1 \times 1 \times 0,2$
= $0,2 \text{ m}^3$

- Sebagai penutup saluran,



Tebal = 0,2 m
Volume = $0,7 \times 0,7 \times 0,2$
= $0,098 \text{ m}^3$

Total pekerjaan beton bertulang = $0,144 + 0,098 + 0,2$
= $0,42 \text{ m}^3$

7.2.2 Daftar Harga Satuan Upah, Bahan dan Alat

Pekerjaan : Pembangunan Bendung Susukan di Kabupaten Magelang
Lokasi : Desa Beseran, Kecamatan Kaliangkrik, Kabupaten Magelang,
Propinsi Jawa Tengah.

Tabel 7.1 Daftar Harga Satuan Upah, Bahan

NO	JENIS	SATUAN	HARGA SATUAN
I	UPAH		
1	Pekerja	orang/hari	Rp 17,850.00
2	Mandor	orang/hari	Rp 25,500.00
3	Tukang Batu	orang/hari	Rp 24,750.00
4	Tukang Kayu	orang/hari	Rp 25,000.00
5	Tukang Besi	orang/hari	Rp 24,750.00
6	Kepala Tukang Batu	orang/hari	Rp 26,500.00
7	Kepala Tukang Kayu	orang/hari	Rp 27,000.00
8	Kepala Tukang Besi	orang/hari	Rp 26,500.00
9	Pengayam bronjong	orang/hari	Rp 25,000.00
II	BAHAN		
1	Batu kali belah	m3	Rp 95,500.00
2	Batu kali blondos	m3	Rp 90,000.00
3	Batu pecah 2/3	m3	Rp 96,500.00
4	Batu beton U 10	kg	Rp 5,500.00
5	Ijuk	kg	Rp 3,000.00
6	Kawat Ø 4mm Digalvanis (U/bronjong)	kg	Rp 11,000.00
7	Kawat pengikat / bendrat	kg	Rp 9,000.00
8	Kayu perancah/dolken uk dia 8-10 cm	m3	Rp 29,000.00
9	Paku	kg	Rp 9,000.00
10	Papan Bekisting	m3	Rp 590,000.00
11	Pasir pasang	m3	Rp 97,000.00
12	Pasir Urug	m3	Rp 55,000.00
13	P C.	kg	Rp 745.00
14	Minyak Bekisting	ltr	Rp 4,300.00
15	Balok Kayu	m3	Rp 2,350,000.00
16	Plywood tebal 9 mm	lbr	Rp 75,000.00
17	Pipa PVC Ø 2	bt	Rp 128,000.00
18	Lempengan / Gebalan rumput	m2	Rp 1,150.00
19	Tusuk bambu	bh	Rp 200.00

(Sumber : Informasi harga satuan bahan dan upah pekerjaan konstruksi wilayah Kabupaten Magelang 2007)

7.2.3. Analisis Harga Satuan Pekerjaan

Tabel 7.2 Analisis Harga Satuan Pekerjaan

A.1	1 m3 Galian Tanah Biasa				
	0.750	Or	Pekerja	Rp. 17,850.00	Rp. 13,387.50
	0.025	Or	Mandor	Rp. 25,500.00	Rp. 637.50
					Rp. 14,025.00
A.3	1 m3 Galian Tanah Gragal				
	1.500	Or	Pekerja	Rp. 17,850.00	Rp. 26,775.00
	0.050	Or	Mandor	Rp. 25,500.00	Rp. 1,275.00
					Rp. 28,050.00
A.4	1 m3 Galian Tanah Lumpur				
	1.500	Or	Pekerja	Rp. 17,850.00	Rp. 26,775.00
	0.050	Or	Mandor	Rp. 25,500.00	Rp. 1,275.00
A.6	1 m3 Galian Tanah Diangkut Sejauh 30M'				
	0.330	Or	Pekerja	Rp. 17,850.00	Rp. 5,890.50
	0.010	Or	Mandor	Rp. 25,500.00	Rp. 225.00
					Rp. 6,145.50
A.7	1 m3 Tanah Diangkut Dengan Jarak +50m				
	$K = a / 275 (L + 75)$ K = Biaya yang dicari per m3 a = Upah pekerja L = Jauh jarak angkut				
	$K = Rp. 17,850.00 / 275 (50 + 75)$				Rp. 8,113.64
A.7	1 m3 Tanah Diangkut Dengan Jarak +100m				
	$K = a / 275 (L + 75)$ K = Biaya yang dicari per m3 a = Upah pekerja L = Jauh jarak angkut				
	$K = Rp. 17,850.00 / 275 (100 + 75)$				Rp. 11,359.09
A.7	1 m3 Tanah Diangkut Dengan Jarak +500m				
	$K = a / 275 (L + 75)$ K = Biaya yang dicari per m3 a = Upah pekerja L = Jauh jarak angkut				
	$K = Rp. 17,850.00 / 275 (500 + 75)$				Rp. 37,322.73
A.16	1 m3 Tanah Diratakan dan Ditimbis				
	0.250	Or	Pekerja	Rp. 17,850.00	Rp. 4,462.50
	0.010	Or	Mandor	Rp. 25,500.00	Rp. 225.00
					Rp. 4,687.50
	Timbunan Tanah (A.1 + A.16)				Rp. 18,742.50
	Timbunan Tanah A.1 + A.16 + A.6 (diangkut 30m)				Rp. 24,888.00

Laporan Tugas Akhir

Perencanaan Teknis Dan Kajian Earned Value
Proyek Bendung Susukan Kabupaten Magelang

Didip Dimas P.B L2A 002 041
Reni Widayastuti W.S L2A 005 098

	Timbunan Tanah A.1 + A.16 + A.7 (diangkut 50m)			Rp.	26,856.14
	Timbunan Tanah A.1 + A.16 + A.7 (diangkut 100m)			Rp.	30,101.59
	Timbunan Tanah A.1 + A.16 + A.7 (diangkut 500m)			Rp.	56,065.23
B.1	1 m2 Memasang Rumput Lempengan/ Gebalan Rumput				
	1.000 m2 Rumput Lempengan	Rp.	1,150.00	Rp.	1,150.00
	1.000 bh Tusuk Bambu	Rp.	200.00	Rp.	200.00
	0.330 Or Pekerja	Rp.	17,850.00	Rp.	5,890.50
	0.010 Or Mandor	Rp.	25,500.00	Rp.	255.00
				Rp.	7,495.50
B.2	1 m2 Mengangkut Rumput Lempengan/ Gebalan Rumput				
	1.000 m2 Rumput Lempengan	Rp.	1,150.00	Rp.	1,150.00
	1.000 bh Tusuk Bambu	Rp.	200.00	Rp.	200.00
	0.330 Or Pekerja	Rp.	17,850.00	Rp.	589.00
	0.010 Or Mandor	Rp.	25,500.00	Rp.	25.50
				Rp.	1,964.55
	Jadi Gebalan Rumput (B.1 + B.2)			Rp.	9,460.05
G.32 h	1m3 Pasangan Batu Belah Camp. 1PC : 4PS				
	1.200 m3 Batu Belah	Rp.	95,500.00	Rp.	114,600.00
	162.880 kg PC	Rp.	745.00	Rp.	121,345.60
	0.522 m3 Pasir Pasang	Rp.	97,000.00	Rp.	50,643.00
	1.200 Or Tukang Batu	Rp.	24,750.00	Rp.	29,700.00
	0.120 Or Kepala Tukang Batu	Rp.	26,500.00	Rp.	3,180.00
	3.600 Or Pekerja	Rp.	17,850.00	Rp.	64,260.00
	0.180 Or Mandor	Rp.	25,500.00	Rp.	4,590.00
				Rp.	388,309.60
G.32 h'	1m3 Pasangan Batu Belah Camp. 1PC : 4PS (batu bekas bongkaran)				
	m3 Batu Belah	Rp.	95,500.00	Rp.	0.00
	162.880 kg PC	Rp.	745.00	Rp.	121,345.60
	0.522 m3 Pasir Pasang	Rp.	97,000.00	Rp.	50,643.00
	1.200 Or Tukang Batu	Rp.	24,750.00	Rp.	29,700.00
	0.120 Or Kepala Tukang Batu	Rp.	26,500.00	Rp.	3,180.00
	3.600 Or Pekerja	Rp.	17,850.00	Rp.	64,260.00
	0.180 Or Mandor	Rp.	25,500.00	Rp.	4,590.00
				Rp.	273,709.60
G.51.c	1m2 Pasangan Siaran Camp. 1PC:2PS				
	5.270 kg PC	Rp.	745.00	Rp.	3,926.15
	0.0085 m3 Pasir Pasang	Rp.	97,000.00	Rp.	824.50
	0.120 Or Tukang Batu	Rp.	24,750.00	Rp.	2,970.00
	0.012 Or Kepala Tukang Batu	Rp.	26,500.00	Rp.	318.00
	0.360 Or Pekerja	Rp.	17,850.00	Rp.	6,426.00
	0.018 Or Mandor	Rp.	25,500.00	Rp.	459.00
				Rp.	14,923.65

	1 m2 Pembuatan Batu Segi 6				
	0.540	Or	Pekerja	Rp. 17,850.00	Rp. 9,639.00
	0.027	Or	Mandor	Rp. 25,500.00	Rp. 688.50
					Rp. 10,327.50
	Pasangan Siaran Camp.1PC:2PS				Rp. 25,251.15
G.50.b	1m2 Pasangan Plesteran Camp. 1PC:3PS				
	8.160	kg	PC	Rp. 745.00	Rp. 6,079.20
	0.0194	m3	Pasir Pasang	Rp. 97,000.00	Rp. 1,881.80
	0.200	Or	Tukang Batu	Rp. 24,750.00	Rp. 4,950.00
	0.020	Or	Kepala Tukang Batu	Rp. 26,500.00	Rp. 530.00
	0.400	Or	Pekerja	Rp. 17,850.00	Rp. 7,140.00
	0.020	Or	Mandor	Rp. 25,500.00	Rp. 510.00
					Rp. 21,091.00
G.5.b	3 m3 Pasang Bronjong Kawat Ø4mm				
	67.500	kg	Kawat digalvanis Ø Menganyam	Rp. 11,000.00	Rp. 742,500.00
	2.200	Or	Tukang	Rp. 25,000.00	Rp. 55,000.00
	1.800	Or	Pekerja	Rp. 17,850.00	Rp. 32,130.00
	0.080	Or	Mandor	Rp. 25,500.00	Rp. 2,040.00
			Mengisi		
	3.000	m3	Batu Belah	Rp. 95,500.00	Rp. 286,000.00
	4.500	Or	Pekerja	Rp. 17,850.00	Rp. 80,325.00
	0.075	Or	Mandor	Rp. 25,500.00	Rp. 1,912.50
					Rp.1,200,407.50
	Jadi m3 = 1/3 x Rp. 1,200,407.50				Rp. 400,135.83
Supl.V	1m3 Beton Bertulang Camp.1PC:2PS:3KRL				
G.41	1m3 Beton Cor Camp.1PC:2PS:3KRL				
a.	340.000	kg	PC	Rp. 745.00	Rp. 253,300.00
	0.540	m3	Pasir Pasang	Rp. 97,000.00	Rp. 52,380.00
	0.820	m3	Batu Pecah 2/3	Rp. 96,500.00	Rp. 79,130.00
	1.000	Or	Tukang Batu	Rp. 24,750.00	Rp. 24,750.00
	0.100	Or	Kepala Tukang Batu	Rp. 26,500.00	Rp. 2,650.00
	6.000	Or	Pekerja	Rp. 17,850.00	Rp. 107,100.00
	0.300	Or	Mandor	Rp. 25,500.00	Rp. 7,650.00
					Rp. 526,960.00
b.	Tenaga Pembesian tiap 100kg. Diambil 3/4 1.2				
	9.000	Or	Tukang Besi	Rp. 24,750.00	Rp. 222,750.00
	3.000	Or	Kepala Tukang Besi	Rp. 26,500.00	Rp. 79,500.00
	9.000	Or	Pekerja	Rp. 17,850.00	Rp. 160,650.00
					Rp. 462,900.00
	Diambil 3/4 x Rp. 462,900.00				Rp. 347,175.00

Bahan						
Pembesian						
110.000	kg	Besi Beton	Rp.	5,500.00	Rp.	605,000.00
2.000	kg	Bendrat	Rp.	9,000.00	Rp.	18,000.00
						Rp. 623,000.00
Jadi = 1.25 x Rp. 623,000.00						Rp. 778,750.00
c.	10 m2 Kayu	Cetakan untuk 1m3 Beton				
0.400	m3	Papan Bekisting	Rp.	590,000.00	Rp.	236,000.00
4.000	kg	Paku	Rp.	9,000.00	Rp.	36,000.00
5.000	Or	Tukang Kayu	Rp.	25,000.00	Rp.	125,000.00
0.500	Or	Kepala Tukang Kayu	Rp.	27,000.00	Rp.	13,500.00
2.000	Or	Pekerja	Rp.	17,850.00	Rp.	35,700.00
0.100	Or	Mandor	Rp.	25,500.00	Rp.	2,550.00
4.000	Or	Pekerja Membongkar dan Menyiram	Rp.	17,850.00	Rp.	71,400.00
						Rp. 520,150.00
Jadi 1m3 Beton Bertulang Camp.1PC:2PS:3KRL						
(a + b + c)						Rp.2,173,035.00
(a + c)						Rp.1,047,110.00
1/2L.3a	1m3 Bongkaran	Pasangan Lama				
4.000	Or	Pekerja	Rp.	17,850.00	Rp.	71,400.00
0.400	Or	Mandor	Rp.	25,500.00	Rp.	10,200.00
						Rp. 81,600.00
Tidak dengan membersihkan 0.5 x Rp. 81,600.00						Rp. 40,800.00
Untuk pembesian per m3 beton praktis diambil bahan dan tenaga pembesian :						
Jadi tenaga + bahan pembesian untuk 1m3 beton praktis.						
d.	Tenaga Pembesian tiap 100kg (beton tulangan praktis)					
1.610	Or	Tukang Besi	Rp.	24,750.00	Rp.	39,847.50
0.540	Or	Kepala Tukang Besi	Rp.	26,500.00	Rp.	14,310.00
1.610	Or	Pekerja	Rp.	7,850.00	Rp.	28,738.50
						Rp. 82,896.00
Bahan						
Pembesian						
17.920	kg	Besi Beton	Rp.	5,500.00	Rp.	98,560.00
0.360	kg	Bendrat	Rp.	9,000.00	Rp.	3,240.00
						Rp. 101,800.00
Untuk pembesian per m3 beton praktis						Rp. 184,696.00
Sehingga harga beton praktis menjadi						Rp.1,231,806.00
Untuk harga beton tumbuk tanpa bekisting						Rp. 526,960.00
Untuk harga beton tumbuk dengan bekisting						Rp. 1,047,110.00

1 m2 Pasang Bekisting untuk Lantai/ Plat Pelayanan						
0.04	m3	Papan Bekisting	Rp. 590,000.00	Rp.	23,600.00	
0.4	kg	Paku	Rp. 9,000.00	Rp.	3,600.00	
0.2	ltr	Minyak Bekisting	Rp. 4,300.00	Rp.	860.00	
0.015	m3	Balok Kayu	Rp.2,350,000.00	Rp.	26,250.00	
0.35	lbr	Plywood tebal 9mm	Rp. 75,000.00	Rp.	174,000.00	
6	btg	Dolken Kayu Perancah	Rp. 29,000.00			
						Rp. 263,560.00
0.33	Or	Tukang Kayu	Rp. 25,000.00	Rp.	8,250.00	
0.033	Or	Kepala Tukang Kayu	Rp. 27,000.00	Rp.	891.00	
0.3	Or	Pekerja	Rp. 17,850.00	Rp.	5,355.00	
0.006	Or	Mandor	Rp. 25,500.00	Rp.	153.00	
						Rp. 14,649.00
						Rp. 278,209.00

7.2.4. Rencana Anggaran Biaya

Tabel 7.3 Rencana Anggaran Biaya

NO	Uraian Pekerjaan	Volume	Sat	Analisa	Harga Satuan	Jumlah Harga
I	PEKERJAAN PERSIAPAN					
1	Uitzet dan pasang profil	1.00		LS	750,000.00	750,000.00
2	Pengeringan	1.00		LS	550,000.00	550,000.00
3	Barak Kerja	1.00		LS	350,000.00	350,000.00
						1,650,000.00
II	PELAKSANAAN PEKERJAAN					
	PEKERJAAN BENDUNG = 1 BH					
1	Pek. Bendung Hm. 0+00					
	Timbunan Tanah	43.960	m3	A.1 + A.16	18,742.50	823,920.30
	Pasangan Batu Kali 1Pc : 4Ps	380.880	m3	G.32 h	388,309.60	147,899,360.45
	Siaran 1Pc : 2Ps (batu segi-6)	352.760	m2	G.51 c	25,251.15	8,907,595.67
	Plesteran 1Pc : 3 Ps	55.410	m2	G.50 i	21,091.00	1,168,652.31
	Beton bertulang 1Pc : 2Ps : 3Kr	0.420	m3	Supl.V	2,173,035.00	912,674.70
	Gebalan rumput	60.600	m2	B.1+B.2	9,460.05	573,279.03
						160,285,482.46
2	Pek. Bangunan air = 1bh					
	Galian tanah biasa	20.100	m3	A.1	14,025.00	281,902.50
	Timbunan tanah	6.800	m3	A.1 + A.16	18,742.50	127,449.00
	Pasangan batu kali 1Pc : 4Ps	24.340	m3	G.32 h	388,309.60	9,451,455.66
	Siaran 1Pc : 2Ps (batu segi-6)	42.160	m2	G.51 c	25,251.15	1,064,588.48
	Plesteran 1Pc : 3 Ps	15.300	m2	G.50 i	21,091.00	322,692.30
	Beton bertulang 1Pc : 2Ps : 3Kr	0.050	m3	Supl.V	2,173,035.00	108,651.75

	Gebalan rumput	13.000	m2	B.1+B.2	9,460.05	122,980.65
						11,479,720.35
3	Pekerjaan saluran antara Hm. 1+00 s/d Hm. 2 +63 s/d Hm.5+50 = 431m'					
	Galian tanah biasa	94.820	m3	A.1	14,025.00	1,329,850.50
	Timbunan tanah	38.200	m3	A.1 + A.16	18,742.50	715,963.50
	Pasangan batu kali 1Pc : 4Ps	159.470	m3	G.32 h	388,309.60	61,923,731.91
	Siaran 1Pc : 2Ps (batu segi-6)	215.500	m2	G.51 c	25,251.15	5,441,622.83
	Plesteran 1Pc : 3 Ps	193.950	m2	G.50 i	21,091.00	4,090,599.45
						73,501,768.19
III	PEKERJAAN LAIN-LAIN					
1	Administrasi	1.000		LS	750,000.00	750,000.00
2	Dokumentasi	1.000		LS	750,000.00	750,000.00
						1,500,000.00
				JUMLAH		248,416,971.00
				PPN 10%		24,841,697.10
				JUMLAH TOTAL		273,258,668.10
				DIBULATKAN		273,258,000.00

7.3. JADWAL PELAKSANAAN

Jadwal pelaksanaan adalah alat manajemen yang digunakan untuk mengatur pelaksanaan tiap pekerjaan sehingga proyek dapat selesai tepat pada waktunya. Jadwal pelaksanaan terdiri dari Jaringan Kerja (*Network Planning*), Jadwal Pelaksanaan (*Time Schedule*), Kurva S (*S Curve*) dan analisa teknik tenaga kerja yang berguna untuk mengetahui jumlah kebutuhan tenaga untuk masing-masing pekerjaan.

7.3.1. Analisis Teknik Tenaga Kerja

7.3.1.1. Pekerjaan Persiapan

a. Pembersihan lapangan dan pemasangan *bouwplank*.

Sebelum pelaksanaan pembangunan bendung Susukan dimulai, lokasi pekerjaan harus dibersihkan dari kotoran-kotoran. Jalan masuk ke lokasi proyek menggunakan jalan setempat yang berhubungan langsung dengan jalan raya untuk memudahkan operasional nantinya. Pembersihan jalan masuk ini dikerjakan dengan tenaga manusia yang dikerjakan selama 2 minggu (14 hari kerja) dengan tenaga yaitu $10 \times 14 = 140$ orang.

b. Pengukuran

Pekerjaan pengukuran termasuk pekerjaan awal sebelum pekerjaan dimulai dengan maksud untuk mengecek gambar yang ada apakah sudah sesuai dengan lokasi yang akan dikerjakan. Pengukuran ini membutuhkan 1 juru ukur dengan 2 orang yang pembantu, yang bekerja selama 3 minggu (21 hari kerja). Jumlah tenaga yang dibutuhkan selama 21 hari kerja yaitu $(21 \times (2+1)) = 63$ orang.

c. Pengeringan / Kist Dam

Pekerjaan ini dilaksanakan bersamaan dengan pekerjaan galian selama 8 minggu (48 hari kerja), dengan tenaga 6 orang/hari. Jumlah tenaga yang dibutuhkan selama 48 hari kerja yaitu $(48 \times 6) = 288$ orang.

d. Mobilisasi dan demobilisasi

Pekerjaan ini berlangsung selama 15 minggu yaitu selama proyek ini berlangsung. Selama masa pelaksanaan proyek selalu ada peralatan yang didatangkan ke lokasi dan dipulangkan dari lokasi. Jumlah tenaga yang dibutuhkan yaitu 4 orang/hari. Jadi selama 15 minggu jumlah tenaga yang dibutuhkan yaitu $4 \times (15 \times 7) = 420$ orang.

e. Papan Nama Proyek

Pembuatan papan nama proyek dibuat dengan ukuran tertentu petunjuk Direksi. Papan nama proyek ini dikerjakan dalam waktu 1 minggu (7 hari kerja) dengan 1 tukang dan 2 pekerja.

Jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan selama 7 hari kerja = $3 \times 7 = 21$ orang

7.3.1.2. Pekerjaan Tanah

a. Galian tanah

Galian tanah dikerjakan dengan tenaga manusia yang diperlukan dalam galian tanah.

Volume tanah biasa = 118,92 m³

Rencana waktu = 5 minggu (30 hari kerja)

Kebutuhan tenaga = 1 orang/m³
= 1 x 118,92
= 118,92 orang

$$\text{Kebutuhan tenaga per hari} = \frac{118,92}{30} = 3,964 \text{ orang/hari}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi selama 30 hari dibutuhkan} &= 3,964 \times 30 \text{ hari} \\ &= 118,92 \sim 119 \text{ orang} \end{aligned}$$

b. Gebalan rumput

$$\text{Volume gebalan rumput} = 73,6 \text{ m}^2$$

Berdasarkan analisis, maka setiap 100 m² gebalan rumput membutuhkan tenaga 1,5 pekerja dengan 1 orang mandor.

$$\text{Setiap orang mengerjakan} = \frac{100}{2,5} = 40 \text{ m}^2 \text{ gebalan rumput}$$

$$\text{Rencana waktu} = 6 \text{ minggu (36 hari kerja)}$$

$$\text{Tenaga yang dibutuhkan} = \frac{73,6}{36 \times 40} = 0,057 \text{ orang/hari}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan tenaga kerja selama 21 hari kerja} &= 0,057 \times 36 \\ &= 1,8 \text{ orang} \sim 2 \text{ orang} \end{aligned}$$

c. Timbunan tanah kembali

Pekerjaan ini dilaksanakan setelah pekerjaan pasangan selesai, dikerjakan dengan tenaga manusia dengan menggunakan peralatan seperti cangkul, sekop, alat angkut, pemadat dan lain sebagainya.

$$\text{Volume timbunan tanah} = 88,96 \text{ m}^3$$

$$\text{Rencana waktu} = 7 \text{ minggu (42 hari kerja)}$$

Berdasarkan analisis A.6 + A.16, bahwa setiap 1000 m³ timbunan tanah dibutuhkan 380 orang pekerja dengan 10 mandor dan 30 orang pekerja dengan 8 mandor.

$$\text{Jadi jumlah tenaga kerja} = \frac{1000}{428} = 2,34 \text{ m}^3/\text{orang}$$

$$\text{Untuk menimbun tanah kembali} = 0,5 \times 2,34 = 1,17 \text{ m}^3/\text{orang}$$

$$\text{Jumlah tenaga yang dibutuhkan} = \frac{88,96}{1,17}$$

$$= 76,034 \text{ orang} \sim 77 \text{ orang}$$

7.3.1.3. Pekerjaan Pasangan

a. Pasangan batu kali 1 Pc : 4Ps

Pekerjaan ini dilaksanakan setelah pekerjaan galian tanah selesai.

$$\text{Volume pekerjaan} = 564,69 \text{ m}^3$$

$$\text{Rencana waktu} = 10 \text{ minggu (60 hari kerja)}$$

$$\text{Kebutuhan tenaga kerja / m}^3 = 1,0 \text{ tukang batu} + 1,85 \text{ pekerja} = 2,85 \text{ orang}$$

$$\text{Kebutuhan tenaga kerja / hari} = 2,85 \times \frac{564,69}{60} = 26,83 \text{ orang}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan tenaga kerja selama 60 hari kerja} &= 26,83 \times 60 \\ &= 1609,37 \text{ orang} \sim 1610 \text{ orang} \end{aligned}$$

b. Plesteran 1 Pc : 3 Ps

$$\text{Volume pekerjaan} = 264,66 \text{ m}^3$$

$$\text{Rencana waktu} = 6 \text{ minggu (36 hari kerja)}$$

$$\text{Kebutuhan tenaga kerja / m}^3 = 0,2 \text{ tukang} + 0,4 \text{ pekerja} = 0,6 \text{ orang}$$

$$\text{Kebutuhan tenaga kerja / hari} = 0,6 \times \frac{264,66}{36} = 4,411 \text{ orang.}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan tenaga kerja selama 36 hari kerja} &= 4,411 \times 36 \\ &= 158,8 \text{ orang} \sim 159 \text{ orang} \end{aligned}$$

c. Siaran 1 Pc : 2 Ps

$$\text{Volume pekerjaan} = 610,52 \text{ m}^3$$

$$\text{Rencana waktu} = 9 \text{ minggu (54 hari kerja)}$$

$$\text{Kebutuhan tenaga kerja / m}^3 = 0,12 \text{ tukang batu} + 0,36 \text{ pekerja} = 0,48 \text{ orang}$$

$$\text{Kebutuhan tenaga kerja / hari} = 0,48 \times \frac{610,52}{54} = 5,43 \text{ orang}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan tenaga kerja selama 54 hari kerja} &= 5,43 \times 54 \\ &= 293,05 \text{ orang} \sim 293 \text{ orang} \end{aligned}$$

d. Pekerjaan beton bertulang 1 Pc : 2 Ps : 3 Kr

Pekerjaan ini dilaksanakan setelah pekerjaan galian tanah selesai, yang dilanjutkan dengan pembuatan lantai kerja dengan campuran 1 Pc : 2 Ps : 3 Kr sesuai petunjuk Direksi. Kemudian dilanjutkan dengan pemasangan bekisting yang diteruskan dengan pemasangan anyaman besi tulangan, dengan jarak yang

disuaikan dengan gambar kerja.sebelum dilakukan pengecoran, diadakan pengecekan ulang apakah bekisting masih baik dan kuat serta dibuat sesuai gambar. Jarak antara besi dan bekisting diberi tahu beton dengan mutu yang sesuai dengan yang akan dicor. Setelah pengecekan dilakukan dan sesuai dengan ketentuan maka proses pengecoran dapat dilaksanakan.

- Beton K-300

Volume pekerjaan = 0,47 m³

Rencana waktu = 5 minggu (30 hari kerja)

Kebutuhan tenaga kerja/m³ yaitu 0,5 tukang, 1,5 pekerja, sehingga berjumlah 2 orang.

Kebutuhan tenaga kerja/hari = $2 \times \frac{0,47}{30} = 0,03$ orang

Kebutuhan tenaga kerja selama 30 hari kerja = 0,03 x 30
= 0,93 ~ 3 orang

e. Pekerjaan pintu sorong

Kebutuhan pintu sorong dan dalam proyek ini 2 buah yang dipesan ditempat lain. Pekerjaan pintu ini dimulai bersamaan dengan dimulainya pekerjaan dilapangan, mengingat pekerjaan ini dapat dilakukan di tempat lain sehingga setelah selesai dapat dingkut ke lokasi proyek dan dipasang pada tempatnya.

Rencana pemasangan untuk 2 buah pintu selama 1 minggu (7 hari kerja) dibutuhkan 3 orang tenaga kerja/hari

Jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan selama 7 hari kerja = 3 x 7 = 21 orang

f. Pembuatan peil skala

Pembuatan peil skala dibuat dengan ukuran tertentu petunjuk Direksi. Peil skala ini dikerjakan dalam waktu 7 hari kerja dengan 1 tukang dan 2 pekerja.

Jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan selam 7 hari kerja = 3 x 7 = 21 orang.

7.3.1.4. Pekerjaan Lain-lain

a. Administrasi dan dokumentasi

Waktu pelaksanaan ini yaitu 32 minggu atau dikerjakan selama proyek berlangsung. Pengambilan foto (gambar) dilakukan 3 kali, yaitu pasal perkembangan proyek 0%, 50% dan 100% dengan posisi yang tetap dalam pengambilan gambar.

Jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan, taitu $5 \text{ orang} \times (32 \times 7) = 1120$ orang.

b. Finishing

Pekerjaan ini membutuhkan tenaga kerja 2 orang/hari, selama 1 minggu (7 hari kerja) terhitung pada saat penyerahan pekerjaan yang pertama kepada pihak Direksi. Pekerjaan finishing ini meliputi kekurangna-kekurangan atau cacat-cacat lain yang diakibatkan oleh alam ayau pekerjaan yang belum dianggap sempurna.

Jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan yaitu $7 \times 2 \text{ orang} = 14$ orang.

7.3.2 Jadwal Waktu Pelaksanaan (*Time Schedule*)

Jadwal waktu pelaksanaan atau rencana pelaksanaan pekerjaan berdasarkan waktu dimaksudkan untuk mengatur pelaksanaan suatu pekerjaan agar dapat diselesaikan sesuai dengan waktu yang tersedia. Ketepatan waktu merupakan harga mutlak dalam melaksanakan suatu pekerjaan, maka disusun jadwal waktu pelaksanaan yang sesuai dengan kegiatan yang akan dilakukan untuk menyelesaikan pekerjaan.

Pertimbangan-pertimbangan yang menjadi dasar dalam membuat jadwal waktu pelaksanaan pekerjaan adalah :

- Jenis pekerjaan.
- Tenaga yang tersedia.
- Penjadwalan pengadaan bahan.
- Keadaan lapangan.
- Keadaan cuaca di sekitar lokasi.
- Peralatan yang disediakan.

Fungsi membuat jadwal waktu pelaksanaan pekerjaan adalah :

- Sebagai kontrol waktu yang mengikat dalam pelaksanaan pekerjaan
- Pembagian tahap pekerjaan akan lebih jelas sehingga akan lebih mudah dipahami.

BAB VII
RENCANA ANGGARAN BIAYA

VII-22

JADWAL WAKTU PELAKSANAAN																					
KEGIATAN	:	Rehabilitasi Bendung dan Saluran Irigasi																			
PEKERJAAN	:	Rehabilitasi Bendung dan Saluran Irigasi Susukan																			
PAKET	:	Paket XXI (Tiga Puluh Satu)																			
TAHUN ANGGARAN	:	2007																			
LOKASI	:	Desa Beseran, Kec. Kaliangkrik, Kab. Magelang																			
TARGET	:	Bendung = 1 bh, Bangunan Air = 1 bh, Saluran = 431 m																			
No	Uraian Pekerjaan	VOLUME	Sat	Jumlah Harga	Nilai Bobot	MINGGU															KETERANGAN
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
I	PEKERJAAN PERSIAPAN																			100	
1	Utilizet dan pasang profil	1.00		750,000.00	0.302	0.151	0.151														
2	Pengeringan	1.00		550,000.00	0.221	0.074		0.074				0.074									
3	Barak Kerja	1.00		350,000.00	0.141	0.141															
II	PEKERJAAN PELAKSANAAN PEKERJAAN BENDUNG = 1 bh																			90	
1	Pekerjaan Bendung																				
	Timbunan tanah	43.96	m3	823,920.30	0.332					0.166				0.166							
	Pasangan batu kali 1 Pc : 4 Ps	380.88	m3	147,899,360.45	59.537		6.615	6.615	6.615	6.615	6.615	6.615	6.615	6.615	6.615	6.615				80	
	Siaran 1Pc : 2Ps (batu segi-6)	352.76	m2	8,907,595.67	3.586						0.717	0.717	0.717	0.717	0.717						
	Plesteran 1 Pc : 3 Ps	55.41	m2	1,168,652.32	0.470									0.157	0.157	0.157					
	Beton Bertulang 1Pc : 2Ps : 3Kr	0.42	m3	912,674.70	0.367						0.122	0.122	0.122							70	
	Gebalan Rumput	60.60	m2	573,279.03	0.231							0.046	0.046	0.046	0.046	0.046					
2	Pekerjaan Bangunan Air = 1 bh																				
	Galian Tanah biasa	20.10	m3	281,902.50	0.113		0.057	0.057												60	
	Timbunan tanah	6.80	m3	127,449.00	0.051				0.051												
	Pasangan batu kali 1 Pc : 4 Ps	24.34	m3	9,451,455.66	3.809		1.268	1.268	1.268												
	Siaran 1Pc : 2Ps (batu segi-6)	42.16	m2	1,064,588.48	0.429				0.214	0.214										50	
	Plesteran 1 Pc : 3 Ps	15.30	m2	322,692.30	0.130					0.130											
	Beton Bertulang 1Pc : 2Ps : 3Kr	0.05	m3	108,651.75	0.044				0.022	0.022											
	Gebalan Rumput	13.00	m2	122,980.65	0.050						0.050									40	
3	Pekerjaan saluran antara Hm. 1+00 s/d Hm. 2+63 dan Hm. 2+63 s/d Hm. 5+50 = 431m'																				
	Galian Tanah biasa	94.82	m3	1,329,850.50	0.535		0.178	0.178	0.178												
	Timbunan tanah	38.20	m3	715,963.50	0.288					0.096			0.096		0.096					20	
	Pasangan batu kali 1 Pc : 4 Ps	159.47	m3	61,923,731.91	24.927		2.770	2.770	2.770	2.770	2.770	2.770	2.770	2.770	2.770	2.770	2.770				
	Siaran 1Pc : 2Ps (batu segi-6)	215.50	m2	5,441,622.83	2.190							0.438	0.438	0.438	0.438	0.438					
	Plesteran 1 Pc : 3 Ps	193.95	m2	4,090,599.45	1.647										0.549	0.549	0.549			10	
III	PEKERJAAN LAIN-LAIN																				
1	Administrasi	1.00		750,000.00	0.302	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	
2	Dokumentasi	1.00		750,000.00	0.302	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	
	JUMLAH :			248,416,971.00	100.00	0.406	0.248	8.158	10.945	11.158	9.923	10.272	10.388	10.844	11.071	10.879	4.000	1.073	0.589	0.040	
						0.406	0.654	8.812	19.757	30.915	40.838	51.110	61.498	72.342	83.413	94.292	98.292	99.365	99.954	100	

Laporan Tugas Akhir
Perencanaan Teknis Dan Kajian Earned Value
Proyek Bendung Susukan Kabupaten Magelang

Didip Dimas P.B L2A 002 041
Reni Widlyastuti W.S L2A 005 098

7.3.3 *Network Planning*

Pelaksanaan suatu pekerjaan terdiri dari berbagai kegiatan, baik yang berjalan bersamaan atau pekerjaan yang saling ketergantungan satu dengan yang lain. Bila kegiatan-kegiatan tersebut dirangkai menjadi satu maka akan membentuk suatu jaringan yang disebut *Network Planning*.

Pertimbangan-pertimbangan yang diperlukan dalam membuat *Network Planning* adalah :

- Peralatan yang digunakan.
- Kemampuan penyediaan sumber daya.
- Ketergantungan suatu kegiatan terhadap kegiatan yang lain.
- Jumlah hari kerja yang akan digunakan.
- Faktor keamanan dalam suatu kegiatan
- Volume kegiatan yang dilaksanakan.

Fungsi *Network Planning* adalah :

- Memberi suatu gambaran dalam hubungan kerja bahwa setiap kegiatan merupakan rangkaian yang tidak dapat dipisahkan antara yang satu dengan yang lainnya.
- Jika dalam *Network Planning* terdapat lintasan kritis, oleh sebab itu kegiatan pada lintasan kritis diusahakan tidak mengalami keterlambatan karena akan mempengaruhi kegiatan lainnya.

Akan tercapainya pekerjaan secara lebih ekonomis, ketidakraguan dalam penggunaan dana dan tenaga.

BAB VIII

ANALISIS HASIL PENELITIAN DENGAN METODE *EARNED VALUE*

8.1 Anggaran Biaya yang sesuai dengan Rencana

Pada proyek bendung Susukan di desa Beseran, kecamatan Kaliangkrik, Kabupaten Magelang ini metode yang dipakai dalam pengendalian biaya dan waktu di lapangan adalah dengan menggunakan Time Schedule, metode ini yang paling sering digunakan pada proyek konstruksi dan presentase rencana proyek serta persentase realisasi dilukiskan dalam grafik kurva-S.

Pada metode *earned value*, diperlukan monitoring atau evaluasi pada suatu waktu untuk mengetahui kinerja suatu proyek. Dan pada proyek ini, evaluasi dilakukan pada minggu ke-5 dan ke-9.

a. Evaluasi I (Minggu ke-5)

Berikut ini laporan bobot kemajuan tiap kegiatan saat evaluasi pada minggu ke-5 yang menunjukkan persentase penyelesaian fisik konstruksi total = 16,462 %

Tabel 8.1 Bobot kemajuan setiap kegiatan sampai dengan minggu ke-5

No	Uraian	Satuan	Volume	Nilai Bobot Seluruh Pek. (%)	Tahap Penyelesaian Pek. (%)	Tingkat Penyelesaian Pek. (%)
1	2	3	4	5	6	7
I	PEK. PERSIAPAN					
	Uitzet & pasang profil	is	1,00	0,302	100	0,302
	Pengeringan	ls	1,00	0,221	100	0,148
	Barak kerja	ls	1,00	0,141	100	0,141
	JUMLAH			0,664		0,591
II	PEK. PELAKSANAAN BENDUNG = 1 BUAH					
	1 Pek. Bendung Hm.0+00					
	Timbunan tanah	m ³	43,96	0,332	28,31	0,094
	Pas.Batu kali 1Pc:4Ps	m ³	380,88	59,537	18,14	10,801
	Siaran 1Pc:2Ps (batu segi-6)	m ²	352,76	3,586	0,00	0,00
	Plesteran 1Pc:3Ps	m ²	55,41	0,470	23,61	0,111
Beton bertulang 1Pc:2Ps:3Kr	m ³	0,42	0,367	14,16	0,052	

BAB VIII

ANALISIS HASIL PENELITIAN DENGAN METODE *EARNED VALUE*

VIII-2

	Gebalan rumput	m ²	60,60	0,231	26,83	0,062
	JUMLAH			64,523		11,12
2	Pek. Bangunan Air = 1buah					
	Galian tanah biasa	m ³	20,10	0,113	58,40	0,066
	Timbunan tanah	m ³	6,80	0,051	0,00	0,000
	Pas.Batu kali 1Pc:4Ps	m ³	24,34	3,809	36,58	1,394
	Siaran 1Pc:2Ps (batu segi-6)	m ²	42,16	0,429	0,00	0,00
	Plesteran 1Pc:3Ps	m ²	15,30	0,130	0,00	0,00
	Beton bertulang 1Pc:2Ps:3Kr	m ³	0,05	0,044	0,00	0,00
	Gebalan rumput	m ²	13,00	0,050	0,00	0,00
	JUMLAH			4,626		1,459
3	Pek. Saluran antara Hm.1+00 s/d Hm.2+63 dan Hm.2+63 s/d Hm.5+50=431 m'					
	Galian tanah biasa	m ³	94,82	0,535	94,95	0,508
	Timbunan tanah	m ³	38,20	0,288	0,00	0,00
	Pas.Batu kali 1Pc:4Ps	m ³	159,47	24,927	8,47	2,113
	Siaran 1Pc:2Ps (batu segi-6)	m ²	215,50	2,190	0,00	0,00
	Plesteran 1Pc:3Ps	m ²	193,95	1,647	0,00	0,00
	JUMLAH			29,587		2,721
III	PEK. LAIN - LAIN					
1	Administrasi	ls	1,00	0,302	33,11	0,100
2	Dokumentasi	ls	1,00	0,302	33,11	0,100
	JUMLAH			0,604		0,200
	TOTAL					16,462

Berikut ini sajian rekapitulasi biaya proyek yang telah direncanakan pada minggu ke-5 :

Tabel 8.2 Anggaran Biaya Proyek menurut rencana pada minggu ke-5

NO	URAIAN PEKERJAAN	JUMLAH BIAYA (Rp)
I	PEK. PERSIAPAN	1.650.000,00
II	PEK. PELAKSANAAN BENDUNG = 1 BUAH	
1	Pek. Bendung Hm.0+00	
	19,845 % sampai minggu ke-5	49.298.130,69
	a. Timbunan tanah	0,00
	b. Pas. Batu kali 1Pc:4Ps	49.298.130,69
	c. Siaran 1Pc:2Ps (batu segi-6)	0,00
	d. Plesteran 1Pc:3Ps	0,00
	e. Beton bertulang 1Pc:2Ps:3Kr	0,00
	f. Gebalan rumput	0,00
2	Pek. Bangunan Air = 1 buah	
	0,59 % sampai minggu ke-5	1.483.663,71
	a. Galian tanah biasa	281.902,50
	b. Timbunan tanah	127.449,00
	c. Pas. Batu kali 1Pc:4Ps	531.053,46
	d. Siaran 1Pc:2Ps (batu segi-6)	0,00

	e. Plesteran 1Pc:3Ps	0,00
	f. Beton bertulang 1Pc:2Ps:3Kr	543.258,75
	g. Gebalan rumput	0,00
3	Pek. Saluran antara Hm.1+00 s/d Hm.2+63 dan Hm.2+63 s/d Hm.5+50=431 m'	
	6,1 % sampai minggu ke-5	15.092.335,95
	a. Galian tanah biasa	1.329.850,50
	b. Timbunan tanah	0,00
	c. Pas. Batu kali 1Pc:4Ps	13.762.485,45
	d. Siaran 1Pc:2Ps (batu segi-6)	0,00
	e. Plesteran 1Pc:3Ps	0,00
III	PEK. LAIN – LAIN	
	0,2 % sampai minggu ke-5	496.688,74
	a. Administrasi	248.344,37
	b. Dokumentasi	248.344,37

b. Evaluasi II (Minggu ke-9)

Berikut ini laporan bobot kemajuan tiap kegiatan saat evaluasi pada minggu ke-5 yang menunjukkan persentase penyelesaian fisik konstruksi total = 74,234 %

Tabel 8.3 Bobot kemajuan setiap kegiatan sampai dengan minggu ke-9

No	Uraian	Satuan	Volume	Nilai Bobot Seluruh Pek. (%)	Tahap Penyelesaian Pek. (%)	Tingkat Penyelesaian Pek. (%)
1	2	3	4	5	6	7
I	PEK. PERSIAPAN					
	Uitzet & pasang profil	is	1,00	0,302	100	0,302
	Pengeringan	ls	1,00	0,221	100	0,221
	Barak kerja	ls	1,00	0,141	100	0,141
	JUMLAH			0,664		0,664
II	PEK. PELAKSANAAN BENDUNG = 1 BUAH					
1	Pek. Bendung Hm.0+00					
	Timbunan tanah	m ³	43,96	0,332	100,00	0,332
	Pas. Batu kali 1Pc:4Ps	m ³	380,88	59,537	88,85	52,899
	Siaran 1Pc:2Ps (batu segi-6)	m ²	352,76	3,586	74,82	2,683
	Plesteran 1Pc:3Ps	m ²	55,41	0,470	96,17	0,452
	Beton bertulang 1Pc:2Ps:3Kr	m ³	0,42	0,367	85,83	0,315
	Gebalan rumput	m ²	60,60	0,231	90,04	0,208
	JUMLAH			64,523		56,889
2	Pek. Bangunan Air = 1buah					
	Galian tanah biasa	m ³	20,10	0,113	100,00	0,113

BAB VIII

ANALISIS HASIL PENELITIAN DENGAN METODE *EARNED VALUE*

VIII-4

	Timbunan tanah	m ³	6,80	0,051	100,00	0,051
	Pas.Batu kali 1Pc:4Ps	m ³	24,34	3,809	77,79	2,963
	Siaran 1Pc:2Ps (batu segi-6)	m ²	42,16	0,429	100,00	0,429
	Plesteran 1Pc:3Ps	m ²	15,30	0,130	100,00	0,130
	Beton bertulang 1Pc:2Ps:3Kr	m ³	0,05	0,044	100,00	0,044
	Gebalan rumput	m ²	13,00	0,050	100,00	0,050
	JUMLAH			4,626		3,780
3	Pek. Saluran antara Hm.1+00 s/d Hm.2+63 dan Hm.2+63 s/d Hm.5+50=431 m'					
	Galian tanah biasa	m ³	94,82	0,535	100,00	0,535
	Timbunan tanah	m ³	38,20	0,288	89,93	0,259
	Pas.Batu kali 1Pc:4Ps	m ³	159,47	24,927	33,30	8,300
	Siaran 1Pc:2Ps (batu segi-6)	m ²	215,50	2,190	98,90	2,166
	Plesteran 1Pc:3Ps	m ²	193,95	1,647	77,78	1,281
	JUMLAH			29,587		12,541
III	PEK. LAIN - LAIN					
1	Administrasi	ls	1,00	0,302	59,60	0,180
2	Dokumentasi	ls	1,00	0,302	59,60	0,180
	JUMLAH			0,604		0,360
	TOTAL					74,234

Berikut ini sajian rekapitulasi biaya proyek yang telah direncanakan pada minggu ke-9 :

Tabel 8.4 Anggaran Biaya Proyek menurut rencana pada minggu ke-9

NO	URAIAN PEKERJAAN	JUMLAH BIAYA (Rp)
I	PEK. PERSIAPAN	1.650.000,00
II	PEK. PELAKSANAAN BENDUNG = 1 BUAH	
1	Pek. Bendung Hm.0+00	
	48,912 % sampai minggu ke-9	121.514.889,30
	g. Timbunan tanah	411.960,15
	h. Pas. Batu kali 1Pc:4Ps	115.033.940,00
	i. Siaran 1Pc:2Ps (batu segi-6)	5.345.551,00
	j. Plesteran 1Pc:3Ps	0,00
	k. Beton bertulang 1Pc:2Ps:3Kr	609.278,75
	l. Gebalan rumput	114.159,46
2	Pek. Bangunan Air = 1 buah	
	4,626 % sampai minggu ke-9	11.479.720,35
	h. Galian tanah biasa	281.902,50
	i. Timbunan tanah	127.449,00
	j. Pas. Batu kali 1Pc:4Ps	9.451.455,66
	k. Siaran 1Pc:2Ps (batu segi-6)	1.064.588,48
	l. Plesteran 1Pc:3Ps	322.692,30
	m. Beton bertulang 1Pc:2Ps:3Kr	108.651,75
	n. Gebalan rumput	122.980,65
3	Pek. Saluran antara Hm.1+00 s/d Hm.2+63 dan	

	Hm.2+63 s/d Hm.5+50=431 m'	
	17,78 % sampai minggu ke-9	6.474.685,95
	f. Galian tanah biasa	7.503,37
	g. Timbunan tanah	3.598,56
	h. Pas. Batu kali 1Pc:4Ps	6.452.524,00
	i. Siaran 1Pc:2Ps (batu segi-6)	11.060,00
	j. Plesteran 1Pc:3Ps	0
III	PEK. LAIN – LAIN	
	0,364 % sampai minggu ke-9	894.039,74
	c. Administrasi	447.019,87
	d. Dokumentasi	447.019,87

8.2. Evaluasi Anggaran Biaya Realisasi

8.2.1 Anggaran Biaya Saat Evaluasi

Perkiraan biaya memegang peranan penting dalam menyelenggarakan proyek. Memiliki fungsi yang amat luas yaitu merencanakan dan mengendalikan sumber daya seperti material, tenaga kerja, pelayanan, maupun waktu. Untuk masing – masing organisasi proyek penekanannya berbeda – beda. Bagi pemilik, angka yang menunjukkan perkiraan biaya akan menjadi salah satu patokan untuk menentukan kelanjutan investasi. Untuk kontraktor, keuntungan finansial yang akan diperoleh tergantung seberapa jauh kecakapannya dalam membuat perkiraan biaya. Sedangkan untuk konsultan, angka tersebut diajukan kepada pemilik sebagai usulan jumlah biaya terbaik berbagai kegunaan sesuai perkembangan proyek, kredibilitasnya terkait dengan kebenaran atau ketepatan angka – angka yang diusulkan.

Dalam proyek ini, dilaksanakan dua kali evaluasi, yaitu pada minggu ke-5 dan minggu ke-9. Berikut ini hasil kedua evaluasi tersebut :

a. Evaluasi I (Minggu ke-5)

Anggaran biaya proyek pembangunan Bendung Susukan Magelang Jawa Tengah sampai pada minggu ke-5 disajikan dalam tabel berikut :

Tabel 8.5 Anggaran biaya proyek pada minggu ke - 5

NO	URAIAN PEKERJAAN	JUMLAH BIAYA (Rp)
I	PEK. PERSIAPAN	1.180.850,00
II	PEK. PELAKSANAAN BENDUNG = 1 BUAH	
1	Pek. Bendung Hm.0+00	
	10,89 % sampai minggu ke-5	27.064.677,46
	a. Timbunan tanah	233.278,64
	b. Pas. Batu kali 1Pc:4Ps	26.831,398,82
	c. Siaran 1Pc:2Ps (batu segi-6)	0,00
	d. Plesteran 1Pc:3Ps	0,00
	e. Beton bertulang 1Pc:2Ps:3Kr	0,00
	f. Gebalan rumput	0,00
2	Pek. Bangunan Air = 1 buah	
	2,360 % sampai minggu ke-5	5.854.472,71
	a. Galian tanah biasa	164.651,01
	b. Timbunan tanah	0,00
	c. Pas. Batu kali 1Pc:4Ps	4.625.233,22
	d. Siaran 1Pc:2Ps (batu segi-6)	1.064.588,48
	e. Plesteran 1Pc:3Ps	0,00
	f. Beton bertulang 1Pc:2Ps:3Kr	0,00
	g. Gebalan rumput	0,00
3	Pek. Saluran antara Hm.1+00 s/d Hm.2+63 dan Hm.2+63 s/d Hm.5+50=431 m'	
	2,621 % sampai minggu ke-5	6.511.857,805
	a. Galian tanah biasa	1.262.736,55
	b. Timbunan tanah	0,00
	c. Pas. Batu kali 1Pc:4Ps	0,00
	d. Siaran 1Pc:2Ps (batu segi-6)	5.429.121,26
	e. Plesteran 1Pc:3Ps	0,00
III	PEK. LAIN – LAIN	
	0,2 % sampai minggu ke-5	496.688,74
	a. Administrasi	248.344,37
	b. Dokumentasi	248.344,37

b. Evaluasi II (Minggu ke-9)

Anggaran biaya proyek pembangunan Bendung Susukan Magelang Jawa Tengah sampai pada minggu ke-9 disajikan dalam tabel berikut :

Tabel 8.6 Anggaran biaya proyek pada minggu ke - 9

NO	URAIAN PEKERJAAN	JUMLAH BIAYA (Rp)
I	PEK. PERSIAPAN	1.650.000,00
II	PEK. PELAKSANAAN BENDUNG = 1 BUAH	
1	Pek. Bendung Hm.0+00	
	56,889 % sampai minggu ke-9	141.321.438,77
	m. Timbunan tanah	823.920,0
	n. Pas. Batu kali 1Pc:4Ps	131.409.514,56
	o. Siaran 1Pc:2Ps (batu segi-6)	6.664.550,81
	p. Plesteran 1Pc:3Ps	1.123.895,41
	q. Beton bertulang 1Pc:2Ps:3Kr	783.358,39
	r. Gebalan rumput	516.199,30
2	Pek. Bangunan Air = 1 buah	
	3,780 % sampai minggu ke-9	9.380.499,69
	o. Galian tanah biasa	281.902,50
	p. Timbunan tanah	127.449,00
	q. Pas. Batu kali 1Pc:4Ps	7.352.235,00
	r. Siaran 1Pc:2Ps (batu segi-6)	1.064.588,48
	s. Plesteran 1Pc:3Ps	322.692,30
	t. Beton bertulang 1Pc:2Ps:3Kr	108.651,75
	u. Gebalan rumput	122.980,65
3	Pek. Saluran antara Hm.1+00 s/d Hm.2+63 dan Hm.2+63 s/d Hm.5+50=431 m'	
	12,541 % sampai minggu ke-9	31.156.119,45
	k. Galian tanah biasa	1.329.850,50
	l. Timbunan tanah	643.869,95
	m. Pas. Batu kali 1Pc:4Ps	20.618.833,04
	n. Siaran 1Pc:2Ps (batu segi-6)	5.381.988,60
	o. Plesteran 1Pc:3Ps	3.181.577,35
III	PEK. LAIN – LAIN	
	0,36 % sampai minggu ke-9	894.039,74
	e. Administrasi	447.019,87
	f. Dokumentasi	447.019,87

8.2.2 Evaluasi Mingguan Kemajuan Prestasi Proyek

Kemajuan prestasi proyek diartikan sebagai presentasi penyelesaian pekerjaan yang telah terlaksana pada saat monitoring yang berhubungan dengan jadwal proyek. Rekapitulasi kemajuan prestasi proyek pembangunan Bendung Susukan Magelang Jawa Tengah sampai dengan minggu ke-9 disajikan dalam tabel berikut :

Tabel 8.7. Rekapitulasi kemajuan prestasi proyek sampai dengan minggu ke-9

Minggu ke	Target Prestasi Sesuai Time schedule (%)	Prestasi Aktual Pekerjaan (%)	Prestasi Mendahului (%)	Prestasi Terlambat (%)
1	0,406	0,110		0,296
2	0,248	0,210		0,038
3	8,159	3,120		5,038
4	10,967	4,120		6,825
5	11,159	8,902		2,256
6	10,031	11,348	1,425	
7	10,192	13,761	3,489	
8	10,339	15,852	5,465	
9	10,845	16,810	5,966	
10	11,072			
11	10,879			
12	4,000			
13	1,0734			
14	0,589			
15	0,04			
	100,000	74,234	16,345	14,453

8.2.3 Evaluasi Keuangan Biaya Aktual

a. Evaluasi I (Minggu ke-5)

Besarnya pengeluaran yang telah dibelanjakan saat evaluasi I minggu ke-5 dapat dilihat dalam tabel berikut :

Tabel 8.8. Rekapitulasi Biaya Aktual pada Minggu ke-5

NO	URAIAN PEKERJAAN	JUMLAH BIAYA (Rp)
I	PEK. PERSIAPAN	1.180.850,00
II	PEK. PELAKSANAAN BENDUNG = 1 BUAH	
1	Pek. Bendung Hm.0+00	
	10,89 % sampai minggu ke-5	25.927.680,65
	g. Timbunan tanah	233.278,64
	h. Pas. Batu kali 1Pc:4Ps	25.694.402,01
	i. Siaran 1Pc:2Ps (batu segi-6)	0,00
	j. Plesteran 1Pc:3Ps	0,00
	k. Beton bertulang 1Pc:2Ps:3Kr	0,00
	l. Gebalan rumput	0,00
2	Pek. Bangunan Air = 1 buah	
	2,360 % sampai minggu ke-5	5.354.472,71
	h. Galian tanah biasa	164.651,01
	i. Timbunan tanah	0,00

	j. Pas. Batu kali 1Pc:4Ps	4.375.233,22
	k. Siaran 1Pc:2Ps (batu segi-6)	1.014.588,48
	l. Plesteran 1Pc:3Ps	0,00
	m. Beton bertulang 1Pc:2Ps:3Kr	0,00
	n. Gebalan rumput	0,00
3	Pek. Saluran antara Hm.1+00 s/d Hm.2+63 dan Hm.2+63 s/d Hm.5+50=431 m'	
	2,621 % sampai minggu ke-5	5.011.857,805
	f. Galian tanah biasa	1.262.736,55
	g. Timbunan tanah	0,00
	h. Pas. Batu kali 1Pc:4Ps	0,00
	i. Siaran 1Pc:2Ps (batu segi-6)	3.749.121,26
	j. Plesteran 1Pc:3Ps	0,00
III	PEK. LAIN – LAIN	
	0,2 % sampai minggu ke-5	496.688,74
	c. Administrasi	248.344,37
	d. Dokumentasi	248.344,37

b. Evaluasi II (Minggu ke-9)

Besarnya pengeluaran yang telah dibelanjakan saat evaluasi II pada minggu ke-9 dapat dilihat dalam tabel berikut :

Tabel 8.9. Rekapitulasi Biaya Aktual pada Minggu ke-9

NO	URAIAN PEKERJAAN	JUMLAH BIAYA (Rp)
I	PEK. PERSIAPAN	1.650.000,00
II	PEK. PELAKSANAAN BENDUNG = 1 BUAH	
1	Pek. Bendung Hm.0+00	
	56,889 % sampai minggu ke-9	141.322.107,00
	s. Timbunan tanah	827.200,24
	t. Pas. Batu kali 1Pc:4Ps	131.400.544,20
	u. Siaran 1Pc:2Ps (batu segi-6)	6.660.394,43
	v. Plesteran 1Pc:3Ps	1.128.722,82
	w. Beton bertulang 1Pc:2Ps:3Kr	783.358,39
	x. Gebalan rumput	514.069,76
2	Pek. Bangunan Air = 1 buah	
	3,78 % sampai minggu ke-9	9.430.621,54
	v. Galian tanah biasa	285.408,75
	w. Timbunan tanah	121.826,25
	x. Pas. Batu kali 1Pc:4Ps	7.400.565,22
	y. Siaran 1Pc:2Ps (batu segi-6)	1.073.173,87
	z. Plesteran 1Pc:3Ps	319.528,65
	aa. Beton bertulang 1Pc:2Ps:3Kr	108.651,75
	bb. Gebalan rumput	121.467,04

BAB VIII

ANALISIS HASIL PENELITIAN DENGAN METODE *EARNED VALUE*

VIII-10

3	Pek. Saluran antara Hm.1+00 s/d Hm.2+63 dan Hm.2+63 s/d Hm.5+50=431 m'	
	12,541 % sampai minggu ke-9	31.097.751,44
	p. Galian tanah biasa	1.326.484,50
	q. Timbunan tanah	642.184,43
	r. Pas. Batu kali 1Pc:4Ps	20.570.993,52
	s. Siaran 1Pc:2Ps (batu segi-6)	5.383.237,32
	t. Plesteran 1Pc:3Ps	3.174.851,66
III	PEK. LAIN - LAIN	
	0,36 % sampai minggu ke-9	894.039,74
	g. Administrasi	447.019,87
	h. Dokumentasi	447.019,87

8.3 PERHITUNGAN BERDASARKAN KONSEP *EARNED VALUE*

8.3.1 Proses Pengolahan Data

Proses pengolahan data dapat dilakukan dengan membandingkan data–data pada saat monitoring minggu ke-5 dan ke-9 dengan data–data perencanaan di proyek. Data – data yang akan dibandingkan adalah :

- a. Evaluasi kemajuan prestasi proyek pada saat monitoring minggu ke-5 dan ke-9 dengan rencana kemajuan prestasi fisik.
- b. Evaluasi keuangan proyek pada saat monitoring minggu ke-5 dan ke-9 dibandingkan dengan perencanaan anggaran biaya.

Dari proses pengolahan data ini akan diperoleh angka – angka parameter yang diperlukan pada proses pengendalian selanjutnya.

8.3.2 Varian Konstruksi

Pada proyek pembangunan Bendung Susukan Magelang ini, data evaluasi prestasi dan biaya disajikan dalam periode mingguan atau per tujuh hari kerja. Guna melihat fluktuasi prestasi pekerjaan keseluruhan proyek diambil data selama satu kali periode evaluasi yaitu :

Evaluasi pertama 21 - 26 Oktober 2007 (minggu ke-9), untuk data anggaran didapat dari jumlah presentase bobot pekerjaan yang harus dicapai pada saat evaluasi dikalikan dengan rencana anggaran biaya proyek. Untuk data pengeluaran didapat dari keuangan proyek pada saat evaluasi.

8.2.3 Hasil Saat Evaluasi

- a. Evaluasi I (Minggu ke-5)

Earned value (nilai hasil) adalah biaya yang dianggarkan dari pekerjaan yang telah diselesaikan. Rumus nilai hasil dari pekerjaan yang telah diselesaikan adalah :

$$\text{Earned Value} = (\% \text{ Penyelesaian}) \times (\text{Anggaran})$$

Anggaran yang digunakan dalam perhitungan adalah total biaya dari proyek seperti tercantum dalam RAB (Rencana Anggaran Biaya), sedangkan persentase penyelesaian proyek didapat dari data laporan terakhir prestasi penyelesaian proyek. Penyelesaian proyek saat evaluasi pertama (24 - 29 September 2007) dapat dilihat pada tabel 8.10 sebagai berikut :

Tabel 8.10. Laporan prestasi pekerjaan proyek pada minggu ke-5

URAIAN	PRESTASI (%)
Prestasi rencana kumulatif sampai dengan minggu ke-4	19,757
Prestasi realisasi kumulatif sampai dengan minggu ke-4	7,560
Prestasi rencana pada minggu ke-5	11,158
Prestasi realisasi pada minggu ke-5	8,902
Deviasi prestasi kumulatif pada minggu ke-5	-2,256
Prestasi sisa realisasi keseluruhan proyek	92,44
Prestasi rencana kumulatif sampai minggu ke-5	30,915
Prestasi realisasi kumulatif sampai minggu ke-5	16,462

Prestasi rencana kumulatif = 30,915 %

$$\begin{aligned} \text{BCWS} &= \text{Anggaran} \times \% \text{ Rencana} \\ &= \text{Rp. } 248.416.971,00 \times 30,915 \% \\ &= \text{Rp. } 76.798.105,58 \end{aligned}$$

Penyelesaian fisik konstruksi total = 16,462 %

$$\begin{aligned} \text{BCWP} &= \text{Anggaran} \times \% \text{ Penyelesaian} \\ &= \text{Rp. } 248.416.971,00 \times 16,462 \% \\ &= \text{Rp. } 40.894.401,77 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ACWP} &= \text{Total Biaya Langsung saat Monitoring} \\ &= \text{Rp. } 37.483.411,33 \end{aligned}$$

Dari tabel diatas dapat dicari parameter-parameter konsep *earned value*, yaitu :

▪ Parameter Waktu

Dari perhitungan indikator – indikator konsep nilai hasil (BCWP, BCWS, dan ACWP) diperoleh parameter sebagai berikut :

1. SV (Schedule Variance/ Varian Jadwal Terpadu)

$$\begin{aligned} SV &= BCWP - BCWS \\ &= \text{Rp. } 40.894.401,77 - \text{Rp. } 76.798.105,58 \\ &= \text{Rp. } -35.903.703,81 \end{aligned}$$

Angka negatif dari varian jadwal terpadu berarti bahwa sampai saat evaluasi I, yaitu minggu ke-5, pelaksanaan proyek terlaksana lebih lambat daripada jadwal.

2. SPI (Schedule Performed Index/Indeks Prestasi Jadwal)

$$SPI = \frac{BCWP}{BCWS} = \frac{40.894.401,77}{76.798.105,58} = 0,532$$

Angka indeks prestasi jadwal kurang dari satu (< 1), maka kinerja penyelenggaraan proyek kurang baik daripada perencanaan, dalam arti jadwal lebih lambat dari rencana.

3. ECD (Estimate Completion Date/ perkiraan waktu penyelesaian proyek)

- Rencana waktu pelaksanaan (T tot) = 15 minggu = 105 hari
- Waktu pelaksanaan saat monitoring (T act) = 5 minggu = 35 hari
- Target kemajuan = 30,915 %
- Kemajuan yang dicapai = 16,462 %
- Waktu yang seharusnya dicapai sampai dengan kemajuan 16,462 % (T wp)

- Mencari T wp = $\frac{5 \times 16,462\%}{30,915\%} = 2,66$ minggu = 19 hari

- $SPI = \frac{T wp}{T act} = \frac{19}{35} = 0,542$

- Waktu untuk menyelesaikan pekerjaan (T_{ETS})

$$= \frac{T_{tot} - T_{wp}}{SPI} = \frac{15 - 2,66}{0,542} = 22,73 \text{ minggu} = 160 \text{ hari}$$

- ECD = $T_{act} + T_{ETS}$
= $5 + 22,73$
= $27,73$ minggu = 195 hari

Parameter Biaya

1. CV (Cost Variance/ varian biaya terpadu)

$$\begin{aligned} CV &= BCWP - ACWP \\ &= \text{Rp. } 40.894.401,77 - \text{Rp. } 37.483.411,33 \\ &= \text{Rp. } 3.410.990,44 \end{aligned}$$

Angka positif pada varian biaya menunjukkan situasi bahwa biaya yang diperlukan lebih kecil daripada anggaran.

2. CPI (Cost Performed Index/ indeks prestasi biaya)

$$\begin{aligned} CPI &= \frac{BCWP}{ACWP} \\ &= \frac{\text{Rp. } 40.894.401,77}{\text{Rp. } 37.483.411,33} \\ &= 1,091 \end{aligned}$$

Angka Indeks Prestasi lebih dari satu (> 1), berarti pengeluaran lebih kecil dari anggaran biaya yang telah direncanakan.

3. EAC (Estimate at Completion/ perkiraan biaya menyelesaikan pekerjaan)

- Anggaran proyek = Rp. 248.416.971,00
- Anggaran untuk pekerjaan sisa
= Anggaran total – BCWP
= Rp. 248.416.971,00 – Rp. 40.894.401,77
= Rp. 207.522.569,20
- Prestasi biaya (CPI)
CPI = 1,09

- Perkiraan biaya untuk pekerjaan sisa (ETC)

$$= \frac{\text{Anggaran} - \text{BCWP}}{\text{CPI}} = \frac{\text{Rp. 207.522.569,20}}{1,09} = \text{Rp. 190.387.678,2}$$

- Perkiraan total biaya proyek (EAC)

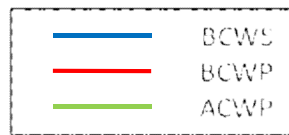
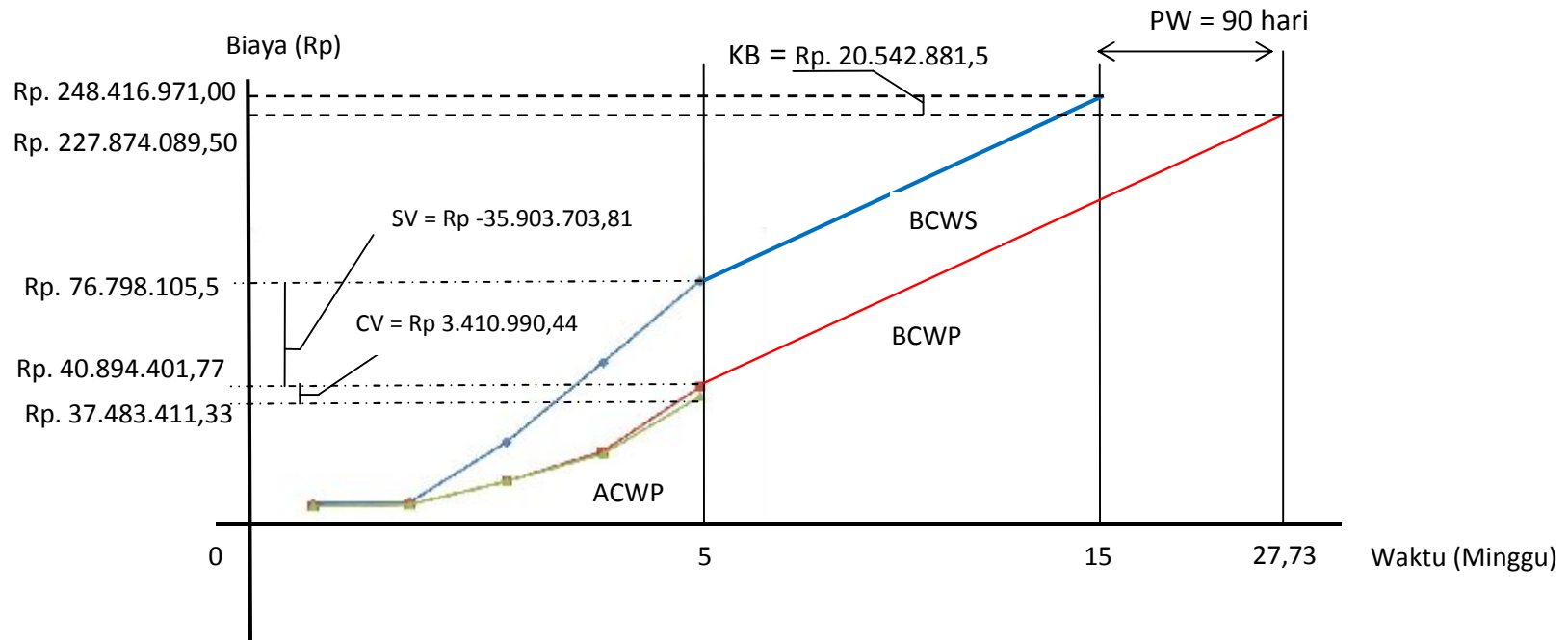
$$= \text{ACWP} + \text{ETC}$$

$$= \text{Rp. 37.483.411,33} + \text{Rp. 190.387.678,2}$$

$$= \text{Rp. 227.874.089,50}$$

Tabel 8.11 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Evaluasi I (Minggu ke-5)

Metode konsep nilai hasil	Hasil perhitungan	Keterangan
I. Indikator		
1. BCWS	Rp. 76.798.105,58	
2. ACWP	Rp. 37.483.411,33	
3. BCWP	Rp. 40.894.401,77	
II. Parameter waktu		
1. SV (Schedule Varians/ varians jadwal terpadu)	Rp. -35.903.703,81	SV menunjukkan nilai negatif berarti sampai saat evaluasi, proyek mengalami perlambatan.
2. SPI (Schedule Performed Index/indeks Prestasi Jadwal)	0,532	SPI bernilai kurang dari satu berarti kemajuan pekerjaan yang tercapai lebih kecil dari target yang telah direncanakan.
3. ECD (Estimate CompletionDate/ perkiraan wakyu penyelesaian proyek)	195 hari	Perkiraan waktu penyelesaian proyek lebih lama dari waktu rencana proyek.
III. Perkiraan biaya		
1. CV (Cost Varians/Varian Biaya)	Rp. 3.410.990,44	CV bernilai positif berarti bahwa biaya yang diperlukan lebih kecil dari anggaran
2. CPI (Cost Performed Index/Indeks Prestasi Biaya)	1,09	CPI bernilai lebih dari satu berarti pengeluaran lebih kecil dari anggaran yang telah direncanakan
3. EAC (Estimate at Completion/perkiraan biaya penyelesaian proyek)	Rp. 227.874.089,50	Perkiraan biaya proyek lebih kecil dari rencana anggaran proyek



Keterangan :

SV = Rp. -35.903.703,81

CV = Rp. 3.410.990,44

PW = Pembengkakan waktu = 90 hari

KB = Kelebihan Biaya = Rp. 20.542.881,5

Gambar 8.2. Grafik BCWP, BCWS, dan ACWP dari perhitungan menggunakan metode earned value pada minggu ke-5

b. Evaluasi kedua (minggu ke-9)

Earned value (nilai hasil) adalah biaya yang dianggarkan dari pekerjaan yang telah diselesaikan. Rumus nilai hasil dari pekerjaan yang telah diselesaikan adalah :

$$\text{Earned Value} = (\% \text{ Penyelesaian}) \times (\text{Anggaran})$$

Anggaran yang digunakan dalam perhitungan adalah total biaya dari proyek seperti tercantum dalam RAB (rencana anggaran biaya), sedangkan persentase penyelesaian proyek didapat dari data laporan terakhir prestasi penyelesaian proyek. Penyelesaian proyek saat evaluasi pertama (21 - 26 Oktober 2007) dapat dilihat pada tabel . sebagai berikut :

Tabel 8.12. Laporan prestasi pekerjaan proyek

URAIAN	PRESTASI (%)
Prestasi rencana kumulatif sampai dengan minggu ke-8	61,498
Prestasi realisasi kumulatif sampai dengan minggu ke-8	57,424
Prestasi rencana pada minggu ke-9	10,844
Prestasi realisasi pada minggu ke-9	16,810
Deviasi prestasi kumulatif pada minggu ke-9	+ 1,892
Prestasi sisa realisasi keseluruhan proyek	25,766
Prestasi rencana kumulatif sampai minggu ke-9	72,342
Prestasi realisasi kumulatif sampai minggu ke-9	74,234

Prestasi rencana kumulatif = 73,342 %

BCWS = Anggaran x % Rencana
 = Rp. 248.416.971,00 x 72,342 %
 = Rp. 179.709.805,20

Penyelesaian fisik konstruksi total = 74,234 %

BCWP = Anggaran x % Penyelesaian
 = Rp. 248.416.971,00 x 74,234 %
 = Rp. 184.409.854,30

ACWP = Total Biaya Langsung saat Monitoring
 = Rp. 182.736.702,50

Dari tabel diatas dapat dicari parameter-parameter konsep *earned value*, yaitu :

▪ Parameter Waktu

Dari perhitungan indikator – indikator konsep nilai hasil (BCWP, BCWS, dan ACWP) diperoleh parameter sebagai berikut :

1. SV (Schedule Varians/ Varian Jadwal Terpadu)

$$\begin{aligned} SV &= BCWP - BCWS \\ &= \text{Rp. } 184.409.854,30 - \text{Rp. } 179.709.805,20 \\ &= \text{Rp. } 4.700.049,10 \end{aligned}$$

Angka positif dari varian jadwal terpadu member arti bahwa sampai saat monitoring yaitu minggu ke-9, pelaksanaan proyek terlaksana lebih cepat daripada jadwal.

2. SPI (Schedule Performed Index/Indeks Prestasi Jadwal)

$$SPI = \frac{BCWP}{BCWS} = \frac{184.409.854,30}{179.709.805,20} = 1.02$$

Angka indeks prestasi jadwal lebih dari satu (> 1), maka kinerja penyelenggaraan proyek lebih baik daripada perencanaan, dalam arti pengeluaran lebih kecil dari anggaran atau jadwal lebih cepat dari rencana.

3. ECD (Estimate Completion Date/ perkiraan waktu penyelesaian proyek)

- Rencana waktu pelaksanaan (T tot) = 15 minggu = 105 hari
- Waktu pelaksanaan saat monitoring (T act) = 9 minggu = 63 hari
- Target kemajuan = 72,342 %
- Kemajuan yang dicapai = 74,234 %
- Waktu yang seharusnya dicapai sampai dengan kemajuan 74,23 % (T wp) = 9,24 minggu
- Mencari T wp = $\frac{9 \times 74,234\%}{72,342\%} = 9,24 \text{ minggu} = 65 \text{ hari}$
- $SPI = \frac{T_{wp}}{T_{act}} = \frac{65}{63} = 1,03$

- Waktu untuk menyelesaikan pekerjaan (T_{ETS})
$$= \frac{T_{tot} - T_{wp}}{SPI} = \frac{15 - 9}{1,03} = 5,82 \text{ minggu} = 41 \text{ hari}$$

- ECD = $T_{act} + T_{ETS}$
= $9 + 5,82$
= $14,82 \text{ minggu} = 104 \text{ hari}$

- Parameter Biaya

1. CV (Cost Varians/ varian biaya terpadu)

$$\begin{aligned} CV &= BCWP - ACWP \\ &= \text{Rp. } 184.409.854,30 - \text{Rp. } 182.736.702,50 \\ &= \text{Rp. } 1.673.151,80 \end{aligned}$$

Angka positif pada varian biaya menunjukkan situasi dimana biaya yang diperlukan lebih besar daripada anggaran.

2. CPI (Cost Performed Index/ indeks prestasi biaya)

$$\begin{aligned} CPI &= \frac{BCWP}{ACWP} \\ &= \frac{\text{Rp. } 184.409.854,30}{\text{Rp. } 182.736.702,50} \\ &= 1,009 \end{aligned}$$

Angka Indeks Prestasi lebih dari satu (> 1), berarti pengeluaran lebih kecil dari anggaran biaya yang telah direncanakan.

3. EAC (Estimate at Completion/ perkiraan biaya menyelesaikan pekerjaan)

- Anggaran proyek = Rp. 248.416.971,00
- Anggaran untuk pekerjaan sisa
= Anggaran total – BCWP
= Rp. 248.416.971,00 – Rp. 184.409.854,30
= Rp. 64.007.116,70
- Prestasi biaya (CPI)
CPI = 1,009

- Perkiraan biaya untuk pekerjaan sisa (ETC)

$$= \frac{\text{Anggaran} - \text{BCWP}}{\text{CPI}} = \frac{\text{Rp. 64.007.116,70}}{1,009} = \text{Rp. 63.436.190,98}$$

- Perkiraan total biaya proyek (EAC)

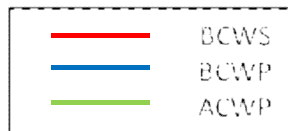
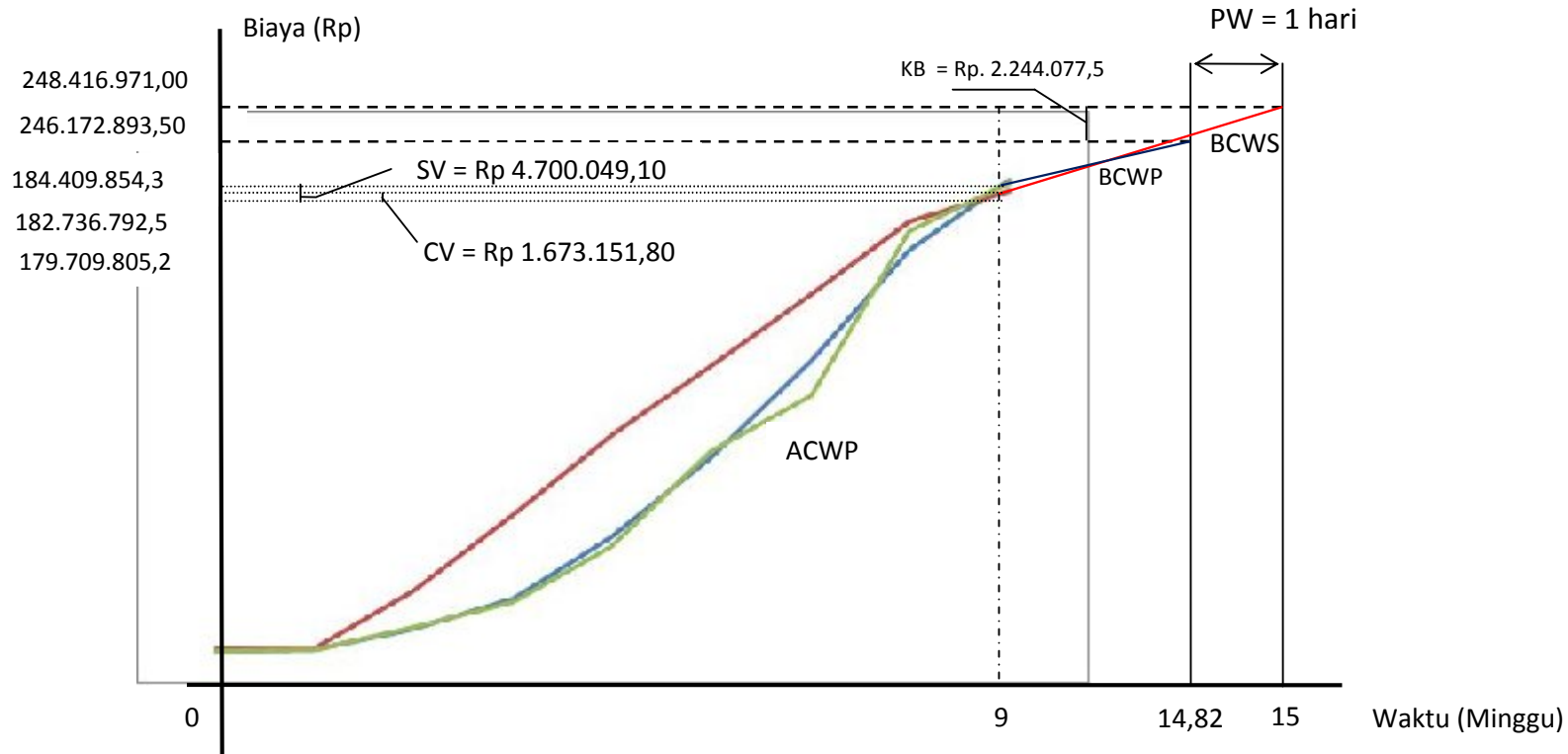
$$= \text{ACWP} + \text{ETC}$$

$$= \text{Rp. 182.736.702,50} + \text{Rp. 63.436.190,98}$$

$$= \text{Rp. 246.172.893,50}$$

Tabel 8.13 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Evaluasi II (Minggu ke-9)

Metode konsep nilai hasil	Hasil perhitungan	Keterangan
I. Indikator		
1. BCWS	Rp. 179.709.805,20	
2. ACWP	Rp. 182.736.702,50	
3. BCWP	Rp. 184.409.854,30	
III. Parameter waktu		
1. SV (Schedule Variance/ varians jadwal terpadu)	Rp. 4.700.049,10	SV menunjukkan nilai positif berarti sampai saat monitoring, proyek mengalami percepatan.
2. SPI (Schedule Performed Index/indeks Prestasi Jadwal)	1,02	SPI bernilai lebih dari satu berarti kemajuan pekerjaan yang tercapai lebih besar dari target kemajuan yang telah direncanakan.
3. ECD (Estimate CompletionDate/ perkiraan wakyu penyelesaian proyek)	104 hari	Perkiraan waktu penyelesaian proyek lebih cepat dari waktu rencana proyek.
III. Perkiraan biaya		
1. CV (Cost Variance/Varian Biaya)	Rp. 1.673.151,80	CV bernilai positif berarti bahwa biaya yang diperlukan lebih kecil dari anggaran
2. CPI (Cost Performed Index/Indeks Prestasi Biaya)	1,009	CPI bernilai lebih dari satu berarti pengeluaran lebih kecil dari anggaran yang telah direncanakan
3. EAC (Estimate at Completion/perkiraan biaya penyelesaian proyek)	Rp. 246.172.893,50	Perkiraan biaya proyek lebih kecil dari rencana anggaran proyek



Keterangan :

PW = Percepatan waktu = 1 hari

KB = Kelebihan Biaya = Rp. 2.244.077,50

Gambar 8.3. Grafik BCWP, BCWS, dan ACWP dari perhitungan menggunakan metode earned value pada minggu ke-9

Tabel 8.14 Indikator, Varians dan Indeks Konsep *Earned Value*

8.4 PROSES EVALUASI

Yang perlu diperhatikan dalam memperhitungkan perkiraan biaya serta waktu penyelesaian proyek dengan menggunakan metode *earned value* adalah :

1. Nilai indeks prestasi biaya (CPI), dan indeks kinerja waktu (SPI), yang diperoleh pada saat monitoring, pada evaluasi I (minggu ke-5) nilai CPI sebesar 1,09 dan nilai SPI sebesar 0,532, sedangkan pada evaluasi II (minggu ke-9), nilai CPI sebesar 1,02 dan nilai SPI yang sebesar 1,009 dianggap tidak berubah sampai akhir proyek dan digunakan dalam memperhitungkan perkiraan waktu dari pekerjaan sisa. Karena metode pendekatannya diambil dari asumsi bahwa semua faktor yang mengakibatkan terjadinya penyimpangan biaya dan waktu pada saat monitoring dianggap tetap berlaku sampai dengan akhir proyek, namun demikian perhitungan perkiraan biaya dan waktu dari sisa pekerjaan ini tetap diperlukan, dalam rangka meningkatkan motivasi dari manajer proyek selaku pimpinan proyek kearah komunitas pengendalian proyek selanjutnya, dengan demikian diharapkan terjadi peningkatan kinerja dari sisa proyek, baik dari segi biaya maupun waktu pelaksanaan.
2. Berbagai langkah yang seharusnya diambil oleh manajer proyek didalam menekan biaya penyelesaian proyek (agar $CPI > 1$) dan waktu penyelesaian proyek (agar $SPI > 1$) adalah sebagai berikut :
 - Meninjau ulang perencanaan, hal ini diperlukan untuk mengetahui adanya kemungkinan memperkecil pembengkakan biaya dan keterlambatan waktu.
 - Mempertimbangkan untuk mengadakan kerja lembur untuk mempercepat pelaksanaan proyek.

Setelah proyek pengolahan data, pada tahap pengendalian berikutnya adalah proses evaluasi. Pada tahap ini akan dicari faktor – faktor penyebab terjadinya penyimpangan kinerja proyek baik jadwal maupun biaya. Faktor penyebab ini penting untuk diketahui secara tepat, karena setiap langkah

antisipasi, koreksi, maupun tindakan pembetulan harus mengacu pada masalah tersebut.

Selanjutnya agar tingkat efektifitas dapat dicapai secara maksimal, maka pada tahap evaluasi ini harus diperoleh segala kejelasan atas hal yang mengakibatkan penyimpangan jadwal atau biaya pada saat monitoring seperti :

1. Masalah terjadinya pembengkakan biaya selain karena naiknya harga satuan pekerjaan, pembengkakan biaya proyek juga diakibatkan oleh hal – hal berikut ini :

- Terjadinya kesalahan kerja yang berakibat bongkar pasang pekerjaan
- Terjadinya pembengkakan biaya langsung
- Terjadinya kenaikan bunga pinjaman modal kerja

2. Masalah kesiapan dan kelengkapan perencanaan teknis.

Kesiapan termasuk kejelasan syarat kelengkapan aspek teknis proyek seperti gambar rencana, spesifikasi teknik, jadwal kerja dan metode pelaksanaan, perlu mendapat perhatian khusus karena juga berpotensi menjadi factor penyebab terjadinya penyimpangan kerja proyek.

3. Masalah sistem organisasi proyek.

Hal ini perlu diamati karena bisa menjadi factor penyebab internal atas terjadinya penyimpangan kinerja proyek seperti :

- Struktur organisasi yang kurang efisien (terlalu banyak menyerap personil)
- Kinerja personil kurang memadai
- Terjadi pembagian tugas dan kewajiban yang kurang seimbang antara personil. Hal ini akan menimbulkan dampak psikologis di kalangan personil, seperti menurunnya motivasi kerja, rasa tanggung jawab, serta kerja sama diantara personil proyek.
- Sistem dan prosedur kerja yang kurang jelas sehingga dapat berakibat terjadinya saling lempar tanggung jawab.

- Kurang baiknya pelaksanaan fungsi manajemen, terjadinya rasa tanggung jawab, kejujuran, serta disiplin personil.
4. Jenis pekerjaan yang mengalami keterlambatan.
- Faktor ini perlu diketahui karena akan menentukan arah orientasi yang akan diambil, misalnya menentukan prioritas kerja.

8.5 ANALISA WAKTU

Yang dimaksud dengan analisa waktu dalam penyelenggaraan proyek adalah mempelajari tingkah laku pelaksanaan kegiatan selama penyelenggaraan proyek. Dengan analisa waktu ini diharapkan bisa ditetapkan skala prioritas pada setiap tahap dan bila terjadi perubahan waktu pelaksanaan kegiatan segera dapat diperkirakan akibat – akibatnya sehingga keputusan yang diperlukan dapat segera diambil. Disamping itu, analisa waktu memungkinkan disesuaikan umur perkiraan penyelesaian proyek dengan umur proyek yang direncanakan melalui cara yang rasional, sepanjang masih memungkinkan. Bahkan umur rencana proyek dapat ditentukan lamanya sesuai dengan probabilitas yang dikehendaki.

Tujuan analisa waktu dalam pelaksanaan selama penyelenggaraan proyek ini adalah untuk menekan tingkat ketidakpastian dalam waktu pelaksanaan proyek. Dengan menentukan waktu yang tepat, analisa biaya dapat dilakukan. Manfaat lain dari analisa waktu ini adalah cara kerja yang dilakukan dengan efisien sehingga waktu penyelenggaraannya menjadi efisien pula.

Alat yang diperlukan untuk melakukan analisis waktu adalah *Masterplan Network Planning* diagram proyek. Pemakaian *network planning* digram dalam menyelenggarakan proyek antara lain agar proyek dapat selesai sesuai rencana. Untuk mencapai tujuan ini, adalah dengan melaksanakan semua kegiatan sesuai rencana yang tercantum dalam *network planning* diagram. Hal ini akan sulit dilakukan karena selalu ada kemungkinan adanya keterlambatan pelaksanaan. Ada beberapa kegiatan yang mempunyai batas toleransi, sehingga kegiatan yang terlambat masih dalam posisi aman sehingga tidak akan menyebabkan keterlambatan penyelesaian proyek. Tapi ada kegiatan yang tidak diberi toleransi,

artinya terlambat satu hari maka proyek akan selesai dengan terlambat dalam satu hari juga. Kegiatan yang tidak mempunyai toleransi ini disebut *kegiatan kritis*.

Berikut ini adalah diagram *network planning* dalam bentuk Precedence Diagram Method (PDM) pada proyek pembangunan Bendung Susukan:

BAB IX

PEMBAHASAN HASIL PENELITIAN DENGAN METODE *EARNED VALUE*

9.1 PEMBAHASAN

Dalam Tugas Akhir ini dibahas juga mengenai metode konsep nilai hasil untuk pengendalian pelaksanaan proyek dengan mengambil studi kasus pada Proyek Bendung Susukan desa Beseran, Kabupaten Magelang. Dari hasil analisis ketiga indikator metode *earned value* yang diperoleh pada saat evaluasi (minggu ke-5 dan minggu ke-9) tersebut, maka dapat diperoleh varian biaya dan varian waktu serta indeksnya sehingga dari varian-varian dan indeks yang telah diperoleh dapat dianalisis untuk mengetahui perkiraan biaya pada akhir proyek, waktu penyelesaian proyek dan kinerja kegiatan yang sedang berlangsung. Proses pengolahan data dilakukan dengan membandingkan data-data pada saat monitoring minggu ke-5 dan minggu ke-9 dengan data-data perencanaan.

Ketiga indikator yang digunakan dalam metode *earned value*, yaitu :

- BCWP (*Budgeted Cost Work Performed* / anggaran yang senilai dengan pekerjaan yang telah dilaksanakan)
- BCWS (*Budgeted Cost Work Scheduled* / jumlah anggaran yang telah dilaksanakan)
- ACWP (*Actual Cost Work Performed* / biaya actual dari pekerjaan yang telah dilaksanakan)

Parameter-parameter yang dihasilkan dari proses pengolahan data dengan menggunakan metode *earned value* adalah :

1. Parameter waktu

- SV (*Scheduled Variance* / varian waktu)
- SPI (*Scheduled Performed Index* / indeks prestasi waktu)
- ECD (*Estimate Completion Date* / perkiraan waktu penyelesaian proyek)

2. Parameter biaya

- CV (*Cost Variance* / varian biaya)
- CPI (*Cost Performed Index* / indeks prestasi biaya)
- EAC (*Estimate at Completion* / perkiraan biaya penyelesaian proyek)

Berikut ini adalah rekapitulasi hasil dari pengolahan data dengan metode *earned value* pada saat evaluasi minggu ke-5 dan ke-9 :

Tabel 9.1 Rekapitulasi Hasil Evaluasi Minggu ke-5 dan ke-9

NO	INDIKATOR	EVALUASI I (Minggu ke-5)	EVALUASI II (Minggu ke-9)
1	BCWS	Rp 6,798,105.50	Rp 179,709,805.20
2	BCWP	Rp 40,894,401.77	Rp 182,736,702.50
3	ACWP	Rp 37,483,411.33	Rp 184,409,854.30
4	CV	Rp 3,410,990.44	Rp 1,673,151.80
5	SV	Rp (35,903,703.81)	Rp 4,700,049.10
6	SPI	0.532	1.02
7	CPI	1.09	1.009
8	EAC	Rp 227,874,089.50	Rp 246,172,893.50
9	ECD	195 hari	104 hari

Dari tabel 9.1 dapat ditarik beberapa kesimpulan, antara lain :

1. Pada Evaluasi I pada minggu ke-5, *schedule variance* bernilai negatif ($SV < 1$), yang berarti kinerja proyek kurang baik karena tertinggal dari jadwal yang direncanakan. Hal ini mengakibatkan perkiraan waktu penyelesaian proyek (ECD) akan melebihi jadwal rencana. Yang semula akan selesai dalam waktu 105 hari menjadi 195 hari, atau 90 hari lebih lama. Tapi pada saat evaluasi II pada minggu ke-9, *schedule variance* bernilai positif ($SV > 1$), yang menunjukkan bahwa tingkat kemajuan pekerjaan proyek lebih cepat dari yang telah direncanakan. Perkiraan waktu penyelesaian proyek ini, menurut evaluasi II adalah selama 104 hari, lebih cepat 1 hari dari rencana awal yaitu 105 hari. Hal ini menunjukkan bahwa *Estimate Completion Date* (ECD) dipengaruhi pada saat monitoring atau evaluasi dilakukan, apabila evaluasi dilakukan pada saat SV masih kurang dari 1,

maka ECD akan melebihi jadwal. Tapi akan berbeda apabila pada saat evaluasi ketika SV bernilai positif, maka ECD akan lebih cepat dari jadwal yang telah direncanakan.

2. Menurut hasil evaluasi I pada minggu ke-5 dan evaluasi II pada minggu ke-9, *cost variance* bernilai positif ($CV > 1$), yang berarti biaya yang dikeluarkan dalam pengerjaan proyek lebih kecil dari anggaran biaya yang telah direncanakan. Tetapi terdapat perbedaan antara evaluasi I dan II tentang berapa besar perkiraan biaya pada akhir proyek atau *Estimate at Completion* (EAC), pada evaluasi I EAC sebesar Rp. 227.874.085,50 dan evaluasi II EAC sebesar Rp. 246.172.893,50. Hal tersebut disebabkan karena *Cost Performance Index* yang berbeda, pada evaluasi I nilai CPI sebesar 1,09 dan pada minggu ke-9, nilai CPI sebesar 1,009.

BAB X

KESIMPULAN DAN SARAN

10.1. KESIMPULAN

1. Pembangunan bendung Susukan dimaksudkan untuk menaikkan tinggi muka air secara efektif agar dapat menyuplai air ke saluran suplesi desa Beseran.
2. Bendung direncanakan dengan pintu intake sebelah kanan dengan kebutuhan air $4,1 \text{ m}^3/\text{dtk}$
3. Tinggi bendung direncanakan setinggi 4,3 m dengan tipe mercu bulat dan tanpa kolam olah. Mercu bulat digunakan untuk menghindari tekanan sub atmosfer yang diakibatkan limpasan air diatas mercu pada saat banjir. Bendung direncanakan tanpa menggunakan kolam olah dikarenakan kondisi dasar sungai yang terdiri dari batu-batu kali berukuran cukup besar, sehingga kecil kemungkinan terjadi gerusan.
4. Bendung direncanakan dengan lebar 15 meter.
5. Pintu-pintu seluruhnya menggunakan pintu sorong.
6. Anggaran biaya konstruksi bendung Susukan direncanakan sebesar Rp. 248.416.971,00 (dua ratus empat puluh delapan juta empat ratus enam belas ribu sembilan ratus tujuh puluh satu rupiah)
7. Waktu perkiraan selesainya proyek atau *Estimate Completion Date* (ECD) dipengaruhi oleh pelaksanaan pekerjaan proyek. Pada Evaluasi I pada minggu ke-5, *Schedule Variance* bernilai negatif ($SV < 1$), Sehingga ECD menjadi 195 hari, Tapi pada saat evaluasi II pada minggu ke-9, *Schedule Variance* bernilai positif ($SV > 1$), sehingga ECD menjadi 104 hari.
8. Perkiraan biaya pada akhir proyek atau *Estimate at Completion* (EAC) dipengaruhi oleh pelaksanaan pekerjaan proyek, pada evaluasi I pada minggu ke-5, EAC sebesar Rp. 227.874.085,50 dan evaluasi II pada minggu ke-9 EAC

sebesar Rp. 246.172.893,50. Hal tersebut disebabkan karena *Cost Performance Index* yang berbeda, pada evaluasi I nilai CPI sebesar 1,09 dan pada evaluasi II, nilai CPI sebesar 1,009.

10.2. SARAN

1. Pada pemeriksaan berkala terhadap kondisi konstruksi agar kerusakan-kerusakan yang terjadi dapat ditangani dengan cepat dan tepat.
2. Dibutuhkan aturan khusus dalam pengoperasian pintu agar pintu pengambilan bendung dapat berjalan dengan baik, sebaiknya cara pengoperasian pintu dipampang dengan betuk papan pengoperasian yang diletakkan didekat pintu pada bendung
3. Manajemen biaya dan material yang sudah dikelola secara baik oleh pelaksana hendaknya ditingkatkan pada proyek selanjutnya guna mendapatkan bangunan dengan biaya yang lebih murah dan berkualitas baik.
4. Monitoring atau evaluasi berkala sangat diperlukan untuk menjaga kinerja proyek agar sesuai dengan jadwal rencana dan dapat mengantisipasi perubahan pengeluaran biaya yang mungkin terjadi selama pengerjaan proyek.
5. Pengendalian waktu dan biaya proyek sangat diperlukan untuk mencapai hasil yang optimal dalam kemajuan pekerjaan proyek dan pengendalian biaya agar lebih efektif.

DAFTAR PUSTAKA

Direktorat Jendral Departemen Pekerjaan Umum, *Standar Perencanaan Irigasi-Kriteria Perencanaan 01*, Badan Penerbit Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta, 1986.

Direktorat Jendral Departemen Pekerjaan Umum, *Standar Perencanaan Irigasi-Kriteria Perencanaan 02*, Badan Penerbit Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta, 1986.

Direktorat Jendral Departemen Pekerjaan Umum, *Standar Perencanaan Irigasi-Kriteria Perencanaan 03*, Badan Penerbit Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta, 1986.

Direktorat Jendral Departemen Pekerjaan Umum, *Standar Perencanaan Irigasi-Kriteria Perencanaan 04*, Badan Penerbit Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta, 1986..

Ervianto. Wulfram I, *Manajemen Proyek Konstruksi*, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2005.

Hinds, Creager, Justin, *Engineering for Dams*, John Wiley & Sons. Inc, London 1961.

Husen. Abrar, *Manajemen Proyek*, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2009.

Kodoatie. Robert J, Sugiyanto, *Banjir*, Pustaka Pelajar, Semarang, 2001.

Kodoatie. Robert J, *Hidrolika Terapan Aliran pada Saluran Terbuka dan Pipa*, Andi, Yogyakarta, 2002.

Loebis Joesron. Ir. M.Eng, *Banjir Rencana untuk Bangunan Air*, Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Cetakan ke-1, Jakarta, 1987.

Marta W. Joice, Ir., Adhidarma Wanny, Ir. Dipl. H., *Mengenal Dasar-dasar Hidrologi*, Nova, Bandung , 1992.

Marion E, *Manajemen Proyek*, Bina Aksara, Jakarta, 1992.

M.Das Braja, *Mekanika Tanah*, PT.Erlangga, Jakarta 1998.

Mujihartono. Eko, *Modul Ajar Manajemen Konstruksi*, Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang

DAFTAR PUSTAKA

Project Management Institute, *Practice Standart For Earned Value Management*, Four Campus Boulevard, [http: www.pmi.org](http://www.pmi.org), USA, 2005,

Soemarto.CD. Ir.B.E.I. Dipl H, *Hidrologi Teknik*, Usaha Nasional, Surabaya 1987.

Sosrodarsono Suyono. Ir, Takeda Kensaku, *Hidrologi Untuk Pengairan*, PT. Pradnya Paramita, Cetakan Ke-9, Jakarta, 2003.

Suripin, *Buku Ajar Hidrolika*, Jurusan Teknik Sipil FT Undip, Semarang, 2004.

Susty A, *Manajemen Biaya*, Salemba Empat, Jakarta, 1999.

Tim Dosen Teknik Sipil Perguruan Tinggi Negeri dan Swasta se-Indonesia, *Irigasi dan Bangunan Air*, Gunadarma, Jakarta, 1997.

Triatmojo. Bambang, *Hidrologi Terapan*, Beta Offset, Yogyakarta, 2008.

V. Sungkono Kh. Ir, *Buku Teknik Sipil*, Nova, Bandung, 1995.