



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS HIDROLOGI UNTUK PENANGANAN BANJIR DI
KAWASAN PERKEBUNAN KELAPA SAWIT DI TELUK
BAKAU ESTATE, INDRAGIRI HILIR, PROVINSI RIAU**

SKRIPSI

**EVI FAUZIAH
040501023X**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
DEPOK
JULI 2009**

889/FT.01/SKRIP/07/2009



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS HIDROLOGI UNTUK PENANGANAN BANJIR DI
KAWASAN PERKEBUNAN KELAPA SAWIT DI TELUK
BAKAU ESTATE, INDRAGIRI HILIR, PROVINSI RIAU**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**EVI FAUZIAH
040501023X**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
KEKHUSUSAN MANAJEMEN SUMBER DAYA AIR
DEPOK
JULI 2009**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan benar.

Nama : Evi Fauziah

NPM : 040501023X

Tanda Tangan :

Tanggal : 1 Juli 2009



LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Evi Fauziah
NPM : 040501023X
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Analisis Hidrologi untuk Penanganan Banjir di
Kawasan Perkebunan Kelapa Sawit di Teluk Bakau
Estate, Indragiri Hilir, Provinsi Riau

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing 1 : Toha Saleh, ST, MSc. ()
Pembimbing 2 : Ir. Widjojo A. Prakoso, Ph D. ()
Penguji 1 : Dr.Ing.Ir. Dwita Sutjiningsih ()
Penguji 2 : Ir. Herr Soeryantono, Ph D. ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 1 Juli 2009

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Departemen Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Toha Saleh, MSc. sebagai pembimbing skripsi yang telah memberikan informasi dan arahan sejak awal pengerjaan skripsi ini.
- (2) Ir. Widjoyo Adi Prakoso, Ph.D; sebagai pembimbing skripsi yang telah menjelaskan alur berpikir secara lebih sistematis.
- (3) orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral,
- (4) sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 1 Juli 2009

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Evi Fauziah
NPM : 040501023X
Program Studi : Manajemen Sumber Daya Air
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Analisis Hidrologi untuk Penanganan Banjir di Kawasan Perkebunan Kelapa Sawit di Teluk Bakau Estate, Indragiri Hilir, Provinsi Riau

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di :

Pada tanggal :

Yang menyatakan

()

ABSTRAK

Nama : Evi Fauziah
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : Analisis Hidrologi untuk Penanganan Banjir di Kawasan Perkebunan Kelapa Sawit di Teluk Bakau Estate, Indragiri Hilir, Provinsi Riau

Perkebunan Kelapa Sawit, Indragiri Hilir, provinsi Riau, milik PT. Bhumireksa Nusasejati mengalami banjir jika musim hujan. Perkebunan dengan luas 16.577 hektar ini didominasi oleh lahan gambut, sehingga pengelolaan air harus menyesuaikan dengan karakteristik tanah gambut. Tinggi muka air tanah gambut harus dapat dipertahankan 60-100 cm dan tanah gambut tidak boleh kering terlalu lama, karena sifatnya irreversible. Analisis permasalahan dilakukan dengan penelusuran kanal melalui program Win TR-20. Kemudian didapatkan debit puncak dan elevasi maksimum pada titik outlet. Solusi penanganan banjir secara teknis adalah dengan membangun infrastruktur reservoir pada daerah Rotan Semelur dan Nusa Lestari, membuat pintu air pada beberapa titik, dan membuat tanggul sepanjang kanal utama. Desain tinggi muka air dalam pengelolaan air akan bergantung pada musim. Selama musim hujan, tinggi muka air pada kanal harus lebih rendah karena kemungkinan terjadi debit puncak dan selama musim hujan tinggi muka air harus diatur agar kanal tidak kering.

Kata kunci: banjir, penelusuran kanal, pengelolaan air, tanah gambut

ABSTRACT

Name : Evi Fauziah
Study Program: Civil Engineering
Title : Hydrologic Analysis for Flood Management at Palm Oil
Plantation in Teluk Bakau Estate, Indragiri Hilir, Riau Province

Palm oil plantation in Indragiri Hilir, province Riau is owned by PT Bhumireksa Nusasejati, flooding at monsoon season. It covers an area of approximately 16577 hectares with peat soils, because of that water management should proper with the characteristic of peat soils. Water level in the canals should be 60-100 centimeters and do not over drainage, because peat soils is irreversible. The analysis with channel routing by Win TR-20 program. Then resulted peak flow and maximum elevation at outlet point. Handling flood solution are construction of reservoir at Rotan Semelur and Nusa Lestari, building flapgate at some outlet, and making dike along main canal. The design water level in the water management system will depend on the seasons. During the monsoon season a lower level will have to increase the discharge capacity and during the dry sesason a higher level will have to be maintanated to conserve water.

Key words: flood, channel routing, water management, peat soils

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xi
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Batasan dan Ruang Lingkup Penelitian	3
1.4 Metode Penulisan	3
1.5 Sistematika Penulisan	4
2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Komponen Hidrologi	5
2.1.1 Presipitasi	5
2.1.1.1 Analisis Frekuensi.....	6
2.1.1.2 Analisis Intensitas Hujan.....	8
2.1.2 Limpasan (<i>runoff</i>)	8
2.1.2.1 Metode Rasional.....	10
2.1.2.2 Metode SCS	11
2.2 Pengelolaan Limpasan Hujan di Musim Kemarau dan Musim Hujan.....	14
2.2.1 Pengelolaan Limpasan Hujan di Musim Kemarau	14
2.2.2 Pengelolaan Limpasan Hujan di Musim Hujan	14
2.3 Tata Air pada Lahan Gambut.....	15
2.3.1 Pengertian Lahan Gambut.....	15
2.3.2 Sifat-sifat Tanah Gambut.....	16
2.3.2.1 Sifat-sifat Fisik	16
2.3.2.2 Sifat-sifat Kimia	17
2.3.2.3 Sifat Biologi	17
2.3.3 Pemanfaatan Gambut untuk Lahan Pertanian	17
2.3.4 Teknologi Pengelolaan Air di Lahan Gambut	18
2.3.4.1 Sistem Parit	19
2.3.4.2 Sistem Saluran Model Garpu	19
2.3.4.3 Sistem Aliran Satu Arah	20
3. METODE PENELITIAN	22
4. KONDISI EKSISTING PADA WILAYAH STUDI.....	27
4.1 Provinsi Riau.....	27
4.1.1 Luas dan Batas Wilayah.....	27

4.1.2 Topografi.....	29
4.1.3 Keadaan Iklim.....	29
4.1.4 Perkebunan Kelapa Sawit.....	29
4.2 Perkebunan Kelapa Sawit Bhumireksa Nusasejati.....	30
4.2.1 Lokasi Perkebunan.....	30
4.2.2 Topografi.....	32
4.2.3 Curah Hujan.....	33
4.2.4 Bangunan Pengendali Banjir.....	33
5. ANALISIS PERMASALAHAN.....	37
5.1 Analisis Curah Hujan.....	37
5.2 Analisis Debit Rencana.....	39
5.3 Analisis Kapasitas Saluran.....	40
5.4 Channel Routing.....	42
5.4.1 Sistem DAS.....	42
5.4.2 Input Win TR-20.....	46
5.4.3 Output Win TR-20.....	49
5.4.4 Profil Kanal.....	51
5.5 Solusi Penanganan Banjir.....	54
6. KESIMPULAN DAN SARAN.....	60
6.1 Kesimpulan.....	60
6.2 Saran.....	61
DAFTAR REFERENSI.....	62
LAMPIRAN	
1. ANALISIS FREKUENSI.....	65
2. KURVA IDF.....	66
3. PERHITUNGAN DEBIT RENCANA.....	67
4. EVALUASI KAPASITAS SALURAN.....	69
5. AREA, CN = 66.....	71
6. AREA, CN = 77.....	72
7. DRAINAGE CROSS SECTION.....	73
8. OUTPUT WIN TR-20.....	78
9. PROFIL KANAL UTAMA.....	82
10. KAPASITAS RESERVOIR.....	84
11. ALIRAN ANDALAN.....	90
12. OUTPUT WIN TR-20 SETELAH DIBUAT RESERVOIR.....	92

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pengelolaan air sistem parit/handil	19
Gambar 2.2 Pengelolaan air dengan sistem garpu UGM.....	20
Gambar 2.3 Pengelolaan air pada tingkat petakan sawah petani	21
Gambar 2.4 Pintu air otomatis (flapgate).....	21
Gambar 3.1 Diagram alir metodologi	22
Gambar 4.1 Peta sungai di Provinsi Riau.....	27
Gambar 4.2 Peta Provinsi Riau	28
Gambar 4.3 Peta lokasi	30
Gambar 4.4 Pembagian daerah perkebunan.....	31
Gambar 4.5 Peta kontur perkebunan BNS	33
Gambar 4.6 Elevasi muka air dan permukaan tanah dari kanal utama	35
Gambar 4.7 Kanal primer.....	35
Gambar 4.8 Dinding turap pada kanal	36
Gambar 4.9 Bendungan yang jebol.....	36
Gambar 5.1 IDF Curve.....	38
Gambar 5.2 <i>Sub-catchment</i>	43
Gambar 5.3 Skema sistem <i>sub-catchment</i>	44
Gambar 5.4 Skema sistem DAS.....	46
Gambar 5.5 Ilustrasi input program Win TR-20.....	47
Gambar 5.6 Grafik distribusi hujan.....	49
Gambar 5.7 Skema DAS output Win TR-20	50
Gambar 5.8 Profil kanal, $Tr = 10\text{thn}$	53
Gambar 5.9 Penempatan infrastruktur	59

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Reduced Standar Deviation.....	7
Tabel 2.2 Reduced mean.....	7
Tabel 2.3 Reduced variate.....	7
Tabel 2.4 Tabel koefisien pengaliran.....	11
Tabel 2.5 Koefisien CN untuk lahan pertanian.....	13
Tabel 4.1 Nama dan luas wilayah Provinsi Riau.....	28
Tabel 4.2 Daerah tertanam.....	31
Tabel 4.3 Dimensi kanal eksisting.....	34
Tabel 5.1 Curah hujan harian maksimum.....	37
Tabel 5.2 Intensitas maksimum pada periode ulang.....	38
Tabel 5.3 Input area.....	47
Tabel 5.4 Curah hujan kumulatif.....	48
Tabel 5.5 Input reach.....	50
Tabel 5.6 Output storm = 10 years.....	51
Tabel 5.7 Output elevasi, $T_r= 10$ tahun.....	52
Tabel 5.8 Elevasi kanal utama setelah dibangun reservoir.....	55
Tabel 5.9 Aliran andalan.....	58

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Indonesia merupakan wilayah bercurah hujan tinggi, sekitar 2.000 - 3.000 milimeter setahun. Apabila suatu saat curah hujan melebihi kisaran (*range*) tersebut, maka menyebabkan adanya potensi terjadi banjir. Banjir dapat disebabkan oleh beberapa hal. Pertama, kegiatan manusia yang menyebabkan terjadinya perubahan tata ruang dan berdampak pada perubahan alam. Kedua, peristiwa alam seperti curah hujan sangat tinggi, kenaikan permukaan air laut, badai, dan sebagainya. Ketiga, degradasi lingkungan seperti hilangnya tumbuhan penutup tanah pada *catchment area*, pendangkalan sungai akibat sedimentasi, penyempitan alur sungai, dan sebagainya (Deputi Bidang Sarana dan Prasarana, Direktorat Pengairan dan Irigasi).

Diantara pulau-pulau di Indonesia, Pulau Sumatera mempunyai curah hujan menengah, yaitu 101 – 150 mm per hari (Badan Meteorologi dan Geofisika, Januari 2009). Hal ini menjadi potensi terjadinya banjir saat musim hujan, salah satunya terjadi di Perkebunan Kelapa Sawit, Indragiri Hilir, provinsi Riau, milik PT. Bhumireksa Nusasejati. Luas perkebunan kelapa sawit ini sekitar 25.000 hektar, dibagi ke dalam 5 wilayah perkebunan. Keseluruhan lahan ini ditutupi oleh tanah gambut dan dibatasi oleh kanal buatan.

Selama musim hujan, perkebunan kelapa sawit ini mengalami banjir. Kondisi yang tidak baik ini mengakibatkan kesulitan dalam pengangkutan hasil panen, karena pohon kelapa sawit terbenam air. Jika musim kemarau tiba, kanal menjadi kering sehingga kapal pengangkut tidak dapat berjalan secara optimal dan kelapa sawit menjadi busuk karena disimpan terlalu lama selama perjalanan. Hal ini mengakibatkan produktifitas pengelolaan kelapa sawit menjadi menurun.

Ada beberapa hal yang diduga menjadi penyebab terjadinya banjir di perkebunan kelapa sawit. Antara lain ketika terjadi pasang surut dari Sungai Guntung, tinggi muka air di dalam kanal meluap ke daratan sejauh 6 km. Akibat

dari pasang surut ini, tinggi air di dalam kanal akan berubah-ubah secara signifikan antara musim kemarau dan musim hujan.

Penyebab lain karena tata air yang kurang tepat diterapkan pada lahan gambut. Lahan gambut harus tetap basah tapi tidak tergenang di musim hujan dan tidak kering di musim kemarau. Karakteristik lahan gambut ini harus disesuaikan dengan sistem drainase. Sistem drainase yang ada adalah kanal buatan, yang terdiri dari kanal primer dan kanal sekunder. Hulu dari kanal ini adalah dari Sungai Guntung dan bermuara ke laut.

Berbagai upaya untuk menangani banjir sudah pernah dilakukan dengan membuat bendungan urugan, namun karena konstruksi yang kurang kuat dan tekanan air yang besar, maka sebelum selesai dibangun bendungan mengalami jebol. Pintu air yang terdapat pada kanal pun masih sederhana dan kurang efektif untuk mengatur tinggi muka air. Pada dinding kanal juga sudah dibuat beronjong batu kali dan dinding turap, namun belum dibuat sepanjang kanal.

Tinggi muka air pada kanal harus dapat dipertahankan sedemikian rupa, sehingga pada saat musim kemarau kapal pengangkut dapat tetap berjalan dan pada saat musim hujan tidak terjadi banjir yang dapat mengakibatkan kerusakan pada bangunan air dan kerugian bagi masyarakat dan perusahaan.

Penanganan banjir pada daerah perkebunan kelapa sawit dapat dilakukan dengan menghitung debit banjir dan tinggi muka air yang harus dipertahankan di dalam kanal. Selain itu, perlu dibuat sistem tata air yang sesuai dengan kondisi lahan gambut sehingga selain mengurangi dampak banjir juga dapat menjaga keberlangsungan perkebunan kelapa sawit. Hasil akhir dari penelitian ini adalah sebuah rekomendasi untuk penanganan banjir di perkebunan kelapa sawit di Indragiri Hilir, provinsi Riau.

1.2 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan alternatif solusi untuk penyusunan rekomendasi dalam penanganan banjir di perkebunan kelapa sawit di Indragiri Hilir, provinsi Riau melalui:

- a. Perhitungan debit banjir rencana dan tinggi muka air yang harus dipertahankan di dalam kanal.

- b. Penerapan teknologi pengelolaan air pada lahan gambut yang tepat.

1.3 BATASAN DAN RUANG LINGKUP PENELITIAN

Pembahasan penelitian ini dibatasi hanya pada penanganan banjir di perkebunan kelapa sawit, Indragiri Hilir, Riau. Ruang lingkup dalam penelitian ini antara lain:

- a. Data yang diperoleh dari data primer dan sekunder
Data primer berupa hasil data pengamatan dan studi yang telah dilakukan, sedangkan data sekunder berupa data yang diperoleh dari perusahaan atau sumber lainnya.
- b. Penelitian dilakukan dengan melakukan perhitungan debit banjir rencana dan tinggi muka air di dalam kanal, serta analisis sistem tata air pada lahan gambut.
- c. Rekomendasi penanganan banjir adalah dari hasil perhitungan dan analisis yang telah dilakukan untuk menangani banjir yang terjadi di perkebunan kelapa sawit, Indragiri Hilir, provinsi Riau.

1.4 METODE PENULISAN

Dalam skripsi ini dilakukan beberapa tahap-tahap penulisan sehingga mencapai solusi yang diinginkan. Tahap-tahap tersebut antara lain:

1. Mengidentifikasi masalah yang terjadi pada wilayah studi, yaitu banjir pada perkebunan kelapa sawit, di Teluk Bakau Estate, Indragiri Hilir, provinsi Riau.
2. Mengumpulkan data-data yang diperlukan seperti:
 - a. Data hidrologi: data curah hujan
 - b. Data topografi: peta tata guna lahan
 - c. Data morfologi kanal: geometri kanal melalui hasil survey dan studi yang telah dilakukan.
3. Melakukan tinjauan pustaka sebagai landasan teori.

4. Melakukan hipotesis pada wilayah studi dari kondisi eksisting yang terdiri dari kondisi curah hujan, topografi, dan bangunan pengendali banjir.
5. Melakukan perhitungan penelurusan banjir dan tinggi muka air.
6. Merancang alternatif solusi penanganan banjir.
7. Membuat rekomendasi dan kesimpulan dari hasil perhitungan dan analisis.

1.5 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika dari penulisan penelitian adalah:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisikan latar belakang, tujuan penelitian, batasan dan ruang lingkup penelitian, metodologi penulisan serta sistematika penulisan dari penelitian yang akan dilakukan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan landasan atau dasar-dasar teori yang merupakan elaborasi dari perumusan masalah dan cara penyelesaian masalah yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan untuk penyusunan skripsi ini.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Bab ini berisikan *flow chart* dan penjelasan tentang metode penelitian secara keseluruhan yang akan dilakukan untuk mendapatkan data dalam skripsi ini, cara mengolah data, uraian analisa yang akan digunakan agar didapatkan hasil yang diharapkan.

BAB 4 KONDISI EKSISTING PADA WILAYAH STUDI

Bab ini berisikan kondisi eksisting dari perkebunan kelapa sawit di Indragiri Hilir, provinsi Riau dari aspek hidrologi, topografi, dan infrastuktur.

BAB 5 ANALISIS PERMASALAHAN

Bab ini berisikan pengolahan data dan analisis untuk mendapatkan alternatif solusi penanganan banjir.

BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan kesimpulan mengenai alternatif yang paling sesuai untuk menangani banjir serta saran-saran yang diperlukan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 KOMPONEN HIDROLOGI

2.1.1. Presipitasi

Presipitasi adalah istilah umum untuk menyatakan uap air yang mengkondensasikan dan jatuh dari atmosfer ke bumi dalam segala bentuknya dalam rangkaian siklus hidrologi. Jika air yang jatuh berbentuk cair disebut hujan (*rainfall*) dan jika berupa padat disebut salju (*snow*). Dalam bagian ini, hanya akan dibahas tentang hujan.

Untuk mendapatkan perkiraan besar banjir yang terjadi di suatu penampang sungai tertentu, maka kedalaman hujan yang terjadi pun harus diketahui pula. Dalam hal ini, perlu diperhatikan bahwa yang diperlukan adalah besaran kedalaman hujan yang terjadi di seluruh DAS (Daerah Aliran Sungai). Untuk menghitung data hujan rata-rata DAS dapat dilakukan beberapa cara, antara lain:

a. Rata-rata Aljabar

Setiap stasiun dianggap mempunyai bobot yang sama.

$$P = 1/n (P_1 + P_2 + \dots + P_n) \quad (2.1)$$

b. Poligon Thiessen

Cara ini memberikan bobot tertentu untuk setiap stasiun hujan dengan pengertian bahwa setiap stasiun hujan dianggap mewakili hujan dalam suatu daerah dengan luas tertentu, dan luas tersebut merupakan faktor koreksi bagi hujan yang bersangkutan.

c. Isohyet

Isohyet ini adalah garis yang menghubungkan tempat-tempat yang mempunyai kedalaman hujan sama pada saat yang bersamaan.

2.1.1.1 Analisis Frekuensi

Sistem hidrologi kadang-kadang dipengaruhi oleh peristiwa-peristiwa yang ekstrem, seperti hujan lebat, banjir, dan kekeringan. Tujuan analisis frekuensi data hidrologi adalah berkaitan dengan besaran peristiwa-peristiwa ekstrem yang berkaitan dengan frekuensi kejadiannya melalui penerapan distribusi kemungkinan. Analisis frekuensi yang digunakan berdasarkan metode Gumbel karena menggunakan sebaran nilai maksimalnya dengan cara analitis.

- Rata-rata curah hujan :

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{N} \quad (2.2)$$

- Standar deviasi σ_x

$$S_X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (2.3)$$

- Rumus Gumble

$$X_{Tr,24} = \bar{X} + \frac{\sigma_x}{\sigma_N} (Y_T - Y_N) \quad (2.4)$$

dimana

$X_{Tr,24}$ = Nilai curah hujan pada periode ulang Tr tahun

\bar{X} = Nilai rata-rata curah hujan pada seri data tinjauan (mm)

S_X = Standar deviasi

S_N = Nilai reduksi standar deviasi, tergantung besarnya N tahun seri data

Y_T = Nilai reduksi variasi berdasarkan lama periode ulang

Y_N = Nilai reduksi rata-rata

Tabel 2. 1 Reduced Standar Deviation (σ_N)

M	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	1.1086
30	1.1124	1.1159	1.1193	1.1226	1.1255	1.1285	1.1313	1.1339	1.1363	1.1388
40	1.1413	1.1436	1.1458	1.1480	1.1499	1.1519	1.1538	1.1557	1.1574	1.1590
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	1.1770	1.1782	1.1793	1.1803	1.1814	1.1824	1.1834	1.1844
70	1.1854	1.1863	1.1873	1.1881	1.1890	1.1898	1.1906	1.1915	1.1923	1.1930
80	1.1938	1.1945	1.1953	1.1959	1.1967	1.1973	1.1980	1.1987	1.1994	1.2001
90	1.2007	1.2013	1.2020	1.2026	1.2032	1.2038	1.2044	1.2049	1.2055	1.2060
100	1.2065									

Sumber; J NEMEC/Engineering hydrology

Tabel 2. 2 Reduced mean, Y_n

M	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0.4952	0.4996	0.5035	0.5070	0.5100	0.5128	0.5157	0.5181	0.5202	0.5220
20	0.5236	0.5252	0.5268	0.5283	0.5296	0.5309	0.5320	0.5332	0.5343	0.5353
30	0.5362	0.5371	0.5380	0.5388	0.5396	0.5402	0.5410	0.5418	0.5424	0.5430
40	0.5436	0.5442	0.5448	0.5453	0.5458	0.5463	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	0.5530	0.5533	0.5535	0.5538	0.5540	0.5543	0.5545
70	0.5548	0.5550	0.5552	0.5555	0.5557	0.5559	0.5561	0.5563	0.5565	0.5567
80	0.5569	0.5570	0.5572	0.5574	0.5576	0.5578	0.5580	0.5581	0.5583	0.5585
90	0.5586	0.5587	0.5589	0.5591	0.5592	0.5593	0.5595	0.5596	0.5598	0.5599
100	0.5600									

Sumber; J NEMEC/Engineering hydrology

Tabel 2. 3 Reduce variate, T_r

Periode Ulang (tahun)	Reduced Variate (Y_T)
2	0.3665
5	1.4999
10	2.2502
15	2.6844
20	2.9700
25	3.1985
50	3.9019

Sumber; J NEMEC/Engineering hydrology

2.1.1.2 Analisis Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah tinggi atau air hujan per satuan waktu. Sifat umum hujan adalah makin singkat hujan berlangsung intensitasnya cenderung makin tinggi dan makin besar periode ulangnya makin tinggi pula intensitasnya. Hubungan antara intensitas, lama hujan, dan frekuensi hujan dinyatakan dalam lengkung Intensitas-Durasi-Frekuensi (*IDF Curve*).

Intensitas curah hujan dapat dihitung berdasarkan rumus Mononobe yang merupakan variasi beberapa rumus intensitas curah hujan, rumus ini baik digunakan untuk curah hujan jangka pendek, setiap waktu berdasarkan curah hujan harian.

$$I = \frac{X_{Tr,24}}{24} \left(\frac{24}{T_d} \right)^{2/3} \quad (2.5)$$

dimana:

- $X_{Tr,24}$ = curah hujan harian rencana dengan masa ulang (mm)
- T_d = waktu konsentrasi = T_c yaitu waktu yang diperlukan oleh air hujan untuk mengalir dari lokasi terjauh lintasan Daerah Aliran Sungai (DAS) menuju outlet DAS
- I = intensitas hujan (mm/jam)

Intensitas (I) diketahui dari lengkung IDF dengan waktu jujuh (duration = D) tertentu. Waktu jujuh (D) diasumsikan terjadi saat waktu puncak banjir (T_p) terjadi, sehingga waktu jujuh (D) sama dengan waktu konsentrasi (T_c).

2.1.2 Limpasan (*runoff*)

Limpasan permukaan (*surface runoff*) merupakan komponen aliran yang besarnya adalah besaran hujan dikurangi besaran infiltrasi. Besaran hujan yang jatuh di permukaan tanah, merupakan besaran hujan yang juga bervariasi, karena juga dipengaruhi oleh besar kehilangan air hujan akibat pepohonan (*vegetal cover*) pada umumnya infiltrasi, ditambah dengan *stemflow* dan *throughfall*.

Faktor-faktor yang mempengaruhi limpasan dibagi ke dalam faktor meteorologi dan karakter DAS.

1. Faktor Meteorologi

Faktor-faktor yang berpengaruh pada limpasan terutama adalah karakteristik hujan, yang meliputi:

1) Intensitas hujan

Pengaruh intensitas hujan terhadap limpasan permukaan sangat tergantung pada laju infiltrasi.

2) Durasi hujan

Total limpasan dari suatu hujan berkaitan langsung dengan durasi hujan dengan intensitas tertentu.

3) Distribusi curah hujan

Laju dan volume limpasan dipengaruhi oleh distribusi dan intensitas hujan di seluruh DAS.

2. Karakteristik DAS

Karakteristik DAS yang berpengaruh besar pada aliran permukaan meliputi:

1) Luas dan bentuk DAS

Laju dan volume aliran permukaan makin bertambah besar dengan bertambahnya luas DAS. Tetapi, apabila aliran permukaan tidak dinyatakan sebagai jumlah total dari DAS, melainkan sebagai laju dan volume per satuan luas, besarnya akan berkurang dengan bertambah luasnya DAS.

2) Topografi

Tampakan rupa bumi atau topografi seperti kemiringan lahan, keadaan dan kerapatan patir atau saluran, dan bentuk-bentuk cekungan lainnya mempunyai pengaruh pada laju dan volume aliran permukaan.

3) Tata guna lahan

Pengaruh tata guna lahan pada aliran permukaan dinyatakan dalam koefisien aliran permukaan (C), yaitu bilangan yang menunjukkan perbandingan antara besarnya aliran permukaan dan besarnya curah hujan.

2.1.2.1 Metode Rasional

Dalam perencanaan bangunan air pada suatu daerah pengaliran sungai dimana ada menyangkut masalah hidrologi di dalamnya, sering dijumpai dalam perkiraan puncak banjirnya dihitung dengan metode yang sederhana dan praktis. Metoda perhitungan ini memasukkan faktor curah hujan, keadaan fisik dan sifat hidrolika daerah aliran, sehingga dikenal sebagai metoda rasional.

$$Q = C I A \quad (2.6)$$

dimana:

C = koefisien runoff

I = intensitas maksimum selama waktu konsentrasi (mm/jam)

A = luas daerah aliran (m²)

Q = debit maksimum (m³/det)

Metoda ini dikembangkan untuk daerah aliran sungai dengan anggapan-anggapan sebagai berikut:

- Curah hujan mempunyai intensitas yang merata di seluruh daerah aliran untuk durasi tertentu.
- Lamanya curah hujan sama dengan waktu konsentrasi dari daerah aliran.
- Puncak banjir dan intensitas curah hujan mempunyai tahun berulang yang sama.

a. Koefisien Aliran

Dalam perencanaan sistem drainase dibutuhkan suatu nilai koefisien aliran (C). Koefisien aliran adalah suatu angka yang memberikan pengertian berapa persen air yang mengalir dari bermacam-macam permukaan akibat terjadinya hujan pada suatu wilayah, atau perbandingan antara jumlah limpasan yang terjadi dengan jumlah curah hujan yang ada. Nilai koefisien aliran dapat dilihat pada tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Tabel koefisien pengaliran (oleh Dr. Mononobe)

Kondisi daerah pengaliran dan sungai	Nilai koefisien aliran (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 diairi	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: Sosrodarsono, Suyono dkk. *Hidrologi untuk Pengairan*. Hal. 145.

b. Intensitas Hujan

Intensitas hujan didapatkan dari perhitungan analisis intensitas hujan, persamaan 2.5. Intensitas hujan yang terjadi adalah selama waktu konsentrasi (T_c). Dengan demikian, debit maksimum tercapai apabila hujan dengan intensitas tetap terjadi selama waktu kritik yang memungkinkan seluruh DAS telah menyumbangkan limpasan ke titik kontrol.

2.1.2.2 Metode SCS (*Soil Conservation Service*)

Metode SCS dikembangkan untuk menghitung abstraksi dari curah hujan. Prosedur ini berasal dari NRCS *National Engineering Handbook, Section 4 and Hydrology for Small Urban Watershed, TR 55*. Data yang dibutuhkan sama seperti metode rasional. Namun demikian, pendekatan SCS lebih rumit dalam menentukan waktu distribusi, curah hujan yang hilang dalam intersepsi dan tampungan, serta infiltrasi yang berkurang selama hujan.

Variabel untuk metode SCS antara lain:

- Luas DAS (A) dalam miles².
- Waktu konsentrasi (T_c) dalam jam.
- Koefisien aliran (CN).

- d. Distribusi hujan .
- e. Total curah hujan (P) dalam inchi.

Tc dapat dihitung dengan persamaan Kirpich

$$T_c = 0,0078L^{0,775} S^{-0,385} \quad (2.7)$$

dimana :

Tc = waktu konsentrasi (jam)

L = panjang alur sungai (km)

S = Kemiringan alur sungai

Koefisien CN tergantung dari tata guna lahan dan jenis tanah. Properti tanah mempengaruhi hubungan antara curah hujan dan limpasan, yaitu mempengaruhi tingkat infiltrasi. Dalam metode SCS, tanah dibagi ke dalam 4 kelompok berdasarkan tingkat infiltrasinya, antara lain:

a. Group A

Tanah kelompok A mempunyai potensi limpasan yang rendah dan tingkat infiltrasi yang tinggi (7,6 – 11,4 mm/jam). Kelompok tanah ini terdiri dari tanah pasir yang dalam, agregat lanau.

b. Group B

Tanah kelompok B mempunyai potensi limpasan yang sedang dan tingkat infiltrasi yang menengah (3,8 – 7,6 mm/jam). Terdiri dari tanah liat kepasiran.

c. Group C

Tanah kelompok C mempunyai potensi limpasan yang tinggi dan tingkat infiltrasi yang rendah (1,3 – 3,8 mm/jam). Jenis tanah ini terdiri dari tanah liat kelempungan, tanah liat kepasiran, tanah organik, dan tanah dengan lempung yang tinggi.

d. Group D

Tanah kelompok D mempunyai potensi limpasan yang sangat tinggi dan tingkat infiltrasi yang sangat rendah (kurang dari 1,3 mm/jam). Jenis tanah ini terdiri dari tanah lempung yang memiliki potensi mengembang yang tinggi, muka air tanah yang tinggi, tanah yang mengembang secara signifikan ketika basah.

Tabel 2. 5 Koefisien CN untuk lahan pertanian

Cover Type	Hydrologic Condition	A	B	C	D
Pasture, grassland, or range-continuous forage for grazing	Poor	68	79	86	89
	Fair	49	69	79	84
	Good	39	61	74	80
Meadow – continuous grass, protected from grazing and generally mowed for hay		30	58	71	78
Brush – brush-weed-grass mixture, with brush the major element	Poor	48	67	77	83
	Fair	35	56	70	77
	Good	30	48	65	73
Woods – grass combination (orchard or tree farm)	Poor	57	73	82	86
	Fair	43	65	76	82
	Good	32	58	72	79
Woods	Poor	45	66	77	83
	Fair	36	60	73	79
	Good	30	55	70	77
Farmsteads – buildings, lanes, driveways, and surrounding lots		59	74	82	86
<p><i>Notes:</i> Values are for average runoff condition, and $I_a = 0.2S$.</p> <p><i>Pasture:</i> Poor is < 50% ground cover or heavily grazed with no mulch, Fair is 50% to 75% ground cover and not heavily grazed, and Good is >75% ground cover and lightly or only occasionally grazed.</p> <p><i>Meadow:</i> Poor is <50% ground cover, Fair is 50% to 75% ground cover, Good is >75% ground cover.</p> <p><i>Woods/grass:</i> RCNs shown were computed for areas with 50 percent grass (pasture) cover. Other combinations of conditions may be computed from RCNs for woods and pasture.</p> <p><i>Woods:</i> Poor is forest litter, small trees, and brush destroyed by heavy grazing or regular burning. Fair is woods grazed but not burned and with some forest litter covering the soil. Good is woods protected from grazing and with litter and brush adequately covering soil.</p>					

sumber: www.onlinemanuals.txdot.gov

2.2 PENGELOLAAN LIMPASAN HUJAN PADA MUSIM KEMARAU DAN MUSIM HUJAN

2.2.1 Pengelolaan Limpasan Hujan di Musim Kemarau

Pengelolaan limpasan hujan pada musim kemarau dapat dilakukan dengan cara menyimpan atau menampung air pada musim hujan. Penyimpanan air hujan dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu penyimpanan di dalam lokasi (*on site storage*) dan penyimpanan di luar lokasi (*off site storage*). Fasilitas penyimpanan air hujan di luar lokasi (*off site storage*) berfungsi mengumpulkan dan menyimpan limpasan air hujan di ujung hulu saluran atau tempat lain dengan membangun *retarding basin* atau kolam pengatur banjir (*flood regulation pond*). Penyimpanan di tempat (*on site storage*) dikembangkan untuk menyimpan air hujan yang jatuh di kawasan itu sendiri (hujan lokal) yang tidak dapat dibuang langsung ke saluran karena adanya pengaruh air balik (*back water*).

2.2.2 Pengelolaan Limpasan Hujan di Musim Hujan

Pengelolaan limpasan hujan pada musim hujan dilakukan dengan memperkirakan puncak banjir. Sehingga dapat melakukan antisipasi terjadinya banjir, ketika curah hujan tinggi. Upaya pengendalian banjir dapat dilakukan secara teknis dan non teknis. Berikut ini akan dibahas mengenai pengelolaan secara teknis, yaitu melalui perencanaan hidrolika.

a. Bendungan

Bendungan adalah setiap bangunan penahan air buatan, jenis urugan atau jenis lainnya untuk menahan air termasuk pondasi, bukit/tebing tumpuan, serta bangunan pelengkap, sehingga terbentuk waduk. Waduk adalah wadah air buatan yang terbentuk sebagai akibat dibangunnya bendungan, berguna untuk menyimpan/konservasi air, sebagai peredam daya rusak air, yang dapat dipergunakan/dimanfaatkan untuk pembangkit energi listrik, pengendalian banjir, irigasi, air kota dan industri.

b. Saluran Terbuka

Saluran dapat alamiah atau buatan. Saluran panjang dengan kemiringan sedang yang dibuat dengan menggali tanah disebut kanal (*canal*). Aliran dalam saluran terbuka disebut aliran permukaan bebas (*free surface flow*) atau aliran

saluran terbuka (*open channel flow*). Aliran permukaan bebas dapat diklasifikasikan menjadi berbagai tipe tergantung kriteria yang digunakan. Berdasarkan perubahan kedalaman dan/atau kecepatan mengikuti fungsi waktu, maka aliran dibedakan menjadi aliran permanen (*steady*) dan tidak permanen (*unsteady*), sedangkan berdasarkan fungsi ruang, maka aliran dibedakan menjadi aliran seragam (*uniform*) dan tidak seragam (*non-uniform*).

Klasifikasi dari profil aliran dapat dipergunakan untuk analisa perilaku aliran *steady, non uniform* pada suatu saluran dan dapat dipergunakan untuk memeriksa pola perilaku aliran jika terdapat bangunan kontrol antara lain ambang, pintu, bendung atau terjadi kondisi spesifik pada aliran seperti halnya aliran di mulut (outlet) saluran yang masuk kedalam suatu retarding basin atau aliran masuk ke saluran spillway dan lain sebagainya.

2.3 TATA AIR PADA LAHAN GAMBUT

2.3.1 Pengertian Lahan Gambut

Salah satu faktor kunci keberhasilan pengembangan pertanian di lahan gambut, selain meningkatkan kesuburannya adalah mengendalikan tinggi muka air di dalamnya sehingga gambut tetap basah tapi tidak tergenang di musim hujan dan tidak kering di musim kemarau. Pengaturan tinggi muka air yang tepat juga dimaksudkan agar proses pencucian bahan beracun berjalan lancar sehingga tercipta media tumbuh yang baik bagi tanaman.

Sebagai salah satu jenis lahan rawa, keberadaan air di lahan gambut sangat dipengaruhi oleh adanya hujan dan pasang surut/ luapan air sungai. Tingkah laku dari keduanya akan berpengaruh terhadap tinggi dan lama genangan air di lahan gambut dan pada akhirnya akan berpengaruh terhadap tingkat kesuburan lahan serta pola budidaya tanaman yang akan diterapkan di atasnya.

Lahan gambut yang sering menerima luapan air sungai relatif lebih subur dibandingkan lahan gambut yang semata-mata hanya menerima limpasan/ curah air hujan. Sifat luapan/ pasang surut air sungai yang jangkauannya dapat mencapai lahan gambut dapat disiasati untuk mengatasi berbagai kendala pertanian di lahan gambut, misalnya untuk mencuci zat-zat beracun atau asam kuat yang berasal dari

teroksidasinya pirit dan mengatur keberadaan air sehingga tanaman dapat tumbuh dengan baik.

2.3.2 Sifat-sifat Tanah Gambut

2.3.2.1 Sifat-Sifat Fisik

Sifat-sifat fisik gambut sangat erat kaitannya dengan pengelolaan air gambut. Bahan penyusun gambut terdiri dari empat komponen yaitu bahan organik, bahan mineral, air dan udara. Menurut Hardjowigeno (1996) sifat-sifat fisik tanah gambut yang penting adalah: tingkat dekomposisi tanah gambut, kerapatan lindak, *irreversible*, dan subsiden. Noor (2001) menambahkan bahwa ketebalan gambut, lapisan bawah, dan kadar lengas gambut merupakan sifat-sifat fisik yang perlu mendapat perhatian dalam pemanfaatan gambut.

Tanah gambut mempunyai kerapatan lindak (*bulk density*) yang sangat rendah yaitu kurang dari 0,1 gr/cc untuk gambut kasar, dan sekitar 0,2 gr/cc pada gambut halus. Dibanding dengan tanah mineral yang memiliki kerapatan lindak 1,2 gr/cc maka kerapatan lindak gambut adalah sangat rendah. Rendahnya kerapatan lindak menyebabkan daya dukung gambut (*bearing capacity*) menjadi sangat rendah, keadaan ini menyebabkan rebahnya tanaman tahunan seperti kelapa dan kelapa sawit pada tanah gambut.

Tanah gambut jika didrainase secara berlebihan akan menjadi kering dan kekeringan gambut ini disebut sebagai *irreversible* artinya gambut yang telah mengering tidak akan dapat menyerap air kembali. Perubahan menjadi kering tidak balik ini disebabkan gambut yang suka air (*hidrofilik*) berubah menjadi tidak suka air (*hidrofobik*) karena kekeringan, akibatnya kemampuan menyerap air gambut menurun sehingga gambut sulit diusahakan bagi pertanian.

Kadar lengas gambut (*peat moisture*) ditentukan oleh kematangan gambut. Pada gambut alami kadar lengas gambut sangat tinggi mencapai 500 – 1.000 % bobot, sedangkan yang telah mengalami dekomposisi berkisar antara 200 – 600 % bobot. Tingginya kemampuan gambut menyerap air menyebabkan tingginya volume pori-pori gambut, mengakibatkan rendahnya kerapatan lindak dan daya dukung gambut (Mutalib et al, 1991).

Akumulasi gambut akan menyebabkan ketebalan gambut yang bervariasi pada suatu kawasan. Umumnya gambut akan membentuk kubah (*dome*), semakin dekat dengan sungai ketebalan gambut menipis, kearah kubah gambut akan menebal. Ketebalan gambut berkaitan erat dengan kesuburan tanah. Gambut di tepi kubah tipis dan memiliki kesuburan yang relatif baik (gambut topogen) sedang di tanah kubah gambut ideal > 3m memiliki kesuburan yang relatif rendah (gambut ombrogen) (Andriesse, 1988; Harjowigeno, 1996).

2.3.2.2 Sifat-sifat Kimia

Secara umum keasaman tanah gambut berkisar antara 3 – 5 dan semakin tebal bahan organik maka keasaman gambut meningkat. Tanah gambut ombrogen dengan kubah gambut yang tebal umumnya memiliki kesuburan yang rendah dengan pH sekitar 3,3 namun pada gambut tipis di kawasan dekat tepi sungai gambut semakin subur dan pH berkisar 4,3 (Andriesse, 1988).

2.3.2.3 Sifat biologi

Menurut Waksman dalam Andriesse (1988) perombakan bahan organik saat pembentukan gambut dilakukan oleh mikroorganisme anaerob dalam perombakan ini dihasilkan gas methane dan sulfida. Setelah lahan gambut dikeringkan untuk tujuan pertanian maka kondisi lahan gambut bagian permukaan tanah menjadi aerob, sehingga memungkinkan fungi dan bakteri berkembang untuk merombak senyawa *sellulosa*, *hemisellulosa*, dan protein.

2.3.3 Pemanfaatan Gambut untuk Tanaman Pertanian

Kegiatan awal dari pemanfaatan gambut adalah pembangunan saluran drainase untuk pengatusan air agar tanah memiliki kondisi *rhizosphere* yang sesuai bagi tanaman. Kedalaman permukaan air tanah pada parit kebun diusahakan agar tidak terlalu jauh dari akar tanaman, jika permukaan air terlalu dalam maka oksidasi berlebih akan mempercepat perombakan gambut, sehingga gambut cepat mengalami subsiden.

Kedalaman permukaan air tanah gambut dan ketebaan bahan organik sebagai pembatas produksi tanaman pertanian untuk jenis kelapa adalah

kedalaman permukaan air tanah 60 sampai 100 cm, sedangkan untuk ketebalan bahan organik adalah kurang dari 100 cm (Mass et al, dalam Andriesse, 1988).

Keragaman sifat gambut sangat berpengaruh pada kesesuaian gambut bagi tanaman pertanian. Rajaguguk dan Setiadi (1989) menyatakan bahwa ketebalan gambut akan berhubungan erat dengan jenis komoditas yang akan dikembangkan. Pada jenis tanaman perkebunan (kelapa, karet, kelapa sawit, coklat, kopi), jika ketebalan sampai dengan 100 cm, maka kesesuaian lahan tinggi, jika ketebalan gambut 100 sampai 500 cm, kesesuaian lahan sedang, dan jika lebih dari 500 cm maka kesesuaian lahan rendah.

2.3.4 Teknologi Pengelolaan Air di Lahan Gambut

Pengelolaan air di lahan gambut bertujuan untuk mengatur pemanfaatan sumber daya air secara optimal sehingga didapatkan hasil/ produktifitas lahan yang maksimal, serta sekaligus mempertahankan kelestarian sumber daya lahan tersebut. Salah satu teknik pengelolaan air di lahan gambut dapat dilakukan dengan membuat parit/saluran, dengan tujuan:

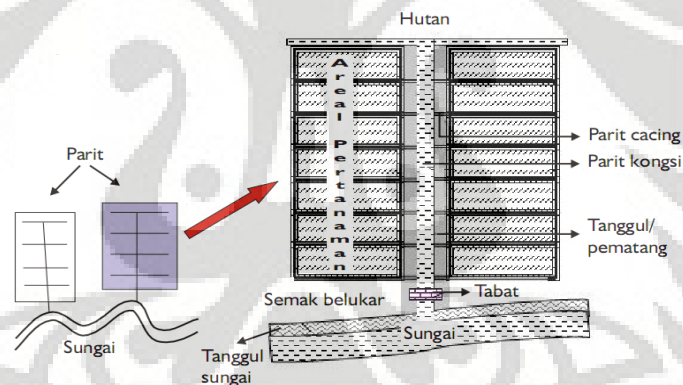
- a. Mengendalikan keberadaan air tanah di lahan gambut sesuai dengan kebutuhan tanaman yang dibudidayakan Artinya gambut tidak menjadi kering di musim kemarau, tapi juga tidak tergenang di musim hujan. Hal demikian dapat dicapai dengan membuat pintu air (*flapgate*) yang dapat mengatur tinggi muka air tanah gambut sekaligus menahan air yang keluar dari lahan.
- b. Mencuci asam-asam organik dan anorganik serta senyawa lainnya yang bersifat racun terhadap tanaman dan memasukan (suplai) air segar untuk memberikan oksigen.
- c. Memanfaatkan keberadaan air di dalam saluran sebagai media budidaya ikan, baik budidaya aktif (dimana benih ikan ditebarkan di dalam saluran) maupun budidaya pasif (dimana parit/saluran digunakan sebagai perangkap ikan ketika sungai di sekitarnya meluap). Selain itu keberadaan air di dalam parit akan berfungsi sebagai sekat bakar yang dapat mencegah terjadinya kebakaran di lahan gambut.
- d. Sebagai sarana transportasi hasil panen.

Beberapa teknik pengelolaan air yang telah lama dikembangkan di lahan rawa (termasuk gambut) antara lain:

- a. Sistem parit/ handil di tepi sungai; dan
- b. Sistem saluran model garpu di lahan pasang surut (dikembangkan oleh Universitas Gajah Mada).

2.3.4.1 Sistem Parit/Handil di Tepi Sungai

Parit dibuat dari pinggir sungai yang mengarah tegak lurus ke arah daratan, di kiri dan kanan parit dibuat pematang-pematang yang umumnya digunakan sebagai jalan sekaligus sebagai batas kepemilikan lahan. Parit dapat dipandang sebagai saluran sekunder bila sungai dipandang sebagai saluran primer. Parit dibuat secara bertahap dan diselaraskan dengan kondisi perubahan lahan, pengaruh pasang surut (kedalaman muka air) dan ketebalan gambut.



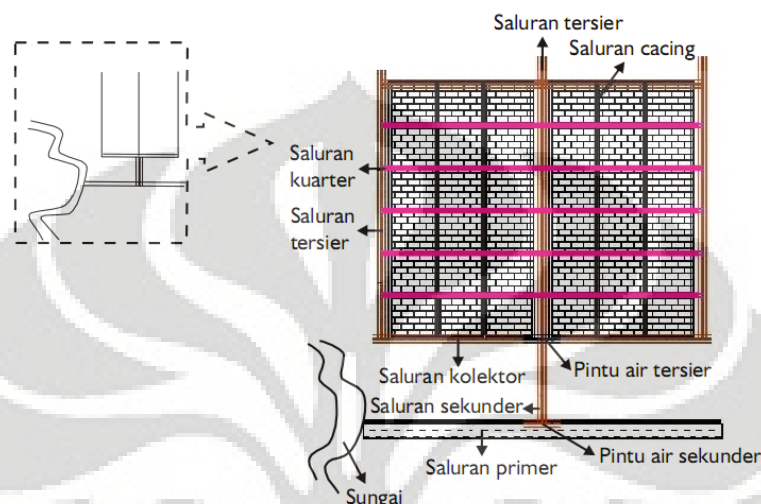
Gambar 2. 1 Pengelolaan air sistem parit/ handil

sumber: Lili Muslihat

2.3.4.2 Sistem Saluran Model Garpu di Lahan Pasang Surut

Pengaturan tata air dengan sistem garpu telah dikembangkan Universitas Gajah Mada pada lahan pasang surut, yaitu lahan-lahan yang terletak di dataran pantai atau dataran dekat sungai; baik terpengaruh secara langsung maupun tidak langsung oleh pasang surut. Untuk mengatur air pasang surut, maka dibuat pintu-pintu air yang dikenal sebutan *flapgate* yaitu pintu otomatis yang ketika pasang,

air akan mendorong pintu sehingga air dapat masuk ke dalam parit-parit petakan lahan; tetapi sewaktu surut, air akan tertahan di dalam parit-parit petakan lahan. Struktur tinggi/operasional pintu-pintu air tersebut disesuaikan dengan penggunaan lahannya, apakah untuk sawah, surjan, atau lahan kering.

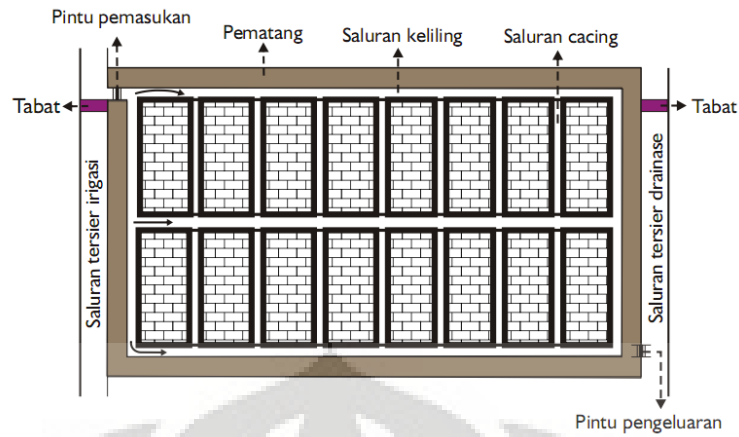


Gambar 2. 2 Pengelolaan air dengan Sistem Garpu UGM

sumber: Lili Muslihat

2.3.4.3 Sistem Aliran Satu Arah

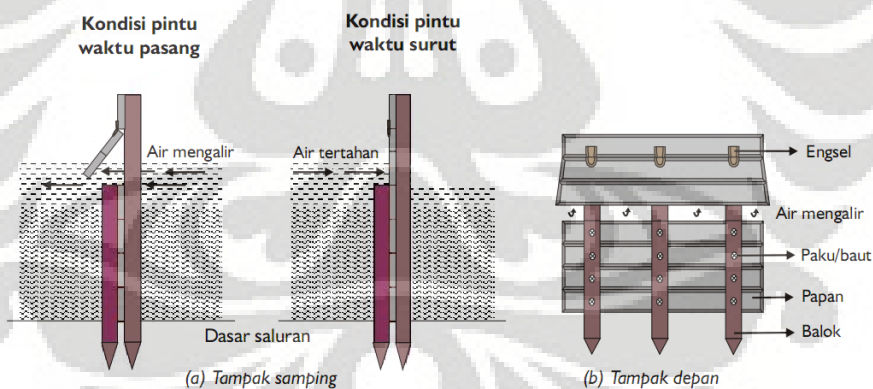
Pada sistem ini, setidaknya memerlukan 2 buah saluran tersier, dimana tersier yang satu berfungsi sebagai saluran irigasi (*inlet*) dan yang lainnya sebagai saluran pembuang air/drainase (*outlet*). Kedua saluran tersier ini harus dilengkapi dengan pintu air otomatis (*flapgate*) yang dapat membuka dan menutup dengan tenaga arus air. Saluran irigasi akan membuka ketika air pasang, tapi saluran drainase akan tetap tertutup. Kondisi demikian diciptakan dengan meletakkan posisi pintu yang berlawanan arah. Tinggi rendahnya muka air di dalam saluran diatur dengan mengatur pembukaan pintu outlet (drainase).



Gambar 2. 3 Pengelolaan air pada tingkat petakan sawah petani

sumber: Lili Muslihat

Keuntungan sistem aliran satu arah adalah terjadi pergantian air segar di dalam saluran secara lebih lancar, potensi endapan lumpur di dalam saluran kuarter lebih kecil karena tercuci lebih mudah serta penumpukan senyawa beracun dan air asam akan dapat dihindari.

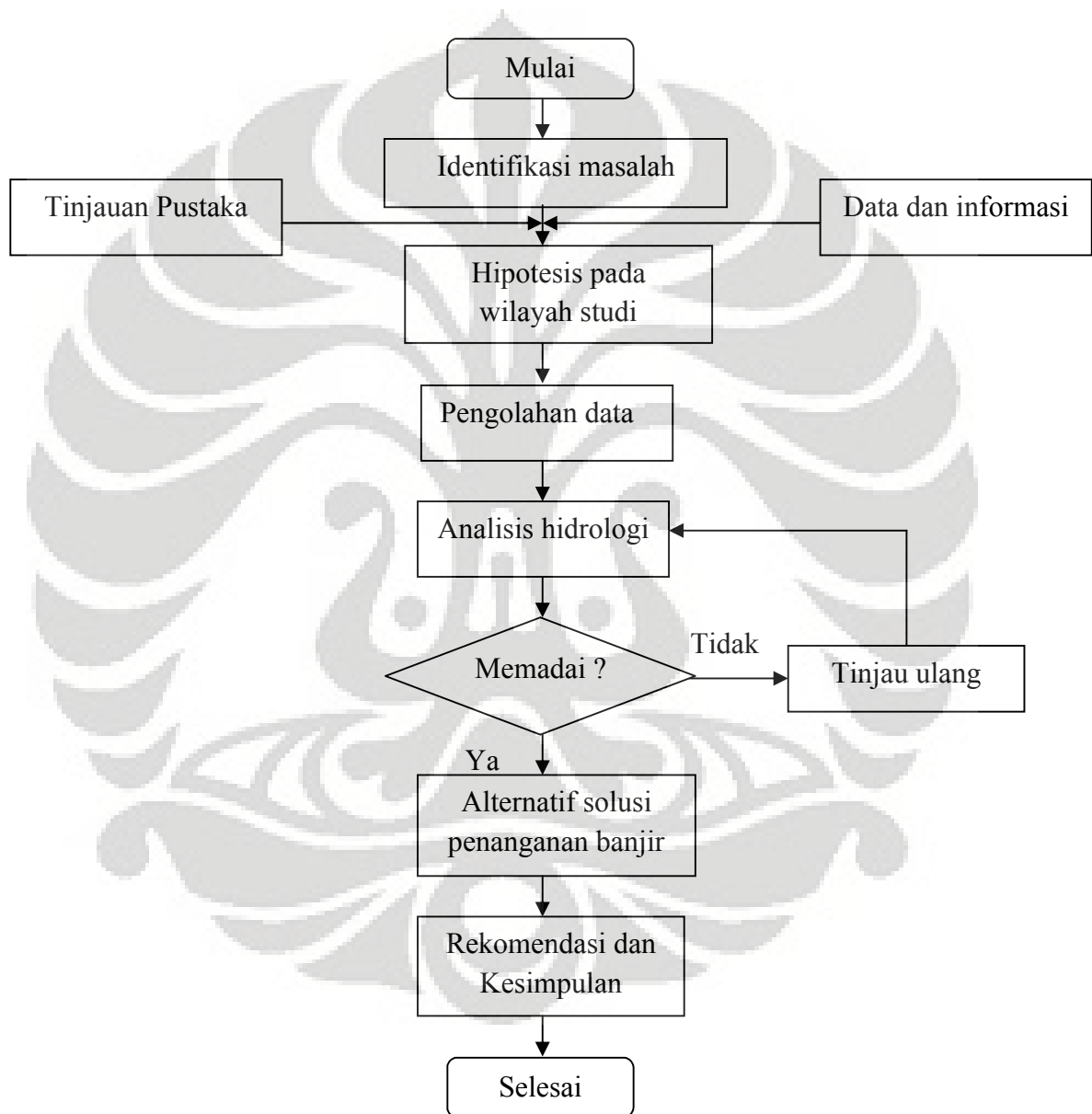


Gambar 2. 4 Pintu air otomatis (*flapgate*)

sumber: Lili Muslihat

BAB 3 METODE PENELITIAN

Langkah-langkah untuk mendapatkan alternatif solusi penanganan banjir dilakukan melalui diagram alir, seperti pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir metodologi

Diagram alir di atas dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Identifikasi masalah yaitu banjir di perkebunan kelapa sawit di Teluk Bakau Estate, Indragiri Hilir, provinsi Riau. Identifikasi yang dilakukan meliputi penyebab banjir dan dampak yang terjadi.
2. Pengumpulan data dan informasi berasal dari hasil survey di wilayah studi. Selain itu data didapatkan pula dari hasil studi Universitas Teknologi Malaysia dan beberapa pihak yang terkait. Data-data yang diperlukan antara lain:
 - a. Data hidrologi: data curah hujan
 - b. Data topografi: peta tata guna lahan dan kontur
 - c. Data morfologi kanal: geometri kanal melalui hasil survey dan studi yang telah dilakukan.
3. Tinjauan pustaka terdiri dari 3 aspek, antara lain aspek hidrologi, aspek pengelolaan limpasan hujan pada musim kemarau dan musim hujan, dan aspek tata air pada lahan gambut.
4. Hipotesis pada wilayah studi dilakukan melalui penjelasan kondisi eksisting dari provinsi Riau sampai pada lokasi perkebunan kelapa sawit di Teluk Bakau Estate. Kondisi eksisting yang berkaitan adalah lokasi, topografi, curah hujan, dan infrastruktur.
5. Pengolahan data terdiri dari debit banjir rencana dan tinggi muka air dalam kanal.
 - a. Debit banjir rencana diperoleh menggunakan metode rasional yaitu

$$Q = C I A \quad (3.1)$$

dimana,

- C (koefisien *runoff*)
Nilai C didapatkan sesuai dengan tata guna lahan dari *catchment area*.
- I (intensitas maksimum selama waktu konsentrasi (mm/jam))
Mencari intensitas maksimum (I) dilakukan sebagai berikut:

- data curah hujan harian maksimum
- analisis frekuensi dengan metode Gumbel

$$X_{Tr} = \bar{X} + K_{Tr} \times S_X \quad (3.2)$$

- o intensitas hujan untuk periode ulang tertentu, menggunakan rumus Mononobe

$$P = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (3.3)$$

- A (luas daerah aliran (km²))
luas daerah aliran dapat dibagi ke dalam sub-catchment area.
- Q (debit maksimum (m³/det))
Debit maksimum dihitung dengan mengalikan nilai C, I, dan A.
Hasil debit merupakan debit dari masing-masing *sub catchment*.

Setelah menghitung debit rencana, dilakukan evaluasi kapasitas saluran, sehingga mendapatkan dimensi yang ekonomis dan debit saluran. Penampang saluran berbentuk trapesium. Luas penampang saluran didapatkan dari rumus:

$$Q = v A \quad (3.4)$$

dimana: A = luas penampang saluran (m²)

Q = debit rencana dari metode rasional (m³/s)

v = kecepatan desain (m/s)

Kecepatan desain merupakan asumsi awal yang sesuai dengan material dasar saluran. Kemudian, dilakukan pengecekan kecepatan dengan rumus manning, yaitu:

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (3.5)$$

dimana: v = kecepatan saluran (m/s)

n = koefisien kekasaran saluran

R = jari-jari hidrolis (m) = A/P

A = luas penampang saluran (m²)

P = keliling basah (m) = 2H √3

H = tinggi saluran (m)

S = kemiringan saluran = Δh/L

Δh = perbedaan elevasi (m)

L = panjang saluran terpanjang (m)

Dari substitusi persamaan 3.5 ke dalam 3.4, maka didapatkan tinggi saluran (H). Jika nilai H diketahui, maka dapat dicari nilai B dengan rumus:

$$B = \frac{2}{3} H\sqrt{3} \quad (3.6)$$

Kemudian didapatkan nilai R dengan rumus:

$$R = H/2 \quad (3.7)$$

Nilai R kemudian disubstitusi ke persamaan 3.5 untuk mendapatkan nilai kecepatan saluran. Setelah didapatkan kecepatan saluran, maka didapatkan nilai debit saluran dengan rumus 3.4.

b. Tinggi muka air

Metode yang dilakukan untuk mendapatkan tinggi muka air (elevasi) dan analisis banjir pada DAS adalah melalui program Win TR 20. Dalam program ini dibutuhkan input data antara lain:

- Area
Untuk mendapatkan *hydrograf area*, dibutuhkan nilai CN (*Curve Number*), Tc (*Time concentration*), dan *drainage area* (luas sub-DAS).
- Curah hujan
Curah hujan dihitung pada beberapa periode ulang, dengan perhitungan curah hujan secara kumulatif.
- *Cross section* (Xsect)
Cross section untuk mengidentifikasi kenaikan debit di outlet saluran pada setiap kenaikan elevasi muka air. Sehingga terjadi perubahan luas dan keliling basah saluran.
- *Reach*
Hydrograf yang dihasilkan oleh setiap *area*, diteruskan oleh *reach* sebagai badan penerima ke *reach* selanjutnya.

Hasil dari Win TR 20 antara lain debit puncak dan elevasi maksimum serta hydrograf pada setiap outlet. Kemudian dapat dibuat profil kanal dari data elevasi maksimum pada setiap titik outlet.

6. Analisis hidrologi dilakukan dari hasil perhitungan, apakah dimensi kanal memadai untuk menampung debit puncak atau tidak. Kemudian dapat

dilakukan analisis hidrolika melalui penempatan *spill way* atau *reservoir* pada titik yang mengalami banjir.

7. Jika perhitungan data memadai, maka dibuat alternatif solusi penanganan banjir. Namun, jika tidak memadai, maka dilakukan tinjau ulang dan selanjutnya dibuat alternatif solusi penanganan banjir.
8. Rekomendasi dan kesimpulan dibuat berdasarkan pemilihan alternatif solusi yang tepat.



BAB 4

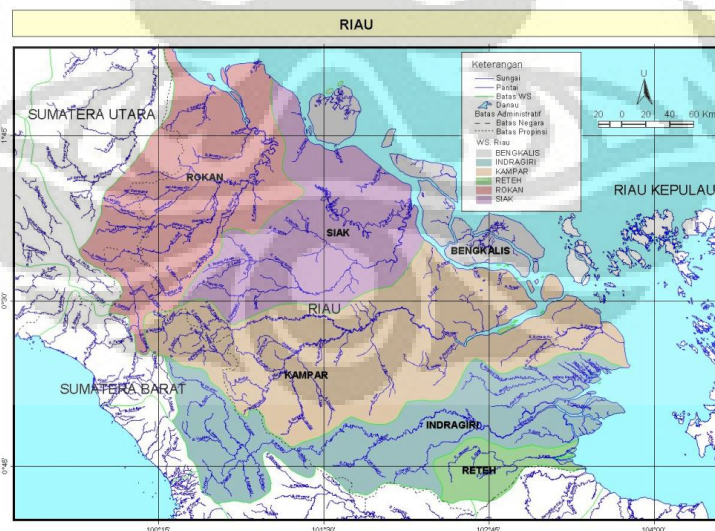
KONDISI EKSISTING PADA WILAYAH STUDI

4.1 PROVINSI RIAU

4.1.1 Luas dan Batas Wilayah

Provinsi Riau terdiri dari daerah daratan dan perairan, dengan luas sekitar 915.015,09 km². Keberadaannya membentang dari lereng Bukit Barisan sampai dengan Selat Malaka terletak antara 01° 05' 00" LS - 02° 25' 00" LU atau antara 100° 00' 00" - 105° 05' 00" BT. Disamping itu sesuai Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2004 terdapat wilayah lautan sejauh 12 mil dari garis pantai.

Di daratan terdapat 15 sungai, diantaranya ada 4 sungai besar yang mempunyai arti penting sebagai sarana perhubungan seperti Sungai Siak (300 km) dengan kedalaman 8 – 12 m, Sungai Rokan (400 km) dengan kedalaman 6 – 8 m, Sungai Kampar (400 km) dengan kedalaman lebih kurang 6 m dan Sungai Indragiri (500 km) dengan kedalaman 6 – 8 m. Keempat sungai yang membelah dari pegunungan daratan tinggi Bukit Barisan bermuara di Selat Malaka dan Laut Cina Selatan itu dipengaruhi oleh pasang surut laut.

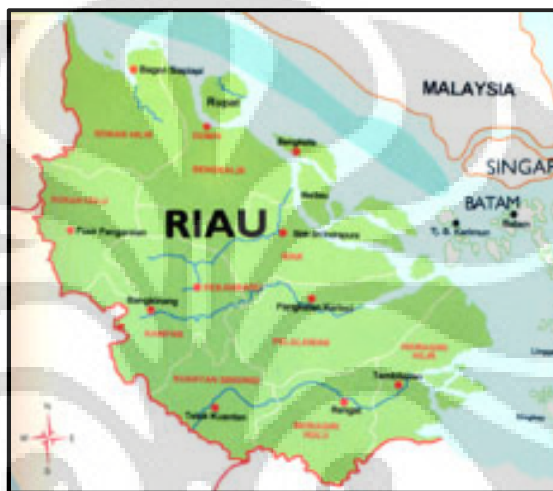


Gambar 4. 1 Peta Sungai di Provinsi Riau

(sumber: pu.go.id)

Adapun batas-batas Provinsi Riau bila dilihat posisinya dengan negara tetangga dan provinsi lainnya adalah sebagai berikut:

- a. Sebelah Utara : Selat Malaka dan Provinsi Sumatera Utara
- b. Sebelah Selatan : Provinsi Jambi dan Provinsi Sumatera Barat
- c. Sebelah Timur : Provinsi Kepulauan Riau dan Selat Malaka
- d. Sebelah Barat : Provinsi Sumatera Barat dan Sumatera Utara.



Gambar 4. 2 Peta Provinsi Riau

Provinsi Riau terdiri dari 9 Kabupaten dan 2 Kota dengan luas wilayah masing-masing Kabupaten/Kota seperti terlihat pada tabel berikut ini:

Tabel 4. 1 Nama dan Luas Wilayah Kabupaten/Kota di Provinsi Riau

NO	KABUPATEN/KOTA	IBUKOTA	LUAS (Ha)	LUAS AREA (%)
1.	Kuantan Singingi	Taluk Kuantan	520.216,13	5,84
2.	Indragiri Hulu	Rengat	767.626,66	8,61
3.	Indragiri Hilir	Tembilahan	1.379.837,12	15,48
4.	Pelalawan	Pangkalan Kerinci	1.240.413,95	13,9
5.	Siak	Siak Sri Indrapura	823.357,00	9,24
6.	Kampar	Bangkinang	1.092.819,71	12,26
7.	Rokan Hulu	Pasir Pangaraiyan	722.977,68	8,11

8.	Bengkalis	Bengkalis	1.204.423,05	13,51
9.	Rokan Hilir	Bagan Siapi-api	896.142,93	10,05
10.	Pekanbaru	Pekanbaru	63.300,86	0,71
11.	Dumai	Dumai	203.900,00	2,29
Provinsi Riau			8.915.015,09	100,00

Sumber: Riau dalam angka tahun 2007, pemutaran terakhir: 1 Maret 2009

4.1.2 Topografi

Provinsi Riau memiliki topografi dengan kemiringan lahan 0 – 2 persen (datar) seluas 1.157.006 hektar, kemiringan lahan 15 – 40 persen (curam) seluas 737.966 hektar dan daerah dengan topografi yang memiliki kemiringan sangat curam (> 40 persen) seluas 550.928 hektar (termasuk Provinsi Kepulauan Riau) dengan ketinggian rata-rata 10 meter di atas permukaan laut. Secara umum topografi Provinsi Riau merupakan daerah dataran rendah dan agak bergelombang dengan ketinggian pada beberapa kota yang terdapat di Wiayah Provinsi Riau antara 2 – 91 m di atas permukaan laut.

Sebagian besar tanah daratan daerah Riau terdiri dari daratan yang terjadi dari formasi *alluvium* (endapan), di beberapa tempat terdapat selingan *neogen*, misalnya sepanjang Sungai Kampar, Sungai Indragiri, dan anak Sungai Cinaku di Kabupaten Indragiri Hulu bagian selatan. Tetapi di daerah perbatasan sepanjang Bukit Barisan sepenuhnya terdiri dari lapisan *permikarbon*, *peleogen* dan *neogen* dari tanah *padsolik* yang berarti terdiri dari induk batuan endapan.

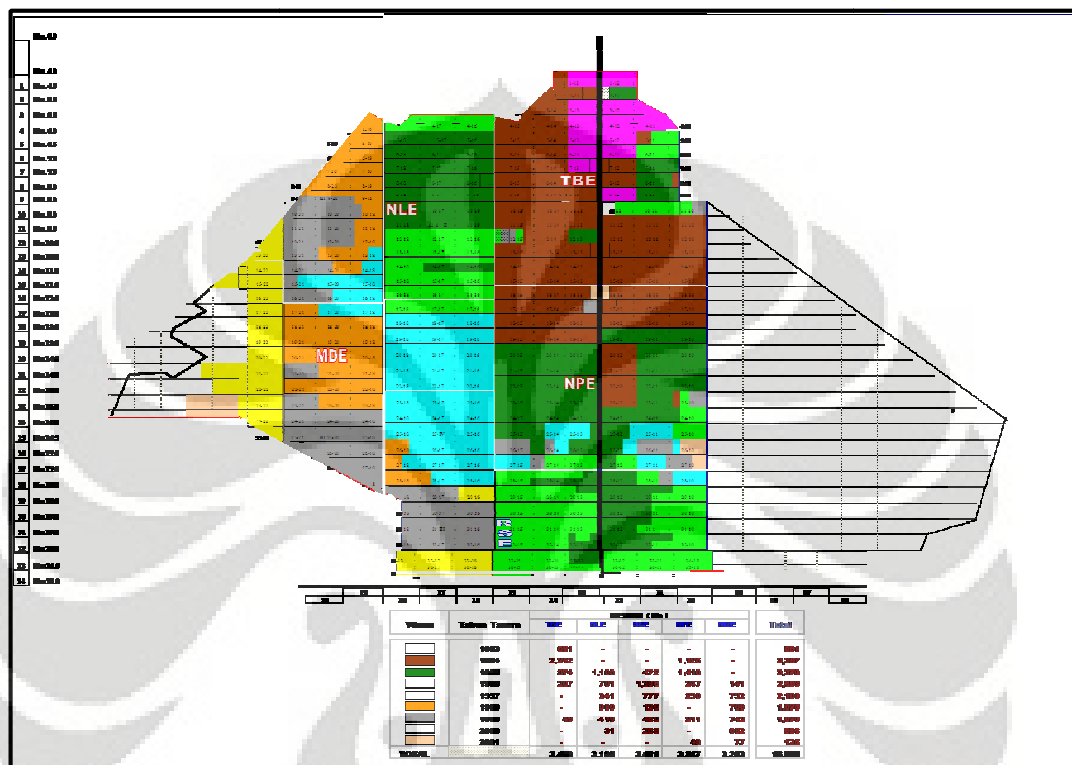
4.1.3 Keadaan Iklim

Provinsi Riau pada umumnya beriklim tropis basah dengan rata-rata curah hujan sepanjang tahun 2007 berkisar antara 2000 – 3000 mm per tahun yang dipengaruhi oleh musim kemarau dan musim hujan. Sedangkan rata-rata hari hujan tercatat 167 hari.

4.1.4 Perkebunan Kelapa Sawit

Perkebunan mempunyai kedudukan yang penting di dalam pengembangan pertanian baik pada tingkat nasional maupun regional. Perkembangan kegiatan perkebunan di Provinsi Riau menunjukkan trend yang semakin meningkat. Hal ini

Seluruh lahan perkebunan kelapa sawit adalah lahan gambut ombrotropik. Total luas yang tertanam pohon kelapa sawit adalah 16.577 ha. Sehingga hampir 66 % dari perkebunan ini, ditanami oleh kelapa sawit. Daerah perkebunan terbagi ke dalam 5 daerah, seperti gambar di bawah ini.



Gambar 4. 4 Pembagian daerah perkebunan

Tabel 4. 2 Daerah tertanam

Nama perkebunan	Luas tertanam (Ha)
Teluk Bakau (TBE)	3.459
Nusa Lestari (NLE)	3.185
Rotan Semelur (RTE)	3.461
Nusa Perkasa (NPE)	3.347
Mandah (MDE)	3.125
Total	16.577

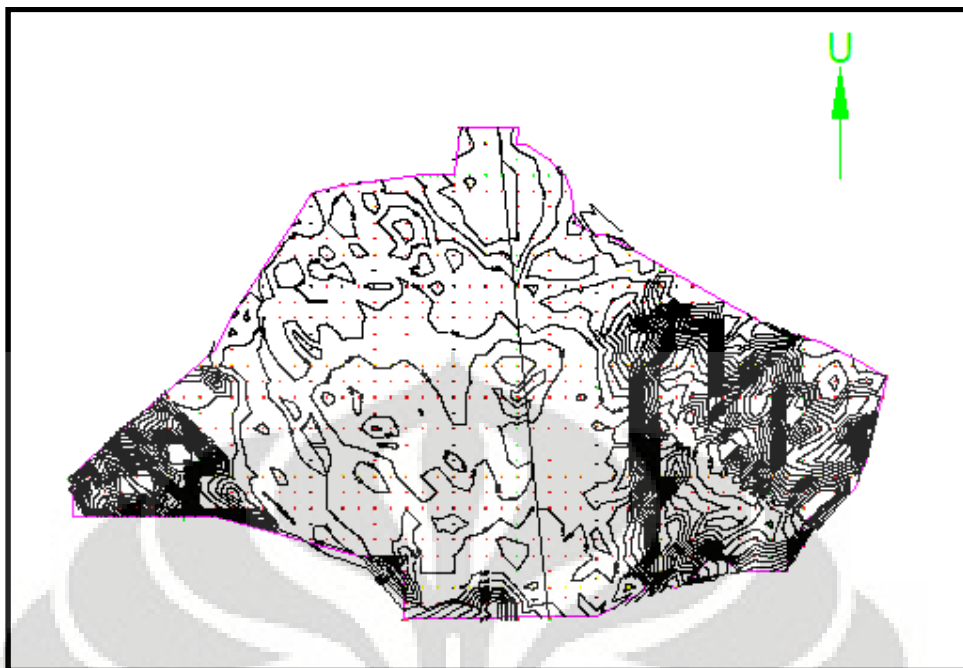
Sumber air dari perkebunan kelapa sawit ini adalah dari air hujan dan pasang surut Sungai Guntung. Air tersebut akan menyerap (infiltrasi) ke dalam tanah gambut dan ada pula yang melimpas (*run off*). Lahan gambut yang sering menerima luapan air sungai relatif lebih subur dibandingkan lahan gambut yang semata-mata hanya menerima limpasan/ curah air hujan.

Pada saat musim hujan, air dari dalam kanal meluap sampai ke perkebunan dan daerah pemukiman. Selain itu, bendungan mengalami jebol akibat struktur yang kurang kuat dan besarnya tekanan dari air. Pada musim kemarau, tanah gambut menjadi kering karena tidak mendapat suplai dari sungai maupun kanal, serta karena tingkat evapotranspirasi yang tinggi dari lahan gambut yang tertanam kelapa sawit.

4.2.2 Topografi

Pada umumnya, kondisi topografi lahan gambut adalah datar. Bentuk kemiringannya sangat kecil sehingga tidak bisa menyokong dalam proses aliran permukaan. Oleh karena itu, proses hujan-limpasan (*rainfall-runoff*) dikendalikan oleh air tanah atau air permukaan. Titik tertinggi adalah 4,5 m di atas permukaan laut, berada pada Mandah Estate. Titik terendah adalah 2 m di atas permukaan laut, berada pada bangunan pelimpah (*spillway*). Kemiringan tanah keseluruhan adalah 0,0125 %.

Material gambut yang paling dalam tebalnya adalah 3,5 m terdapat di Mandah, sedangkan yang paling rendah adalah 0,5 m ditemukan dekat bagian hulu dari perkebunan. Ketebalan tanah gambut akan berkurang karena adanya proses dekomposisi.



Gambar 4. 5 Peta kontur perkebunan BNS

4.2.3 Curah Hujan

Dari data hujan, total curah hujan tahunan cukup besar, yaitu antara 1.900-3.900 mm per tahun. Sedangkan rata-rata hari hujan adalah 116 hari. Hal ini menunjukkan bahwa curah hujan di perkebunan Indragiri Hilir, provinsi Riau cukup tinggi. Untuk analisis curah hujan akan dibahas pada bab selanjutnya.

4.2.4 Bangunan Pengendali Banjir

Infrastruktur yang penting dalam perkebunan ini adalah kanal dan bendungan. Sistem kanal digunakan untuk mempertahankan tinggi muka air agar tanah gambut tetap basah, selain itu juga digunakan sebagai sarana transportasi perahu. Bendungan atau bangunan pelimpah berfungsi sebagai pengendali ketika musim hujan untuk mengantisipasi terjadinya banjir di perkebunan.

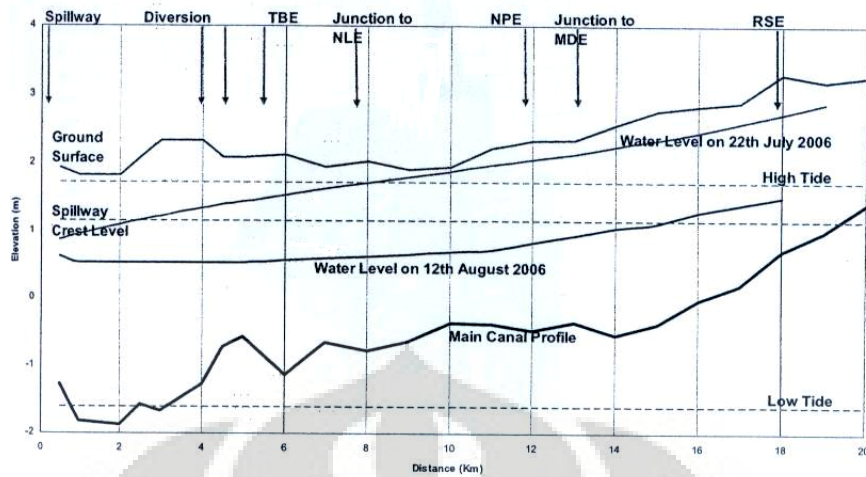
Kanal terdiri dari kanal primer dan sekunder. Kanal primer sepanjang 22 km dan kanal sekunder sepanjang 320 km. Berdasarkan total panjang, kerapatan kanal sekitar 22 m/hektar. Lebar dan kedalaman bervariasi. Hal ini diakibatkan karena bentuk kanal tidak simetris akibat ombak dari kapal pengangkut yang menggerus dinding kanal, sehingga terjadi erosi.

Tabel 4. 3 Dimensi kanal eksisting

KM	Kedalaman (m)	Lebar (m)	V (m/s)	Q (m ³ /s)
0	2,65	38	0,19	15,19
1	3,5	38	0,1	9,84
3	3,05	27,2	0,31	13,38
4	1,45	22,5	0,04	
5	2,5	25,6	0,23	12,26
6	2,46	22,5	0,39	16,28
8	2,35	21,9	0,32	10,95
10	2,35	24,8	0,2	8,97
12	2,22	22,8	0,17	6,65
14	2,4	19,8	0,11	3,61
15	2,3	31	0,17	7,89
18	2,2	21	0,15	5,51

sumber: studi oleh Universitas Teknologi Malaysia

Salah satu masalah utama pada sistem drainase adalah sulitnya mengatur aliran kanal selama musim kemarau. Berdasarkan penelitian dari Universitas Teknologi Malaysia, selama musim kemarau, debit dari kanal primer relatif besar yaitu 15 m³/s, aliran maksimum terjadi di pelimpah. Selama musim kemarau, aliran di dalam kanal konstan sepanjang kanal. Hal ini menunjukkan aliran kanal disebabkan oleh kemiringan dasar saluran/kanal.



Gambar 4. 6 Elevasi muka air dan permukaan tanah dari kanal utama

sumber: studi oleh Universitas Teknologi Malaysia



Gambar 4.7 Kanal primer

Salah satu upaya untuk mengurangi dampak erosi terhadap dinding kanal adalah dengan membuat beronjong dari batu kali dan dinding turap atau penahan.



Gambar 4.8 Dinding turap pada kanal

Bendungan sudah diusahakan untuk dibangun, namun demikian mengalami jebol karena struktur yang kurang kuat dan tekanan air yang besar. Bendungan ini dibuat untuk menampung air agar dapat digunakan saat musim kemarau. Sebaiknya struktur bendungan ini dilengkapi dengan pintu air untuk mengatur tinggi muka air.



Gambar 4.9 Bendungan yang jebol

BAB 5

ANALISIS PERMASALAHAN

5.1 ANALISIS CURAH HUJAN

Data curah hujan harian maksimum didapatkan dari setasiun hujan terdekat dari lokasi PT BNS, yaitu Setasiun Simpang Tiga. Untuk melakukan analisis curah hujan, digunakan metode Gumbel dalam beberapa periode ulang. Sehingga didapatkan curah hujan rata-rata tahunan.

Tabel 5. 1 Curah hujan harian maksimum

No.	Tahun	Curah hujan harian maksimum (mm)
1	1985	217,4
2	1986	85
3	1987	129,5
4	1988	80,3
5	1989	81,2
6	1990	121
7	1991	86,9
8	1992	196
9	1993	95,2
10	1994	69,6
11	1995	132,2
12	1996	109
13	1997	90,4
14	1998	114,2
15	1999	124,4

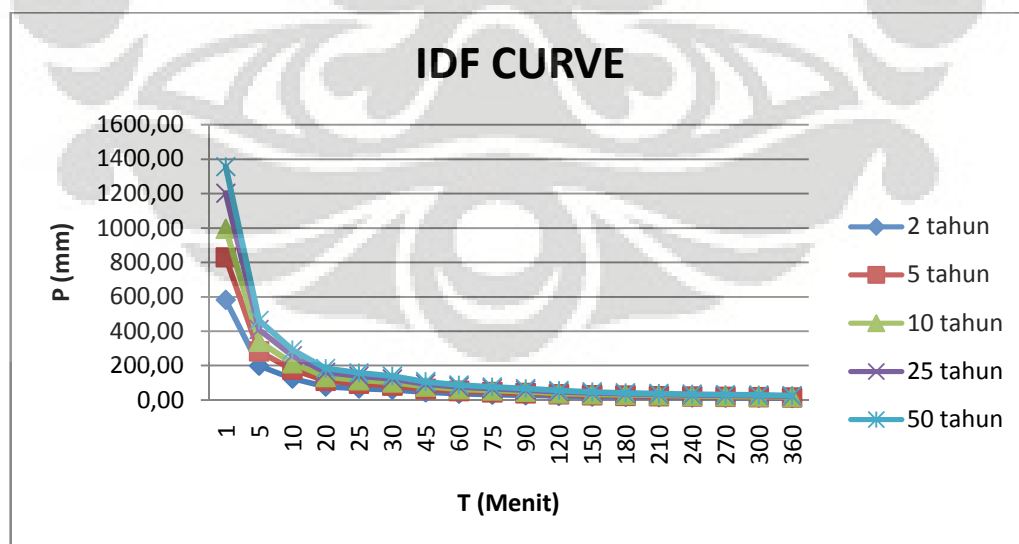
sumber: BMKG melalui perhitungan

Data curah hujan di atas kemudian diolah dengan metode Gumbel untuk mendapatkan curah hujan harian ekstrem yang terjadi di perkebunan kelapa sawit BNS. Curah hujan harian ekstrem yang terjadi bervariasi berdasarkan periode ulangnya, seperti pada tabel 5.2.

Tabel 5. 2 Intensitas maksimum pada periode ulang

Periode ulang	P (mm)
2	109,45
5	156,20
10	187,14
25	226,25
50	255,26

Selanjutnya diperoleh kurva IDF dengan tujuan mendapatkan intensitas hujan, yang diolah dengan menggunakan rumus Mononobe. Dalam perhitungan desain, dipilih periode ulang 10 tahun, karena sesuai dengan kriteria desain saluran pada area pertanian/perkebunan (Ven Te Chow et al, *Applied Hydrology*, tabel 13.1.1, hal.419).



Gambar 5. 1 IDF Curve

5.2 ANALISIS DEBIT RENCANA

Perhitungan debit rencana menggunakan metode rasional, karena beberapa anggapan yang digunakan, antara lain:

- Curah hujan mempunyai intensitas yang merata di seluruh daerah aliran untuk durasi tertentu.
- Lamanya curah hujan sama dengan waktu konsentrasi dari daerah aliran.
- Puncak banjir dan intensitas curah hujan mempunyai tahun berulang yang sama.

Rumus metode rasional yaitu

$$Q = C I A \quad (5.1)$$

dimana:

C = koefisien runoff

I = intensitas maksimum selama waktu konsentrasi (mm/jam)

A = luas daerah aliran (m²)

Q = debit maksimum (m³/det)

a. Menentukan koefisien aliran (C)

Perkebunan kelapa sawit milik PT BNS penutup lahannya didominasi oleh tanah gambut. Sehingga mempengaruhi koefisien aliran pada *catchment*. Berdasarkan tata guna lahan adalah tanah dataran yang ditanami, maka nilai C adalah 0,6 (dapat dilihat pada tabel 2.4). Pemanfaatan lahan cenderung didominasi sebagai lahan perkebunan dan hanya sedikit yang digunakan untuk perumahan atau pabrik, maka nilai C terbobot adalah 0,6.

b. Penentuan intensitas hujan (I)

Intensitas hujan maksimum didapatkan dari kurva IDF pada menit pertama, dengan waktu konsenstrasi (T_c) yang didapatkan dengan membagi panjang saluran terpanjang (L) dengan kecepatan desain (v). Kecepatan desain adalah sebagai asumsi awal, diambil sebesar 1,5 m/s karena material dasar saluran berupa tanah dengan kemiringan 0-3 % (Ven Te Chow et al, *Applied Hydrology*,

tabel 5.7.1, hal.165). Kemudian nilai T_c disubstitusi ke dalam rumus di bawah ini dengan besar intensitas pada IDF *curve*.

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (5.2)$$

c. Luas *sub-catchment*

Catchment perkebunan dibagi menjadi bagian yang lebih kecil dalam *sub-catchment*. Pembagian ini berdasarkan dari arah aliran dan outlet dari masing-masing *sub-catchment*. Wilayah perkebunan dibagi menjadi 24 *sub-catchment* dengan arah aliran menuju pada kanal utama. Arah aliran berdasarkan dari elevasi kontur, dimana secara alami air akan mengalir dari tempat yang tinggi ke tempat yang rendah.

Setiap *sub-catchment* mempunyai luas dan panjang saluran yang dapat dipergunakan untuk menghitung debit rencana dan kecepatan dalam kanal. Dari pembagian *sub-catchment* ini pun digunakan untuk menghitung *channel routing* dalam membuat sistem DAS. Pembagian *sub-catchment* dapat dilihat pada gambar 5.2.

Contoh perhitungan dengan periode ulang 10 tahunan pada *sub-catchment* A dengan luas 9 km², $C_{\text{terbobot}} = 0,6$; Saluran terpanjang = 3000 m. Maka $T_c = 3000 \text{ m} / 1,5 \text{ m/s} = 2000 \text{ s} = 33,33 \text{ menit}$. Untuk mendapat intensitas maksimum, nilai T_c disubstitusi ke persamaan 5.1. Sehingga didapatkan hasil $I = 92,36 \text{ mm/jam}$. Akhirnya, untuk mendapatkan debit rencana dengan metode rasional adalah mengalikan nilai C , I , dan A maka dihasilkan debit sebesar 138,5 m³/s. Perhitungan lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran 3.

5.3 ANALISIS KAPASITAS SALURAN

Penampang saluran berbentuk trapesium. Luas penampang saluran didapatkan dari rumus:

$$Q = v A \quad (5.3)$$

dimana: A = luas penampang saluran (m²)

Q = debit maksimum (dari metode rasional) (m³/s)

v = kecepatan desain (m/s)

Debit rencana didapatkan dari metode rasional. Kemudian, dilakukan pengecekan kecepatan dengan rumus manning, yaitu:

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (5.4)$$

dimana: v = kecepatan saluran (m/s)

n = koefisien kekasaran saluran

R = jari-jari hidrolis (m) = A/P

A = luas penampang saluran (m^2)

P = keliling basah (m) = $2H \sqrt{3}$

H = tinggi saluran (m)

S = kemiringan saluran = $\Delta h/L$

Δh = perbedaan elevasi (m)

L = panjang saluran terpanjang (m)

Jenis penutup lahan berupa gambut, juga mempengaruhi nilai n (kekasaran saluran) untuk menghitung besar kecepatan dalam saluran. Berdasarkan perhitungan dari Universitas Teknologi Malaysia, nilai rata-rata kekasaran kanal pada kanal utama adalah 0,03.

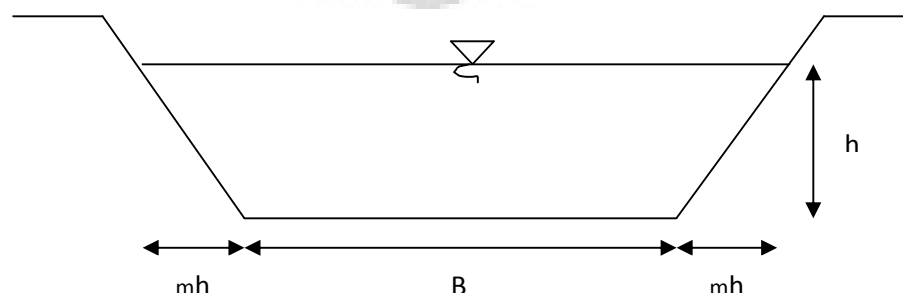
Dari substitusi persamaan 5.4 ke dalam 5.3, maka didapatkan tinggi saluran (H). Jika nilai H diketahui, maka dapat dicari nilai B dengan rumus:

$$B = 2/3 H\sqrt{3} \quad (5.5)$$

Kemudian didapatkan nilai R dengan rumus:

$$R = H/2 \quad (5.6)$$

Nilai R kemudian disubstitusi ke persamaan 5.4 untuk mendapatkan nilai kecepatan saluran. Setelah didapatkan kecepatan saluran, maka didapatkan nilai debit saluran dengan rumus 5.3.



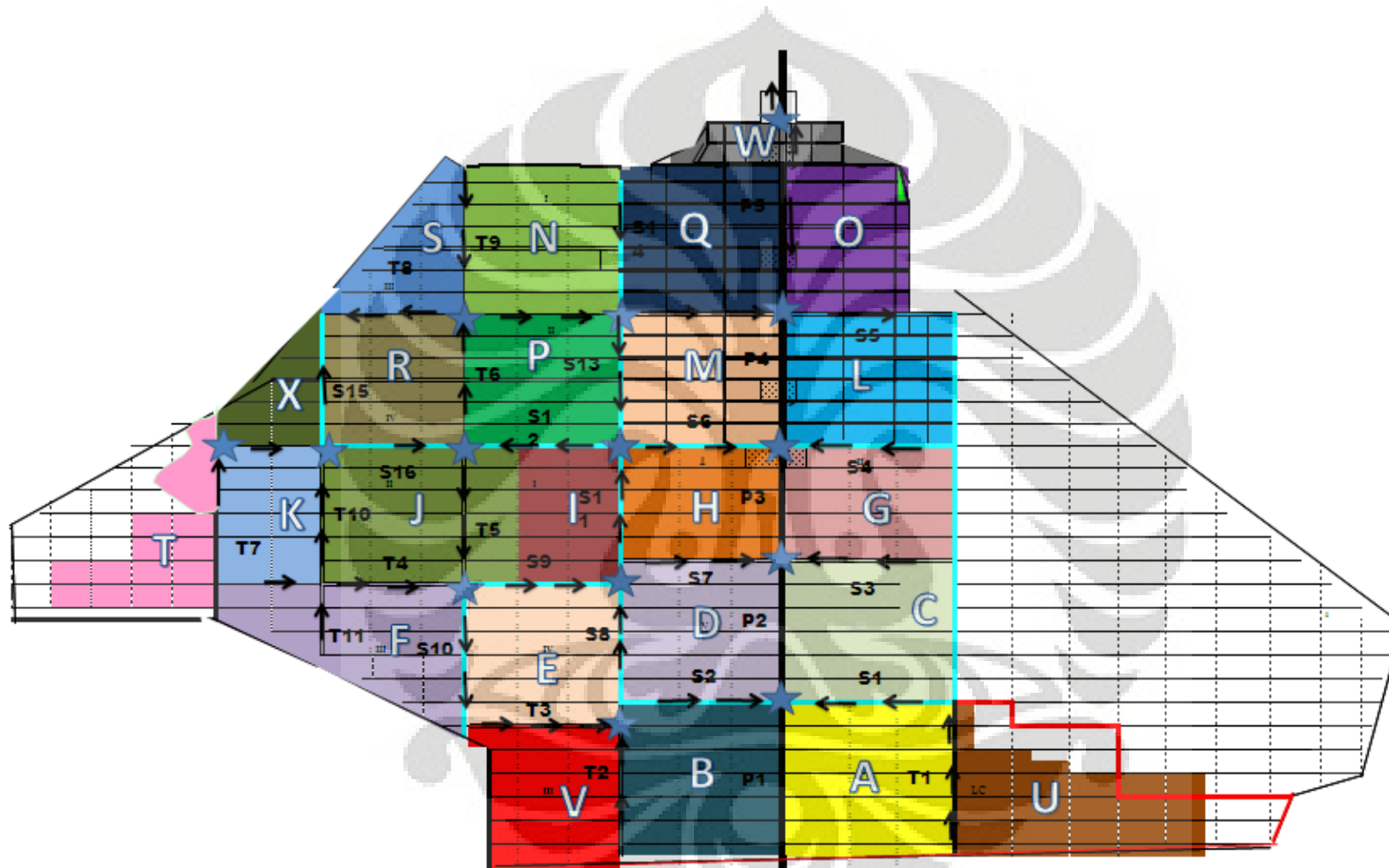
Contoh perhitungan untuk periode pada *sub-catchment* A, debit rencana sebesar $138,5 \text{ m}^3/\text{s}$ dengan kecepatan desain $1,5 \text{ m/s}$. Maka didapatkan luas penampang saluran, $A = Q/v = 92,4 \text{ m}^2$. Kemiringan lahan (S) $0,000667$. Maka, dengan rumus Manning pada persamaan 5.4, didapatkan tinggi saluran, $H = 11,6 \text{ m}$ dengan lebar $13,4 \text{ m}$. Sehingga, debit pada saluran adalah $256,4 \text{ m}^3/\text{s}$. Debit saluran lebih besar dari debit rencana, dengan demikian kapasitas saluran tidak cukup untuk menampung hujan ekstrem yang terjadi.

Untuk mengatasi agar tidak terjadi limpasan, hal yang dapat dilakukan adalah dengan menggali (*dredging*) dasar saluran atau memperlebar saluran. Hal ini memerlukan penelusuran saluran agar dugaan awal bahwa kapasitas saluran tidak mencukupi dapat terbukti. Hasil perhitungan lebih lengkap untuk analisis kapasitas saluran dapat dilihat pada lampiran 4.

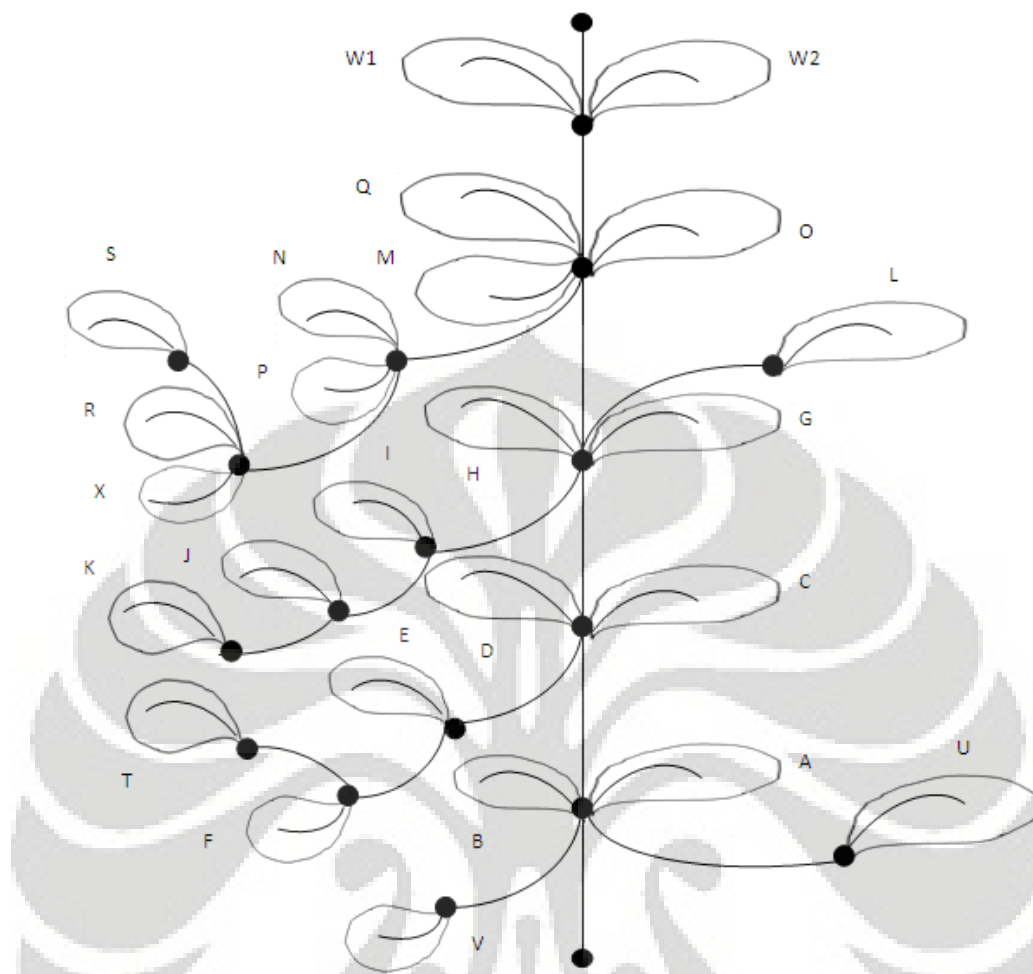
5.4 CHANNEL ROUTING

5.4.1 Sistem DAS

Berdasarkan pembagian *sub-catchment*, kemudian dapat dibuat sistem DAS sebagai skema input dalam program Win TR 20. Pembuatan skema sistem DAS ini juga didasarkan pada arah aliran dan outlet masing-masing *sub-catchment* (Gambar 5.2). Gambar 5.3 menggambarkan bahwa semua aliran mengalir ke kanal utama.



Gambar 5. 2 Sub Catchment



Gambar 5. 3 Skema sistem sub-catchment

Untuk memudahkan perhitungan, *channel routing* dilakukan hanya pada kanal utama. Sehingga sistem DAS diperkecil dengan menggabungkan beberapa *sub-catchment* yang mempunyai outlet yang sama. Hasil dari penggabungan ini adalah menjadi 10 area, antara lain:

area 1 = area A + U

area 2 = area C

area 3 = area G + L

area 4 = area O

area 5 = area W2

area 6 = area B + V

area 7 = area D + E + F + T

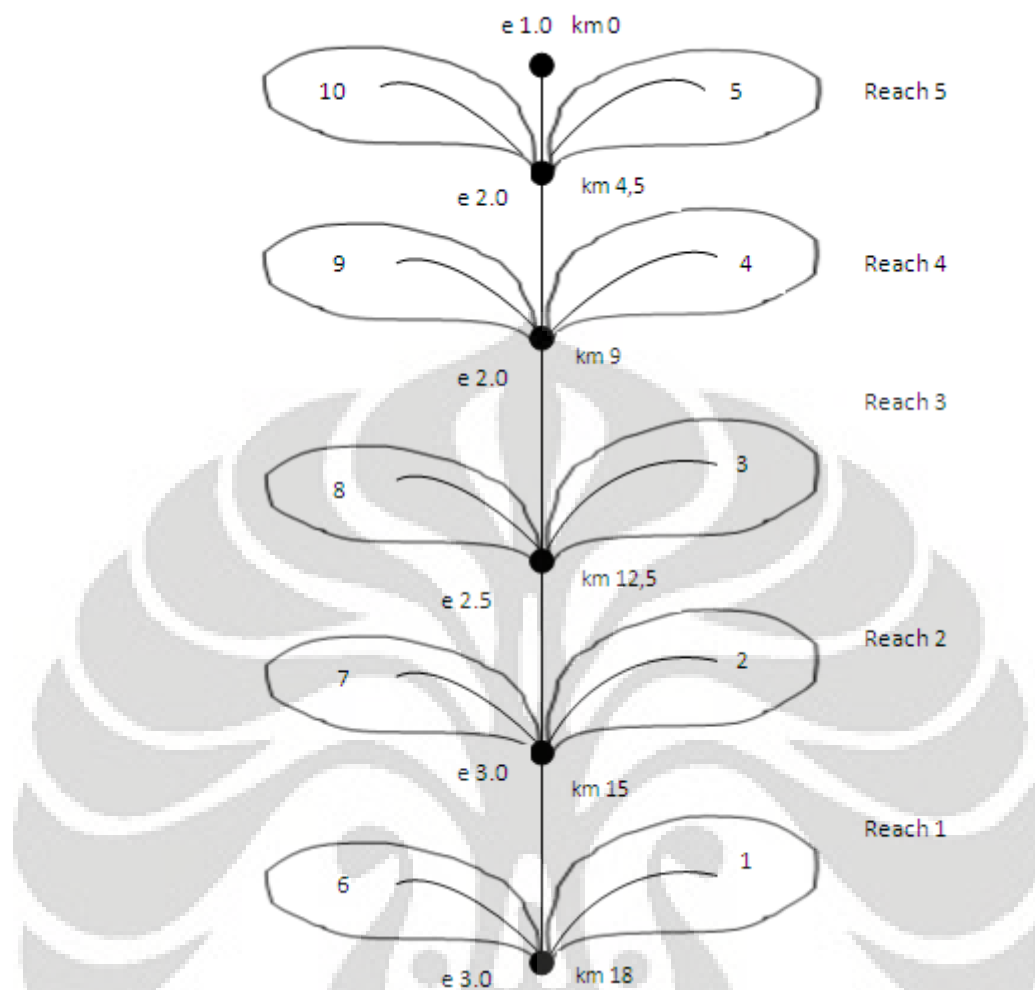
area 8 = area H + I + J + K

area 9 = area M + N + P + R + S + Q + X

area 10 = area W1

Dari gambar 5.4, dapat disimpulkan bahwa kanal utama mendapat limpasan dari area di kanan dan kiri. Di setiap titik outlet mempunyai elevasi tanah yang menjadi acuan (*bankfull elevation*) dari limpasan banjir pada kanal utama. Dengan demikian, setiap area di kanan dan kiri memberi beban (debit) pada kanal utama.

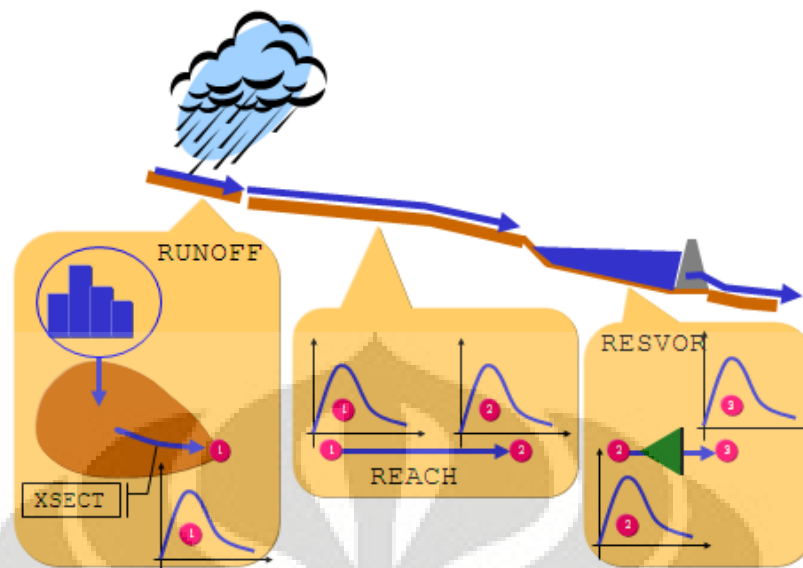
Setiap area mempunyai reach yang mengalirkan air dari area tersebut kepada reach penerima. Contohnya, area 1 dan area 6 mempunyai reach 1 yang mengalir ke reach 2, lalu reach 2 menuju reach 3, dan seterusnya sampai reach 5 yang menuju outlet (km 0). Setiap area mempunyai xsect pada elevasi yang tertentu. Contohnya xsect 1 pada km 18 dengan elevasi 3 m. Dari xsect ini kemudian dapat dihitung kenaikan debit setiap kenaikan delta h, pada intensitas hujan tertentu. Dimensi pada xsect berdasarkan dari dimensi eksisting yang telah dihitung oleh Universitas Teknologi Malaysia.



Gambar 5. 4 Skema sistem DAS

5.4.2 Input Win TR-20

Win TR-20 adalah sebuah pemodelan suatu DAS sebagai sistem dari sub-area dan saluran. Dalam sistem DAS tersebut dipengaruhi oleh curah hujan, jenis penutup lahan, topografi, dan hierarki dari saluran. Metode yang digunakan dalam input Win TR-20 adalah metode SCS. Pada setiap sub-area dan reach akan menghasilkan hidrograf yang merupakan penjumlahan antara hidrograf curah hujan dan debit. Berikut ini merupakan ilustrasi dari pemodelan melalui Win TR-20 yang selanjutnya akan diurutkan berdasarkan input ke dalam program.



Gambar 5. 5 Ilustrasi input program Win TR-20

a. Area

Input Win TR 20 pertama adalah area, sesuai dengan skema yang sebelumnya sudah direncanakan.

Tabel 5. 3 Input area

km	Parameter Sub-area	Drainage Area (mile ²)	CN	Tc (jam)	Receiving Reach
18	1	7,18	77	0,18	1
15	2	3,46	77	0,18	2
12,5	3	6,34	77	0,10	3
9	4	2,69	77	0,17	4
4,5	5	0,38	77	0,14	5
18	6	6,44	77	0,17	1
15	7	12,83	77	0,31	2
12,5	8	12,11	77	0,28	3
9	9	21,81	77	0,28	4
4,5	10	0,67	77	0,07	5

Tanah gambut termasuk ke dalam *group soil C* (*clay loams, shallow sandy loam, soils low in organic content*). Jenis peruntukan lahan adalah *wood or forest land* (*thin stand, poor cover, no mulch*). Maka dapat ditentukan nilai CN (*Curve Number*) adalah 77 (sumber: Ven Te Chow et al., *Applied Hydrology*, tabel 5.5.2, hal.150).

Nilai CN seharusnya disesuaikan dengan kondisi iklim, tata guna lahan, karakteristik tanah, dan laju infiltrasi tanah. Asumsi nilai CN yang digunakan sebagai pendekatan karakteristik tanah gambut adalah *group soil C*, namun demikian sebagai pembandingan dan pembuktian pengaruh dari CN terhadap debit puncak, maka dilakukan pula perhitungan dengan nilai CN adalah 66, dimana termasuk ke dalam *group soil B*.

Nilai CN akan mempengaruhi kemiringan tanah (*slope*), yaitu dari rumus:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (5.7)$$

Kemiringan tanah akan mempengaruhi waktu konsentrasi (T_c). Untuk metode SCS, nilai T_c didapatkan dari rumus Kirpich:

$$T_c = 0,0078L^{0,775} S^{-0,385} \quad (5.8)$$

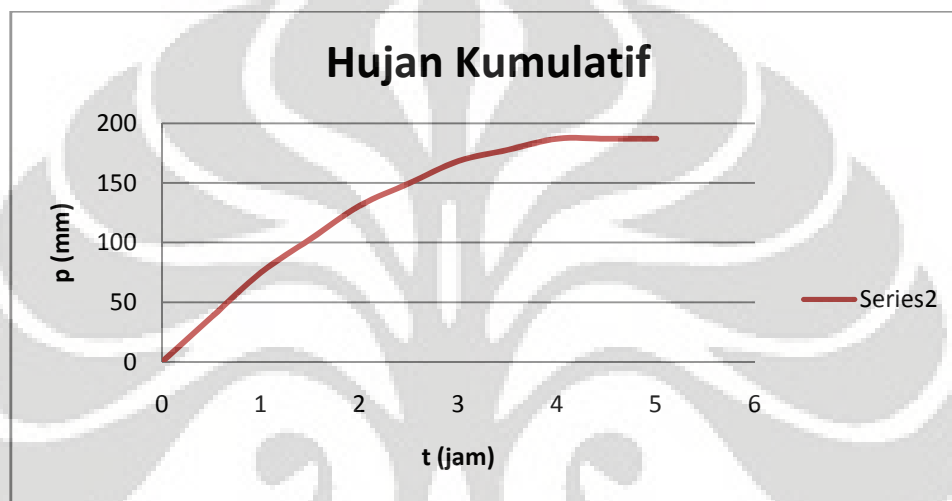
b. Storm Data

Hujan yang dihitung adalah hujan kumulatif selama 5 jam, karena pada umumnya hujan dengan intensitas yang tinggi di Indonesia terjadi selama 3-5 jam dalam satu hari. Setelah jam ke-4 maka intensitas hujan tidak akan bertambah tinggi tetapi konstan pada intensitas yang maksimum. Berikut ini merupakan perhitungan hujan kumulatif pada periode ulang 10 tahun.

Tabel 5. 4 Curah hujan kumulatif, $T_r= 10$ tahun

t (jam)	p (mm)	p(inch)
0	0	0
0,5	37,43	1,47
1	74,86	2,94
1,5	102,93	4,05

2	131,00	5,15
2,5	149,71	5,88
3	168,43	6,62
3,5	177,78	6,99
4	187,14	7,35
4,5	187,14	7,35
5	187,14	7,35



Gambar 5. 6 Grafik distribusi hujan

c. Xsect Data

Xsect (*cross section*) adalah penampang saluran dari area dimana air akan bertemu pada titik tersebut. Dalam Xsect terdapat kenaikan debit outflow (Q) pada setiap pertambahan elevasi muka air (H) dan pertambahan luas (A) serta keliling basah (P) penampang saluran. Penampang saluran yang ditinjau mempunyai kemiringan (S) dan koefisien kekasaran saluran untuk tanah gambut (n), serta lebar (B) dari saluran berbentuk trapesium. Perhitungan lebih lengkap dapat dilihat di lampiran 7.

d. Reach Data

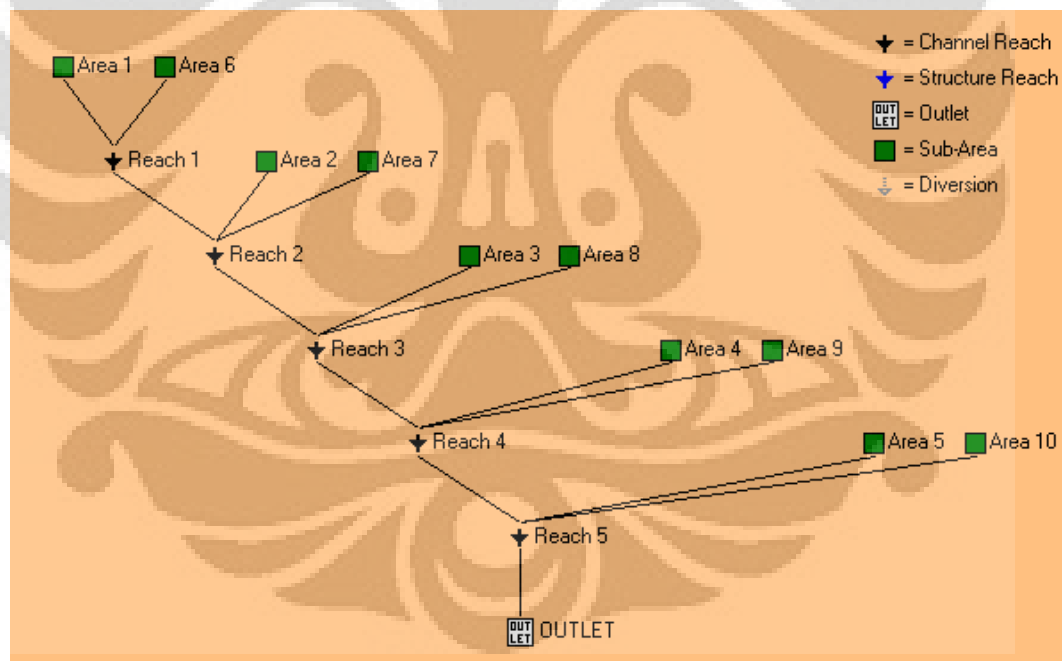
Reach adalah badan air penerima dari area dan xsect. Letak reach adalah pada kanal utama, karena yang akan dilacak (*routing*) adalah hanya kanal utama.

Tabel 5. 5 Input Reach

Stream Reach Identifier	Stream Receiving Reach Identifier	Reach Cross Section Identifier	Reach Channel Length (feet)
Reach 1	Reach 2	Xsec 1	9840
Reach 2	Reach 3	Xsec 2	8200
Reach 3	Reach 4	Xsec 3	9840
Reach 4	Reach 5	Xsec 4	14760
Reach 5	Outlet	Xsec 5	16400

5.4.3 Output Win TR20

Hasil dari *routing channel* pada Win TR 20 adalah berupa skematik sistem DAS dan hydrograf pada area, reach serta outlet. Hydrograf antara debit puncak dan waktu, akan menghasilkan elevasi maksimum pada saat Q puncak.



Gambar 5. 7 Skema DAS output Win TR 20

Berikut ini merupakan rekapitulasi output dari Win TR 20 untuk periode ulang 10 tahun, sedangkan hidrograf terdapat pada lampiran 7.

Tabel 5. 6 Output, storm = 10-year

STORM 10-Year (CN = 77)

Area or Reach Identifier	Drainage Area (sq mile)	Rain gage ID or location	Runoff Amount	Peak flow		
				Elevation (ft)	Time (hr)	Rate (cfs)
Area 1	7,18		4,682		12,99	29045,24
Area 6	6,44		4,682		12,99	26379,58
Reach 1	13,62	Upstream	4,682	11,14	12,99	55383,2
Reach 1	13,62	Downstream	4,682	11,13	13,01	55345,52
Area 2	3,46		4,682		12,99	13996,73
Area 7	12,83		4,682		13,08	43479,5
Reach 2	29,91	Upstream	4,682	13,15	13,03	110345,3
Reach 2	29,91	Downstream	4,682	13,14	13,05	110307,4
Area 3	6,34		4,682		12,93	29068,63
Area 8	12,11		4,682		13,07	42803,45
Reach 3	48,36	Upstream	4,682	22,15	13,03	174161,6
Reach 3	49,51	Downstream	4,682	22,14	13,05	174115,7
Area 4	2,69		4,682		12,99	11018,8
Area 9	21,81		4,682		13,07	77088,63
Reach 4	72,86	Upstream	4,682	27,16	13,05	261059,4
Reach 4	72,86	Downstream	4,682	27,15	13,07	260931,1
Area 5	0,38		4,682		12,96	1626,96
Area 10	0,67		4,682		12,92	3233,04
Reach 5	73,91	Upstream	4,682	26,36	13,07	263008,9
Reach 5	73,91	Downstream	4,682	26,36	13,1	262924,5
Outlet	73,91		4,682		13,1	262924,5

5.4.4 Profil Kanal

Dari hasil Win TR 20, maka dapat dibuat profil muka air kanal berdasarkan dari elevasi muka air pada saat terjadi debit puncak. Pada setiap reach terdapat *upstream* (hulu) dan *downstream* (hilir). Elevasi dari hulu dan hilir dapat

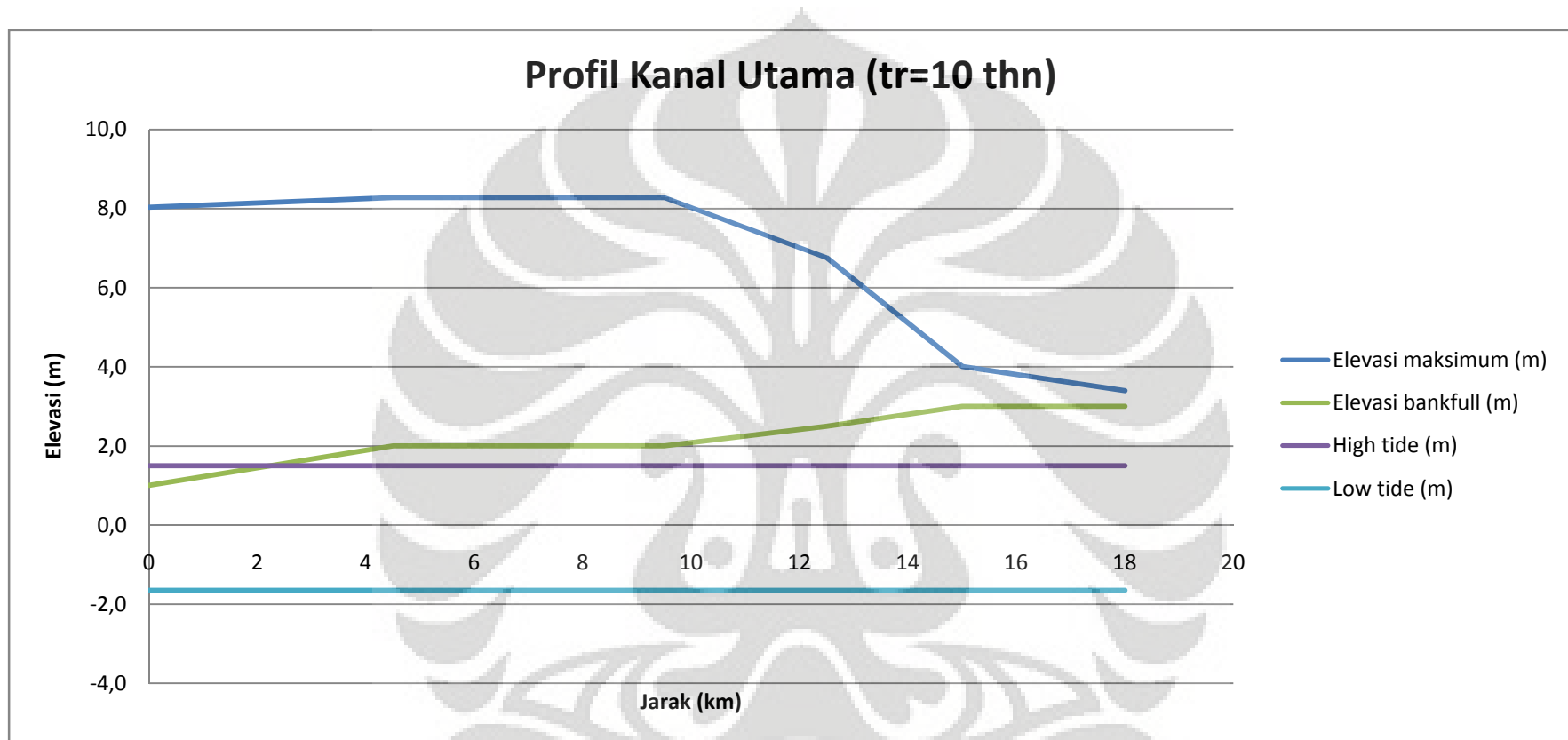
diplot sehingga menghasilkan profil dari kanal. Profil kanal dapat dilihat pada gambar 5.11 dan 5.12.

Profil kanal utama dapat memperlihatkan titik terjadi banjir jika elevasi maksimum melebihi elevasi bankfull. Tinggi air yang melimpas dapat dilihat dari selisih antara elevasi maksimum dan bankfull. Pada tabel di bawah ini, merupakan elevasi pada setiap titik outlet yang ditinjau di kanal utama. Hasil elevasi ini diambil dari hidrograf dengan curah hujan ekstrem untuk periode ulang 10 tahun.

Tabel 5. 7 Output elevasi, $T_r= 10$ tahun

Titik (km)	Elevasi maksimum (m)	Elevasi bankfull (m)	Tinggi limpasan (m)	High tide (m)	Low tide (m)	Keterangan
0	8,0	1,0	7,0	1,5	-1,7	Banjir
4,5	8,3	2,0	6,3	1,5	-1,7	Banjir
9,5	8,3	2,0	6,3	1,5	-1,7	Banjir
12,5	6,8	2,5	4,3	1,5	-1,7	Banjir
15	4,0	3,0	1,0	1,5	-1,7	Banjir
18	3,4	3,0	0,4	1,5	-1,7	Banjir

Pada tabel di atas menjelaskan bahwa semua titik outlet pada kanal utama mengalami banjir, tinggi limpasan dari hulu (km 18) ke hilir (km 0) semakin tinggi dan akan mengakibatkan genangan pada area perkebunan. Elevasi *high tide* didapatkan dari data tinggi muka air ketika pasang dan *low tide* adalah tinggi muka air surut. Tinggi muka air pasang dapat menambah tinggi limpasan, sedangkan tinggi muka air surut dapat mengurangi limpasan. Namun demikian, hal ini perlu dikaji lebih lanjut pengaruh dari pasang surut.



Gambar 5. 8 Profil kanal, Tr = 10 tahun

5.5 SOLUSI PENANGANAN BANJIR

Dari gambar profil muka air semua titik outlet mengalami banjir jika terjadi hujan sebesar 187,14 mm per hari (periode ulang 10 tahun) dan nilai CN adalah 77. Hal ini disebabkan karena pengaruh intensitas hujan yang sangat tinggi dan jenis penutup lahan (tanah gambut) yang tingkat infiltrasinya rendah. Kedua faktor ini yang cukup signifikan terhadap nilai debit puncak dan elevasi maksimum. Perbandingan hasil dari kedua faktor ini dapat dilihat lebih rinci pada lampiran.

DAS perkebunan ini pun dipengaruhi oleh pasang surut air laut, sehingga pada km 0 sangat mungkin terjadi banjir jika terjadi pasang air laut. Jika dilihat dari peta kontur, elevasi DAS tertinggi adalah pada bagian Mandah Estate, sebelah barat perkebunan. Sehingga, beban dari daerah tersebut juga sangat mempengaruhi daerah hilir terutama yang memiliki elevasi lebih rendah.

Sistem drainase di daerah gambut harus selalu mempertimbangkan kemungkinan terjadinya penyusutan (*shrinkage*) dan pemampatan lapisan gambut yang akan berakibat pada penurunan elevasi muka tanah. Penyusutan lapisan gambut akan memperkecil kemampuan perkolasi dan penyimpanan air hujan yang berakibat peningkatan besaran *runoff*, yang pada akhirnya akan semakin menuntut peningkatan kapasitas saluran.

Peningkatan kapasitas saluran akan mengakibatkan terjadinya peningkatan pembuangan air di musim kemarau, peningkatan pengeringan lapisan gambut, pemampatan lapisan gambut sehingga akan terjadi penurunan muka tanah (*subsidence*) yang sangat intensif. Maka upaya pembuatan saluran drainase untuk mengatasi terjadinya genangan, justru dapat berakibat lebih buruk, karena saluran drainasi dapat mengakibatkan terjadinya *subsidence* dan keringnya tanah gambut yang *irreversible*, sehingga mengurangi kemampuan menyerap air.

Oleh karena itu, dibutuhkan alternatif solusi secara teknis yang sesuai dengan karakteristik gambut dan dapat menjaga keberlangsungan produksi perkebunan. Berikut ini merupakan beberapa alternatif solusi yang dapat diterapkan:

1. Membuat spillway dan pintu air otomatis (flapgate) pada kilometer 0.

Kilometer 0 merupakan outlet dari seluruh DAS, sehingga dibutuhkan spillway untuk mengatur ketinggian air pada kanal di daerah hulu. Pintu air otomatis berfungsi untuk mengatur tinggi muka air pada saat pasang surut.

2. Membuat reservoir pada area 7 (Rotan Semelur) dan 9 (Nusa Lestari).

Reservoir digunakan untuk menampung debit banjir. Penempatan reservoir ini didasarkan pada hasil *channel routing*, di mana area ini mempunyai debit puncak banjir yang paling besar. Faktor yang mempengaruhi adalah karena luas *catchment* yang sangat besar. Oleh karena itu untuk mengurangi tinggi limpasan pada kanal utama dan daerah hilir, maka dibuat reservoir pada daerah tersebut. Kapasitas reservoir didapat dari debit puncak dan akan mempengaruhi luas tampungan. Perhitungan lebih detail pada lampiran 10.

Dalam perencanaan pembuatan reservoir, akan memberikan dampak pada tinggi limpasan. Berikut ini adalah rangkuman dari hasil *run* Win TR-20 dengan menambahkan *struct* pada input *Stream Reach*. Untuk hasil lebih detail, terdapat pada lampiran 12.

Tabel 5. 8 Elevasi pada kanal utama setelah dibangun reservoir

Titik (km)	Elevasi maksimum (m)	Elevasi bankfull (m)	Tinggi limpasan (m)	High tide (m)	Low tide (m)	Keterangan
0	2,1	1,0	1,1	1,5	-1,7	Banjir
4,5	4,0	2,0	2,0	1,5	-1,7	Banjir
9,5	3,0	2,0	1,0	1,5	-1,7	Banjir
12,5	3,1	2,5	0,6	1,5	-1,7	Banjir
15	3,1	3,0	0,1	1,5	-1,7	Banjir
18	2,4	3,0	-0,6	1,5	-1,7	Tidak banjir

Hasil tabel di atas memberikan informasi, bahwa pada km 18 (hulu) tidak terjadi banjir. Namun demikian, pada kanal utama bagian hilir masih

terjadi banjir. Hal ini dapat disebabkan karena elevasi *bankfull* yang relatif rendah. Setelah dibangun 2 reservoir yaitu reservoir pada area 9 (km 9,5) dan area 7 (km 15), tinggi limpasan di daerah hilir berkurang cukup signifikan.

3. Membuat pintu air flapgate pada kilometer 21, 18, 12 dan 9,5.

Langkah lain untuk menangani banjir adalah dengan membuat pintu air yang berfungsi untuk mengatur elevasi air pada kanal utama. Pintu air di km 9,5 sebelah barat untuk mengatur tinggi air menuju outlet pada kilometer 12,5. Pintu air di km 12 mengatur tinggi air yang berasal dari daerah Mandah.

4. Membuat tanggul sepanjang kanal dengan dinding penahan dari batang kayu.

Hal ini dilakukan untuk mengantisipasi terjadinya erosi dan masuknya air dari kanal ke dalam tanah gambut. Struktur pada tanah gambut sulit untuk dibangun karena penurunan tanah (*subsidence*) yang berkelanjutan yang akan menyebabkan runtuhnya bangunan. Oleh karena itu, sepanjang saluran disarankan dibangun dari *soil-filled bags* dan dilindungi oleh batang plastik dan batang kayu. Struktur jenis ini membutuhkan perawatan yang teratur.

5. Memisahkan daerah Mandah Estate sebagai catchment 2, dimana pengaturan tata airnya terpisah dari kanal utama.

Mandah Estate merupakan lokasi di dalam perkebunan yang memiliki elevasi tanah tertinggi, sehingga beban limpasan dari Mandah akan mengalir ke kanal utama dan menjadi potensi terjadinya banjir. Oleh karena itu *catchment* Mandah sebaiknya dipisahkan dalam hal pengelolaan air (sistem drainase) dari kanal utama. Secara teknis, dapat dibuat sodetan atau saluran yang memotong arah aliran yang menuju kanal utama.

6. Membuat sistem aliran yang terdiri dari saluran irigasi dan drainase.

Sistem aliran pada perkebunan dapat dibuat satu arah yaitu terdiri dari saluran irigasi (inlet) dan saluran drainase (outlet). Hal ini dikarenakan kanal utama tidak dibelokkan, namun menerima aliran dari saluran sekunder, sehingga sistem aliran irigasi dan drainase bergabung.

Diantara 6 pilihan solusi, solusi yang dapat dilakukan lebih mudah adalah nomor 1-4. Memisahkan daerah Mandah Estate dan membuat sistem aliran satu arah membutuhkan perencanaan lebih matang dengan melihat peta tata guna lahan dan hierarki saluran kondisi eksisting.

Pembuatan *spillway* pada km 0 sudah diusahakan dan dapat ditambahkan *flapgate*. Berdasarkan hasil perhitungan, daerah ini masih rawan banjir karena terletak paling hilir, sedangkan pada daerah ini terdapat pabrik kelapa sawit. Sehingga, jika memungkinkan elevasi dari bangunan pabrik dapat dinaikkan sekitar 1-2 m.

Reservoir dibuat dengan cara menggali lahan. Hal ini mungkin cukup mengambil lahan perkebunan, namun untuk menangani banjir dibutuhkan pula cekungan untuk menampung debit banjir yang direncanakan.

Pembuatan *flapgate* dapat dilakukan secara sederhana dengan papan kayu dengan memperhatikan elevasi muka air pada kanal. Oleh karena itu pembuatan *flapgate* ini dapat diusahakan pada beberapa titik yang mempunyai potensi genangan yang besar.

Pengelolaan air pada perkebunan kelapa sawit yang bertanah gambut harus disesuaikan dengan musim. Pada musim kemarau, pintu air harus ditutup dan tidak ada aliran yang keluar untuk mencegah penurunan tinggi air. Selama musim hujan, tinggi air harus lebih rendah agar drainase dapat menampung curah hujan yang tinggi, pintu air juga harus ditutup dengan aliran yang keluar hanya dari *spillway*.

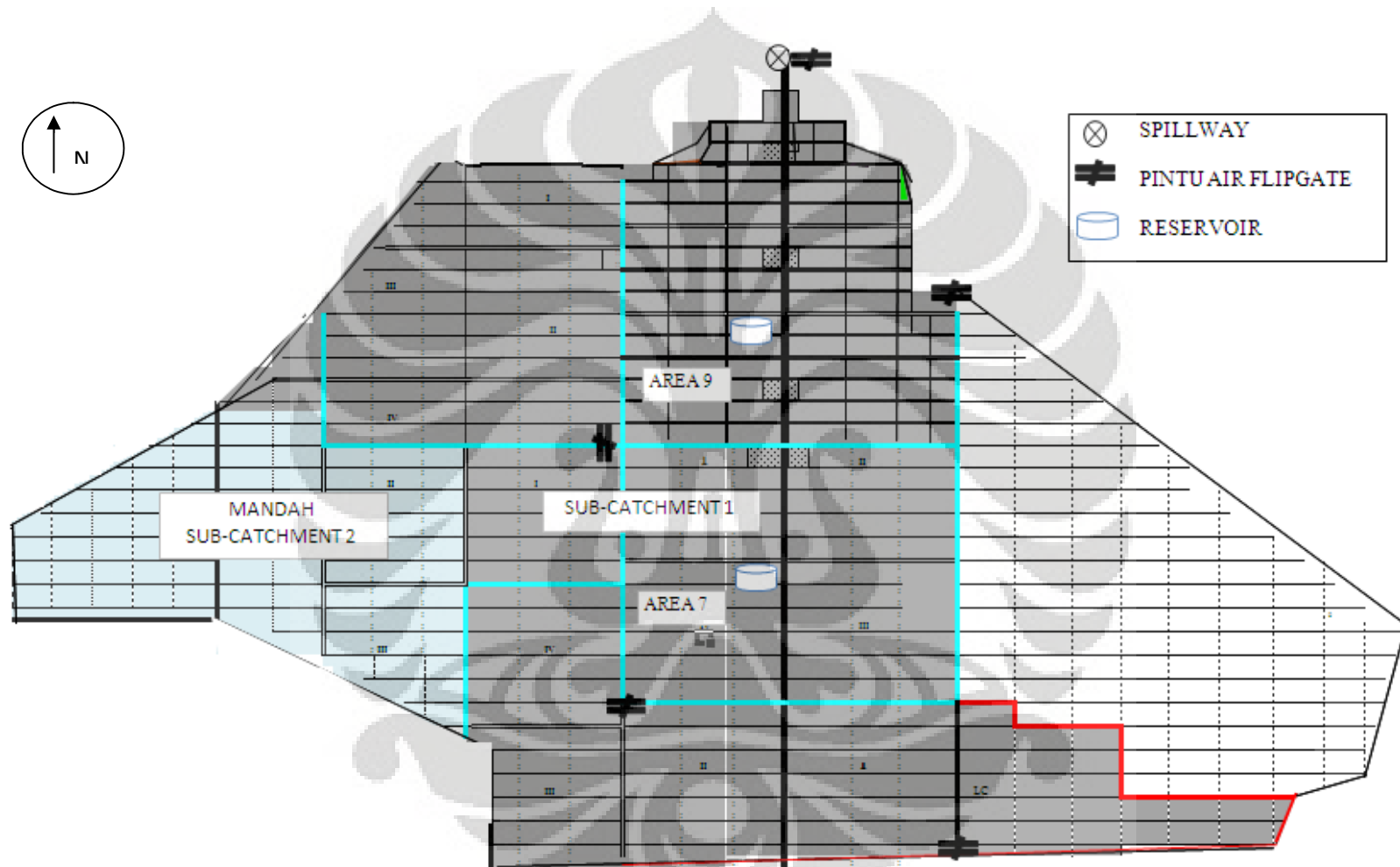
Tabel 5. 9 Aliran andalan

Bulan	Intensitas hujan (mm/jam)	Debit (m ³ /s)
Jan	57,7	1594,15
Feb	151,2	4177,40
Mar	137	3785,08
Apr	266	7349,14

Mei	190,2	5254,91
Jun	72,3	1997,53
Jul	60,9	1682,57
Ags	95,8	2646,79
Sep	53,8	1486,40
Okt	129,5	3577,87
Nov	198,7	5489,75
Des	159,8	4415,01

Perhitungan aliran andalan di atas adalah untuk mengetahui besar debit puncak yang kemungkinan terjadi pada setiap bulan. Asumsi yang digunakan adalah hujan merata pada seluruh area perkebunan dengan koefisien aliran sebesar 0,6. Melalui informasi ini dapat pula diketahui besar tampungan untuk reservoir dan penanganan secara non teknis dengan cara mengatur dan merawat infrastruktur (pintu air dan reservoir) pada bulan-bulan tersebut.

Kedalaman permukaan air tanah gambut harus dapat dipertahankan yaitu antara 60-100 cm. Kubah gambut berfungsi sebagai *storage* sehingga air tanah tidak diperkenankan turun agar tanah gambut tetap dalam keadaan basah, selain itu agar kapal dapat bisa berjalan di dalam kanal.



Gambar 5. 9 Penempatan infrastruktur untuk menganani banjir

BAB 6

KESIMPULAN

6.1 KESIMPULAN

Penanganan banjir di kawasan perkebunan kelapa sawit di Teluk Bakau Estate, Indragiri Hilir, provinsi Riau memerlukan analisis dan penerapan tata air yang sesuai. Hal ini karena sistem tata air di perkebunan dipengaruhi oleh penutup lahan berupa tanah gambut yang memiliki karakteristik yang berbeda dengan tanah pada umumnya.

Perkebunan lahan gambut harus dilengkapi dengan sistem drainase, karena tanah gambut harus dalam keadaan basah atau tinggi muka air tanah harus dapat dipertahankan yaitu 60-100 cm. Namun demikian peningkatan kapasitas saluran juga bukan solusi utama untuk penanganan banjir, karena jika kapasitas saluran ditambah akan mengakibatkan *runoff* yang besar dan memungkinkan cepat kering ketika musim kemarau. Padahal salah satu sifat tanah gambut adalah *irreversible*, yaitu tidak mampu lagi menyerap air ketika sudah mengalami kering. Sehingga perlu ada penanganan lain dengan tujuan mengendalikan banjir dan mempertahankan tinggi muka air tanah.

Faktor penyebab terjadinya banjir pada perkebunan kelapa sawit PT BNS adalah karena faktor meteorologi yaitu intensitas hujan yang tinggi dan karakteristik DAS yaitu luas lahan perkebunan, jenis penutup lahan berupa tanah gambut, dan topografi yang relatif datar.

Debit puncak pada titik outlet yang terjadi pada curah hujan yang ekstrem dapat diketahui melalui penelusuran kanal (*channel routing*) dengan bantuan program Win TR-20. Debit puncak terjadi pada elevasi maksimum yang dapat dibandingkan dengan elevasi *bankfull* (tanah). Jika elevasi maksimum melebihi elevasi *bankfull*, maka terjadi limpasan. Elevasi maksimum ini kemudian dapat diplot ke dalam grafik sehingga didapatkan profil kanal utama.

Pada periode ulang 10 tahun, semua titik outlet mengalami banjir antara lain kilometer 18, 15; 12,5; 9,5; dan 0. Peristiwa ini terjadi jika curah hujan

ekstrem 187,14 mm/hari. Oleh karena itu, titik yang mengalami banjir harus dibuat intervensi terhadap aliran pada catchment agar dapat mengendalikan banjir.

Solusi untuk penanganan banjir di wilayah studi ini secara teknis, antara lain:

1. Membuat spillway dan pintu air otomatis (*flapgate*) pada kilometer 0
2. Membuat reservoir pada area 7 (Rotan Semelur) dan 9 (Nusa Lestari).
3. Membuat pintu air flapgate pada kilometer 21, 18, 12 dan 9,5.
4. Membuat tanggul sepanjang kanal dari batang kayu.

Pengelolaan air pada perkebunan kelapa sawit yang bertanam gambut harus disesuaikan dengan musim. Pada musim kemarau, pintu air harus ditutup dan tidak ada aliran yang keluar untuk mencegah penurunan tinggi air. Selama musim hujan, tinggi air harus lebih rendah agar drainase dapat menampung curah hujan yang tinggi, pintu air juga harus ditutup dengan aliran yang keluar hanya dari *spillway*.

Penanganan secara non teknis adalah dengan melakukan pengelolaan air (*water management*) yang sesuai dengan tanah gambut, yaitu melakukan pemantauan pada pintu air di musim kemarau dan musim hujan. Selain itu juga melakukan perawatan terhadap tanggul dan reservoir yang sudah ada. Pengelolaan terhadap struktur air menjadi penting, karena tanah gambut memiliki daya dukung tanah yang sangat rendah yang dapat menyebabkan runtuhnya bangunan.

6.2 SARAN

Penelusuran kanal pada wilayah studi dilakukan hanya pada kanal utama. Untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal, sebaiknya dilakukan pula *routing* terhadap kanal sekunder. Penelusuran pun dapat dilakukan dengan program lain selain Win TR-20, misalnya HEC-RAS.

Ada beberapa faktor yang belum diperhitungkan antara lain faktor pasang surut, penguapan, dan perhitungan biaya terhadap struktur. Oleh karena itu, perlu ada penelitian selanjutnya agar dapat mendapatkan sistem penanganan banjir yang lebih optimal.

Penggunaan asumsi dalam perhitungan memerlukan analisis lebih lanjut. Misalnya untuk koefisien CN, masih menggunakan referensi dari negara lain yang memiliki iklim berbeda dengan Indonesia. Sehingga, untuk mengetahui lebih akurat nilai CN yang digunakan, perlu dilakukan penelitian yang lebih spesifik terutama pada lahan gambut yang ada di Indonesia.



DAFTAR REFERENSI

Andriess, J.P. (1988). *Nature and Management of Tropical Peat Soils*. Soil Resources Management and Conservation Service FAO Land and Water Development Division. FAO Soils Bulletin. 59. Rome.

Chow, Ven Te. (1988). *Applied Hydrology*. Mc Graw Hill, Inc, New York.

Eelaart, Ad van den. (2005). *Ombrogenous Peat Swamps and Development*.

Harjowigeno, S. (1996). *Pengembangan Lahan Gambut untuk Pertanian Suatu Peluang dan Tantangan*. Orasi Ilmiah Guru Besar Tetap Ilmu Tanah Fakultas Pertanian IPB. 22 Juni 1996.

Harto BR., Sri. (2000). *Hidrologi*. Nafiri Offset, Yogyakarta.

Muslihat, Lili. *Sistem Pengelolaan Tata Air di Lahan Gambut Untuk Mendukung Budidaya Pertanian*. Seri Pengelolaan Hutan dan Lahan Gambut. Pertanian 03.

Mustaffar, M., Ayob K., Muhammad Nasir H., and Radzuan S. *Hydrology and Water Management Study at PT Bhumireksa Nusasejati Palm Oil Plantation*. Faculty of Civil Engineering Unversiti Teknologi Malaysia.

Mutalib, A.A., J.S.Lim, M.H.Wong, and L.Konvai. (1991). *Prociding of the International Symposium on Tropical Peatland*. Kuching, MARDI and Dep. Of Agriculture, Serawak Malaysia. 6-10 May 1991.

Noor, M. (2001). *Pertanian Lahan Gambut Potensi dan Kendala*. Penerbit Kanisius.

Rajaguguk, B. dan B. Setiadi. (1989). *Strategi Pemanfaatan Gambut di Indonesia Kasus Pertanian*. Seminar tanah gambut untuk perluasan pertanian. Fak. Pertanian UISU. Medan 1989.

Ritzema, Henk and Henk Wosten. (2002). *Hydrology of Borneo's Peat Swamps*. The Netherlands.

Sagiman, Saerai. (2007). *Pemanfaatan Lahan Gambut dengan Perspektif Pertanian Berkelanjutan*. Orasi Ilmiah Guru Besar Tetap Ilmu Kesuburan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Tanjungpura. 23 Juli 2007.

Sosrodarsono, Suyono dan Kensaku Takeda. (1993). *Hidrologi untuk Pengairan*. PT Pradnya Paramita, Jakarta.

Suripin. (2004). *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. ANDI Offset, Yogyakarta.

Wignyosukarto, Budi. *Analisis Hidraulik Sistem Drainase di Lahan Gambut Lapangan Minyak Duri Caltex Pasific Indonesia Riau*.

LAMPIRAN 1

ANALISIS FREKUENSI (METODE GUMBEL)

No.	Tahun	Setasiun: Simpang tiga			
		X_i	X	$X_i - X$	$(X_i - X)^2$
1	1985	217,4	115,4867	101,9133	10386,33
2	1986	85	115,4867	-30,4867	929,4368
3	1987	129,5	115,4867	14,01333	196,3735
4	1988	80,3	115,4867	-35,1867	1238,102
5	1989	81,2	115,4867	-34,2867	1175,576
6	1990	121	115,4867	5,513333	30,39684
7	1991	86,9	115,4867	-28,5867	817,1975
8	1992	196	115,4867	80,51333	6482,397
9	1993	95,2	115,4867	-20,2867	411,5488
10	1994	69,6	115,4867	-45,8867	2105,586
11	1995	132,2	115,4867	16,71333	279,3355
12	1996	109	115,4867	-6,48667	42,07684
13	1997	90,4	115,4867	-25,0867	629,3408
14	1998	114,2	115,4867	-1,28667	1,655511
15	1999	124,4	115,4867	8,913333	79,44751
	Total	1732,3			24804,8
	Rata2	115,49			

Tr (tahun rencana)	2	5	10	25	50
Y_{Tr}	0,3665	1,4999	2,2502	3,1985	3,9019
X_{Tr} (mm)	109,45	156,20	187,14	226,25	255,26

LAMPIRAN 2

KURVA INTENSITY-DURATION-FREQUENCY (IDF Curve)

Durasi Hujan		Intensitas Hujan untuk beberapa Periode Ulang (mm/jam)				
(menit)	(jam)	2 tahun	5 tahun	10 tahun	25 tahun	50 tahun
1	0,0167	581,56	829,92	994,34	1202,15	1356,29
5	0,0833	198,89	283,83	340,06	411,13	463,84
10	0,1667	125,29	178,80	214,22	258,99	292,20
20	0,3333	78,93	112,64	134,95	163,16	184,08
25	0,4167	68,02	97,07	116,30	140,60	158,63
30	0,5000	60,23	85,96	102,99	124,51	140,48
45	0,7500	45,97	65,60	78,59	95,02	107,20
60	1,0000	37,95	54,15	64,88	78,44	88,49
75	1,2500	32,70	46,67	55,91	67,60	76,26
90	1,5000	28,96	41,32	49,51	59,86	67,53
120	2,0000	23,90	34,11	40,87	49,41	55,75
150	2,5000	20,60	29,40	35,22	42,58	48,04
180	3,0000	18,24	26,03	31,19	37,71	42,54
210	3,5000	16,46	23,49	28,14	34,03	38,39
240	4,0000	15,06	21,49	25,75	31,13	35,12
270	4,5000	13,92	19,87	23,80	28,78	32,47
300	5,0000	12,98	18,52	22,19	26,83	30,26
360	6,0000	11,49	16,40	19,65	23,76	26,80

LAMPIRAN 3

PERHITUNGAN DEBIT RENCANA

Catchment	Luas (km ²)	Luas (m ²)	c	Saluran terpanjang		Kec.desain (m/s)	Waktu (Tc)		Intensitas		Q (m ³ /s)
				km	m		detik	menit	mm/jam	m/s	
A	9	9000000	0,6	3	3000	1,5	2000	33,33333	92,36	2,5655E-05	138,5
B	9	9000000	0,6	3	3000	1,5	2000	33,33333	92,36	2,5655E-05	138,5
C	9	9000000	0,6	3	3000	1,5	2000	33,33333	92,36	2,5655E-05	138,5
D	9	9000000	0,6	3	3000	1,5	2000	33,33333	92,36	2,5655E-05	138,5
E	9	9000000	0,6	3	3000	1,5	2000	33,33333	92,36	2,5655E-05	138,5
F	10	10000000	0,6	5	5000	1,5	3333,333	55,55556	65,33	1,8148E-05	108,9
G	7,5	7500000	0,6	3	3000	1,5	2000	33,33333	92,36	2,5655E-05	115,4
H	7,5	7500000	0,6	3	3000	1,5	2000	33,33333	92,36	2,5655E-05	115,4
I	6	6000000	0,6	3	3000	1,5	2000	33,33333	92,36	2,5655E-05	92,4
J	12	12000000	0,6	4	4000	1,5	2666,667	44,44444	76,00	2,1111E-05	152,0
K	6	6000000	0,6	3	3000	1,5	2000	33,33333	92,36	2,5655E-05	92,4

L	9	9000000	0,6	3	3000	1,5	2000	33,33333	92,36	2,5655E-05	138,5
M	9	9000000	0,6	3	3000	1,5	2000	33,33333	92,36	2,5655E-05	138,5
N	10,5	10500000	0,6	3,5	3500	1,5	2333,333	38,88889	83,20	2,311E-05	145,6
O	7	7000000	0,6	3,5	3500	1,5	2333,333	38,88889	83,20	2,311E-05	97,1
P	9	9000000	0,6	3	3000	1,5	2000	33,33333	92,36	2,5655E-05	138,5
Q	10,5	10500000	0,6	3,5	3500	1,5	2333,333	38,88889	83,20	2,311E-05	145,6
R	9	9000000	0,6	3	3000	1,5	2000	33,33333	92,36	2,5655E-05	138,5
S	5,25	5250000	0,6	3,5	3500	1,5	2333,333	38,88889	83,20	2,311E-05	72,8
T	5,375	5375000	0,6	4	4000	1,5	2666,667	44,44444	76,00	2,1111E-05	68,1
U	9,6875	9687500	0,6	6	6000	1,5	4000	66,66667	57,74	1,6039E-05	93,2
V	7,75	7750000	0,6	3	3000	1,5	2000	33,33333	92,36	2,5655E-05	119,3
W	2,75	2750000	0,6	2	2000	1,5	1333,333	22,22222	121,57	3,3769E-05	55,7
X	3,5	3500000	0,6	3	3000	1,5	2000	33,33333	92,36	2,5655E-05	53,9

LAMPIRAN 4

EVALUASI KAPASITAS SALURAN

Catchment	Outlet (km)	Debit rencana (m ³ /s)	Kec.desain (m/s)	Luas penampang saluran (m ²)	Kedalaman eksisting (m)	Dimensi Saluran yang ekonomis							
						n	S	A (m ²)	H (m)	B (m)	R (m)	v (m/s)	Q (m ³ /s)
A	18	138,5	1,5	92,4	2,2	0,03	0,000667	92,4	11,6	13,4	5,8	2,8	256,4
B	18	138,5	1,5	92,4	2,2	0,03	0,000667	92,4	11,6	13,4	5,8	2,8	256,4
C	15	138,5	1,5	92,4	2,3	0,03	0,000333	92,4	6,9	8,0	3,4	1,4	128,2
D	15	138,5	1,5	92,4	2,3	0,03	0,000167	92,4	4,1	4,7	2,0	0,7	64,1
E	15,5	138,5	1,5	92,4	2,3	0,03	0,000333	92,4	6,9	8,0	3,4	1,4	128,2
F	15,5	108,9	1,5	72,6	2,3	0,03	0,001	72,6	12,3	14,3	6,2	3,5	257,5
G	12,5	115,4	1,5	77,0	2,22	0,03	0,000333	77,0	5,7	6,6	2,9	1,2	94,6
H	12,5	115,4	1,5	77,0	2,22	0,03	0,000167	77,0	3,4	3,9	1,7	0,6	47,3
I	12,5	92,4	1,5	61,6	2,22	0,03	0,000333	61,6	4,6	5,3	2,3	1,1	65,2
J	12,5	152,0	1,5	101,3	2,22	0,03	0,00075	101,3	13,9	16,0	6,9	3,3	336,7
K	12,5	92,4	1,5	61,6	2,22	0,03	0,000667	61,6	7,7	8,9	3,9	2,1	130,5
L	9,5	138,5	1,5	92,4	2,35	0,03	0,000333	92,4	6,9	8,0	3,4	1,4	128,2
M	9,5	138,5	1,5	92,4	2,35	0,03	0,000167	92,4	4,1	4,7	2,0	0,7	64,1
N	9	145,6	1,5	97,1	2,35	0,03	0,000286	97,1	6,5	7,4	3,2	1,2	119,4
O	5	97,1	1,5	64,7	2,35	0,03	0,000857	64,7	9,8	11,3	4,9	2,8	182,2
P	9,5	138,5	1,5	92,4	2,22	0,03	0,000167	92,4	4,1	4,7	2,0	0,7	64,1
Q	5	145,6	1,5	97,1	2,5	0,03	0,000143	97,1	3,8	4,4	1,9	0,6	59,7
R	9,5	138,5	1,5	92,4	2,22	0,03	0,000167	92,4	4,1	4,7	2,0	0,7	64,1
S	9,5	72,8	1,5	48,5	2,35	0,03	0,000143	48,5	1,9	2,2	1,0	0,4	18,8
T	16	68,1	1,5	45,4	2,22	0,03	0,0005	45,4	4,6	5,3	2,3	1,3	58,9

U	18	93,2	1,5	62,1	2,2	0,03	0,0005	62,1	6,3	7,3	3,1	1,6	99,4
V	18,5	119,3	1,5	79,5	2,2	0,03	0,000667	79,5	10,0	11,5	5,0	2,5	199,9
W	5	55,7	1,5	37,1	2,5	0,03	0,001	37,1	6,3	7,3	3,2	2,3	84,3
X	12,5	53,9	1,5	35,9	2,22	0,03	0,000333	35,9	2,7	3,1	1,3	0,7	26,6



LAMPIRAN 5

AREA, CN = 66

INPUT AREA WIN TR 20

km	Parameter Sub-area	Drainage area		CN	Saluran terpanjang			S rata2	Time of concentration		Receiving Reach Number	Length	
		m2	mile2		km	m	ft		menit	jam		m	ft
18	1	18687500	7,18	66	6,5	6500	21320	5,1515	8,94	0,15	1	3000	9840
15	2	9000000	3,46	66	6,5	6500	21320	5,1515	8,94	0,15	2	2500	8200
12,5	3	16500000	6,34	66	3	3000	9840	5,1515	4,93	0,08	3	3000	9840
9	4	7000000	2,69	66	6	6000	19680	5,1515	8,40	0,14	4	4500	14760
4,5	5	1000000	0,38	66	4,5	4500	14760	5,1515	6,73	0,11	5	5000	16400
18	6	16750000	6,44	66	6	6000	19680	5,1515	8,40	0,14	1	3000	9840
15	7	33375000	12,83	66	13	13000	42640	5,1515	15,24	0,25	2	2500	8200
12,5	8	31500000	12,11	66	11	11000	36080	5,1515	13,40	0,22	3	3000	9840
9	9	56750000	21,81	66	11	11000	36080	5,1515	13,40	0,22	4	4500	14760
4,5	10	1750000	0,67	66	2	2000	6560	5,1515	3,61	0,06	5	5000	16400

LAMPIRAN 6

AREA, CN = 77

km	Parameter Sub-area	Drainage area		CN	Saluran terpanjang			S rata2	Time of concentration		Receiving Reach Number	Length	
		m2	mile2		km	m	ft		menit	jam		m	ft
18	1	18687500	7,18	77	6,5	6500	21320	2,987	11,02	0,18	1	3000	9840
15	2	9000000	3,46	77	6,5	6500	21320	2,987	11,02	0,18	2	2500	8200
12,5	3	16500000	6,34	77	3	3000	9840	2,987	6,08	0,10	3	3000	9840
9	4	7000000	2,69	77	6	6000	19680	2,987	10,36	0,17	4	4500	14760
4,5	5	1000000	0,38	77	4,5	4500	14760	2,987	8,30	0,14	5	5000	16400
18	6	16750000	6,44	77	6	6000	19680	2,987	10,36	0,17	1	3000	9840
15	7	33375000	12,83	77	13	13000	42640	2,987	18,80	0,31	2	2500	8200
12,5	8	31500000	12,11	77	11	11000	36080	2,987	16,53	0,28	3	3000	9840
9	9	56750000	21,81	77	11	11000	36080	2,987	16,53	0,28	4	4500	14760
4,5	10	1750000	0,67	77	2	2000	6560	2,987	4,45	0,07	5	5000	16400

LAMPIRAN 7

DRAINAGE CROSS SECTION

xsec1

h (ft)	$Q=(A \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2})/n$ (cfs)	A (ft ²)	P (ft)	R (ft)
0,00	0,00	0,00	68,88	0,00
0,50	357,44	34,49	69,90	0,49
1,00	1126,62	69,08	70,92	0,97
1,50	2198,76	103,77	71,94	1,44
2,00	3526,79	138,56	72,96	1,90
2,50	5080,67	173,45	73,98	2,34
3,00	6838,62	208,44	75,00	2,78
3,50	8783,69	243,53	76,02	3,20
4,00	10902,14	278,72	77,04	3,62
4,50	13182,46	314,01	78,06	4,02
5,00	15614,83	349,40	79,08	4,42
5,50	18190,73	384,89	80,10	4,81
6,00	20902,67	420,48	81,12	5,18
6,50	23743,97	456,17	82,14	5,55
7,00	26708,69	491,96	83,16	5,92
7,50	29791,43	527,85	84,18	6,27
8,00	32987,32	563,84	85,20	6,62
8,50	36291,91	599,93	86,22	6,96
9,00	39701,12	636,12	87,24	7,29
9,50	43211,19	672,41	88,26	7,62
10,00	46818,68	708,80	89,28	7,94
11,00	54313,31	781,88	91,32	8,56
12,00	62162,04	855,36	93,36	9,16
13,00	70344,92	929,24	95,39	9,74
14,00	78844,46	1003,52	97,43	10,30
15,00	87645,27	1078,20	99,47	10,84
16,00	96733,69	1153,28	101,51	11,36
17,00	106097,56	1228,76	103,55	11,87
18,00	115725,99	1304,64	105,59	12,36
19,00	125609,20	1380,92	107,63	12,83
20,00	135738,39	1457,60	109,67	13,29
21,00	146105,58	1534,68	111,71	13,74
22,00	156703,54	1612,16	113,75	14,17
23,00	167525,72	1690,04	115,79	14,60
24,00	178566,13	1768,32	117,83	15,01
25,00	189819,30	1847,00	119,87	15,41

xsec2

h	$Q=(A^*R^2/3*S1/2)/n$	A	P	R
0,00	0,00	0,00	101,68	0,00
0,50	528,90	50,89	102,70	0,50
1,00	1670,88	101,88	103,72	0,98
1,50	3268,19	152,97	104,74	1,46
2,00	5253,42	204,16	105,76	1,93
2,50	7583,84	255,45	106,78	2,39
3,00	10228,54	306,84	107,80	2,85
3,50	13163,54	358,33	108,82	3,29
4,00	16369,37	409,92	109,84	3,73
4,50	19829,71	461,61	110,86	4,16
5,00	23530,59	513,40	111,88	4,59
5,50	27459,85	565,29	112,90	5,01
6,00	31606,71	617,28	113,92	5,42
6,50	35961,60	669,37	114,94	5,82
7,00	40515,87	721,56	115,96	6,22
7,50	45261,67	773,85	116,98	6,62
8,00	50191,83	826,24	118,00	7,00
8,50	55299,80	878,73	119,02	7,38
9,00	60579,51	931,32	120,04	7,76
9,50	66025,34	984,01	121,06	8,13
10,00	71632,09	1036,80	122,08	8,49
11,00	83309,20	1142,68	124,12	9,21
12,00	95575,57	1248,96	126,16	9,90
13,00	108400,13	1355,64	128,19	10,57
14,00	121755,23	1462,72	130,23	11,23
15,00	135616,14	1570,20	132,27	11,87
16,00	149960,61	1678,08	134,31	12,49
17,00	164768,49	1786,36	136,35	13,10
18,00	180021,49	1895,04	138,39	13,69
19,00	195702,95	2004,12	140,43	14,27
20,00	211797,59	2113,60	142,47	14,84
21,00	228291,42	2223,48	144,51	15,39
22,00	245171,55	2333,76	146,55	15,92
23,00	262426,10	2444,44	148,59	16,45
24,00	280044,07	2555,52	150,63	16,97
25,00	298015,28	2667,00	152,67	17,47

xsec3

h	$Q=(A*R^2/3*S1/2)/n$	A	P	R
0,00	0,00	0,00	74,78	0,00
0,50	388,31	37,44	75,80	0,49
1,00	1224,58	74,98	76,82	0,98
1,50	2391,22	112,63	77,84	1,45
2,00	3837,48	150,37	78,86	1,91
2,50	5531,01	188,21	79,88	2,36
3,00	7448,37	226,15	80,90	2,80
3,50	9571,32	264,19	81,92	3,22
4,00	11885,07	302,34	82,94	3,65
4,50	14377,21	340,58	83,96	4,06
5,00	17037,17	378,92	84,98	4,46
5,50	19855,74	417,36	86,00	4,85
6,00	22824,81	455,90	87,02	5,24
6,50	25937,18	494,55	88,04	5,62
7,00	29186,38	533,29	89,06	5,99
7,50	32566,56	572,13	90,08	6,35
8,00	36072,42	611,07	91,10	6,71
8,50	39699,12	650,11	92,12	7,06
9,00	43442,18	689,26	93,14	7,40
9,50	47297,53	728,50	94,16	7,74
10,00	51261,37	767,84	95,18	8,07
11,00	59500,71	846,82	97,22	8,71
12,00	68134,92	926,21	99,26	9,33
13,00	77141,97	1005,99	101,30	9,93
14,00	86502,48	1086,18	103,34	10,51
15,00	96199,31	1166,76	105,38	11,07
16,00	106217,20	1247,74	107,42	11,62
17,00	116542,53	1329,13	109,46	12,14
18,00	127163,05	1410,91	111,50	12,65
19,00	138067,71	1493,10	113,54	13,15
20,00	149246,52	1575,68	115,58	13,63
21,00	160690,43	1658,66	117,62	14,10
22,00	172391,19	1742,05	119,66	14,56
23,00	184341,28	1825,83	121,69	15,00
24,00	196533,81	1910,02	123,73	15,44
25,00	208962,49	1994,60	125,77	15,86

xsec4

h	$Q=(A \cdot R^2/3 \cdot S^{1/2})/n$	A	P	R
0,00	0,00	0,00	81,34	0,00
0,50	422,60	40,72	82,36	0,49
1,00	1333,43	81,54	83,38	0,98
1,50	2605,09	122,47	84,40	1,45
2,00	4182,75	163,49	85,42	1,91
2,50	6031,53	204,61	86,44	2,37
3,00	8126,15	245,83	87,46	2,81
3,50	10446,94	287,15	88,48	3,25
4,00	12977,95	328,58	89,50	3,67
4,50	15705,82	370,10	90,52	4,09
5,00	18619,12	411,72	91,54	4,50
5,50	21707,91	453,44	92,56	4,90
6,00	24963,41	495,26	93,58	5,29
6,50	28377,82	537,19	94,60	5,68
7,00	31944,12	579,21	95,62	6,06
7,50	35655,98	621,33	96,64	6,43
8,00	39507,62	663,55	97,66	6,79
8,50	43493,76	705,87	98,68	7,15
9,00	47609,53	748,30	99,70	7,51
9,50	51850,47	790,82	100,72	7,85
10,00	56212,41	833,44	101,74	8,19
11,00	65284,19	918,98	103,78	8,86
12,00	74797,09	1004,93	105,82	9,50
13,00	84726,78	1091,27	107,86	10,12
14,00	95051,83	1178,02	109,90	10,72
15,00	105753,18	1265,16	111,94	11,30
16,00	116813,84	1352,70	113,98	11,87
17,00	128218,56	1440,65	116,02	12,42
18,00	139953,58	1528,99	118,06	12,95
19,00	152006,47	1617,74	120,10	13,47
20,00	164365,94	1706,88	122,14	13,98
21,00	177021,71	1796,42	124,18	14,47
22,00	189964,40	1886,37	126,22	14,95
23,00	203185,41	1976,71	128,25	15,41
24,00	216676,87	2067,46	130,29	15,87
25,00	230431,54	2158,60	132,33	16,31

xsec5

h	$Q=(A^2R/3*S^{1/2})/n$	A	P	R
0,00	0,00	0,00	83,97	0,00
0,50	436,31	42,03	84,99	0,49
1,00	1376,97	84,17	86,01	0,98
1,50	2690,64	126,40	87,03	1,45
2,00	4320,88	168,74	88,05	1,92
2,50	6231,78	211,17	89,07	2,37
3,00	8397,33	253,70	90,09	2,82
3,50	10797,30	296,34	91,11	3,25
4,00	13415,29	339,07	92,13	3,68
4,50	16237,54	381,91	93,15	4,10
5,00	19252,29	424,84	94,17	4,51
5,50	22449,31	467,87	95,19	4,92
6,00	25819,56	511,01	96,21	5,31
6,50	29355,00	554,24	97,23	5,70
7,00	33048,41	597,58	98,25	6,08
7,50	36893,24	641,01	99,27	6,46
8,00	40883,53	684,54	100,28	6,83
8,50	45013,83	728,18	101,30	7,19
9,00	49279,13	771,91	102,32	7,54
9,50	53674,79	815,75	103,34	7,89
10,00	58196,52	859,68	104,36	8,24
11,00	67602,55	947,85	106,40	8,91
12,00	77468,43	1036,42	108,44	9,56
13,00	87768,94	1125,38	110,48	10,19
14,00	98481,83	1214,75	112,52	10,80
15,00	109587,30	1304,52	114,56	11,39
16,00	121067,66	1394,69	116,60	11,96
17,00	132907,00	1485,26	118,64	12,52
18,00	145090,99	1576,22	120,68	13,06
19,00	157606,63	1667,59	122,72	13,59
20,00	170442,12	1759,36	124,76	14,10
21,00	183586,69	1851,53	126,80	14,60
22,00	197030,50	1944,10	128,84	15,09
23,00	210764,54	2037,06	130,88	15,56
24,00	224780,52	2130,43	132,92	16,03
25,00	239070,82	2224,20	134,96	16,48

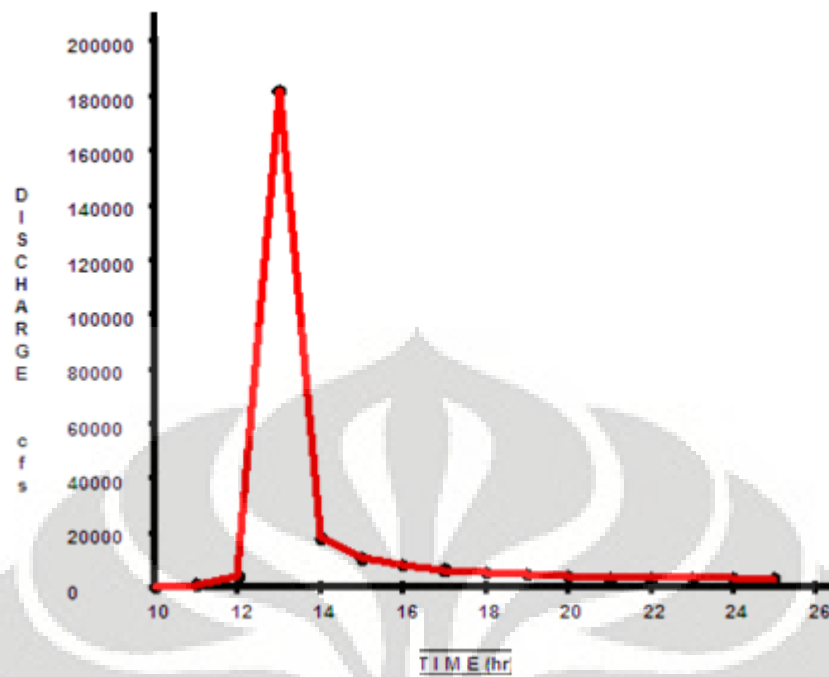
LAMPIRAN 8

OUTPUT WIN TR-20

STORM 10-Year (CN = 66)

Area or Reach Identifier	Drainage Area (sq mile)	Rain gage ID or location	Runoff Amount	Peak flow		
				Elevation (ft)	Time (hr)	Rate (cfs)
Area 1	7,18		3,482		12,98	22644,35
Area 6	6,44		3,482		12,96	20610,83
Reach 1	13,62	Upstream	3,482	7,99	12,97	43244,9
Reach 1	13,62	Downstream	3,482	7,99	13	43216,91
Area 2	3,46		3,482		12,98	10912,18
Area 7	12,83		3,482		13,05	35518,45
Reach 2	29,91	Upstream	3,482	9,58	13,02	87958,33
Reach 2	29,91	Downstream	3,482	9,58	13,03	87938,51
Area 3	6,34		3,482		12,92	22572,49
Area 8	12,11		3,482		13,03	34954,8
Reach 3	48,36	Upstream	3,482	16,08	13,02	140603,3
Reach 3	49,51	Downstream	3,482	16,07	13,04	140527,2
Area 4	2,69		3,482		12,96	8609,18
Area 9	21,81		3,482		13,03	62953,27
Reach 4	72,86	Upstream	3,482	19,72	13,03	211322,7
Reach 4	72,86	Downstream	3,482	19,72	13,05	211267,1
Area 5	0,38		3,482		12,94	1279,05
Area 10	0,67		3,482		12,91	2473,61
Reach 5	73,91	Upstream	3,482	19,37	13,05	213219,6
Reach 5	73,91	Downstream	3,482	19,36	13,07	213128,6
Outlet	73,91		3,482		13,07	213128,6

Hydrograph (Storm - 10-Year)

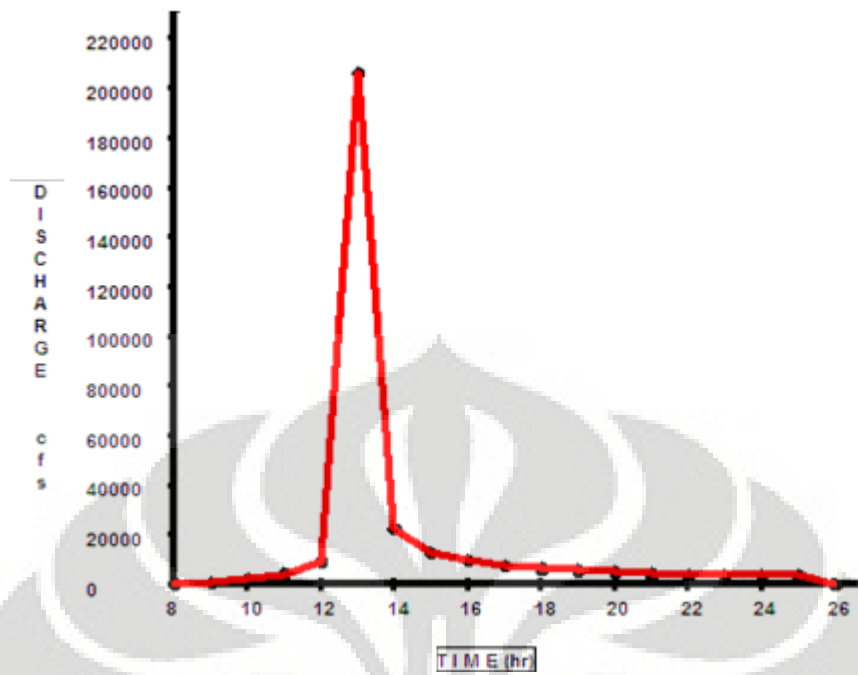


Hydrograf outlet (CN = 66)

STORM 10-Year (CN = 77)

Area or Reach Identifier	Drainage Area (sq mile)	Rain gage ID or location	Runoff Amount	Peak flow		
				Elevation (ft)	Time (hr)	Rate (cfs)
Area 1	7,18		4,682		12,99	29045,24
Area 6	6,44		4,682		12,99	26379,58
Reach 1	13,62	Upstream	4,682	11,14	12,99	55383,2
Reach 1	13,62	Downstream	4,682	11,13	13,01	55345,52
Area 2	3,46		4,682		12,99	13996,73
Area 7	12,83		4,682		13,08	43479,5
Reach 2	29,91	Upstream	4,682	13,15	13,03	110345,3
Reach 2	29,91	Downstream	4,682	13,14	13,05	110307,4
Area 3	6,34		4,682		12,93	29068,63
Area 8	12,11		4,682		13,07	42803,45
Reach 3	48,36	Upstream	4,682	22,15	13,03	174161,6
Reach 3	49,51	Downstream	4,682	22,14	13,05	174115,7
Area 4	2,69		4,682		12,99	11018,8
Area 9	21,81		4,682		13,07	77088,63
Reach 4	72,86	Upstream	4,682	27,16	13,05	261059,4
Reach 4	72,86	Downstream	4,682	27,15	13,07	260931,1
Area 5	0,38		4,682		12,96	1626,96
Area 10	0,67		4,682		12,92	3233,04
Reach 5	73,91	Upstream	4,682	26,36	13,07	263008,9
Reach 5	73,91	Downstream	4,682	26,36	13,1	262924,5
Outlet	73,91		4,682		13,1	262924,5

Hydrograph (Storm - 10-Year)



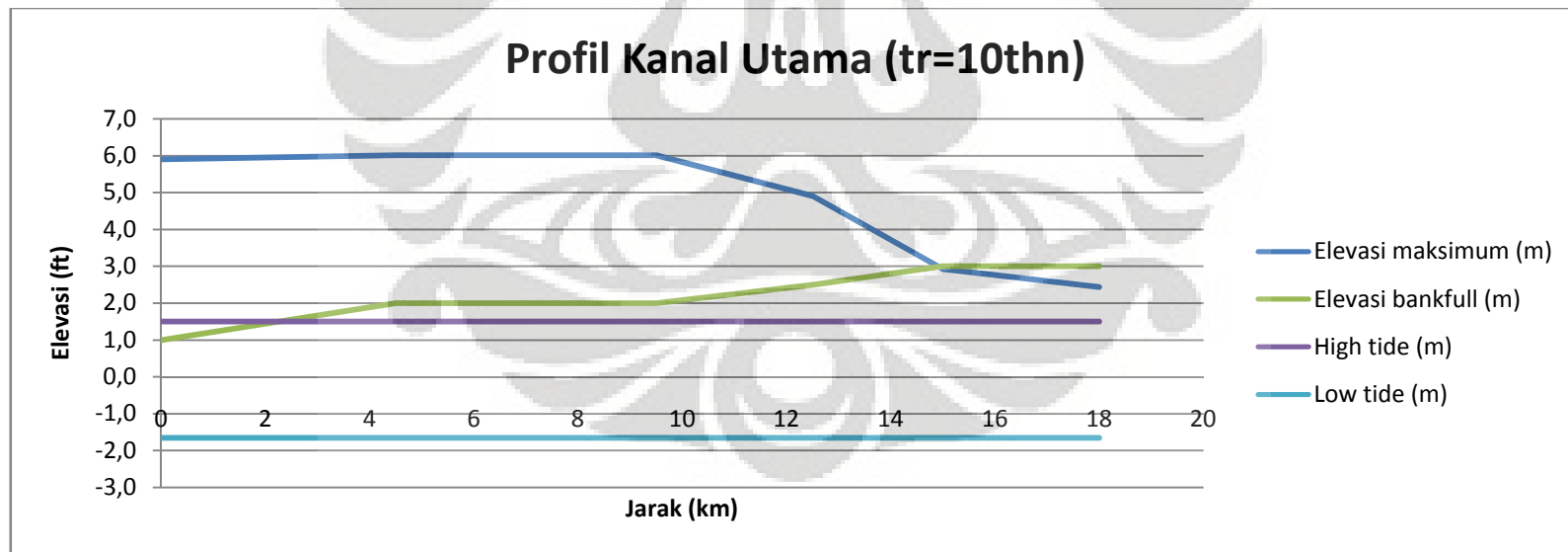
Hydrograf outlet (CN = 77)

LAMPIRAN 9

PROFIL KANAL UTAMA

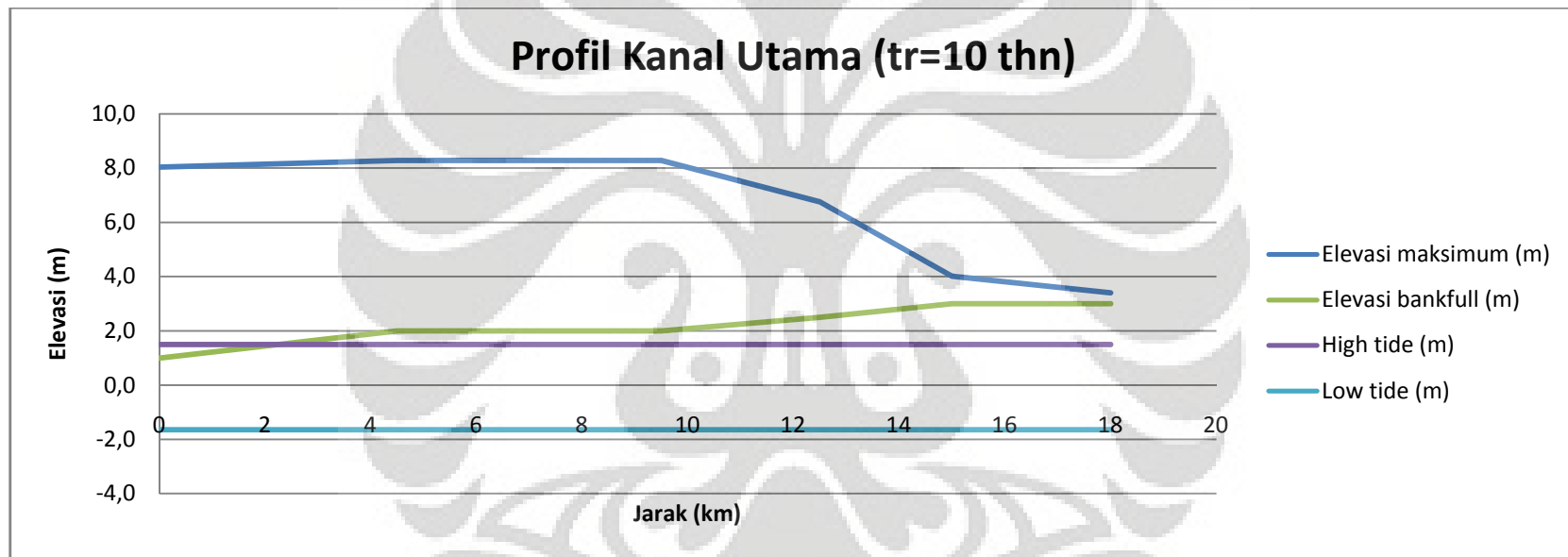
CN = 66

km	18	15		12,5		9,5		4,5		0	
	Reach 1	Reach 1	Reach 2	Reach 2	Reach 3	Reach 3	Reach 4	Reach 4	Reach 5	Reach5	
Elevasi (ft)	Upstream	7,99		9,58		16,08		19,72		19,37	
	Downstream		7,99		9,58		16,07		19,72	19,36	
	Bankfull	9,84	9,84		8,2		6,56		6,56		3,28



CN = 77

	km	18	15		12,5		9,5		4,5		0
	Reach	Reach 1	Reach 1	Reach 2	Reach 2	Reach 3	Reach 3	Reach 4	Reach 4	Reach 5	Reach5
Elevasi (ft)	Upstream	11,14		13,15		22,15		27,16		26,36	
	Downstream		11,13		13,14		22,14		27,15		26,36
	Bankfull	9,84	9,84		8,2		6,56		6,56		3,28



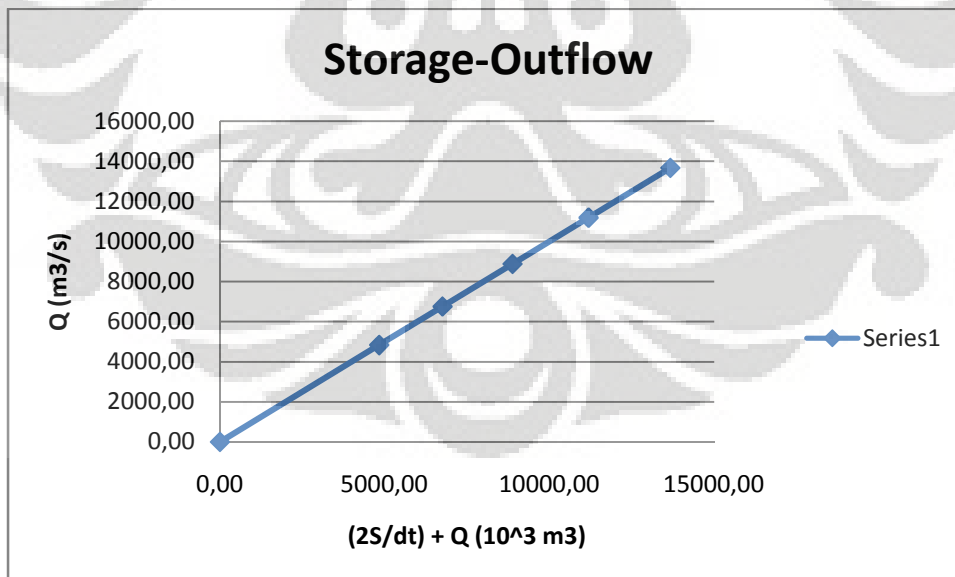
LAMPIRAN 10

KAPASITAS RESERVOIR

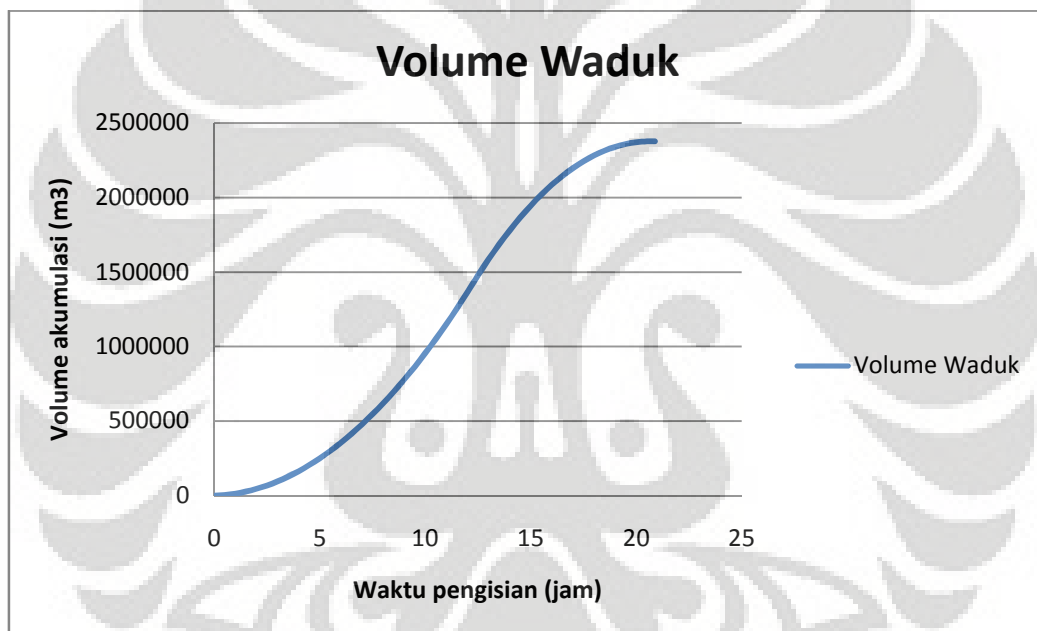
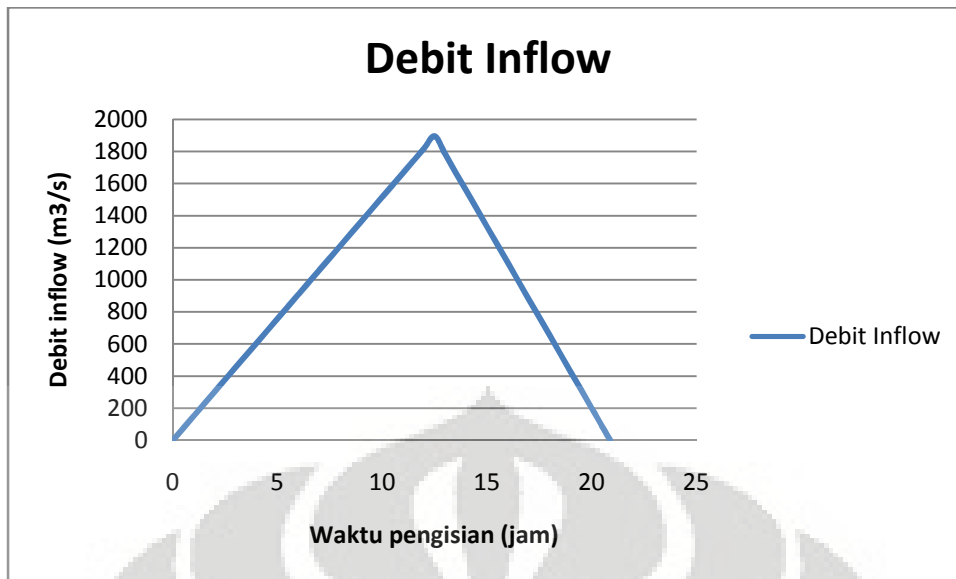
Area 7, km 15

Cd	0,8		
L	4	m	
Luas waduk	150,98	m ²	
Tinggi	5,00		
Qpeak	35518,45	cfs	1006,54 m ³ /s
Tp	13,05	hr	

h (m)	$Q=L Cd H^{1.5}$ (10 ³ m ³ /s)	S (10 ³ m ³)	(2S/dt) + Q (10 ³ m ³)
3	0,00	0,00	0,00
4	4.831	604	4.832
5	6.752	755	6.753
6	8.876	906	8.877
7	11.185	1.057	11.186
8	13.665	1.208	13.667



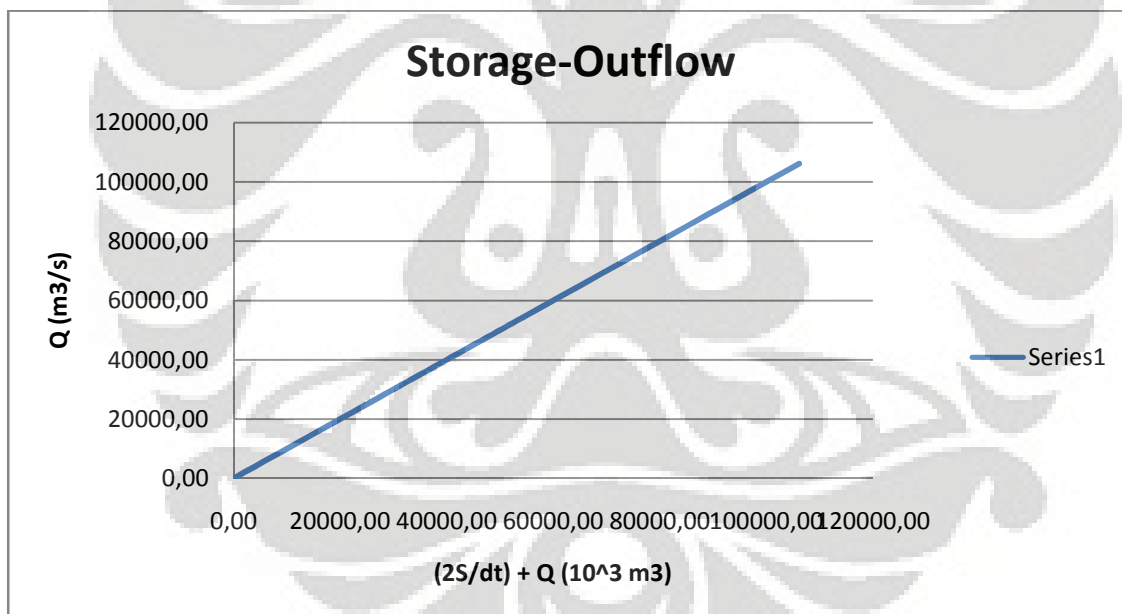
Waktu Pengisian		Debit Inflow (m ³ /detik)	Volume Waduk	
(menit)	(jam)		dQ (m ³)	akumulasi (m ³)
0	0	0	0	0
30	0,5	75,81	4548,6	4548,6
60	1	151,62	9097,2	13645,8
90	1,5	227,43	13645,8	27291,6
120	2	303,24	18194,4	45486
150	2,5	379,05	22743	68229
180	3	454,86	27291,6	95520,6
210	3,5	530,67	31840,2	127360,8
240	4	606,48	36388,8	163749,6
270	4,5	682,29	40937,4	204687
300	5	758,1	45486	250173
330	5,5	833,91	50034,6	300207,6
360	6	909,72	54583,2	354790,8
390	6,5	985,53	59131,8	413922,6
420	7	1061,34	63680,4	477603
450	7,5	1137,15	68229	545832
480	8	1212,96	72777,6	618609,6
510	8,5	1288,77	77326,2	695935,8
540	9	1364,58	81874,8	777810,6
570	9,5	1440,39	86423,4	864234
600	10	1516,2	90972	955206
630	10,5	1592,01	95520,6	1050727
660	11	1667,82	100069,2	1150796
690	11,5	1743,63	104617,8	1255414
720	12	1819,44	109166,4	1364580
750	12,5	1895,25	113715	1478295
780	13	1782,84	106970,4	1585265
810	13,5	1669,68	100180,8	1685446
840	14	1556,52	93391,2	1778837
870	14,5	1443,36	86601,6	1865439
900	15	1330,2	79812	1945251
930	15,5	1217,04	73022,4	2018273
960	16	1103,88	66232,8	2084506
990	16,5	990,72	59443,2	2143949
1020	17	877,56	52653,6	2196603
1050	17,5	764,4	45864	2242467
1080	18	651,24	39074,4	2281541
1110	18,5	538,08	32284,8	2313826
1140	19	424,92	25495,2	2339321
1170	19,5	311,76	18705,6	2358027
1200	20	198,6	11916	2369943
1230	20,5	85,44	5126,4	2375069
1252,65	20,8775	0,0042	0,252	2375070



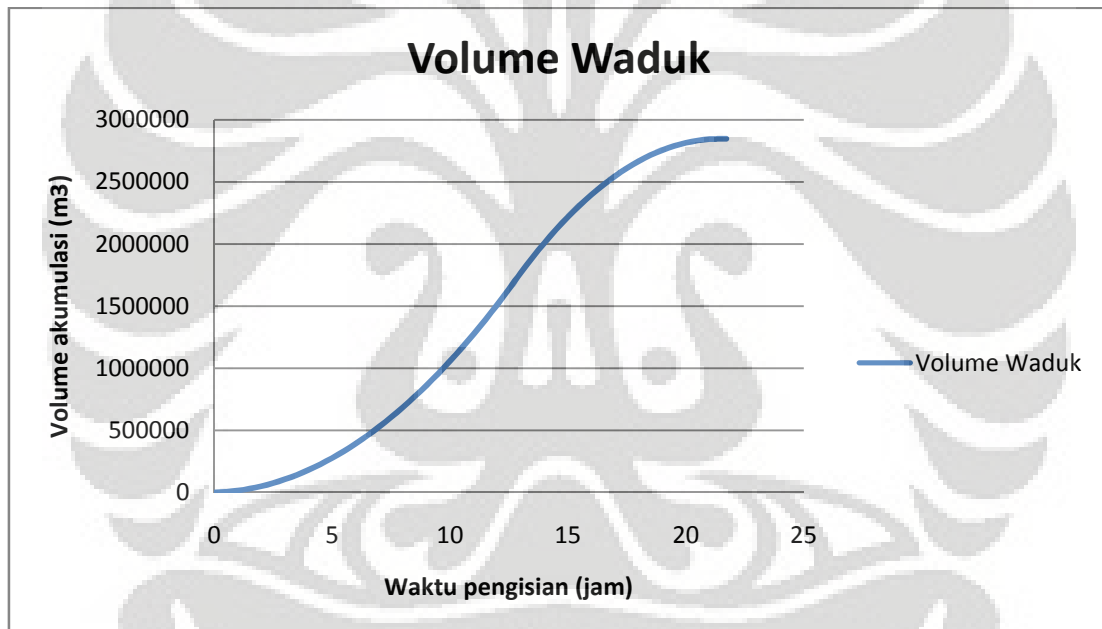
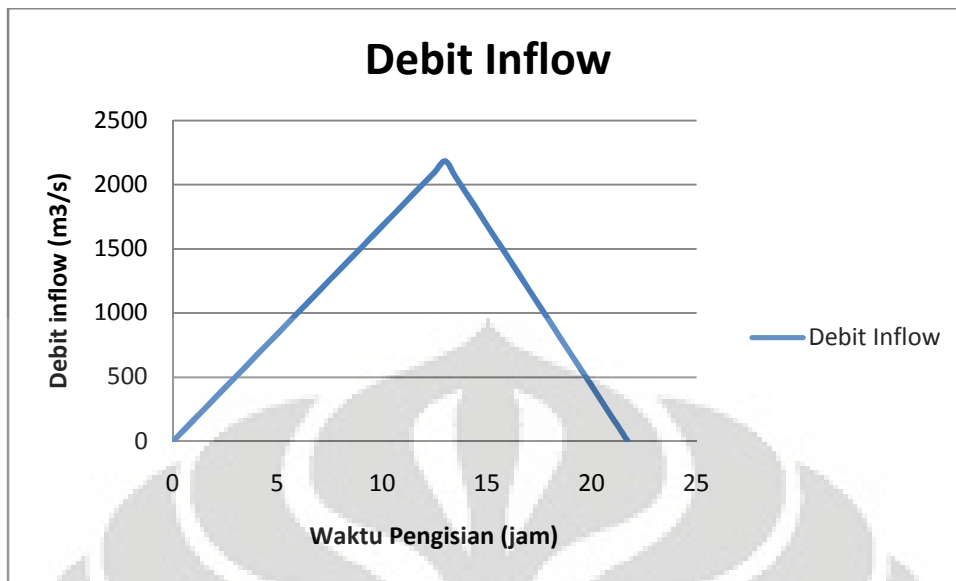
Area 9; km 9,5

Cd	0,8		
L	6	m	
Luas waduk	655,38	m ²	
Tinggi	5,00		
Qpeak	77088,63	cfs	2184,58 m ³ /s
Tp	13,07	hr	

h (m)	$Q=L Cd H^{1.5}$ (m ³ /s)	S (m ³)	$(2S/dt) + Q$ (m ³)
4	0,00	0,00	0,00
5	43963,90979	3276,88	43968,27896
6	57792,06026	3932,25	57797,30326
7	72826,31941	4587,63	72832,43624
8	88976,69746	5243,00	88983,68813
9	106170,7941	5898,38	106178,6586



Waktu Pengisian		Debit Inflow (m ³ /detik)	Volume Waduk	
(menit)	(jam)		dQ (m ³)	akumulasi (m ³)
0	0	0	0	0
30	0,5	84	5040	5040
60	1	168	10080	15120
90	1,5	252	15120	30240
120	2	336	20160	50400
150	2,5	420	25200	75600
180	3	504	30240	105840
210	3,5	588	35280	141120
240	4	672	40320	181440
270	4,5	756	45360	226800
300	5	840	50400	277200
330	5,5	924	55440	332640
360	6	1008	60480	393120
390	6,5	1092	65520	458640
420	7	1176	70560	529200
450	7,5	1260	75600	604800
480	8	1344	80640	685440
510	8,5	1428	85680	771120
540	9	1512	90720	861840
570	9,5	1596	95760	957600
600	10	1680	100800	1058400
630	10,5	1764	105840	1164240
660	11	1848	110880	1275120
690	11,5	1932	115920	1391040
720	12	2016	120960	1512000
750	12,5	2100	126000	1638000
780	13	2184	131040	1769040
810	13,5	2059,2	123552	1892592
840	14	1933,8	116028	2008620
870	14,5	1808,4	108504	2117124
900	15	1683	100980	2218104
930	15,5	1557,6	93456	2311560
960	16	1432,2	85932	2397492
990	16,5	1306,8	78408	2475900
1020	17	1181,4	70884	2546784
1050	17,5	1056	63360	2610144
1080	18	930,6	55836	2665980
1110	18,5	805,2	48312	2714292
1140	19	679,8	40788	2755080
1170	19,5	554,4	33264	2788344
1200	20	429	25740	2814084
1230	20,5	303,6	18216	2832300
1260	21	178,2	10692	2842992
1290	21,5	52,8	3168	2846160
1302,6	21,71	0,132	7,92	2846168



LAMPIRAN 11

ALIRAN ANDALAN

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des	Rata-rata tahunan	Ranking m	Peluang
1980	197,50	283,50	315,20	255,20	293,80	140,70	0,00	273,20	254,80	221,10	381,50	233,30	237,48	2	9,090909
1981	164,20	417,80	124,70	390,40	0,00	128,30	112,60	139,90	278,40	195,00	250,10	111,90	192,78	13	59,09
1982	57,70	332,10	267,30	347,20	321,00	193,60	60,90	131,20	0,00	0,00	0,00	0,00	142,58	18	81,82
1983	0,00	0,00	137,00	266,00	0,00	154,00	228,30	107,00	123,70	194,10	198,70	216,60	135,45	19	86,36
1984	172,50	305,87	296,20	194,00	323,00	95,50	248,30	128,80	232,50	201,90	181,40	274,20	221,18	4	18,18
1985	130,30	160,20	342,30	274,00	154,40	0,00	137,50	34,00	0,00	424,80	501,60	240,00	199,93	9	40,91
1986	195,20	70,20	241,10	213,70	110,90	93,40	133,70	72,00	365,20	256,40	422,80	466,90	220,13	5	22,73
1987	81,40	40,60	209,50	345,50	113,60	98,70	119,00	195,30	307,50	321,90	214,90	229,20	189,76	14	63,64
1988	127,00	185,30	248,60	229,90	107,10	41,30	152,70	152,10	180,80	332,40	285,90	0,00	170,26	16	72,73
1989	398,00	221,40	180,00	266,20	317,40	90,70	74,70	323,30	213,20	205,30	322,80	227,90	236,74	3	13,64
1990	197,50	0,00	107,10	0,00	134,70	96,70	450,80	63,40	99,50	369,20	424,80	208,70	179,37	15	68,18
1991	158,60	77,30	581,50	327,80	263,49	50,60	75,20	99,80	59,60	139,50	307,80	227,80	197,42	10	45,45
1992	171,10	174,10	148,90	124,90	111,10	52,40	245,40	115,00	342,06	199,50	403,10	276,40	197,00	11	50,00
1993	278,00	64,10	160,80	232,70	224,80	100,00	184,80	120,70	236,20	164,90	395,80	412,40	214,60	7	31,82
1994	132,00	214,40	190,60	213,30	116,20	69,04	12,20	51,20	88,45	119,20	319,00	90,53	134,68	20	90,91
1995	301,50	309,70	296,80	291,50	183,70	223,10	228,60	183,60	257,00	264,40	387,10	236,00	263,58	1	4,55
1996	73,00	160,30	240,30	336,20	194,10	90,90	186,90	235,90	256,00	364,70	321,00	175,10	219,53	6	27,27
1997	105,43	151,20	279,80	396,10	190,20	72,30	33,70	95,80	53,80	129,50	311,30	159,80	164,91	17	77,27
1998	0,00	142,00	223,50	102,80	326,60	117,80	297,90	234,50	0,00	0,00	0,00	0,00	120,43	21	95,45
1999	293,40	111,30	211,60	134,60	271,50	225,50	107,60	202,40	290,50	400,00	169,80	146,40	213,72	8	36,36
2000	231,00	62,80	289,40	407,80	138,50	270,30	88,30	107,50	143,50	145,20	169,90	308,50	196,89	12	54,55

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des	Tahunan
1994	5,28	7,66	7,06	6,88	4,01	2,30	0,41	1,71	2,85	4,11	10,63	3,35	56,25
1998	0,00	10,14	11,18	6,85	10,89	4,21	9,61	7,82	0,00	0,00	0,00	0,00	60,69
1997	105,43	151,20	279,80	396,10	190,20	72,30	33,70	95,80	53,80	129,50	311,30	159,80	1978,93
1982	57,70	332,10	267,30	347,20	321,00	193,60	60,90	131,20	0,00	0,00	0,00	0,00	1711,00
1983	0,00	0,00	137,00	266,00	0,00	154,00	228,30	107,00	123,70	194,10	198,70	216,60	1625,40
l rata2	33,68	100,22	140,47	204,61	105,22	85,28	66,58	68,70	36,07	65,54	104,13	75,95	1086,45
l andalan	57,70	151,20	137,00	266,00	190,20	72,30	60,90	95,80	53,80	129,50	198,70	159,80	131,08

Bulan	Intensitas hujan (mm/jam)	Debit (m3/s)
Jan	57,7	1594,15
Feb	151,2	4177,40
Mar	137	3785,08
Apr	266	7349,14
Mei	190,2	5254,91
Jun	72,3	1997,53
Jul	60,9	1682,57
Ags	95,8	2646,79
Sep	53,8	1486,40
Okt	129,5	3577,87
Nov	198,7	5489,75
Des	159,8	4415,01

LAMPIRAN 12

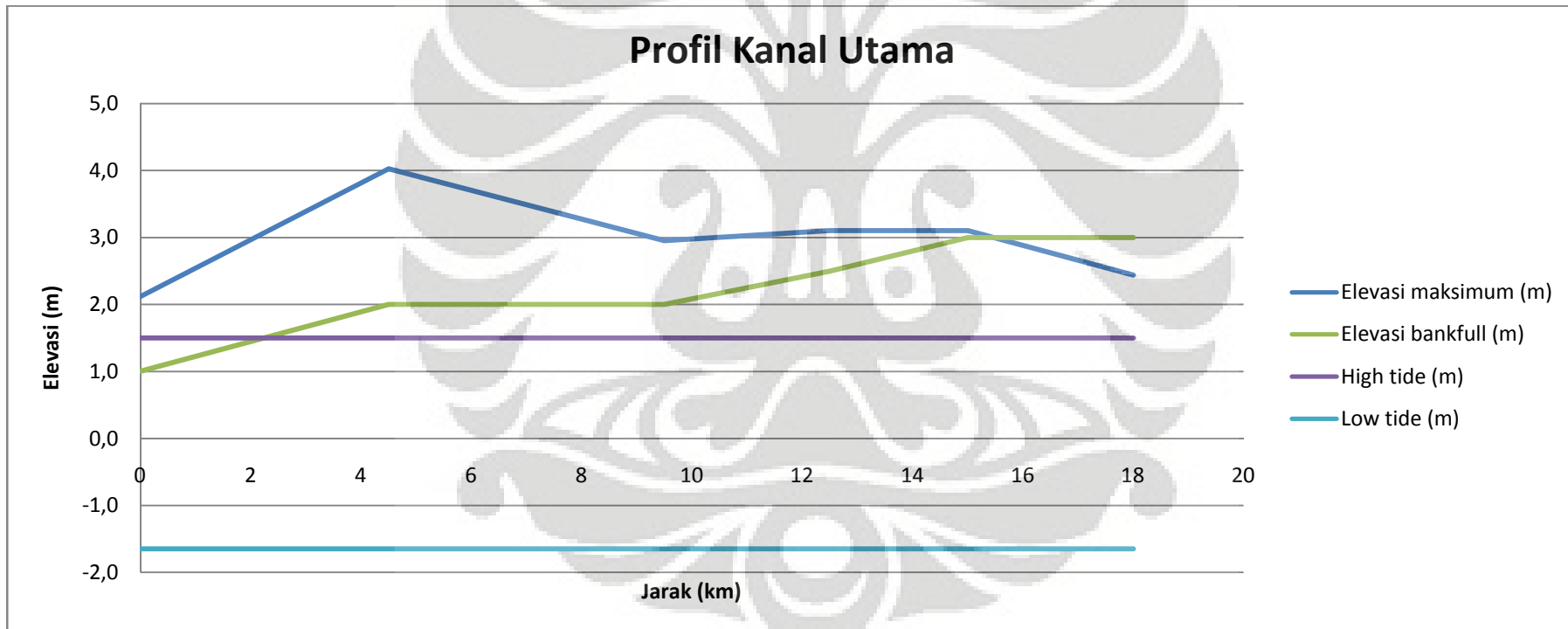
OUTPUT WIN TR-20 SETELAH DIBUAT RESERVOIR

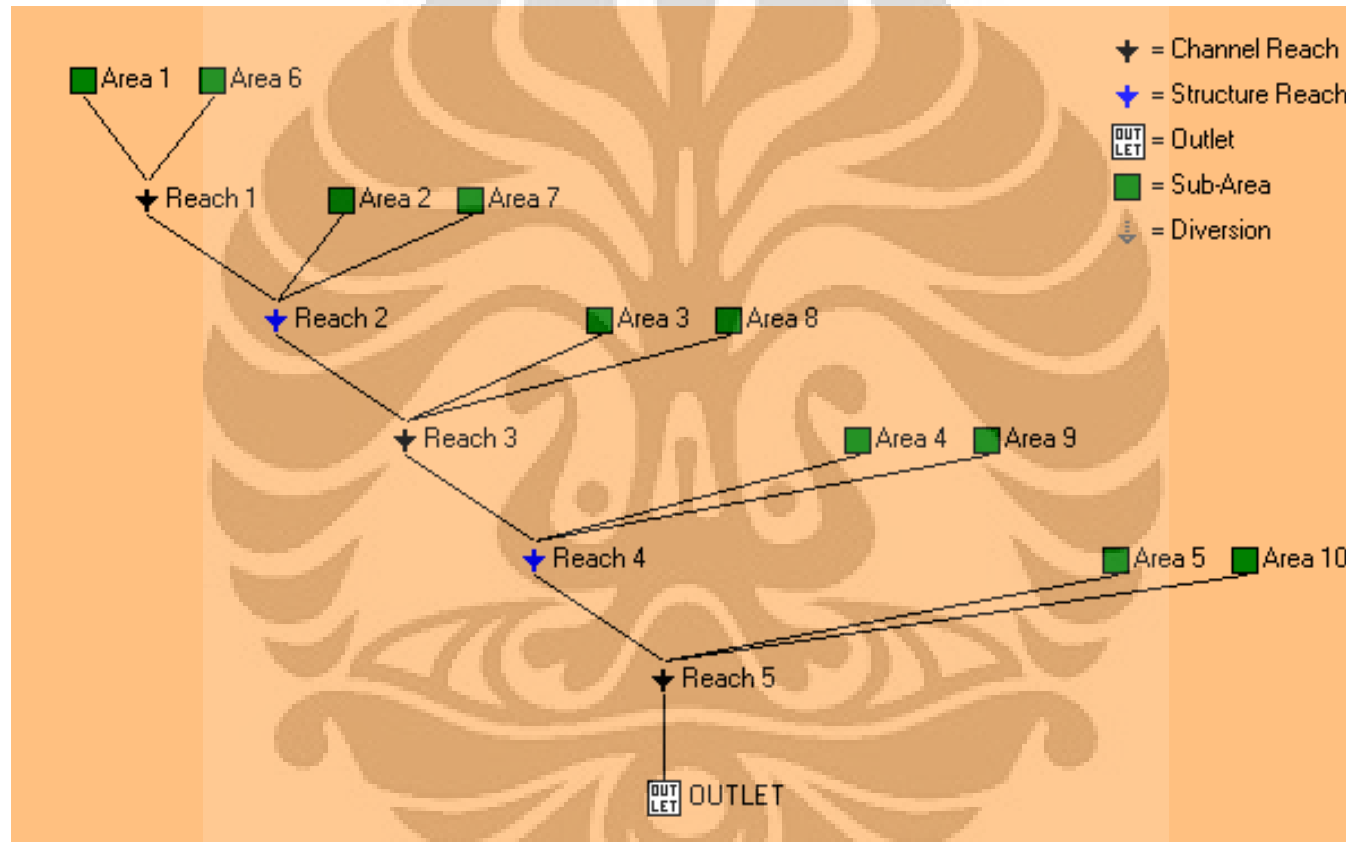
STORM 10-Year (CN = 66)

Area or Reach Identifier	Drainage Area (sq mile)	Rain gage ID or location	Runoff Amount	Peak flow		
				Elevation (ft)	Time (hr)	Rate (cfs)
Area 1	7,18		3,482		12,98	22644,35
Area 6	6,44		3,482		12,96	20610,83
Reach 1	13,62	Upstream	3,482	7,99	12,97	43244,9
Reach 1	13,62	Downstream	3,482	7,99	13	43216,91
Area 2	3,46		3,482		12,98	10912,18
Area 7	12,83		3,482		13,05	35518,45
Reach 2	29,91	Upstream	3,482		13,02	87958,33
Reach 2	29,91	Downstream	3,482	10,18	13,36	17633,82
Area 3	6,34		3,482		12,92	22572,49
Area 8	12,11		3,482		13,03	34954,8
Reach 3	48,36	Upstream	3,482	9,68	13,02	64083,09
Reach 3	49,51	Downstream	3,482	9,68	13,04	64020,62
Area 4	2,69		3,482		12,96	8609,18
Area 9	21,81		3,482		13,03	62953,27
Reach 4	72,86	Upstream	3,482		13,03	134772,3
Reach 4	72,86	Downstream	3,482	13,21	13,37	42420,38
Area 5	0,38		3,482		12,94	1279,05
Area 10	0,67		3,482		12,91	2473,61
Reach 5	73,91	Upstream	3,482	6,94	13,36	42868,48
Reach 5	73,91	Downstream	3,482	6,94	13,4	42868,24

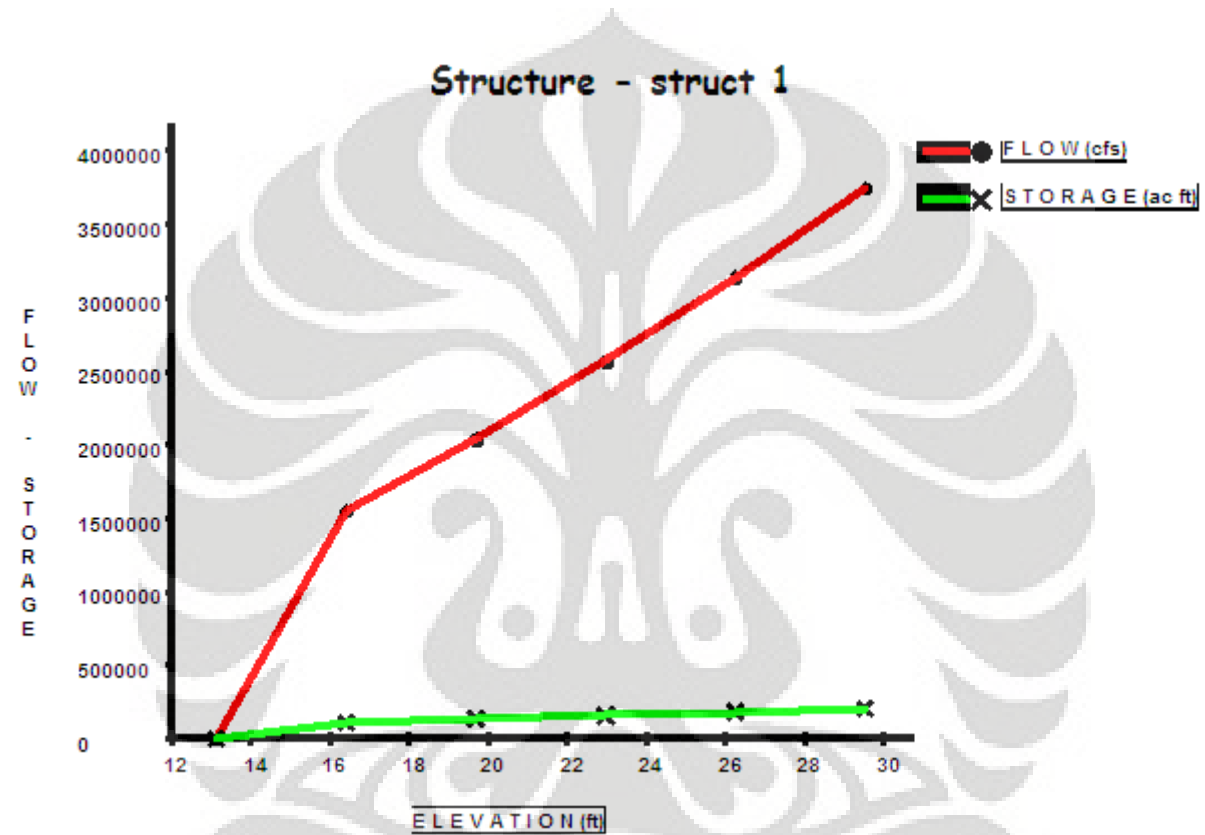
Outlet	73,91	3,482	13,08	136444,5
--------	-------	-------	-------	----------

km	18	15		12,5		9,5		4,5		0
Reach	Reach 1	Reach 1	Reach 2	Reach 2	Reach 3	Reach 3	Reach 4	Reach 4	Reach 5	Reach5
Elevasi (ft) Upstream	7,99		10,18		9,68				6,94	
Downstream		7,99		10,18		9,68		13,21		6,94
Bankfull	9,84	9,84		8,2		6,56		6,56		3,28

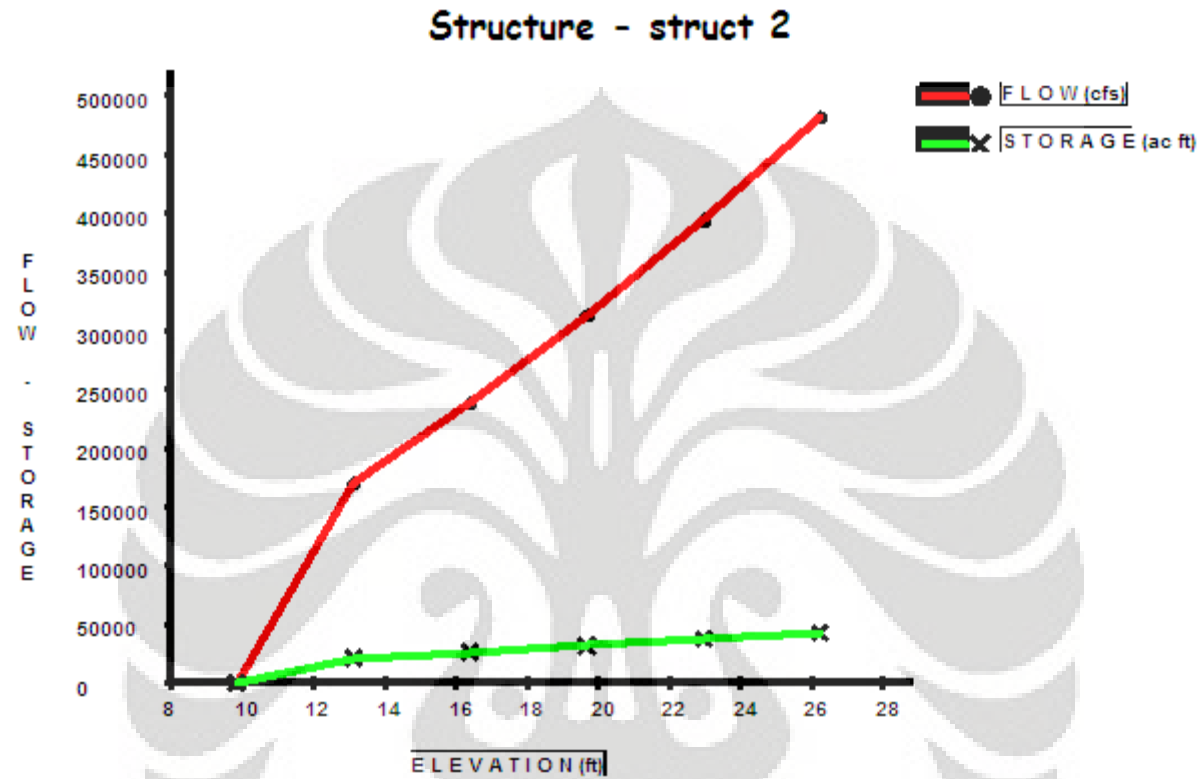




Skema DAS dengan pembuatan reservoir

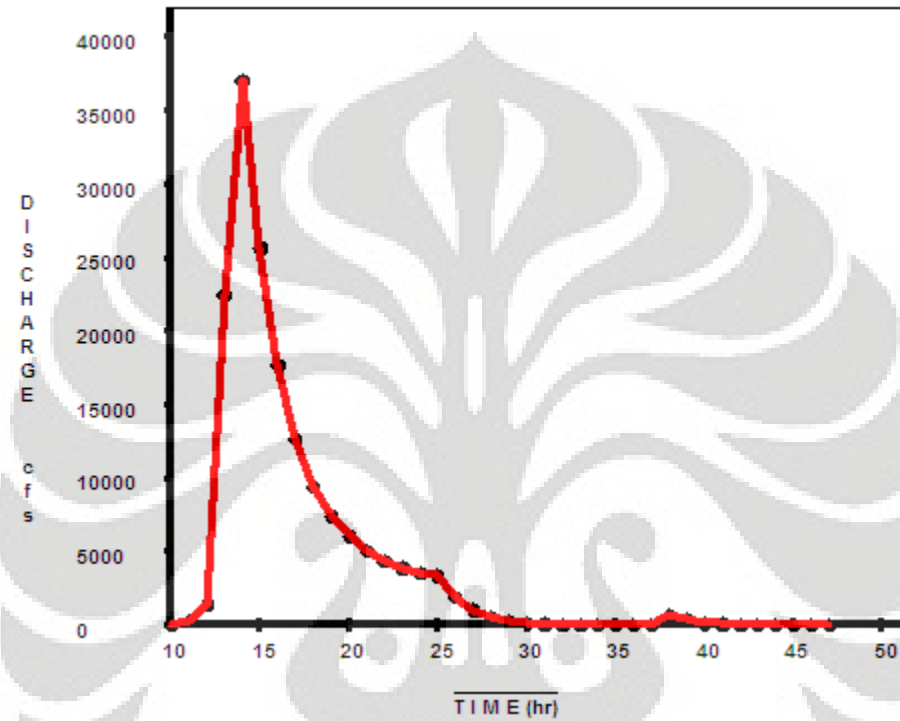


Grafik Hubungan Elevasi dan Debit Untuk Reservoir Area 9 (Km 9,5)



Grafik Hubungan Elevasi dan Debit Untuk Reservoir Area 7 (Km 15)

Hydrograph (Storm - 10-Year)



Hydrograf outlet setelah dibuat reservoir