

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 KONDISI EKSISTING DARI BANJIR KANAL TIMUR**

##### **2.1.1 Latar Belakang dan Gambaran Umum Proyek BKT [9]**

Pada Februari 1965, Direktur Jenderal Pengembangan Sumber Daya Air dari Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik mengeluarkan surat perintah kerja yang dituangkan dalam peraturan No. 29 tahun 1965 yang disebut Komando Proyek Pencegahan Banjir Jakarta Raya (P. B. J. R). Adapun tujuan utama dari proyek ini adalah :

- Membebaskan Ibukota dari genangan air (program jangka pendek)
- Menyiapkan sebuah sistim drainasi untuk seluruh Jakarta sebagai bagian dari kerangka kerja rencana pengembangan kota (program jangka panjang)

Namun pembuatan sistim drainasi perkotaan dianggap belum mampu untuk mencegah banjir yang datang dari sisi luar kota, sehingga perlu dibangun saluran pengumpul disekitar area dataran rendah (*low lying area*) untuk mengelakkan banjir ke kota.

Pada tahun 1918 Prof. Ir. H. Van Breen merencanakan pembangunan Banjir Kanal Barat dengan periode ulang 50 tahunan guna mengalihkan banjir akibat luapan sungai Ciliwung sampai sungai Angke dan mengumpulkan banjir dari sungai Bata, Cideng dan Krukut. Dengan cara ini 2.500 ha bagian kota dapat terlindungi dari banjir yang datang dari luar.

Adanya pengaruh sedimentasi membuat aliran pada banjir kanal tersebut terhambat, sementara debit banjir yang terjadi semakin besar. Sehingga direncanakan pembuatan dua saluran pengelak banjir yang baru yaitu :

- Banjir Kanal Timur yang menampung dan mengelakkan banjir dari Sungai Cipinang, Sunter, Buaran dan Cakung serta

- Perpanjangan dari banjir Kanal Barat sampai ke Sungai Angke di Pesing yang akan menampung banjir dari Sungai Grogol, Sekretaris dan Angke.

Pembangunan dua kanal baru ini diharapkan dapat melindungi 24.000 ha dari dataran rendah Jakarta. Pemilihan solusi pengendalian banjir ini telah di presentasikan rencana persiapannya oleh P.B.J.R. pada april 1973 dan diputuskan oleh Gubernur Jakarta pada waktu itu.

Rencana pembangunan Banjir Kanal Timur (BKT) mengacu pada *Master Plan for Drainage and Flood Control of Jakarta* (NEDECO) tahun 1973. Detail Desain oleh Nikken dan Nippon Koei tahun 1990 dan 1993 serta Studi JICA 1997.

Banjir Kanal Timur (BKT) merupakan proyek yang dinilai bermanfaat bagi pengendalian banjir dan pembangunan potensi wilayah DKI Jakarta. Kanal ini akan mengalir dari Cipinang Besar Selatan di wilayah Jakarta Timur hingga Marunda di wilayah Jakarta Utara. Selain pengendalian banjir, BKT pun akan menampilkan sejumlah manfaat bagi pengembangan potensi wilayah antara lain sebagai sarana rekreasi dan marina, sarana pelabuhan dan transportasi air, sarana sentra bisnis serta terciptanya kawasan Utara dan Timur Jakarta sebagai kawasan *water front city*. BKT dirancang sebagai penggerak pertumbuhan pembangunan yang mampu mendorong pengembangan potensi wilayah perkotaan, khususnya wilayah Utara dan Timur Jakarta.

### **2.1.2 Desain BKT Oleh NEDECO Tahun 1973 [10]**

Perencanaan Banjir Kanal Timur pada awalnya didasarkan pada masterplan Jakarta tahun 1965 – 1985. Prinsipnya adalah masterplan untuk sistem drainase dan pengendalian banjir Jakarta harus terintegrasi dengan masterplan kota Jakarta itu sendiri, sehingga dilakukan berbagai survey oleh Nedeco selaku konsultan. Perencanaan Banjir Kanal Timur oleh Nedeco untuk pengendalian banjir wilayah Jakarta Timur memotong Kali Cipinang, Sunter, Buaran, dan Cakung kemudian menuju kelaut.

Perencanaan desain BKT oleh Nedeco didasarkan pada :

- a. Saluran didesain berdasarkan periode ulang 100 tahunan
- b. Alinyemen horizontal dari saluran disesuaikan dengan perencanaan kota.

- c. Alinyemen vertikal dan potongan melintang dari masing-masing saluran ditentukan atas berbagai pertimbangan, diantaranya yang paling penting yaitu kapasitas transport sediment sepanjang saluran.
- d. Tinggi air pada mulut saluran ditentukan berdasarkan tinggi permukaan air laut.
- e. Tinggi bebas dari muka air pada desain banjir harus sebesar 1,5 m.

Tabel 2.1. Karakteristik dari Banjir Kanal Timur

Jarak (km)	Kemiringan Sisi	Lebar Dasar (m)	Kemiringan Dasar	Q100 (m <sup>3</sup> /s)	Tinggi Muka Air (P.P)
0					
	1 : 1,5	8	0,0005	101	+ 8,50
1,45	1 : 1,5	15	0,0004	228	+ 8,50
5,40	1 : 1,5	16	0,0004	269	+ 8,50
12,00	1 : 1,5	20	0,0004	340	+ 8,50
13,40	1 : 1,5	20	0,0004	340	- * )
14,30	1 : 2,0	20	0,00033	340	- * )
23,60					

\* ) Dipengaruhi oleh tinggi permukaan laut

Sumber : *Masterplan for Drainage and Flood of Jakarta*

Banjir Kanal Timur didesain dengan *definite design* berdasarkan hidrograf banjir masing-masing sungai yaitu Cipinang, Sunter, Buaran, dan Cakung dengan periode ulang 2, 25, dan 100 tahun. Hidrograf ini dapat diperoleh dengan pencatatan dan observasi banjir pada lokasi bersangkutan pada periode tertentu atau dengan permodelan matematika dengan mengubah data curah hujan menjadi limpasan, yang dihasilkan dalam hidrograf. Selain itu untuk kondisi di Indonesia dapat digunakan metode SCS (*Soil Conservation Service*).

Pada perencanaannya Nedeco melakukan perhitungan aliran puncak dengan metode SCS, dimana data yang diperlukan adalah :

- Data curah hujan
- Sifat geologi dan hidrologi dari daerah aliran sungai (*catchment area*) yang meliputi :

- Luas DAS (*catchment area*)
- Bentuk DAS (*catchment area*)
- Tinggi dari aliran air
- Perbedaan tinggi antara titik tertinggi dan terendah dari aliran air
- Kealamian dari DAS (*catchment area*)

Tabel 2.2. Nilai Reduksi untuk kondisi DAS (*catchment area*) alami

Bajir Kanal Timur		
River	Situasi	
	Sekarang	Akan Datang
Cipinang	60	75
Sunter	60	75
Buaran	60	75
Cakung	60	75

Sumber : *Masterplan for Drainage and Flood of Jakarta*

Nilai koefisien reduksi diatas bergantung pada nilai  $T_c$ , jenis tanah, penutup tanah dan intensitas curah hujan.

Dengan menggunakan data-data diatas maka dapat dilakukan perhitungan *metode definite design* dengan memperhitungkan variasi aliran. Untuk persiapan desain aliran diasumsikan seragam. Pada kasus ini pengaruh kombinasi DAS (*catchment area*) harus dipertimbangkan.

Tabel 2.3. Banjir Kanal Timur (Akan Datang)

River	Luas (km <sup>2</sup> )	Koef. Reduksi	Panjang km	H m	Tc Jam	Nilai Reduksi Kurva	Q <sub>2</sub> m <sup>3</sup> /det	Q <sub>25</sub> m <sup>3</sup> /det	Q <sub>100</sub> m <sup>3</sup> /det
Cipinang	48	0,83	36	95	12	75	28	77	102
Sunter	73	0,79	40	110	12	75	55	110	139
Cip.+Sunter	121	0,73	40	110	12	75	80	133	228
Buaran	30	0,85	23	36	9	75	30	32	81
Cip.+Sunter+Buaran	154	0,70	42	113	12	75	111	194	269
Cakung	57	0,80	33	84	10	75	50	84	117
Cip.+Sunter+Buaran+Cakung	211	0,65	49	116	12	75	140	250	340

Sumber : *Masterplan for Drainage and Flood of Jakarta*

### 2.1.3 Review Desain BKT Oleh Konsultan PU (Pekerjaan Umum) [11]

Maksud pekerjaan Review Desain Banjir Kanal Timur oleh konsultan PU adalah mengkaji ulang perencanaan terdahulu (1989, 1990) dengan memperhatikan kondisi alam, aspirasi masyarakat serta kendala dilapangan.

Tujuan pekerjaan adalah menentukan desain rinci definitif yang optimum ditinjau dari aspek teknis, ekonomi dan sosial sehingga siap untuk segera dilakukan pelaksanaan pembangunan Banjir Kanal Timur yang tidak hanya berfungsi sebagai *flood-way* tetapi juga sebagai sarana transportasi air, konservasi dan rekreasi dikaitkan dengan pengembangan wilayah pada daerah bagian timur-utara DKI Jakarta.

#### 2.1.3.1 Tata Guna Lahan

Perhitungan hidrologi untuk Banjir Kanal Timur dilakukan berdasarkan karakteristik daerah aliran sungai dan prediksi tata guna lahan tahun 2025 di hulu Banjir Kanal Timur yang diperoleh dari data peta topografi Bakosurtanal tahun 2001, peta DKI Jakarta tahun 1997 dan peta tata guna lahan tahun 2001

Tabel 2.4. Tata Guna Lahan DAS Hulu BKT (Tinjauan Kondisi Tahun 2025)

No.	Daerah Aliran Sungai	Luas (km <sup>2</sup> )	Luas Penggunaan Lahan (km <sup>2</sup> )				
			Komersil	Industri	Perumahan	Pertanian	Lahan Kering
1	Cipinang	52,54	6,22	10,69	28,94	0,83	5,61
2	Sunter	65,37	0,22	10,60	35,78	2,03	16,75
3	Buaran	11,12	0,01	1,50	9,56	-	0,04
4	Jatikramat	16,42	0,02	2,09	13,15	-	1,16
5	Cibening	7,28	0,03	1,85	5,39	-	0,01
6	Cakung	33,88	0,46	5,10	24,45	-	3,87
7	Blencong	54,05	2,29	7,75	43,38	0,01	0,62
8	Lain-lain	13,10					
Total		253,75	9,25	39,58	160,66	2,87	28,06

Sumber : Peta BWRMP

#### 2.1.3.2 Kapasitas Desain Banjir Kanal Timur

Debit banjir dianalisa berdasarkan karakteristik daerah aliran sungai dan curah hujan efektif dari data 5 (lima) stasiun hujan yaitu : Cibinong, Ragunan, Pondok Gede, Halim Perdana Kusuma dan Bekasi. Analisa debit banjir rencana dilakukan dengan menentukan hidrograf satuan menggunakan metode SCS.

- Debit Banjir Kanal Timur

Tabel 2.5. Debit Rencana Banjir Kanal Timur

Lokasi	Luas DAS (km <sup>2</sup> )	Q <sub>100</sub> (m <sup>3</sup> /det)
Sebelum inlet Sunter	53,33	135
Sesudah inlet Sunter	118,69	270
Sesudah inlet Jatikramat	150,59	320
Sesudah inlet Cakung	193,99	350
Sesudah inlet Blencong	253,75	390

Sumber : Review desain Banjir Kanal Timur

- Debit sungai hulu Banjir Kanal Timur

Tabel 2.6. Debit Sungai Hulu Kanal Timur

Sungai	Luas DAS (km <sup>2</sup> )	Q <sub>25</sub> (m <sup>3</sup> /det)
Cipinang	52,54	126
Sunter	65,37	146
Buaran	11,12	74
Jatikramat	16,42	73
Cibening	7,28	49
Cakung	33,88	122
Blencong	54,05	101

Sumber : Review desain Banjir Kanal Timur

### 2.1.3.3 Alternatif Desain

Banjir Kanal Timur rencananya dibangun sebagai sarana yang multifungsi.

Sehingga perlu dilakukan evaluasi alternatif desain sebagai berikut :

Alternatif 1 Banjir Kanal Timur juga berfungsi sebagai sarana transportasi kapal kargo sepanjang tahun dari muara sampai inlet Cipinang.

Alternatif 2 Banjir Kanal Timur juga berfungsi sebagai sarana transportasi air untuk kapal penumpang sepanjang tahun dari muara sampai inlet Cipinang

Alternatif 3A Banjir Kanal Timur juga berfungsi sebagai sarana transportasi air untuk kapal kargo dari weir II sampai inlet Cipinang tidak

sepanjang tahun (musiman) dan parsial serta transportasi kapal dari muara sampai weir II.

Alternatif 3B Banjir Kanal Timur juga berfungsi sebagai sarana transportasi air untuk kapal penumpang dari weir II sampai inlet Cipinang tidak sepanjang tahun (musiman) dan parsial serta transportasi kapal dari muara sampai weir II.

Dari kelebihan dan kekurangan alternatif diatas alternatif 3B adalah alternatif yang berdampak lingkungan paling minimal dan dipilih untuk dilanjutkan ketahap desain rinci dengan mempertimbangkan aspek optimasi fungsi saluran Banjir Kanal Timur.

#### *2.1.3.4 Trase Banjir Kanal Timur*

Trase Banjir Kanal Timur telah ditetapkan berdasarkan SK Gubernur DKI Jakarta No. 121 tanggal 17 Juni 1987 ; No. 2714 tanggal 24 September 2001 dan No. 285 tanggal 29 Januari 2003 tentang Penguasaan Perencanaan/peruntukan bidang tanah untuk pelaksanaan pembangunan Banjir Kanal Timur dengan pola lebar penguasaan sebagai berikut :

- 18 m – 100 m – m : dari barat ke timur sejajar jalan Basuki rahmat
- 36 m – 100 m – 18 m : dari rel kereta api sampai jalan raya Bekasi
- 36 m – 15 m – 100 m -25 m – 18 m : hilir jalan Raya Bekasi samapi laut

Untuk daerah sekitar Modern City lebar trase 300 m dan Marunda Hilir 200 m dan seluruh trase Banjir Kanal Timur berada didalam wilayah Propinsi DKI jakarta.

#### *2.1.3.5 Dimensi Banjir Kanal Timur*

Tampang memanjang Banjir Kanal Timur didesain dengan memperhatikan

- a. Elevasi muka tanah sepanjang saluran Banjir Kanal Timur.
- b. Elevasi muka air tanah sepanjang saluran Banjir Kanal Timur
- c. Batas trase (ROW) sesuai dengan SK. Gubernur DKI Jakarta
- d. Stabilitas hidrolis saluran
- e. Fugsi saluran sebagai sarana transportasi air sesuai dengan alternatif 3B
- f. Tinggi muka air laut :

- Pasang maksimum (HHWL) : PP + 1,54 m
- Pasang purnama tertinggi (HWL) : PP + 1,15 m
- Rata-rata pasang tertinggi (HW) : PP + 0,90 m
- Permukaan air laut rata-rata (MSL) : PP + 0,60 m
- Rata-rata surut terendah (LW) : PP + 0,25 m
- Surut paling rendah (neap tide, LLW) : PP + 0,00 m

Penampang basah (hydraulic properties) Banjir Kanal Timur didesain dengan kapasitas untuk menampung debit rencana seperti pada sub-sub-sub Bab 2.1.3.2. Tipikal dimensi Banjir Kanal Timur sebagai berikut :

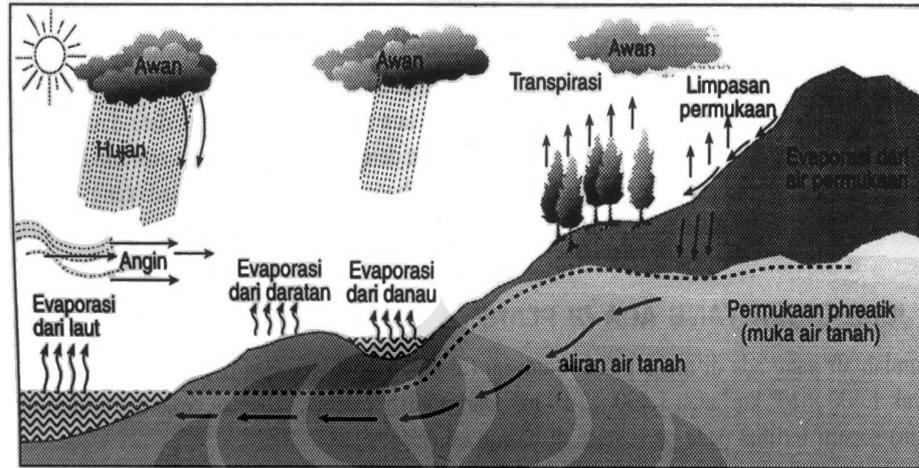
Tabel 2.7. Tipikal Dimensi Banjir Kanal Timur

Tipe	Lokasi	L (m)	Q (m <sup>3</sup> /det)	S	B (m)	H (m)	m
1	BKT.1 - BKT.25 (Muara - Weir III)	2,090	390	0,000167	36	3,45	2
2	BKT.25 - BKT.68 (Weir III - Marunda)	4,207	350	0,000167	36	5,95	2
3	BKT.68 - BKT.105 (Marunda - Weir II)	3,694	350	0,00025	30	5,95	2
4	BKT.105 - BKT.121 (Weir II - Cakung Inlet)	1,490	350	0,00033	30	4,95	2
5	BKT.121 - BKT.147 (Cakung Inlet - Cibening Inlet)	1,998	350	0,00033	28	4,95	2
6	BKT.147 - BKT.250 Cibening Inlet - Weir I)	4,461	320	0,00033	27	4,95	2
7	BKT.250 - BKT.225 (Weir I - Buaran Inlet)	192	320	0,0004	25	4,95	2
8	BKT.225 - BKT.343 (Buaran Inlet - DPS.2)	4,066	270	0,0004	20	4,95	2
9	BKT.343 - BKT.367 (DPS.2 - Cipinang Inlet)	1,230	135	0,0005	13	3,95	2

Sumber : Departemen Kipraswil

## 2.2 DASAR TEORI

Air yang mengalir menuju sungai dan berakhir dilaut merupakan bagian dari proses hidrologi.



Gambar 2.1. Siklus hidrologi

Ada empat proses utama dari siklus hidrologi yang mempengaruhi debit aliran yang menuju ke sungai yaitu [12] :

### 1. Presipitasi

Menurut bentuknya presipitasi dibedakan menjadi dua, yaitu

- presipitasi vertical, berupa hujan, hujan gerimis, salju, hujan es dan hujan salju.
- presipitasi horizontal, berupa es, kabut, dan embun

### 2. Evaporasi dan Transpirasi

Evaporasi adalah proses naiknya air dari permukaan bumi ke udara secara langsung. Transpirasi adalah proses dimana tanaman menghisap air dari dalam tanah dan menguapkannya ke udara sebagai uap. Lebih dari separuh presipitasi yang mencapai permukaan tanah dikembalikan lagi ke atmosfer oleh gabungan dari kedua proses ini

### 3. Infiltrasi

Infiltrasi adalah proses masuknya air dari permukaan tanah ke dalam tanah. Daya infiltrasi ( $f_p$ ) adalah laju infiltrasi maksimum yang dimungkinkan, yang ditentukan oleh kondisi permukaan termasuk lapisan atas dari tanah.

Daya infiltrasi menentukan besarnya air hujan yang dapat diserap ke dalam tanah. Sekali air hujan tersebut masuk ke dalam tanah, air hujan itu dapat diuapkan kembali atau mengalir sebagai air tanah. Besarnya daya infiltrasi ( $f_p$ ) dinyatakan dalam mm/jam atau mm/hari.

#### 4. Limpasan

##### a. Limpasan permukaan (*surface runoff*)

Limpasan permukaan adalah pergerakan air yang terjadi di permukaan bumi. Besarnya limpasan permukaan tergantung kepada besar curah hujan, evaporasi serta infiltrasi yang terjadi. Makin besar daya infiltrasi, maka perbedaan antara intensitas curah hujan dengan daya infiltrasi akan menjadi makin kecil. Akibatnya limpasan permukaannya akan semakin kecil sehingga debit puncaknya juga menjadi semakin kecil.

##### b. Limpasan air tanah (*sub surface runoff*)

Limpasan air tanah adalah pergerakan air yang terjadi dibawah permukaan bumi. Definisi air tanah yaitu air yang menempati rongga-rongga dalam lapisan geologi.

Apabila terjadi perubahan pada muka tanah (tataguna lahannya) maka keempat proses tersebut juga mengalami perubahan, yang berdampak pada besarnya dan cepatnya aliran yang datang dari hulu menuju ke hilir (laut), sehingga kapasitas saluran/sungai secara berangsur-angsur dapat terlampaui.

### 2.2.1 Tata Guna Lahan

Peta tata guna lahan menunjukkan pola serta intensitas penggunaan lahan. Perbedaan intensitas tata guna lahan mempengaruhi volume air hujan yang mengalir di permukaan yang kemudian masuk ke dalam badan sungai. Sedangkan persentase air hujan yang akan dialirkan tergantung dari tingkat kedekatan penutup permukaan terhadap air. Ada tidaknya vegetasi penutup lahan juga mempengaruhi terjadinya erosi yang menyebabkan pendangkalan. Vegetasi penutup lahan tersebut berfungsi untuk :

- Melindungi permukaan tanah dari tumbukan air hujan
- Menurunkan kecepatan aliran

Tata guna lahan akan mengalami perubahan dari tahun ke tahun mengikuti master plan suatu wilayah. Perubahan tata guna lahan ini memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap sistem aliran air, sehingga dalam perencanaan suatu sistem aliran air perlu dilakukan proyeksi terhadap tata guna lahan. Adapun persamaan yang digunakan adalah :

$$Llp = La (1 + ia\%)^n \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan : *Llp* = luas tata guna lahan proyeksi

*La* = luas tata guna lahan awal

*ia* = Persentase perubahan (%)

*n* = lama tahun proyeksi

### 2.2.2 Jenis Penutup Lahan

Jenis penutup permukaan dapat berupa bahan yang tembus air ataupun kedap air. Jenis penutup permukaan dapat dibedakan berdasarkan dari tata guna lahan itu sendiri. Pada daerah perkotaan sebagian besar daerahnya ditutupi oleh bahan yang cukup kedap air, berupa lapisan aspal, beton dan bangunan, sehingga angka koefisien aliran akan semakin besar akibat tidak adanya lagi kemampuan untuk menyerap kedalam tanah. Adapun nilai koefisien aliran (C) untuk berbagai permukaan dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.8. Koefisien Aliran untuk Metode Rasional

Character of surface	Return Period (years)						
	2	5	10	25	50	100	500
<b>Developed</b>							
Asphaltic	0,73	0,77	0,81	0,86	0,90	0,95	1,00
Concrete/Roof	0,75	0,80	0,83	0,88	0,92	0,97	1,00
Grass areas (Lawns, parks, etc.)							
<i>Poor condition</i> (grass over less than 50% of the area)							
Flat, 0 - 2%	0,32	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,58
Average, 2 - 7%	0,37	0,40	0,43	0,46	0,49	0,53	0,61
Steep, over 7%	0,40	0,43	0,45	0,49	0,52	0,55	0,62
<i>Fair condition</i> (grass over on 50% to 75% of the area)							
Flat, 0 - 2%	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53

Average, 2 - 7%	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Steep, over 7%	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60

*Good condition* (grass cover larger than 75% of the area)

Flat, 0 - 2%	0,21	0,23	0,25	0,29	0,32	0,36	0,49
Average, 2 - 7%	0,29	0,32	0,35	0,39	0,42	0,46	0,56
Steep, over 7%	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,51	0,58

**Undeveloped**

Cultivated land

Flat, 0 - 2%	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,57
Average, 2 - 7%	0,35	0,38	0,41	0,44	0,48	0,51	0,60
Steep, over 7%	0,39	0,42	0,44	0,48	0,51	0,54	0,61

Pasture/Range

Flat, 0 - 2%	0,25	0,28	0,30	0,32	0,37	0,41	0,53
Average, 2 - 7%	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Steep, over 7%	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60

Forest/Woodlands

Flat, 0 - 2%	0,22	0,25	0,28	0,31	0,35	0,39	0,48
Average, 2 - 7%	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,56
Steep, over 7%	0,35	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52	0,58

Sumber : *Applied Hidrology*

**2.2.3 Analisa Curah Hujan**

**2.2.3.1 Curah Hujan Rata-Rata Daerah**

Besarnya Intensitas hujan yang masuk kesuatu sungai sangat bergantung pada daerah aliran dari sungainya (*cathment area*). Ada beberapa metode untuk menghitung hujan rata-rata suatu daerah [13]:

- a. Metode rata-rata aritmatik

Metode ini cocok digunakan untuk daerah yang datar dan memiliki pos pengamatan curah hujan yang rapat dan banyak.

Tinggi curah hujan rata-rata dapat dihitung dengan rumus :

$$d = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_n}{n} = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{n} \dots\dots\dots(2.2)$$

dimana :

- d = tinggi curah hujan rata-rata
- d<sub>1</sub>, d<sub>2</sub>, ..., d<sub>n</sub> = tinggi curah hujan pada pos pengamatan 1, 2, ..., n
- n = banyaknya pos pengamatan

b. Metode poligon thiessen

Metode ini digunakan pada daerah dengan distribusi pengamatan curan hujan yang tidak tersebar merata didalam wilayah pengamatan. Hasil analisa dengan metode ini lebih teliti apabila dibandingkan dengan cara rata-rata aritmatik, karena dalam menentukan curah hujan wilayah dengan metode ini akan diperhitungkan persentase luas pengaruh masing-masing pos pengamatan curah hujan. Luas pengaruh pos pengamatan yang digunakan adalah luas daerah yang berada di dalam daerah aliran sungai.

Rumus yang digunakan :

$$d = \frac{A_1 d_1 + A_2 d_2 + A_3 d_3 + \dots + A_n d_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i d_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \dots\dots\dots(2.3)$$

dimana :

- $A_t$  = luas area total
- $d$  = tinggi curah hujan rata-rata
- $d_1, d_2, \dots, d_n$  = tinggi curah hujan di pos pengamatan 1, 2, ..., n
- $A_1, A_2, \dots, A_n$  = luas area pengaruh di pos pengamatan 1, 2, ..., n

c. Metode isohyet

Metode ini adalah metode yang paling teliti untuk mendapatkan curah hujan wilayah rata-rata. Tetapi metode ini memerlukan pos pengamatan curah hujan yang cukup rapat atau banyak di dalam daerah pengamatan, sehingga memungkinkan untuk membuat kontur tinggi curah hujan atau garis-garis isohyet.

Rumus dari metode ini :

$$d = \frac{A_1 \frac{d_0 + d_1}{2} + A_2 \frac{d_1 + d_2}{2} + \dots + A_n \frac{d_{n-1} + d_n}{2}}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \frac{d_{i-1} + d_i}{2}}{\sum_{i=1}^n A_i} \dots\dots\dots(2.4)$$

dimana :

- $d$  = tinggi curah hujan rata-rata
- $d_0, d_1, \dots, d_n$  = curah hujan pada isohyet 0, 1, ..., n
- $A_1, A_2, \dots, A_n$  = luas daerah yang dibatasi oleh isohyet yang bersangkutan.

### 2.2.3.2 Melengkapi Data Hujan Yang Hilang

Banyak data hujan yang tidak tercatat oleh stasiun pencatatan hujan. Hal ini bisa disebabkan rusaknya alat pencatat atau ketidakhadiran dari petugas. Untuk melengkapi data yang hilang tersebut maka dapat dilakukan perkiraan. Sebagai dasar digunakan data hujan dari tiga tempat pengamatan yang berdekatan dan mengelilingi stasiun pengamatan yang tidak lengkap. Jika selisih antara hujan tahunan normal dari stasiun index dengan stasiun pengamatan tersebut kurang dari 10% maka dapat diperkirakan dengan metode rata-rata aritmatik. Namun bila selisih tersebut melebihi 10%, maka digunakan *metode rasio normal* yaitu [14] :

$$P_X = \frac{1}{3} \left( \frac{N_X}{N_A} P_A + \frac{N_X}{N_B} P_B + \frac{N_X}{N_C} P_C \right) \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

$N$  : Curah hujan normal tahunan

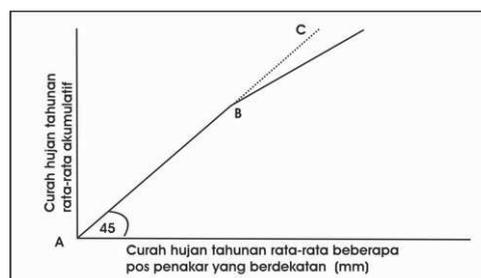
$P$  : Curah hujan ditempat pengamatan

### 2.2.3.3 Uji Konsistensi Data [15]

Dalam suatu array data pengamatan hujan bisa terdapat nonhomogenitas dan ketidaksesuaian (*inconsistency*) yang dapat mengakibatkan penyimpangan pada hasil perhitungan. Nonhomogenitas tersebut dapat disebabkan oleh :

- Perubahan mendadak pada sistem lingkungan hidrologis, misalnya karena adanya pembangunan gedung, tumbuhnya pohon, gempa bumi dan lainnya.
- Pemindahan alat pengukur.
- Perubahan cara pengukuran. (adanya alat baru atau metode baru).

Konsistensi data hujan dari suatu tempat pengamatan dapat diselidiki dengan garis massa ganda (*double mass curve*). Dengan metode ini juga dapat dilakukan koreksinya.



Gambar 2.2. Kurva Massa Ganda (*Double Mass Curve*)

#### 2.2.3.4 Analisa Frekuensi

Analisa frekuensi adalah analisa yang dilakukan untuk menentukan atau memperkirakan kejadian curah hujan berdasarkan masa ulang peristiwa yang dapat diharapkan menyamai atau lebih besar dari pada rata-rata curah hujan. Analisa frekuensi yang digunakan berdasarkan metode Gumbel, dengan cara analitis [16].

$$X_T = \bar{X} + \frac{\sigma_x}{\sigma_N}(Y_T - Y_N) \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

$X_T$  = curah hujan harian maksimum sesuai dengan periode ulang  $T$  tahun

$\bar{X}$  = curah hujan harian maksimum rata-rata dari hasil pengamatan

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{N}$$

$Y_T$  = *reduced variated*, yang besarnya tergantung pada periode ulang ( $T$ )

$Y_N$  = *reduced mean* yang besarnya tergantung pada jumlah tahun pengamatan

$\sigma_x$  = *Standard deviation* dari data pengamatan

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

$\sigma_N$  = *reduced standard deviation*, tergantung dari jumlah tahun pengamatan.

#### 2.2.3.5 Intensitas Hujan ( $I$ )

Untuk mengetahui besar  $I$  yang terjadi maka curah hujan rencana yang telah diperoleh sebelumnya diubah menjadi lengkung IDF (Intensity Duration Frequency), yaitu lengkung yang menunjukkan hubungan antara intensitas hujan (tinggi hujan per satuan waktu) dengan durasi hujan (lama terjadinya satu peristiwa hujan), dimana setiap lengkung mewakili satu masa ulang ( $T_r$ ), dengan durasi hujan ( $T_d$ ) sebagai absis dan Intensitas hujan ( $I_{T_r}$ ) sebagai ordinat.

Ada beberapa rumus yang dapat digunakan untuk menghitung intensitas, namun pada penelitian ini digunakan rumus mononobe yaitu :

$$I = \frac{X_{Tr,24}}{24} \left( \frac{24}{T_d} \right)^{2/3} \dots\dots\dots(2.7)$$

dimana,

$X_{Tr,24}$  = curah hujan harian rencana dengan masa ulang (mm)

$I$  = intensitas hujan (mm/jam)

Dari lengkung IDF dapat ditentukan  $I$ , yaitu dengan waktu detensi (durasi =  $D$ ) tertentu. Waktu detensi terjadi pada waktu puncak banjir ( $T_p$ ). Dimana waktu detensi  $D$  sama dengan waktu konsentrasi ( $T_c$ ).

Nilai  $T_c$  dapat dicari dengan menggunakan persamaan kirpich [17]:

$$t_c = 0,0078L^{0,77}S^{-0,385} \dots\dots\dots(2.8)$$

dimana :

$L$  = Panjang saluran dari hulu ke outlet

$S$  = Kemiringan rata-rata daerah aliran

#### 2.2.4 Analisa Debit Banjir Rencana (Metode Rasional)

Perhitungan debit banjir rencana dilakukan untuk menentukan atau memperkirakan besarnya debit berdasarkan masa ulang peristiwa yang diharapkan terjadi menyamai atau lebih besar dari pada debit banjir rata-rata.

Rumus yang digunakan :

$$Q = C \times I \times A \text{ (m}^3\text{/detik)} \dots\dots\dots(2.9)$$

dimana,

$Q$  = debit banjir rencana (m<sup>3</sup>/detik)

$C$  = koefisien pengaliran permukaan, berdasarkan tabel 2.8

$I$  = intensitas hujan (mm/jam)

$A$  = luas daerah pengaliran (m<sup>2</sup>)

#### 2.2.5 Kapasitas Saluran

Dari hasil analisa debit rencana, maka dapat direncanakan kapasitas saluran dan dimensinya (pada penelitian ini digunakan bantuan program).

Untuk kondisi di Indonesia bentuk saluran yang umum direncanakan berupa saluran terbuka dengan bentuk-bentuk aliran sebagai berikut :

1. Saluran terbuka dengan aliran seragam (*uniform open channel flow*) [18]

Saluran terbuka dengan aliran seragam adalah kondisi hidrolis dimana kedalaman dan potongan melintang dari saluran tidak mengalami perubahan yang signifikan sepanjang saluran. Sehingga garis energi, muka air dan dasar saluran adalah paralel. Dengan kata lain total energi yang berubah sepanjang saluran adalah sama dengan energi yang hilang akibat gesek dan turbulensi.

Adapun persamaan yang sering digunakan adalah :

$$V = C\sqrt{RS} \rightarrow C = \sqrt{\frac{8g}{f}} \text{ (Chezy)} \dots\dots\dots(2.10)$$

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} \sqrt{S} \text{ (Manning)} \dots\dots\dots(2.11)$$

- Dimana :
- $A$  = Luas potongan melintang saluran
  - $V$  = kecepatan saluran
  - $P$  = keliling basah saluran
  - $S$  = kemiringan energi
  - $C/n$  = koefisien roughness
  - $f$  = faktor gesek Darcy

2. Saluran terbuka dengan aliran tidak seragam (*open channel with nonuniform flow*)

Ketika suatu saluran mengalami perubahan pada bagian dasar/kedalaman dan bentuk potongan melintangnya maka kedalaman aliran bisa berubah secara berangsur-angsur. Untuk menyelesaikan kasus ini maka kedalaman dan bentuk potongan melintang dari saluran dianggap sama. Total energi yang dihasilkan dapat ditulis :

$$H = z + y + \frac{\alpha V^2}{2g} \dots\dots\dots(2.12)$$

Untuk perhitungan energi tersebut akan lebih diuraikan pada penggunaan program HEC-RAS. Pada penelitian ini perhitungan dilakukan dengan bantuan program yaitu SMADA versi 6.43 dan HEC-RAS versi 3.1.3

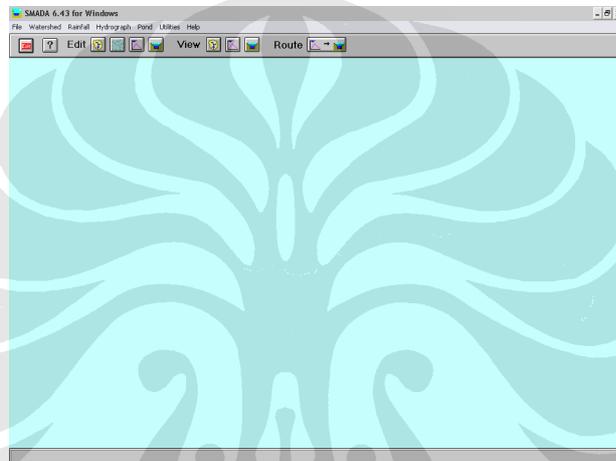
**2.3 PROGRAM SMADA VERSI 6.43**

Stormwater Management and Design aid (SMADA) dikembangkan oleh Dr. R. D. Eaglin dari Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas

Florida. Program ini digunakan untuk menghitung hidrograf, desain saluran, distribusi statistik dan analisa regresi, permodelan beban pollutan, perhitungan matriks dan lainnya [19].

Ada 4 (empat) tahapan dalam proses penyelesaian hidrologi yang dijalankan program ini [20] :

1. Batas Daerah Aliran Sungai (*Watershed*)
2. Curah hujan (*Rainfall*)
3. Hidrograf
4. Kolam/saluran penampung



Gambar 2.3. Tampilan program SMADA

### 2.3.1 Batas Daerah Aliran Sungai (*Watershed*)

Hal pertama yang harus diketahui berkaitan dengan perencanaan saluran pada suatu kawasan adalah luas dari daerah aliran yang akan masuk kesuatu saluran. Total luasan dari suatu kawasan harus ditinjau berdasarkan tata guna dari lahan yang ada pada kawasan tersebut, yang menyerap dan mengalirkan secara langsung air hujan. Besarnya air hujan yang diserap dan dialirkan secara langsung akan menjadi beban pada saluran/sungai.

Ada dua metode infiltrasi yang sering digunakan :

- Metode Horton yaitu dengan menjumlahkan seluruh volume infiltrasi. Nilai infiltrasi dengan metode Horton diperoleh dengan pengukuran secara langsung menggunakan infiltrometer. Secara matematis dapat dituliskan :

$$f(t) = fc + (fo - fc)^{Kt} \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana :  $f(t)$  = nilai infiltrasi sebagai fungsi dari waktu  
 $f_c$  = nilai infiltrasi ultimate  
 $f_o$  = nilai infiltrasi awal  
 $K$  = koefisien deflesi Horton  
 $t$  = waktu

Untuk memperoleh nilai infiltrasi kumulatif digunakan persamaan :

$$F_p(\Delta t) = F(I_c) \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana :  $F_p(\Delta t)$  = potensial infiltrasi untuk waktu  $t$

$F(I_c)$  = infiltrasi kumulatif untuk tiap kejadian

- Metode Soil Conservation Service (SCS) merupakan metode infiltrasi dengan menggunakan jumlah kurva (*Curve Number*) sebagai perwakilan dari tipe penutup tanah. Secara matematis dapat dirumuskan :

$$R = \frac{(P - 0,2S)^2}{(P + 0,8S)} \rightarrow \text{untuk } P > 0,2S$$

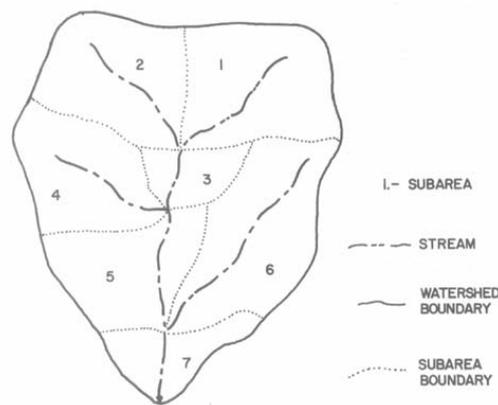
$$R = 0 \rightarrow \text{untuk } P < 0,2S \dots\dots\dots(2.15)$$

$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$

Dimana :  $R$  = curah hujan lebih  
 $P$  = precipitasi  
 $S$  = kedalaman maksimum saluran  
 $CN$  = curve number  
 $0,2$  = faktor initial abtraksi

Berikut nilai CN (*Curve Number*) untuk lahan pervious berdasarkan USDA-SCS 1986 dan 1975

Land Use	Hydrologic Soil Class			
	A	B	C	D
Bare Ground	77	86	91	94
Natural Desert Landscape	63	77	85	88
Garden or Row Crops	72	81	88	91
Good Grass Cover (>75%)	39	61	74	80
Poor Grass Cover (50-75%)	68	79	86	89
Lightly Wooded Area	36	60	73	79
Good Pasture and Range	39	61	74	80



Gambar 2.4. Contoh DAS (Daerah Aliran Sungai)

### 2.3.2 Curah Hujan (*Rainfall*)

Hujan terjadi karena penguapan air laut seperti pada gambar siklus hidrologi. Para ahli hidrologi mencatat jumlah curah hujan yang terjadi berdasarkan waktu dan tempat. Nilai ini yang kemudian digunakan untuk menghitung hidrograf.

Pada program SMADA ada dua cara pemasukan data curah hujan :

- Hand entry ; dengan cara ini data curah hujan yang dibutuhkan adalah waktu dan lamanya hujan yang terjadi. Dengan cara ini tidak diperlukan volume total dari curah hujan yang terjadi.
- Dimensionless curve ; untuk cara ini dibutuhkan data waktu, lamanya curah hujan dan volume total dari hujan yang terjadi.

### 2.3.3 Hidrograf

Hidrograf merupakan gambaran grafik antara debit sungai atau tinggi air sungai (ordinat) dan waktu (absis). Bentuk lengkung hidrograf tergantung karakteristik hujan.

Untuk program SMADA perhitungan hidrograf dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu :

- Metode SCS yaitu menjumlahkan nilai curah hujan lebih (*rainfall excess*) dengan menggunakan bentuk segitiga dan faktor atenuasi untuk mengetahui keluaran (*output*). Secara matematis dapat dirumuskan :

$$t_b = t_p + t_f \rightarrow t_b = t_p + x t_p \dots\dots\dots(2.16)$$

$x = (2/K) - 1$  untuk luasan dalam ha

$x = (1291/K) - 1$  untuk luasan dalam mil<sup>2</sup>

- Dimana :
- $t_b$  = waktu dasar hidrograf
  - $t_p$  = waktu puncak hidrograf
  - $t_f$  = waktu resesi hidrograf (pengurangan laju aliran)
  - $K$  = faktor atenuasi ( $25 \leq K \leq 645$ )

- Metode Hidrograf Urban Santa Barbara. Metode ini menggunakan persamaan

$$Q_2 = Q_1 * K [R_1 + R_2 - 2Q_1] \rightarrow K = \Delta t / (2t_c + \Delta t) \dots\dots\dots(2.17)$$

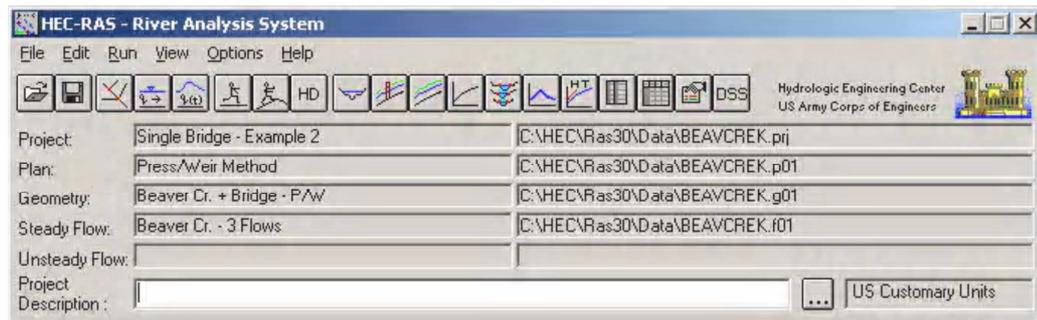
- Dimana
- $\Delta t$  = Penambahan waktu (*time Increment*)
  - $t_c$  = waktu konsentrasi
  - $R_n$  = *Instantaneous Hydrograph flow* pada waktu n
  - $Q_n$  = desain aliran pada waktu n

#### 2.4 PROGRAM HEC-RAS VERSI 3.1.3 [21]

Hydrologic Engineering Center – River Analysis System (HEC-RAS) dikembangkan oleh ahli teknik hidrologi dibawah U.S Army Corps. Perangkat lunak (*software*) ini merupakan bagian dari generasi terbaru dan pengembangan dari program teknik hidrologi sebelumnya. Proyek generasi terbaru ini meliputi beberapa aspek dari teknik hidrologi yaitu :

- Hidrolika sungai
- Simulasi sistem reservoir
- Analisa kerusakan akibat banjir
- Perkiraan waktu riil (*real-time*) sungai untuk pengoperasian reservoir

Program ini didisain untuk melakukan perhitungan secara satu dimensi pada saluran alami dan buatan yang memiliki hubungan/jaringan antara yang satu dengan lainnya.



Gambar 2.5. Jendela utama HEC-RAS

#### 2.4.1 Kemampuan Hec-Ras Versi 3.1.3

Secara garis besar HEC-RAS versi 3.1.3 memiliki kemampuan sebagai berikut :

##### 1. Interaksi dengan pengguna (*user interface*)

Fasilitas ini memberikan kemudahan kepada pengguna untuk berinteraksi dengan HEC-RAS. Adapun fungsi dari fasilitas ini adalah :

- Pengaturan file
- Pemasukan dan pengeditan data
- Analisa hidraulik
- Input dan output data yang disajikan dalam bentuk grafis dan tabulasi
- Bantuan langsung

##### 2. Komponen analisa hidrolis

Komponen analisa program HEC-RAS berupa :

- Profil permukaan air aliran tetap (*steady flow water surface profiles*)
- simulasi permukaan air aliran tidak tetap (*unsteady flow water surface simulation*)
- Transpor sedimen (*sediment transport*)

##### 3. Pengaturan dan penyimpanan file

Data yang dimasukkan pengguna disimpan dalam sebuah file dengan kategori tersendiri pada suatu proyek, perencanaan, geometri, aliran tetap, aliran tidak tetap dan data sedimen.

#### 4. Grafik dan pelaporan

Grafik yang disajikan seperti skema sistem sungai, potongan melintang, kurva nilai, higrograf dan variabel hidrolis lainnya.

Hasil dan input data dapat dicetak dengan fasilitas reporting. Hasil pelaporan dapat dipilih menurut type informasi yang diinginkan.

### 2.4.2 Dasar Teori Perhitungan Aliran Secara Satu Dimensi

#### 2.4.2.1 Profil Permukaan Air Aliran Tetap (*steady flow water surface profile*)

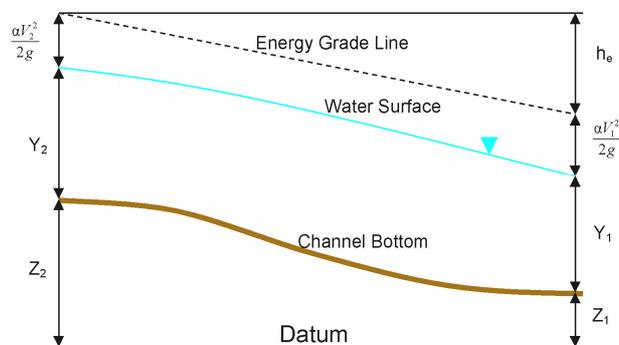
HEC-RAS versi 3.1.3. mampu melakukan perhitungan profil permukaan air secara satu dimensi untuk aliran air yang mengalami variasi yang berangsur-angsur pada saluran alami maupun buatan. Selain itu untuk kondisi dibawah kritis, paling kritis dan gabungan aliran dari profil permukaan air juga dapat dihitung.

#### 2.4.2.2 Persamaan untuk perhitungan profil dasar

Profil permukaan air dihitung dari satu potongan melintang ke potongan melintang lainnya dengan menggunakan persamaan energi

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \dots \dots \dots (2.18)$$

- Dimana :
- $Y_1, Y_2$  = kedalaman air pada potongan melintang
  - $Z_1, Z_2$  = elevasi dari saluran utama
  - $V_1, V_2$  = kecepatan rata-rata
  - $\alpha_1, \alpha_2$  = koefisien pemberatan kecepatan
  - $g$  = kecepatan gravitasi
  - $h_e$  = energi yang hilang



Gambar 2.6. Representasi dari terminologi dalam persamaan energi

Energi yang hilang ( $h_e$ ) antara dua potongan melintang terdiri dari kehilangan akibat gesekan dan perluasan dapat dirumuskan menjadi :

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \dots\dots\dots(2.19)$$

- Dimana :  $L$  = panjang pembebanan  
 $\bar{S}$  = kemiringan friksi diantara dua potongan melintang  
 $C$  = koefisien kehilangan akibat perluasan

Panjang pembebanan ( $L$ ) dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$L = \frac{L_{lob}\bar{Q}_{lob} + L_{ch}\bar{Q}_{ch} + L_{rob}\bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}} \dots\dots\dots(2.20)$$

- Dimana :  $L_{lob}, L_{ch}, L_{rob}$  = panjang jangkauan potongan melintang yang ditetapkan untuk aliran dalam overbank kiri, saluran utama dan overbank kanan.  
 $\bar{Q}_{lob}, \bar{Q}_{ch}, \bar{Q}_{rob}$  = perhitungan rata-rata dari aliran antara bagian-bagian untuk overbank kiri, saluran utama dan overbank kanan.

#### 2.4.2.3 Pembagian Potongan Melintang untuk Perhitungan Conveyance

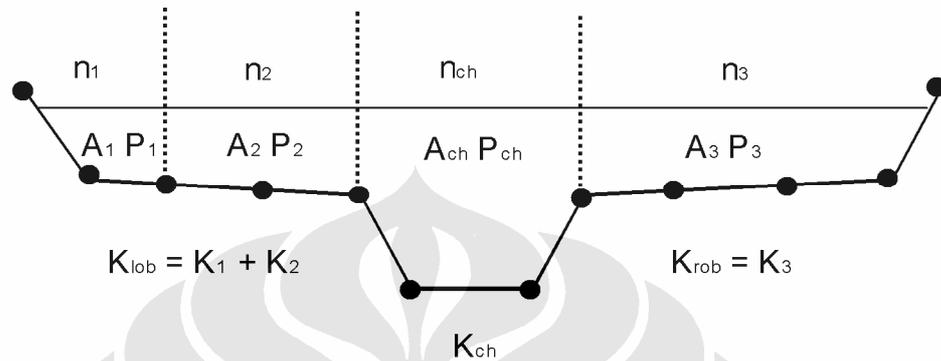
Penentuan dari conveyance total dan koefisien kecepatan pada suatu potongan melintang memerlukan pembagian aliran menjadi unit-unit dimana kecepatan didistribusikan secara seragam. Pendekatan yang digunakan HEC-RAS untuk membagi aliran pada area *overbank* berdasarkan lokasi dimana nilai  $n$  mengalami perubahan.

Conveyance dihitung pada masing-masing bagian dari bentuk berikut berdasarkan persamaan manning

$$Q = KS_f^{1/2} \rightarrow K = \frac{1,486}{n} AR^{2/3} \dots\dots\dots(2.21)$$

- Dimana :  $K$  = conveyance pada masing-masing bagian  
 $n$  = koefisien roughness manning pada masing-masing bagian  
 $A$  = luas aliran untuk masing-masing bagian  
 $R$  = radius hidrolik untuk masing-masing bagian (luas/keliling penampang basah)

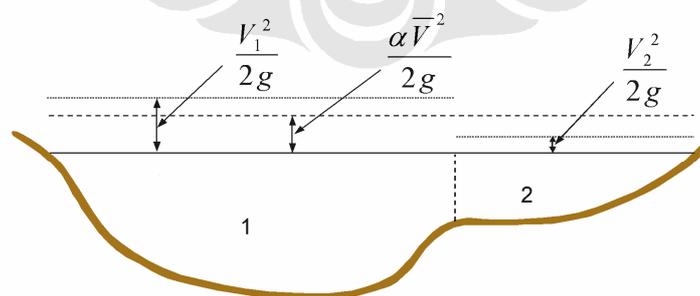
Program akan menjumlahkan semua nilai dari conveyance tambahan dari overbank untuk menghasilkan nilai conveyance untuk overbank kiri dan kanan. Sedangkan untuk saluran utama conveyance secara normal dihitung sebagai elemen conveyance tunggal. Conveyance total dari potongan melintang dihasilkan dengan menjumlahkan tiga bagian conveyance (kiri, saluran dan kanan).



Gambar 2.7. Metode pembagian conveyance menurut HEC-RAS

#### 2.4.2.4 Evaluasi Energi Kinetik Rata-rata

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa HEC-RAS merupakan program yang menghitung profil permukaan air secara satu dimensi, dimana hanya terdapat satu permukaan air. Oleh karenanya energi yang dihitung pada masing-masing potongan melintang hanya ada satu. Untuk mendapatkan sebuah elevasi permukaan air, maka besar energi akibat beban aliran pada tiga bagian (overbank kiri, saluran utama dan overbank kanan) disetiap masing-masing potongan melintang dijumlahkan sehingga dihasilkan energi rata-rata.



Gambar 2.8. Contoh bagaimana energi rata-rata dihasilkan

$V_1$  = kecepatan rata-rata untuk subarea 1

$V_2$  = kecepatan rata-rata untuk subarea 2

Untuk menghitung energi kinetik rata-rata, perlu diketahui koefisien kecepatan pembebanan (alpha). Alpha dapat dihitung sebagai :

Energi kinetik = pembebasan kecepatan beban

$$\alpha = \frac{[Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2 + \dots + Q_N V_N^2]}{Q \bar{V}^2} \dots\dots\dots (2.22)$$

Koefisien kecepatan (alpha) dihitung berdasarkan conveyance pada tiga elemen aliran (overbank kiri, saluran utama dan overbank kanan), sehingga persamaan diatas menjadi :

$$\alpha = \frac{(A_t)^2 \left[ \frac{K_{lob}^3}{A_{lob}^2} + \frac{K_{ch}^3}{A_{ch}^2} + \frac{K_{rob}^3}{A_{rob}^2} \right]}{K_t^3} \dots\dots\dots (2.23)$$

- Dimana :
- $A_t$  = luas aliran total dari potongan melintang
  - $A_{lob}, A_{ch}, A_{rob}$  = luas aliran dari overbank kiri, saluran utama dan overbank kanan
  - $K_t$  = conveyance total dari potongan melintang
  - $K_{lob}, K_{ch}, K_{rob}$  = conveyance dari overbank kiri, saluran utama dan overbank kanan

#### 2.4.2.5 Penentuan Kedalaman Kritis

Untuk kondisi paling kritis, kedalaman kritis secara otomatis akan dihitung untuk setiap potongan melintang, sehingga dimungkinkan untuk dilakukan perbandingan secara langsung antara elevasi seimbang dengan kritis. Kedalaman kritis untuk sebuah potongan melintang akan dapat ditentukan jika beberapa kondisi dibawah ini terpenuhi :

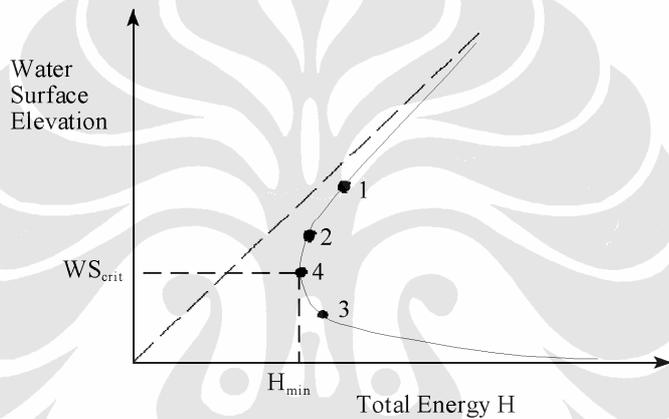
- Aliran paling kritis telah diperoleh
- Perhitungan kedalaman kritis memang disarankan/diinginkan oleh pengguna
- Batasan potongan melintang terluar dan kedalaman kritis perlu ditentukan untuk memastikan kondisi batas yang dimasukkan pengguna adalah benar.
- Membuktikan bahwa adanya hubungan *regime flow* dengan elevasi seimbang.

Total energi yang hilang pada sebuah potongan melintang didefinisikan sebagai :

$$H = WS + \frac{\alpha V^2}{2g} \dots\dots\dots(2.24)$$

Dimana :  $H$  = total energi yang hilang  
 $WS$  = elevasi permukaan air  
 $\frac{\alpha V^2}{2g}$  = kecepatan yang hilang

Elevasi permukaan air kritis adalah elevasi dimana total energi yang hilang sangat kecil (minimum). Elevasi kritis ditentukan dengan prosedur iterasi dimana nilai  $WS$  diasumsikan sesuai dengan nilai  $H$  yang ditentukan dengan persamaan (2.12)



Gambar 2.9. Diagram energi vs elevasi permukaan air

### 2.4.3 Data – Data Dasar Yang Dibutuhkan

Untuk melakukan perhitungan dengan menggunakan program HEC-RAS yang sekarang (versi 3.1.3) dibutuhkan beberapa data yang secara garis besar dapat dikategorikan sebagai berikut : data geometri, data aliran tetap (*steady flow data*), data aliran tidak tetap (*unsteady flow data*) dan data sedimen (belum tersedia).

#### 2.4.3.1 Data Geometri

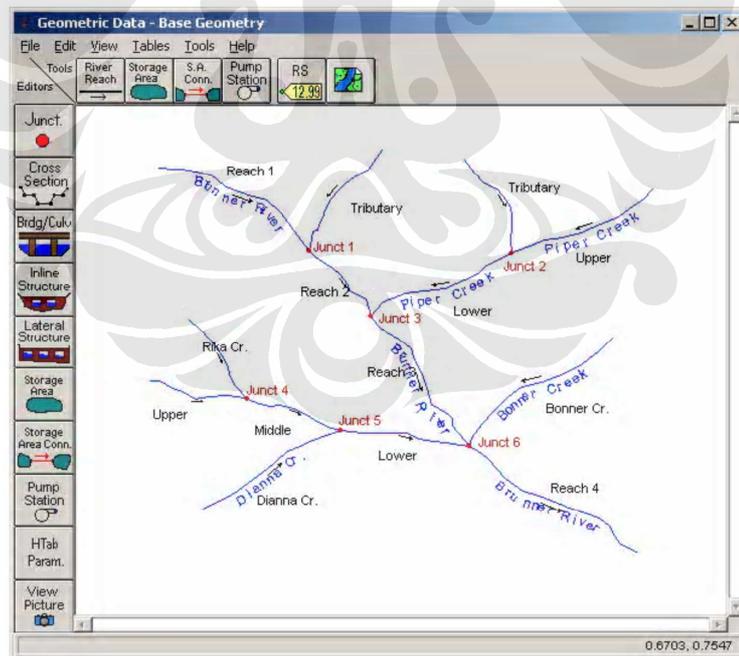
Data geometri menggambarkan hubungan dari sistem sungai secara skematis. Data tersebut berupa potongan melintang dari suatu sungai atau saluran,

panjang sungai atau saluran, koefisien energi yang hilang akibat gesekan (*friksi*) maupun akibat perluasan (ekspansi) dan data informasi mengenai simpangan arus.

#### 2.4.3.2 Skema Sistem Sungai

Skema sistem sungai diperlukan untuk penentuan berbagai data geometri lainnya dalam sistem HEC-RAS. Skema menggambarkan bagaimana berbagai laju aliran sungai dihubungkan. Skema dari suatu sistem sungai dikembangkan melalui penggambaran dan menghubungkan berbagai laju aliran kedalam pengeditan data geometri. Skema sistem sungai ini harus dibuat sebelum data-data lainnya dapat dimasukkan.

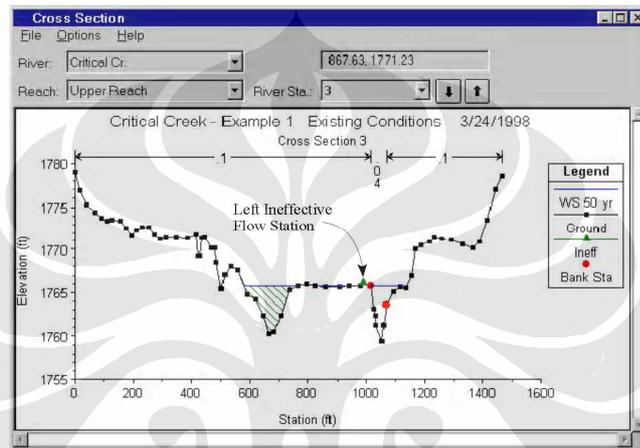
Hubungan dari setiap laju aliran (arus) sangat penting dalam permodelan, sehingga dapat diketahui bagaimana proses perhitungan yang harus dilakukan. Hubungan dari laju aliran ini ditandai dengan adanya suatu simpangan (*junction*). Simpangan hanya ditetapkan pada lokasi dimana dua arus yang terpisah menyatu pada suatu titik pertemuan.



Gambar 2.10. Skema sistem sungai

### 2.4.3.3 Geometri Potongan Melintang

Batas geometri dalam analisa aliran sungai alami adalah profil permukaan tanah (potongan melintangnya) dan besar jarak antara keduanya. Potongan melintang dibutuhkan untuk mengetahui dan menampilkan perubahan yang terjadi pada suatu saluran atau sungai seperti kemiringan, bentuk atau roughness. Selain itu potongan melintang digunakan untuk menganalisa dampak dari kondisi lokal pada kedalaman aliran rendah, studi sedimentasi dan penentuan penempatan reservoir.



Gambar 2.11. Potongan melintang suatu sungai

Data yang diperlukan untuk menentukan potongan melintang dari suatu sungai yaitu panjang dari laju aliran dibagian hilir, koefisien roughness dan koefisien perluasan (*expansion*).

### 2.4.3.4 Koefisien kehilangan Energi (*Energi Losses Coefficients*)

Ada beberapa koefisien kehilangan yang digunakan program untuk mengevaluasi kehilangan energi yaitu :

- Nilai Mannings (n) atau sama dengan nilai Roughness (k)

Pemilihan nilai manning yang sesuai sangat penting dan sangat berpengaruh terhadap profil permukaan air yang dihitung. Koefisien manning merupakan variabel yang bergantung pada kekasaran permukaan, vegetasi, ketidakberaturan saluran, alinyemen saluran, ukuran dan bentuk saluran, temperatur, hambatan, perubahan musim dan lainnya.

Tabel 2.9. Koefisien Manning (n)

Type of Channel and Description	Minimum	Normal	Maximum
<i>A. Natural Streams</i>			
<b>1. Main Channels</b>			
a. Clean, straight, full, no rifts or deep pools	0.025	0.030	0.033
b. Same as above, but more stones and weeds	0.030	0.035	0.040
c. Clean, winding, some pools and shoals	0.033	0.040	0.045
d. Same as above, but some weeds and stones	0.035	0.045	0.050
e. Same as above, lower stages, more ineffective slopes and sections	0.040	0.048	0.055
f. Same as "d" but more stones	0.045	0.050	0.060
g. Sluggish reaches, weedy, deep pools	0.050	0.070	0.080
h. Very weedy reaches, deep pools, or floodways with heavy stands of timber and brush	0.070	0.100	0.150
<b>2. Flood Plains</b>			
a. Pasture no brush			
1. Short grass	0.025	0.030	0.035
2. High grass	0.030	0.035	0.050
b. Cultivated areas			
1. No crop	0.020	0.030	0.040
2. Mature row crops	0.025	0.035	0.045
3. Mature field crops	0.030	0.040	0.050
c. Brush			
1. Scattered brush, heavy weeds	0.035	0.050	0.070
2. Light brush and trees, in winter	0.035	0.050	0.060
3. Light brush and trees, in summer	0.040	0.060	0.080
4. Medium to dense brush, in winter	0.045	0.070	0.110
5. Medium to dense brush, in summer	0.070	0.100	0.160
d. Trees			
1. Cleared land with tree stumps, no sprouts	0.030	0.040	0.050
2. Same as above, but heavy sprouts	0.050	0.060	0.080
3. Heavy stand of timber, few down trees, little undergrowth, flow below branches	0.080	0.100	0.120
4. Same as above, but with flow into branches	0.100	0.120	0.160
5. Dense willows, summer, straight	0.110	0.150	0.200
<b>3. Mountain Streams, no vegetation in channel, banks usually steep, with trees and brush on banks submerged</b>			
a. Bottom: gravels, cobbles, and few boulders	0.030	0.040	0.050
b. Bottom: cobbles with large boulders	0.040	0.050	0.070

Tabel 2.9. Koefisien Manning n (lanjutan)

Type of Channel and Description	Minimum	Normal	Maximum
<i>B. Lined or Built-Up Channels</i>			
<b>1. Concrete</b>			
a. Trowel finish	0.011	0.013	0.015
b. Float Finish	0.013	0.015	0.016
c. Finished, with gravel bottom	0.015	0.017	0.020
d. Unfinished	0.014	0.017	0.020
e. Gunite, good section	0.016	0.019	0.023
f. Gunite, wavy section	0.018	0.022	0.025
g. On good excavated rock	0.017	0.020	
h. On irregular excavated rock	0.022	0.027	
<b>2. Concrete bottom float finished with sides of:</b>			
a. Dressed stone in mortar	0.015	0.017	0.020
b. Random stone in mortar	0.017	0.020	0.024
c. Cement rubble masonry, plastered	0.016	0.020	0.024
d. Cement rubble masonry	0.020	0.025	0.030
e. Dry rubble on riprap	0.020	0.030	0.035
<b>3. Gravel bottom with sides of:</b>			
a. Formed concrete	0.017	0.020	0.025
b. Random stone in mortar	0.020	0.023	0.026
c. Dry rubble or riprap	0.023	0.033	0.036
<b>4. Brick</b>			
a. Glazed	0.011	0.013	0.015
b. In cement mortar	0.012	0.015	0.018
<b>5. Metal</b>			
a. Smooth steel surfaces	0.011	0.012	0.014
b. Corrugated metal	0.021	0.025	0.030
<b>6. Asphalt</b>			
a. Smooth	0.013	0.013	
b. Rough	0.016	0.016	
<b>7. Vegetal lining</b>	0.030		0.500

Meskipun banyak faktor yang mempengaruhi pemilihan nilai  $n$ , namun menurut Cowan nilai tersebut dapat dihitung dengan menggunakan

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m \dots\dots\dots(2.25)$$

Dimana :  $n_b$  = nilai dasar  $n$  berdasarkan aliran lurus dan seragam, kehalusan saluran dengan material alami

- $n_1$  = untuk permukaan yang tidak beraturan
- $n_2$  = variasi nilai berdasarkan bentuk dan ukuran saluran
- $n_3$  = nilai akibat hambatan (obstruction)
- $n_4$  = nilai untuk vegetasi dan kondisi aliran
- $m$  = faktor koreksi untuk saluran yang berliku-liku

Tabel 2.9. Koefisien Manning  $n$  (lanjutan)

Type of Channel and Description	Minimum	Normal	Maximum
<i>C. Excavated or Dredged Channels</i>			
<b>1. Earth, straight and uniform</b>			
a. Clean, recently completed	0.016	0.018	0.020
b. Clean, after weathering	0.018	0.022	0.025
c. Gravel, uniform section, clean	0.022	0.025	0.030
d. With short grass, few weeds	0.022	0.027	0.033
<b>2. Earth, winding and sluggish</b>			
a. No vegetation	0.023	0.025	0.030
b. Grass, some weeds	0.025	0.030	0.033
c. Dense weeds or aquatic plants in deep channels	0.030	0.035	0.040
d. Earth bottom and rubble side	0.028	0.030	0.035
e. Stony bottom and weedy banks	0.025	0.035	0.040
f. Cobble bottom and clean sides	0.030	0.040	0.050
<b>3. Dragline-excavated or dredged</b>			
a. No vegetation	0.025	0.028	0.033
b. Light brush on banks	0.035	0.050	0.060
<b>4. Rock cuts</b>			
a. Smooth and uniform	0.025	0.035	0.040
b. Jagged and irregular	0.035	0.040	0.050
<b>5. Channels not maintained, weeds and brush</b>			
a. Clean bottom, brush on sides	0.040	0.050	0.080
b. Same as above, highest stage of flow	0.045	0.070	0.110
c. Dense weeds, high as flow depth	0.050	0.080	0.120
d. Dense brush, high stage	0.080	0.100	0.140

Sumber : User manual of HEC-RAS

Untuk nilai  $k$  (*Roughness value*) sangat berpengaruh pada nilai  $C$  (koefisien roughness chezy). Sesuai dengan persamaanya :

$$C = 32,6 \log_{10} \left[ \frac{12,2R}{k} \right] \dots\dots\dots (2.26)$$

Dimana :  $C$  = koefisien rougness chezy  
 $R$  = radius hidrolik  
 $K$  = ekivalen roughness

Tabel 2.10. Nilai Koefisien Roughness berdasarkan material

	<b>k (Feet)</b>
Brass, Cooper, Lead, Glass	0.0001 - 0.0030
Wrought Iron, Steel	0.0002 - 0.0080
Asphalted Cast Iron	0.0004 - 0.0070
Galvanized Iron	0.0005 - 0.0150
Cast Iron	0.0008 - 0.0180
Wood Stave	0.0006 - 0.0030
Cement	0.0013 - 0.0040
Concrete	0.0015 - 0.0100
Drain Tile	0.0020 - 0.0100
Riveted Steel	0.0030 - 0.0300
Natural River Bed	0.1000 - 3.0000

- Koefisien penyempitan dan perluasan

Nilai maksimum untuk koefisien penyempitan dan perluasan adalah satu. Secara umum koefisien penyempitan dan perluasan harus lebih rendah dari nilai aliran super kritisnya

Tabel 2.11. nilai Koefisien penyempitan dan perluasan

	<b>Contraction</b>	<b>Expansion</b>
No transition loss computed	0.0	0.0
Gradual transitions	0.1	0.3
Typical Bridge sections	0.3	0.5
Abrupt transitions	0.6	0.8

*Sumber : Users Manual of HEC-RAS*

#### **2.4.4 Data Aliran Tetap (*Steady Flow Data*)**

untuk aliran tetap data yang dibutuhkan adalah ; regime aliran, kondisi batas dan debit puncak

#### **2.4.5 Data Aliran Tidak Tetap (*Unsteady Flow Data*)**

Aliran tidak tetap membutuhkan data yang tidak jauh berbeda dengan aliran tetap hanya saja ada dua kondisi batas yaitu external dan internal.

