

628.112
pu2
2 a



ANALISIS KOEFISIEN KEKASARAN SUNGAI DI SUNGAI BERINGIN

TESIS

**Disusun Dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Program Magister Teknik Sipil**

Oleh :

NUGROHO JOKO PURWANTO

L4A 098 031

**PROGRAM PASCA SARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG**

2002

HALAMAN PENGESAHAN

*Analisis Koefisien Kekasaran Sungai
di Sungai Beringin*



PROGRAM PASCA SARJANA TEKNIK SIPIL UNDIP

LEMBAR PENGESAHAN

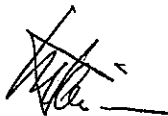
ANALISIS KOEFISIEN KEKASARAN SUNGAI DI SUNGAI BERINGIN

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk
memperoleh gelar Magister Teknik Sipil

Disusun oleh :

Nugroho Joko Purwanto
NIM : L4A098031

Pembimbing Utama



Dr. Ir. Maryono Bony, M.Eng

Pembimbing Pendamping



Ir. Sri Sangkawati, MS

LEMBAR PENGESAHAN
ANALISIS KOEFISIEN KEKASARAN SUNGAI
DI SUNGAI BERINGIN

Diajukan Oleh:

Nugroho Joko Purwanto
L4A098031

Dipertahankan di depan Tim Penguji pada tanggal :

24 September 2002

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk
memperoleh gelar Magister Teknik Sipil

Tim Penguji:

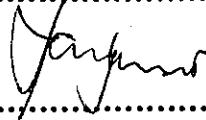
Ketua :

Dr. Ir. Maryono Bony, M.Eng.



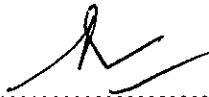
Sekretaris :

Ir. Sri Sangkawati, MS.

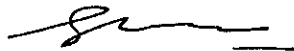


Anggota :

1. Dr. Ir. Suripin, M. Eng.



2. Ir. Sugiyanto, M. Eng.



3. Ir. Pranoto S.A., MT.



Semarang, 24 September 2002

Universitas Diponegoro Semarang

Program Pasca Sarjana
Magister Teknik Sipil



Dr. Ir. Suripin, M. Eng.

HALAMAN PERSEMBAHAN

*Analisis Koefisien Kekasaran Sungai
di Sungai Beringin*



PROGRAM PASCA SARJANA TEKNIK SIPIL UNDIP

*“ Orang Bijaksana Akan Menjadi Majikan Dari Pikirannya,
Orang Bodoh Akan Menjadi Budaknya..... ”*

“ Every Effort Has Own Reward..... ”

KATA PENGANTAR

*Analisis Koefisien Kekasaran Sungai
di Sungai Beringin*



PROGRAM PASCA SARJANA TEKNIK SIPIL UNDIP

KATA PENGANTAR

Assalammu'alaikum Wr. Wb.

Puji Syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena atas rahmatNya penulis dapat menyelesaikan penulisan tesis ini.

Tesis ini disusun guna memenuhi salah satu syarat akademik Program Pasca Sarjana Jurusan Teknik Sipil Pengelolaan Sumber Daya Air, Universitas Diponegoro Semarang.

Dalam kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih yang setulusnya kepada :

1. Bapak (Alm.) Prof. Ir Sudiro selaku Mantan Ketua Program S2 Teknik Sipil UNDIP atas dorongan serta bimbingannya.
2. Bapak Dr. Ir. Suripin, M.Eng, selaku Ketua Program S2 Teknik Sipil UNDIP atas kesediaan, dorongan, serta bimbingannya sehingga terselesaikannya tesis ini.
3. Bapak Ir. Sugiyanto, M.Eng, selaku Pembahas penulisan tesis.
4. Bapak Ir. Pranoto S.A., MT., selaku Pembahas penulisan tesis.
5. Bapak Dr. Ir. Maryono Bony, M.Eng, selaku Pembimbing Utama.
6. Ibu Ir. Sri Sangkawati, MS selaku Pembimbing Pendamping.
7. Bapak Dr. Ir. Robert J. Kodoatie, M.Eng. atas saran dan arahan penulisan tesis ini.
8. Staf Dosen S-2, Pengelolaan Sumber Daya Air serta semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tesis ini.
9. Teman-teman seangkatan Program S-2 PSDA, atas kerja sama dan bantuannya selama mengikuti pendidikan di Universitas Diponegoro Semarang.

Pada kesempatan ini, penulis tidak lupa juga mengucapkan banyak terima kasih kepada Isteri dan anakku tercinta serta seluruh keluarga atas dorongan, pengorbanan dan do'anya sehingga dapat menyelesaikan tesis ini. Terima kasih juga disampaikan kepada berbagai pihak yang namanya tidak dapat disebutkan satu persatu di sini yang telah memberikan bantuan baik secara langsung maupun tidak langsung.

Seperti kata pepatah tak ada gading yang tak retak, penulis juga menyadari bahwa tesis ini masih belum sempurna, baik isi maupun penyajiannya, karenanya penulis sangat mengharapkan kritik dan saran-saran dari pembaca untuk menuju penyempurnaannya.

Akhirnya semoga tesis ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua dan dapat dipakai sebagai bahan dari penelitian selanjutnya.

Wassalammu'alaikum Wr. Wb.

Semarang, 24 September 2002

Penulis

ABSTRACT

*Analisis Koefisien Kekasaran Sungai
di Sungai Beringin*



PROGRAM PASCA SARJANA TEKNIK SIPIL UNDIP

ABSTRACT

A channel roughness coefficient is one of the important factors in determining a river dimension. Inaccuracy in determining roughness coefficient would produce in proper river design.

So far many roughness value (n) studies had been carried out by many experts, such as *Antoine Chezy*, *Ganguillet* and *Kutter*, *H. Bazin*, *Ralph W. Powell*, *Woody L. Cowan*, and *Robert Manning*, who finally produced well-known formulae as used until now. However, general application of those formulae are not simple, since each formulae gives different n value for the same case. Therefore, it is needed to carried out study to determine the appropriate formula for a certain river.

Roughness coefficient values along the river are varied. It is dependend on many factors such as the irregular form of river, the change of the land use, the urbanization, the erosion, and the sedimentation. Those factors are deeply influencing the channel roughness coefficient value. This research is aimed to choose one of three formulae e.g. *Manning*, *Ganguillet-Kutter*, and *Bazin*. The chosen formula is considered as an acceptable formula to establish the river roughness coefficient value (n).

The study is carried out using secondary data, which has been validated and verified by using *Kolmogorov-Smirnov Test*. The correlation among variables are tested by *Pearson Correlation* instrument. The roughness coefficient n is then calculated by mean of *Manning*, *Ganguillet-Kutter* and *Bazin* formulae. The calculated n from each formulae is than compared to the validated n data to find out n - value ratio, deviation, and V - n curve, both for rivers in Indonesia and river all over the world.

The result shows that among the three formulae, the *Manning* formula $n = V^{-1} R^{2/3} S^{1/2}$ is the most acceptable formula in Beringin River which the average deviation is only 15.214 %. The average of the n value for upstream is 0.0392, middlestream is 0.0281, and downstream is 0.0330. Visually, based on *Cowan's* formula and *Horton* table system, the average are 0.0375 and 0.0400 respectively.

ABSTRAKSI

*Analisis Koefisien Kekasaran Sungai
di Sungai Beringin*



PROGRAM PASCA SARJANA TEKNIK SIPIL UNDIP

ABSTRAKSI

Koefisien kekasaran sungai merupakan salah satu faktor penting yang diperlukan dalam menentukan dimensi suatu sungai. Ketidaktepatan dalam penentuan koefisien kekasaran sungai akan menghasilkan desain sungai yang kurang tepat.

Studi nilai kekasaran sudah banyak dilakukan beberapa ahli, antara lain *Antoine Chezy, Ganguillet dan Kutter, H. Bazin, Ralph W. Powell, Woody L. Cowan, dan Robert Manning*, mereka masing-masing menemukan rumus-rumus yang dikenal dan banyak digunakan sampai sekarang.

Penggunaan secara umum rumus-rumus tersebut tidaklah mudah karena masing-masing rumus akan memberikan hasil yang berbeda. Oleh karena itu perlu dilakukan kajian untuk menentukan rumus yang paling dapat digunakan pada suatu sungai.

Pada dasarnya nilai koefisien kekasaran sepanjang sungai adalah bervariasi. Hal ini tergantung pada beberapa faktor diantaranya ketidakteraturan sungai, perubahan tata guna lahan, urbanisasi, erosi, dan sedimentasi yang kesemuanya sangat mempengaruhi nilai koefisien kekasaran dari sungai yang bersangkutan. Dalam penelitian ini bertujuan untuk memilih dari ketiga rumus, yaitu rumus *Manning, Ganguillet - Kutter, dan Bazin*. Pemilihan rumus ini adalah mempertimbangkan rumus yang dapat digunakan untuk memprediksi nilai koefisien kekasaran (n) sungai.

Penelitian ini menggunakan data sekunder, dimana data yang tersedia diuji validitas dan diuji verifikasi dengan Tes *Kolmogorov-Smirnov*. Selanjutnya dilakukan uji korelasi dengan *Korelasi Pearson*. Nilai koefisien kekasaran n dihitung dengan ketiga rumus tersebut. Koefisien n terhitung dari masing-masing rumus n dibandingkan dengan n data untuk memperoleh nisbah n , prosentase penyimpangan, hubungan $V-n$, baik sungai-sungai di Indonesia maupun sungai di dunia. Hasil analisis menunjukkan bahwa diantara ketiga rumus tersebut di atas, Rumus *Manning* $n = V^{-1} R^{2/3} S^{1/2}$ adalah yang lebih mendekati benar dengan rata-rata penyimpangan hanya 15,214 %. Rata-rata nilai n Manning di hulu 0,0392, tengah 0,0281, dan hilir 0,0330. Secara visual berdasarkan rumus *Cowan* dan sistem tabel *Horton*, rata-ratanya adalah 0,0375 dan 0,0400.

DAFTAR ISI

*Analisis Koefisien Kekasaran Sungai
di Sungai Beringin*



PROGRAM PASCA SARJANA, TEKNIK SIPIL UNDIP

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	ii
Halaman Persembahan	iii
Kata Pengantar	iv
Abstract	vi
Absraksi	vii
Daftar Isi	viii
Daftar Gambar	ix
Daftar Tabel	x
Daftar Notasi	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Permasalahan.....	1
1.2. Pokok Permasalahan.....	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	5
1.4. Manfaat Penelitian.....	5
1.5. Pembatasan Permasalahan.....	5
1.6. Diagram Alir Penulisan Tesis.....	6
1.7. Sistematika Penulisan.....	7
BAB II KAJIAN PUSTAKA	9
2.1. Saluran.....	9
2.2. Aliran.....	9
2.3. Rumus Chezy.....	13
2.4. Penentuan Faktor Hambatan Chezy.....	15
A. Rumus Ganguillet-Kutter.....	15
B. Rumus Basin.....	17
C. Rumus Powell.....	18
2.5. Rumus Manning.....	20

2.6. Konsep Kekasaran Permukaan.....	21
2.7. Tafsiran Teoritis Terhadap Koefisien Kekasaran.....	25
2.8. Metode Penentuan Koefisien Kekasaran Manning.....	26
A. Metode Pengukuran Kecepatan.....	26
B. Metode Pengukuran Kekasaran	29
2.9. Pendekatan Dalam Penentuan Koef. Kekasaran Dasar Sungai... 31	
2.10. Faktor yang Mempengaruhi Koefisien Kekasaran Sungai	31
A. Kekasaran Permukaan.....	31
B. Tetumbuhan.....	32
C. Ketidakteraturan Saluran.....	32
D. Trase Alur Saluran.....	32
E. Pengendapan dan Penggerusan.....	33
F. Hambatan.....	33
G. Ukuran dan Bentuk Saluran.....	33
H. Taraf Air dan Debit.....	34
I. Perubahan Musiman	36
J. Endapan Melayang dan Endapan Dasar.....	36
2.11. Pendekatan secara Visual Penentuan Koef. Kekasaran Sungai. 38	
A. Dengan Persamaan Cowan.....	38
B. Sistem Tabel.....	38
2.12. Verifikasi dan Korelasi.....	40

BAB III	METODOLOGI PENELITIAN.....	41
3.1.	Diagram Alir Pembuatan Tesis.....	41
3.2.	Asumsi.....	42
3.3.	Metode Penelitian.....	42
3.3.1.	Inventarisasi Data.....	42
3.3.2.	Chek Validitas (Verifikasi).....	42
3.3.3.	Uji Korelasi.....	43
3.3.4.	Menghitung Nilai n Sungai-sungai di Indonesia & dunia..	43

A. Menghitung n dengan Rumus Manning.....	43
B. Menghitung n dengan Rumus Ganguillet-Kutter.....	44
C. Menghitung n dengan Rumus Bazin.....	44
3.3.5. Menghitung Nilai Rasio n hitung / n data.....	44
3.3.6. Menghitung Nilai Prosentase Penyimpangan.....	45
3.3.7. Membuat Kurva Hubungan V dengan n.....	45
3.3.8. Membuat Grafik Double Plot n hitung / n data.....	46
3.3.9. Rumus yang dapat diterima /Acceptability.....	46

BAB IV ANALISIS PENENTUAN RUMUS KEKASARAN SUNGAI... 48

4.1. Inventarisasi Data.....	48
4.2. Nilai Kekasaran “n”.....	48
4.3. Nilai Rasio n hitung / n data.....	50
4.4. Nilai Prosentase Penyimpangan.....	51
4.5. Kurva Hubungan V dengan n.....	52
A. Sungai-sungai di Indonesia.....	52
B. Sungai-sungai di dunia.....	53
4.6. Grafik Double Plot n hitung/n data.....	54
4.7. Pemilihan Rumus yang dapat diterima/ Acceptable.....	56
4.7.1. Cara Pemilihan.....	56
4.7.2. Rumus yang dapat diterima (Acceptable)	57

BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN KOEFISIEN KEKASARAN SUNGAI BERINGIN 60

5.1. Inventarisasi Data Sungai Beringin.....	60
5.2. Chek Validitas Data.....	60
5.2.1. Pengambilan Keputusan.....	60
5.2.2. Keputusan.....	61
5.3. Uji Korelasi.....	62
5.3.1. Analisis.....	62
5.3.2. Keputusan.....	63

5.4. Perhitungan Variabel Hidrolik.....	66
5.5. Penentuan Nilai n S. Beringin dengan Rumus yang Acceptable	67
5.6. Penentuan Nilai n Sungai Beringin secara Visual.....	70
A. Dengan Persamaan Cowan.....	70
B. Sistem Tabel.....	72
5.7. Pembahasan.....	74
5.3.1. Faktor-faktor hidrolik sungai.....	74
5.3.2. Nilai Kekasaran Sungai.....	75
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	78
6.1. Kesimpulan.....	78
6.2. Saran dan Rekomendasi.....	79
DAFTAR PUSTAKA.....	80
LAMPIRAN I A	
LAMPIRAN I B	
LAMPIRAN II A	
LAMPIRAN II B	
LAMPIRAN III A	
LAMPIRAN III B	
LAMPIRAN IV A	
LAMPIRAN IV B	
LAMPIRAN V	

DAFTAR GAMBAR

*Analisis Koefisien Kekasaran Sungai
di Sungai Beringin*



PROGRAM PASCA SARJANA TEKNIK SIPIL UNDIP

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Skema Saluran bentuk trapesium	10
Gambar 2.2.	Penurunan Rumus Chezy Aliran Seragam Sal. Terbuka	15
Gambar 2.3.	Pemecahan Secara Grafis Rumus Ganguillet - Kutter	16
Gambar 2.4.	Penyelesaian nomogram Rumus Manning	21
Gambar 2.5.	Sifat Kekasaran Permukaan	21
Gambar 2.6.	Sketsa Konsep Ketiga Jenis Aliran Permukaan Kasar	24
Gambar 2.7.	Fungsi (R/k)	26
Gambar 2.8.	Hubungan antara $(R/k_{65})^{1/3}$ dan k_{35}/RS	30
Gambar 2.9.	Variasi nilai n pada taraf air rata-rata atau debit rata-rata	35
Gambar 3.1.	Diagram Alir Pembuatan Tesis	41
Gambar 4.1.	Grafik V dan n (Manning, Bazin, G-Kutter) Sungai Ina.	53
Gambar 4.2.	Grafik V dan n (Manning, Bazin, G-Kutter) Sungai dunia	53
Gambar 4.3.	Double Plot n Manning dg n data Sungai di Indonesia	54
Gambar 4.4.	Double Plot n Bazin dg n data Sungai di Indonesia	54
Gambar 4.5.	Double Plot n G-Kutter dg n data Sungai di Indonesia	55
Gambar 4.6.	Double Plot n Manning dg n data Sungai di dunia	55
Gambar 4.7.	Double Plot n Bazin dg n data Sungai di dunia	55
Gambar 4.8.	Double Plot n G-Kutter dg n data Sungai di dunia	56
Gambar 5.1.	Kurva Normal P-P Plot of V	62
Lampiran I A	Peta S. Beringin	
Lampiran I A	Kondisi Eksisting S. Beringin dan Letak Stasioning	
Lampiran IV B	Gambar Grafik Hubungan nilai V dan n Sungai Beringin	

DAFTAR TABEL

*Analisis Koefisien Kekasaran Sungai
di Sungai Beringin*



PROGRAM PASCA SARJANA TEKNIK SIPIL UNDIP

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Perbandingan Nilai m (Bazin) dan n (G-Kutter)	17
Tabel 2.2.	Nilai e Powell	19
Tabel 2.3.	Taksiran Nilai Tinggi Kekasaran k untuk berbagai material	23
Tabel 2.4.	Penentuan Nilai Kekasaran n menurut Woody L. Cowan (41)	37
Tabel 2.5.	Estimasi Nilai Koefisien Kekasaran	39
Tabel 4.1.	Nilai Kekasaran n Sungai-sungai di Indonesia	49
Tabel 4.2.	Nilai Kekasaran n Sungai-sungai di dunia	49
Tabel 4.3.	Nilai Rasio Kekasaran n hitung/ n data Sungai di Indonesia	50
Tabel 4.4.	Nilai Rasio Kekasaran n hitung/ n data Sungai di dunia	51
Tabel 4.5.	Nilai % Penyimpangan n hitung terhadap n data sungai Indonesia	51
Tabel 4.6.	Nilai % Penyimpangan n hitung terhadap n data sungai di dunia	52
Tabel 5.1.	Contoh Uji Validitas Data Variabel V	61
Tabel 5.2.	Tabel Korelasi V dan n Sungai Beringin	63
Tabel 5.3.	Tabel Korelasi Q dan n Sungai Beringin	64
Tabel 5.4.	Tabel Korelasi Seluruh Variabel Hidrolik Sungai Beringin	65
Tabel 5.5.	Tabel Data Sungai Beringin	68
Tabel 5.6.	Tabel Data P , R , dan n hitung S . Beringin.	69
Tabel 5.7.	Nilai % Penyimpangan n hitung terhadap n data Sungai Beringin	70
Tabel 5.8.	Nilai n S . Beringin secara Visual	73
Lampiran IB	Daftar Tes Laboratorium	
Lampiran IB	Data Tes Bor Tanah	
Lampiran IIA	Data Faktor Hidrolik Sungai-sungai di Indonesia	
Lampiran IIB	Hasil Perhitungan nilai n dari Sungai-sungai di Indonesia	
Lampiran IIIA	Data Faktor Hidrolik Sungai-sungai di dunia	
Lampiran IIIB	Hasil Perhitungan nilai n dari Sungai-sungai di dunia	
Lampiran IVA	Data Faktor Hidrolik Sungai Beringin	
Lampiran IVB	Hasil Perhitungan nilai n dari Sungai Beringin	
Lampiran V	Hasil Uji Normalitas Data	

DAFTAR NOTASI

*Analisis Koefisien Kekasaran Sungai
di Sungai Beringin*



PROGRAM PASCA SARJANA TEKNIK SIPIL UNDIP

DAFTAR NOTASI

A	=	luas penampang melintang
b	=	lebar dasar saluran
C	=	koefisien ruahan (debit) dan Chezy kecepatan rambat gelombang
D	=	kedalaman hidrolis saluran
f	=	gaya gesek
g	=	percepatan yang disebabkan oleh gravitasi
h	=	kedalaman aliran
h_c	=	kedalaman kritis
h_n	=	kedalaman normal aliran
K	=	faktor angkutan saluran
k_s	=	kekasaran butiran pasir yang sepadan
L	=	panjang saluran
m	=	nilai kekasaran dari Bazin
n	=	koefisien kekasaran dari Manning
n_0	=	nilai dasar n menurut bahan alamiah pembentuk sungai
n_1	=	nilai yang ditambahkan sebagai efek ketidakteraturan permukaan
n_2	=	nilai yang ditambahkan sebagai efek variasi bentuk penampang
n_3	=	nilai yang ditambahkan sebagai efek hambatan
n_4	=	nilai yang ditambahkan sebagai efek tetumbuhan
m_5	=	faktor koreksi belokan
P	=	keliling basah saluran
Q	=	debit (ruahan)
Q_s	=	muatan sedimen melayang
Q_b	=	muatan dasar
q	=	debit (ruahan) per satuan lebar
qx	=	debit (ruahan) pada bagian penampang x
R	=	radius hidrolis saluran
Re	=	bilangan Reynold
S	=	kamiringan memanjang

S_c	=	kemiringan kritis
S_o	=	kemiringan dasar saluran
T	=	lebar saluran
V	=	kecepatan rata-rata melalui penampang
V_f	=	kecepatan gesek
ν	=	kekentalan kinetis
w	=	lebar atas saluran
x	=	koreksi untuk kekentalan ,jarak pada arah aliran
y	=	tinggi di atas dasar saluran
z	=	kemiringan sisi; tinggi di atas bidang persamaan
Z_1	=	faktor penampang untuk perhitungan aliran seragam
Z	=	faktor penampang untuk perhitungan aliran kritis
α	=	faktor koreksi energi
β	=	faktor koreksi momentum
δ	=	ketebalan lapisan batas
δ'	=	ketebalan sub-lapisan laminar
ρ	=	massa jenis fluida
μ	=	kekentalan dinamis
ν	=	kekentalan kinernatis
τ	=	tegangan geser
τ_c	=	tegangan geser kritis

BAB I

Pendahuluan

*Analisis Koefisien Kekasaran Sungai
di Sungai Beringin*



PROGRAM PASCA SARJANA TEKNIK SIPIL UNDIP

UPT-PUSTAK-UNDIP

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG PERMASALAHAN

Koefisien kekasaran sungai merupakan salah satu faktor penting yang diperlukan dalam perencanaan dimensi suatu sungai, di samping faktor-faktor yang lain. Ketidaktepatan dalam penentuan koefisien kekasaran sungai akan mempengaruhi besaran debit yang berakibat hasil perencanaan yang kurang tepat.

Dalam perencanaan suatu dimensi sungai, perlu ditentukan faktor koefisien kekasaran sungai dengan hati-hati, karena ketidaktepatan di dalam penentuan faktor tersebut akan mempengaruhi hasil perencanaan secara keseluruhan.

Menurut *Woody L. Cowan* (34) dan *Ven Te Chow* (4), perubahan morfologi suatu sungai berpengaruh terhadap nilai koefisien kekasaran dan fungsi sungai tersebut. Sungai Beringin yang merupakan lokasi penelitian yang pada awalnya mempunyai karakteristik di bagian hulu lebih lebar dibanding bagian hilirnya, kondisi seperti ini biasanya sesuai dengan sungai yang berfungsi sebagai irigasi. Sejalan dengan pesatnya perkembangan Kota Semarang, alur sungai tersebut berubah fungsi menjadi limpahan dari aliran – aliran sungai kecil disekitarnya sehingga berubah menjadi drainase kota,

dimana biasanya sungai yang berfungsi sebagai drainase mempunyai karakteristik dibagian hulu lebih sempit dibanding hilir. Dengan alasan tersebut diperlukan langkah normalisasi kondisi sungai, sehingga bagian sungai di dekat hilir (muara) dapat berfungsi sebagai drainase kota. Untuk keperluan mendimensi Sungai Beringin diperlukan data koefisien kekasaran (n) sungai, sehingga koefisien kekasaran (n) Sungai Beringin perlu dikaji.

Kajian tentang nilai kekasaran sungai (n) sudah banyak dilakukan oleh ahli-ahli dari luar negeri, diantaranya yang cukup penting dan terkenal yaitu :

- Menurut *M.C. Boyer* (1954), *Boris* dan *Nicholas* (1943), *O' Brien* (1937), dan *Langbein* (1940), bahwa kecepatan aliran suatu saluran sangat dipengaruhi oleh koefisien kekasaran dan tinggi kekasaran sungai, sehingga hubungan antara kecepatan aliran dengan koefisien kekasaran dapat digunakan sebagai sarana kajian dalam meneliti besarnya nilai koefisien kekasaran sungai.
- Pendekatan rumus *Manning*, dengan rumus *Prandtl-van Karman*, rumus *Ganguillet-Kutter*, dan rumus *Bazin*, menurut *Boris Bakhmeteff* dan *Nicholas Feodoroff* (3) adalah sesuai bila digunakan untuk penelitian nilai koefisien kekasaran sungai.
- *Ivan E. Houk* (16) membandingkan variasi koefisien *Chezy*, koefisien kekasaran *Bazin* dan koefisien kekasaran *Ganguillet-Kutter* terhadap data percobaan *Bazin* dan beberapa sungai alam, dengan hasil bahwa nilai

variasi rata-rata menunjukkan rumus *Bazin* tidak sebaik rumus *Ganguillet-Kutter*.

- Menurut *Ven Te Chow* (4), memilih nilai koefisien kekasaran sungai (n), sebenarnya berarti memperkirakan hambatan aliran pada sungai tertentu yang benar-benar sangat sulit diperhitungkan. Untuk para ahli teknik menggunakan sedikit latihan di dalam memilih dan menentukan nilai kekasaran karena faktor pengalaman yang lebih banyak. Sedangkan untuk peneliti pemula, biasanya hal ini tidak lebih merupakan suatu dugaan sehingga bersifat subyektif. *Ven Te Chow* menyarankan 4 (empat) pendekatan umum sebagai tuntunan di dalam penentuan koefisien kekasaran sungai, yaitu sebagai berikut :
 - a) Memahami faktor-faktor yang mempengaruhi nilai koefisien kekasaran (n)
 - b) Membandingkan tabel nilai-nilai n untuk berbagai tipe saluran
 - c) Memeriksa dan memahami sifat beberapa saluran yang koefisien kekasarannya telah diketahui
 - d) Menentukan nilai n dengan cara analitis berdasarkan distribusi kecepatan teoritis pada penampang saluran dan data pengukuran kecepatan maupun pengukuran kekasaran.

Sungai Beringin yang terletak pada batas daerah antara Kota Semarang dengan Kabupaten Kendal dengan luas Daerah Aliran Sungai $\pm 41,80 \text{ km}^2$, kondisinya berkelok, bertebing, berbatu, dan banyak kemiringan, ada tanaman pengganggu serta penampang tidak beraturan, sehingga perlu diteliti nilai koefisien kekasarannya dengan memperhitungkan juga kondisi tersebut.

1.2. POKOK PERMASALAHAN

Suatu sungai tidak harus memiliki satu nilai koefisien kekasaran n saja untuk setiap keadaan. Sebenarnya nilai koefisien kekasaran sangat bervariasi dan tergantung pada berbagai faktor.

Kondisi dan komposisi tanah pada sungai serta ketidakteraturan sungai sangat mempengaruhi nilai koefisien kekasaran dari sungai yang bersangkutan.

Perubahan tata guna lahan di dalam DAS suatu sungai, seperti makin luasnya kawasan permukiman dan industri serta makin cepatnya urbanisasi akan meningkatkan limpasan, erosi, dan sedimentasi dari sungai yang bersangkutan. Secara umum pengendapan di sungai dapat memperkecil nilai kekasaran (n), sedangkan penggerusan dari dasar sungainya dapat memperbesar nilai kekasaran (n).

Menyempitnya dimensi sungai pada setiap bagian sungai yang berada di bawah jembatan (*bottle neck*) menyebabkan terjadinya arah aliran air terbalik (*backwater*) dan meningginya elevasi air secara tiba-tiba (*overtopping*) sehingga hambatan semakin besar. Menurut *Ven Te Chow*, hambatan

merupakan salah satu faktor yang ikut mempengaruhi nilai kekasaran (n) Manning, sehingga dalam suatu ruas sungai akan mempunyai nilai n yang bermacam-macam.

1.3. TUJUAN PENELITIAN

Memilih rumus yang dianggap cukup dapat diterima untuk menentukan koefisien kekasaran suatu sungai (n) dari tiga rumus yaitu rumus *Manning*, rumus *Ganguillet-Kutter*, dan rumus *Bazin*.

Menghitung koefisien kekasaran sungai pada lokasi penelitian (studi kasus), dengan rumus yang cukup dapat diterima tersebut.

Secara khusus diteliti penentuan nilai kekasaran sungai (n) dari Sungai Beringin dengan berbagai ketentuan.

1.4. MANFAAT PENELITIAN

Hasil kajian diharapkan dapat digunakan di dalam memprediksi nilai koefisien kekasaran (n) sungai dengan memberikan data faktor hidrolis dan sifat lingkungan hidrolis dari suatu sungai.

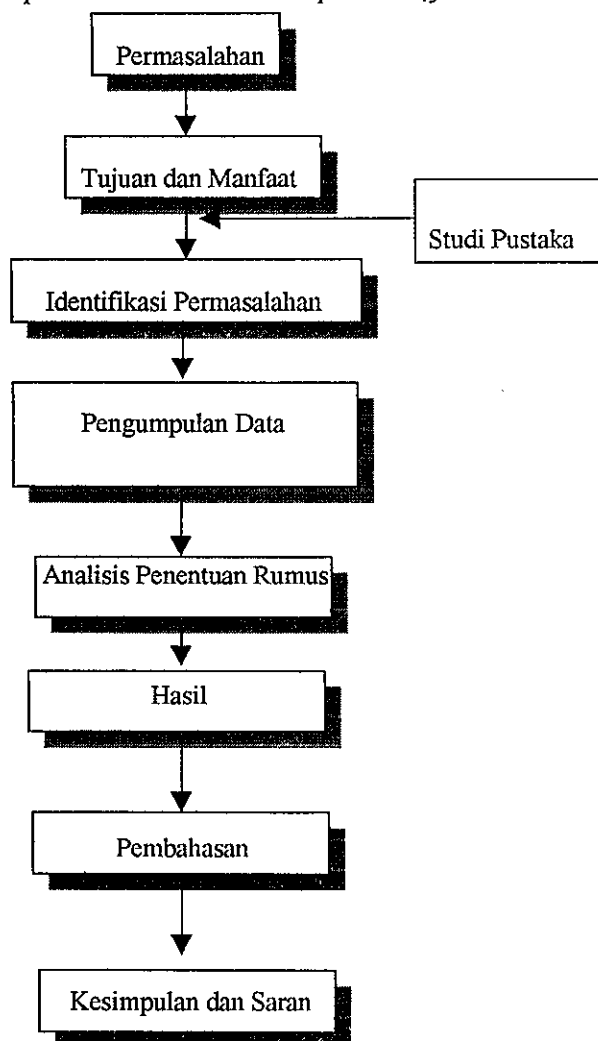
1.5. PEMBATAAN PERMASALAHAN

- Pendekatan Penelitian koefisien kekasaran sungai ini dibatasi dengan menggunakan rumus *Manning*, *Ganguillet-Kutter*, dan *Bazin*.
- Sungai yang diteliti dianggap saluran terbuka (Open Channel) dengan aliran tetap seragam (steady flow).

- Data bukan merupakan *Time series* (waktu yang berurutan).

1.6. DIAGRAM ALIR PENULISAN TESIS

Alur pelaksanaan penelitian dilakukan seperti diagram dibawah ini :



1.7. SISTEMATIKA PENULISAN

Dalam penulisan tesis ini, sistematika penulisan adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini berisi permasalahan yang dibahas, termasuk latar belakang, tujuan, manfaat, serta waktu dan tempat penelitian.

BAB II KAJIAN PUSTAKA

Pada bab ini berisi kerangka uraian mengenai variabel yang digunakan, hubungan antar variabel dan tingkat relevansi.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini berisi uraian data dan metoda yang digunakan dalam penelitian serta hipotesa, batasan atau asumsi-asumsi yang digunakan dalam penelitian.

BAB IV ANALISIS PENENTUAN RUMUS KEKASARAN SUNGAI

Pada bab ini berisi hasil pengukuran dan perhitungan dari metode yang digunakan pada Bab III dalam bentuk hitungan, grafik dan tabel.

BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN KEKASARAN SUNGAI BERINGIN

Pada bab ini berisi analisis kekasaran Sungai Beringin (n) dengan menggunakan metode Manning, Bazin, dan Ganguillet-Kutter.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisi kesimpulan yang merupakan rangkuman hasil dari bab pembahasan, serta saran-saran atau rekomendasi didasarkan pada hasil penelitian.

BAB II

Kajian Pustaka

*Analisis Koefisien Kekasaran Sungai
di Sungai Beringin*



PROGRAM PASCA SARJANA TEKNIK SIPIL UNDIP

BAB II KAJIAN PUSTAKA

2.1 SALURAN

Pada umumnya sungai merupakan saluran alami atau saluran buatan, dimana aliran terjadi akibat adanya gaya gravitasi. Apabila permukaan saluran bebas dan terbuka terhadap tekanan atmosfer maka disebut saluran terbuka dan alirannya disebut aliran permukaan bebas.

Pada saluran tertutup air mengisi seluruh saluran, sehingga tidak terpengaruh langsung oleh tekanan udara, melainkan dipengaruhi oleh tekanan hidrostatis, contohnya aliran air dalam pipa.

2.2 ALIRAN

Aliran dikatakan permanen (*steady*) apabila kedalaman, debit dan kecepatan rata-rata pada tiap penampang tidak berubah. Aliran disebut Laminar apabila :

$$\frac{V.R}{\nu} \leq 500$$

dan menjadi turbulen apabila :

$$\frac{V.R}{\nu} \geq 2000$$

Bila terjadi aliran peralihan dari laminar ke turbulen, maka :

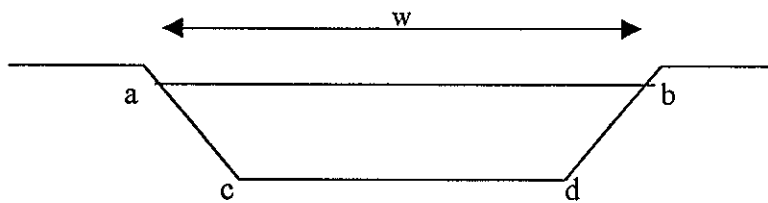
$$500 \leq \frac{V.R}{\nu} \leq 2000$$

Dimana :

V = kecepatan rata-rata aliran (m/det)

R = jari-jari hidraulik saluran (m)

ν = kekentalan kinematik cairan (m²/det)



Gambar 2.1 : Skema Saluran bentuk Trapesium

A = Luas abcd

P = $bd + dc + ca$

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

dimana :

A = Luas penampang basah (m²)

P = Keliling basah (m)

R = Jari-jari hidrolis (m)

w = Lebar atas saluran (m)

Aliran dikatakan seragam apabila kedalaman, debit dan kecepatan rata-rata sepanjang saluran tidak berubah pada setiap waktu.

$$\frac{\partial h}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial v}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

dimana :

x = jarak aliran (m)

h = kedalaman (m)

Q = debit (m³/det)

Untuk keperluan praktis, aliran dalam saluran akan dapat dianggap seragam dalam keadaan normal, yaitu bila tidak terjadi banjir atau perubahan aliran tidak tampak jelas walaupun melalui ketidakraturan saluran. Dalam penerapan rumus aliran seragam untuk saluran alam, dapat dipahami bahwa hasilnya sangat kasar karena keadaan aliran lebih banyak tergantung pada faktor-faktor yang tak diketahui secara tepat daripada yang terdapat dalam saluran buatan. E.C. Schneckenberg [8], menyatakan bahwa rumus aliran seragam yang baik untuk saluran aluvial dengan pengangkutan sedimen dan aliran turbulen harus memperhitungkan semua besaran-besaran sebagai berikut :

1. Kedalaman aliran (y) yaitu jarak vertikal dari titik terendah pada suatu penampang sampai kepermukaan bebas .
2. Lebar puncak (w) yaitu lebar penampang saluran pada permukaan bebas.
3. Luas penampang basah (A) yaitu luas penampang yang diliputi air dan tegak lurus arah aliran .
4. Keliling basah (P) yaitu panjang garis berpotongan dari permukaan basah saluran dengan bidang penampang melintang tegak lurus arah aliran.
5. Jari-jari hidrolis (R) yaitu rasio luas basah dengan keliling basah atau :

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

6. Kedalaman Hidrolik (D) yaitu rasio luas basah dengan lebar puncak atau :

$$D = \frac{A}{w}$$

7. Faktor penampang untuk perhitungan aliran kritis (Z) yaitu hasil perkalian luas basah dan akar kedalaman hidrolik atau :

$$Z = A\sqrt{D} = A\sqrt{\frac{A}{w}}$$

8. Koefisien kekasaran sungai (n) menyatakan tingkat kekasaran saluran.

Faktor penampang untuk perhitungan aliran seragam $AR^{2/3}$ yaitu hasil perkalian luas basah dengan jari-jari hidrolik pangkat dua pertiga.

Untuk aliran seragam, kemiringan energi (S_f), kemiringan permukaan air (S_w), dan kemiringan saluran (S_o), nilainya adalah sama.

Banyak sekali rumus-rumus praktis mengenai aliran seragam yang telah dibuat dan dipublikasikan tetapi rumus yang paling terkenal dan banyak dipakai adalah rumus-rumus *Chezy* dan *Manning*.

2.3 RUMUS CHEZY

Pada awal tahun 1769 seorang insinyur Perancis, *Antoine Chezy* membuat rumus yang mungkin merupakan rumus pertama kali untuk aliran seragam, yaitu rumus *Chezy* yang terkenal, yang biasanya dinyatakan sebagai berikut:

$$V = C\sqrt{RS} \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana :

V = kecepatan rata-rata (m/det)

R = jari-jari hidrolik (m)

S = kemiringan sungai

C = koefisien faktor tahanan aliran yang disebut faktor C dari Chezy

Rumus Chezy dapat diturunkan secara matematis dengan dua anggapan :

1. Anggapan pertama dibuat oleh Chezy. Menyatakan bahwa gaya yang menahan aliran per satuan luas dasar aliran air adalah sebanding dengan kuadrat dari kecepatan.

$$\frac{F}{PL} \approx KV^2$$

$$F \approx KV^2 PL$$

dimana :

F = gaya yang menahan aliran

K = konstanta pembanding

V = kecepatan aliran (m/det)

P = keliling basah (m)

L = panjang bagian saluran yang lurus (m)

Persamaan di atas dapat dilihat pada Gambar 2.2

2. Anggapan kedua adalah prinsip dasar aliran seragam yang ditemukan pertama kali oleh *Brahms* pada tahun 1754. Dikatakan bahwa dalam aliran seragam, komponen efektif dari gaya berat yang mengakibatkan aliran akan sama dengan jumlah gaya penahan, atau dapat ditulis:

$$W.A.L. \sin \theta = KV^2PL$$

Karena pada aliran seragam $W \cdot \sin \theta = WS$ (Gambar 2.2), maka :

$$W.A.L. S = KV^2PL$$

Bila : $C = \sqrt{\frac{W}{K}}$ dan $R = A/P$, maka persamaannya menjadi :

$$V = \sqrt{\left(\frac{W}{K}\right)\left(\frac{A}{P}\right)S} = C\sqrt{RS} \dots\dots\dots(2.2)$$

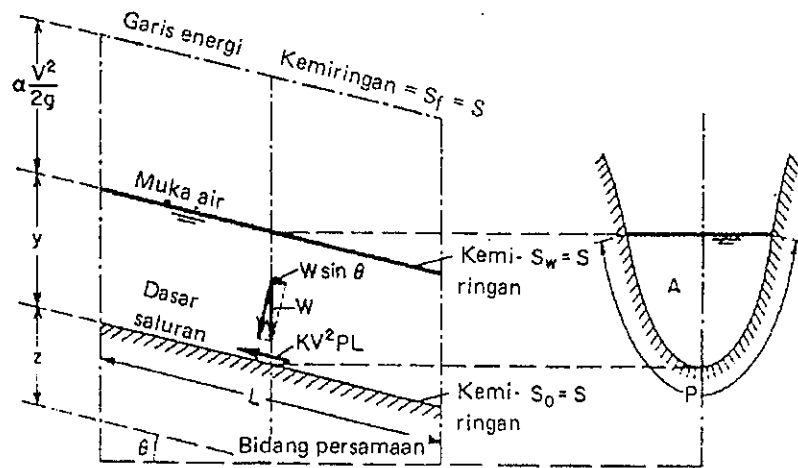
dimana :

W = berat air

A = luas basah

θ = Sudut kemiringan

S = kemiringan saluran



GAMBAR 2.2. Penurunan rumus Chezy untuk aliran seragam pada saluran terbuka
 Sumber : Chow (4)

2.4 PENENTUAN FAKTOR HAMBATAN CHEZY

Tiga rumus penting untuk menentukan koefisien Chezy C diuraikan sebagai berikut :

A. Rumus Ganguillet-Kutter.

Pada tahun 1869, dua insinyur Swiss, *Ganguillet* dan *Kutter* mengumumkan rumus yang menyatakan besarnya nilai C sehubungan dengan kemiringan S , jari-jari hidrolis R dan koefisien kekasaran n .

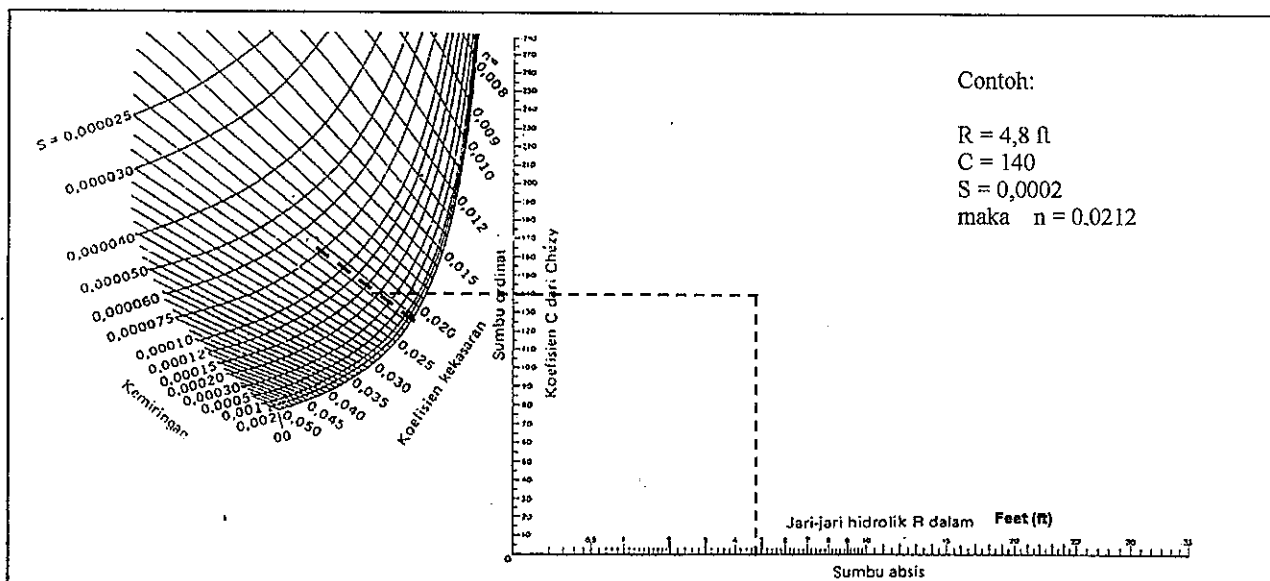
$$C = \frac{41,65 + \frac{0,00281}{S} + \frac{1,811}{n}}{1 + \left(41,65 + \frac{0,00281}{S}\right) \frac{n}{\sqrt{R}}} \dots\dots\dots(2.3)$$

dimana :

- | | | | |
|-----|--------------------------|-----|-----------------------|
| S | = kemiringan saluran | n | = koefisien kekasaran |
| R | = jari-jari hidrolis (m) | C | = koefisien Chezy |

Koefisien n dalam rumus ini dikenal sebagai nilai n dari Kutter.

Rumus *Ganguillet-Kutter* diturunkan dari data pengukuran aliran dalam saluran dari berbagai bentuk, termasuk pengukuran oleh *Bazin* dan pengukuran berbagai sungai di Eropa dan di Mississippi walaupun rumus ini tampaknya rumit, namun banyak digunakan dimana-mana sehingga telah dibuat berbagai tabel dan grafik untuk mempermudah pemakaiannya. *Gambar 2.3.* menunjukkan suatu grafik yang banyak dipakai untuk menyelesaikan persamaan *Ganguillet-Kutter*.



GAMBAR 2.3 Pemecahan secara grafis untuk rumus Ganguillet-Kutter.

- Mencari C bila diketahui R , S dan n : suatu garis lurus menghubungkan R pada sumbu absis dengan titik dimana lengkung kemiringan S berpotongan dengan garis n , akan menyatakan besarnya C pada sumbu ordinat.
- Mencari R bila diketahui C , S dan n : suatu garis lurus dari titik di mana lengkung kemiringan S memotong garis n dihubungkan dengan titik C pada sumbu ordinat, bila diperpanjang ke sumbu absis akan menunjukkan besarnya R .
- Mencari S bila diketahui C , R dan n : suatu garis lurus dari R pada sumbu absis ke C pada sumbu ordinat bila diperpanjang ke garis n yang telah diketahui, menunjukkan besarnya S .
- Mencari n bila diketahui C , R dan S : suatu garis lurus dari R pada sumbu absis ke C pada sumbu ordinat bila diperpanjang ke lengkung kemiringan S akan menunjukkan besarnya n .

Sumber : *Ven Te Chow (4) , 1959*

B. Rumus Bazin

Pada tahun 1897 seorang ahli hidrolika Perancis, *H. Bazin* mengusulkan suatu rumus dimana koefisien *C* dari *Chezy* dianggap sebagai fungsi *R*, bukan *S*. Rumus ini dalam satuan Inggris (*Matrix System*) dinyatakan sebagai berikut:

$$C = \frac{157,6}{1 + \frac{m}{\sqrt{R}}} \dots\dots\dots(2.4)$$

dimana : *R* = jari-jari hidrolis (m) *C* = koefisien Chezy
m = koefisien kekasaran

Rumus *Bazin* semula dibuat berdasarkan data yang dikumpulkan dari saluran percobaan berukuran kecil, oleh karena itu pemakaiannya secara umum untuk saluran besar, terbukti kurang memuaskan dibandingkan dengan rumus *Ganguillet-Kutter*.

Perbandingan Rumus *Bazin* dibanding Rumus *Ganguillet-Kutter* yakni nilai kekasaran *Bazin* jauh lebih besar dibandingkan dengan nilai kekasaran *Ganguillet-Kutter*, seperti dapat dilihat didalam *Tabel 2.1* di bawah ini.

Tabel 2.1 : Perbandingan Nilai *m* (*Bazin*) dan *n* (*Kutter*)

Pengukuran	Nilai Rata-rata	
	<i>m</i>	<i>n</i>
Sungai Miami Tadmor, Ohio, 1915-1916	1.9800	0.0316
Sungai Bogue Phalia, Mississippi, 1914	4.0900	0.0704
Saluran pembuangan Arkansas, Arkansas, 1915	2.1200	0.0324
Sungai Mississippi, Carrolton, Louisiana, 1912	1.3300	0.0320
Sungai Mississippi, Carrolton, Louisiana, 1913	1.4600	0.0334
Sungai Irawaddy, Burma	1.3500	0.0332
Sungai Volga di Samara, Rusia	1.5800	0.0311
Sungai Volga di Zhiguly, Rusia	1.7600	0.0363

Sumber : *Ivan E. Houk (16), 1918*

Bila C dari persamaan Chezy (2.1), $V = C\sqrt{RS}$, disubstitusikan ke persamaan (2.4), $C = \frac{157,6}{1 + \frac{m}{\sqrt{R}}}$, maka diperoleh :

$$m = \frac{157,6R\sqrt{S}}{V} - \sqrt{R} \dots\dots\dots(2.5)$$

Bila V dari persamaan Manning (2.11) disubstitusikan ke persamaan (2.5), maka diperoleh:

$$m = n(157,6R^{1/3}) - \sqrt{R} \dots\dots\dots(2.6)$$

atau

$$n = \frac{mR^{-1/3} + R^{1/6}}{157,6} \dots\dots\dots(2.7)$$

dimana : n = koefisien kekasaran Manning menurut Bazin

m = angka kekasaran Bazin

R = jari-jari hidrolis (m)

C. Rumus Powell

Pada tahun 1950, *Ralph W. Powell* (27) mengusulkan suatu rumus logaritmis untuk kekasaran saluran buatan. Rumus ini menyatakan fungsi C adalah

$$C = -42 \log \left(\frac{C}{4Re} + \frac{e}{R} \right) \dots\dots\dots(2.8)$$

dimana : R = jari-jari hidrolis (ft)

Re = bilangan Reynolds

e = ukuran kekasaran saluran.

Tabel 2.2. : Nilai e Powell

Deskripsi saluran	Nilai e (Powell)
Permukaan disemen halus	0.0002
Talang Papan tidak diserut	0.001
Saluran berlapis beton	0.004
Saluran tanah , lurus dan seragam	0.04
Saluran kerukan tanah	0.1

Sumber : Ralph W. Powell (27), 1950.

Untuk saluran yang kasar, biasanya aliran bersifat sangat turbulen sehingga Re menjadi sangat besar dibandingkan dengan C , sebab itu persamaan (2.8) berubah menjadi :

$$C = 42 \log (R/e) \dots\dots\dots(2.9)$$

dimana :

C = koefisien Chezy

R = jari-jari hidrolis (feet)

e = kekasaran saluran

Untuk saluran yang halus, kekasaran saluran dapat menjadi sangat kecil sehingga e dapat diabaikan terhadap R , maka rumus menjadi

$$C = 42 \log (4Re/C) \dots\dots\dots(2.10)$$

dimana :

C = koefisien Chezy

Re = bilangan Reynolds

e = kekasaran saluran

Rumus Powell dibuat berdasarkan percobaan terbatas dilaboratorium untuk saluran halus dan kasar dari distribusi kecepatan teoritis yang dipelajari oleh G.H. Keulegan (11). Penggunaan praktis rumus ini

terbatas karena memerlukan penyelidikan selanjutnya untuk menentukan nilai yang sesuai dengan nilai e seperti pada Tabel 2.2.

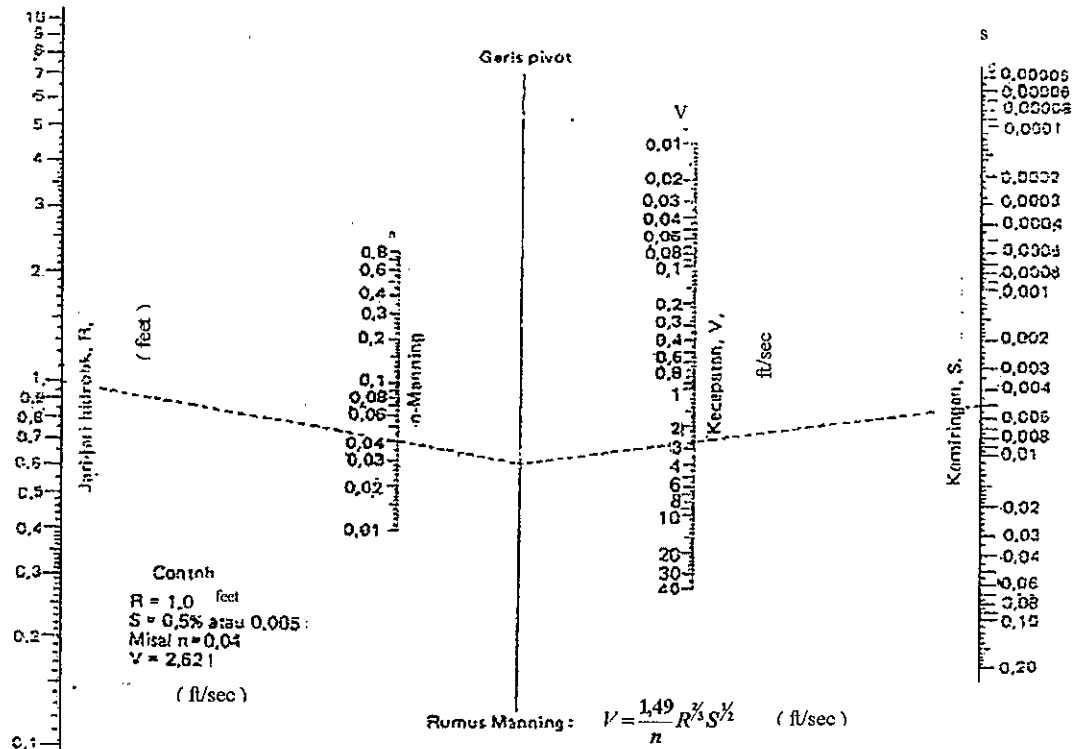
2.5 RUMUS MANNING

Pada tahun 1889 seorang insinyur Irlandia, *Robert Manning* mengemukakan sebuah rumus yang akhirnya diperbaiki menjadi rumus yang sangat dikenal saat ini, yaitu :

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

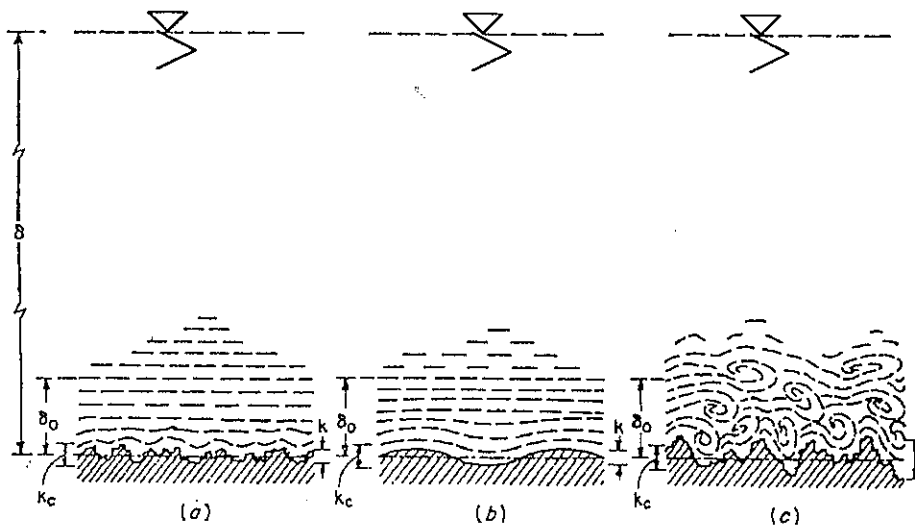
dimana : V = kecepatan rata-rata (m/det)
 R = jari-jari hidrolis (m)
 S = kemiringan saluran
 n = koefisien kekasaran, dikenal sebagai nilai n dari *Manning*.

Rumus ini dikembangkan dari tujuh rumus yang berbeda, berdasarkan data percobaan *Bazin* yang selanjutnya dicocokkan dengan 170 percobaan. Karena cukup praktisnya rumus ini dan hasilnya yang cukup memuaskan dalam penerapannya, untuk rumus *Manning* menjadi sangat populer dan banyak dipakai dibanding dengan rumus-rumus aliran seragam lainnya untuk menghitung aliran saluran terbuka, dan suatu penyelesaian yang cepat secara grafis bagi rumus ini dapat dilihat dalam *Gambar 2.4*.



Gambar 2.4. Penyelesaian Nomogram Rumus Manning* (dalam feet system)

2.6 KONSEP KEKASARAN PERMUKAAN



GAMBAR 2-5. Sifat kekasaran permukaan. (a) Licin, (b) bergelombang, (c) kasar

Sumber : Chow (4)

Bila profil permukaan saluran diperbesar (Gambar 2.5) dapat dilihat bahwa permukaan tersebut terdiri dari puncak dan lembah yang tidak teratur. Tinggi efektif ketidakteraturan membentuk unsur kekasaran yang disebut tinggi kekasaran (roughness height) = k , rasio tinggi kekasaran terhadap jari-jari hidrolis R disebut kekasaran relatif k/R (relative roughness)

Bila tinggi kekasaran lebih kecil dari suatu pecahan tertentu dari tebal sub lapisan laminar, ketidakteraturan permukaan menjadi sangat kecil, sehingga semua tonjolan tenggelam dalam sub lapisan laminar (Gambar 2.5(a)). Pada keadaan ini kekasaran tidak berpengaruh terhadap aliran di atas sub lapisan laminar, dan permukaan tersebut disebut hidrolis licin (hydraulically smooth). Permukaan hidrolis licin disebut bergelombang (Gambar 2.5.(b)) bila profil permukaan rata-rata mengikuti suatu lengkung. Menurut *Hermann Schlichting*, syarat permukaan hidrolis licin:

$$\frac{V_f k}{\nu} < 5 \quad \text{atau} \quad k < \frac{5\nu}{V_f} \quad \dots\dots\dots(2.12)$$

dimana : $V_f = \sqrt{gRS}$ (m/det) disebut kecepatan gesekan (friction velocity) dengan rumus Chezy

Syarat di atas dapat dilihat bahwa pada permukaan hidrolis licin, tinggi kekasaran harus lebih kecil daripada kekasaran kritis (critical roughness).

$$k_c = \frac{5C}{\sqrt{g}} \frac{\nu}{V} \quad \dots\dots\dots(2.13)$$

dimana :

- C = koefisien Chezy
 ν = kekentalan kinematik
 V = kecepatan rata-rata (m/det)

Untuk syarat rata-rata, menurut *Schlichting* $k_c = 100 \nu/V$ yang sesuai dengan $C = 113,5$.

Bila tinggi kekasaran lebih besar dari nilai kritis (k_c) yang disebutkan pada persamaan di atas. Tonjolan akan memiliki besaran dan ketajaman sudut yang melebihi sub lapisan laminar sehingga mengganggu aliran dalam saluran. Maka permukaan ini disebut kasar (Rough) seperti Gb. 2.5(c).

Tinggi kekasaran rata-rata untuk suatu permukaan dapat ditentukan dengan percobaan. Tabel 2.3. menunjukkan nilai-nilai k untuk beberapa jenis bahan yang diambil rata-rata dari data berbagai percobaan, seperti dibawah ini :

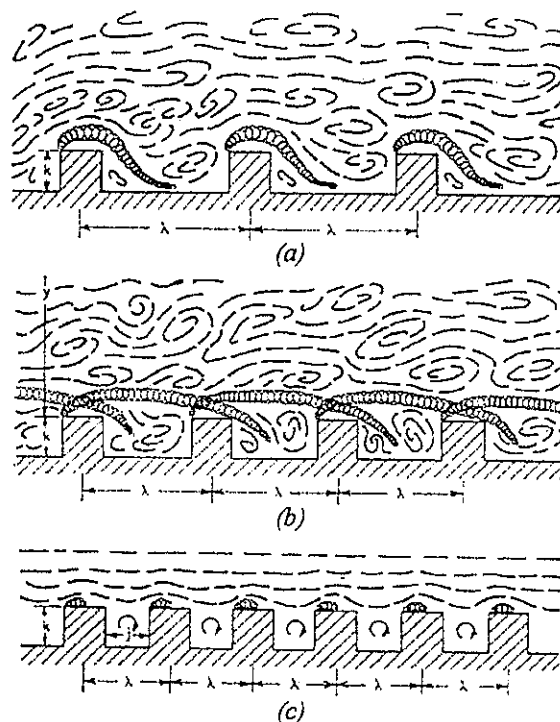
Tabel 2.3. Taksiran Nilai Tinggi Kekasaran k untuk berbagai material

Bahan	k , (feet)
Kuningan, perunggu, timah, kaca.....	0,0001 – 0,0030
Besi tempa, baja	0,0002 – 0,0080
Besi tuang diaspal	0,0004 – 0,0070
Besi berlapis seng	0,0005 – 0,0150
Besi tuang	0,0008 – 0,0180
Papan	0,0006 – 0,0030
Semen	0,0013 – 0,0040
Beton	0,0015 – 0,0100
Ubin	0,0020 – 0,0100
Baja dikeling	0,0030 – 0,0300
Dasar sungai alamiah	0,1000 – 3,0000

Sumber : Chow (4)

Henry M. Morris, 1995 mengemukakan bahwa jarak memanjang (λ) dari antar permukaan kasar merupakan ukuran kekasaran yang sangat penting dalam aliran pada gorong-gorong yang kasar, sehingga aliran di atas permukaan yang kasar dapat dibagi menjadi 3 (tiga) jenis (Gambar 2.6) :

- Aliran kekasaran terisolasi / *Isolated roughness flow* (Gb. 2.6.a)
- Aliran bercampur pusaran / *Wake interference flow* (Gb. 2.6.b)
- Aliran licin semu / *Quasi smooth flow* atau aliran mengalun / *Skimming flow*. (Gb. 2.6.c)



GAMBAR 2-6. Sketsa yang memperlihatkan konsepsi ketiga jenis aliran pada permukaan kasar (a) aliran Kekasaran terisolasi; (b) aliran bercampur pusaran; (c) aliran licin semu.

Sumber : Chow (4)

2.7. TAFSIRAN TEORITIS TERHADAP KOEFISIEN KEKASARAN

Chow (4) menghubungkan koefisien *n Manning* dengan rumus Chezy (2.1), yaitu :

$$V = C\sqrt{RS} \quad (\text{persamaan Chezy 2.1})$$

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

Bila *V* dari Rumus Chezy (2.1) disubstitusikan ke persamaan Manning (2.11), maka diperoleh :

$$C = \frac{1}{n}R^{1/6} \quad (\text{Chezy - Manning}) \dots\dots\dots(2.14)$$

Nilai *C - Chezy* menurut *GH. Keulegan (11)* adalah

$$C = 32,6\text{Log}\frac{12,2R}{k} \quad (\text{GH.Keulegan,(11)}) \dots\dots\dots(2.15)$$

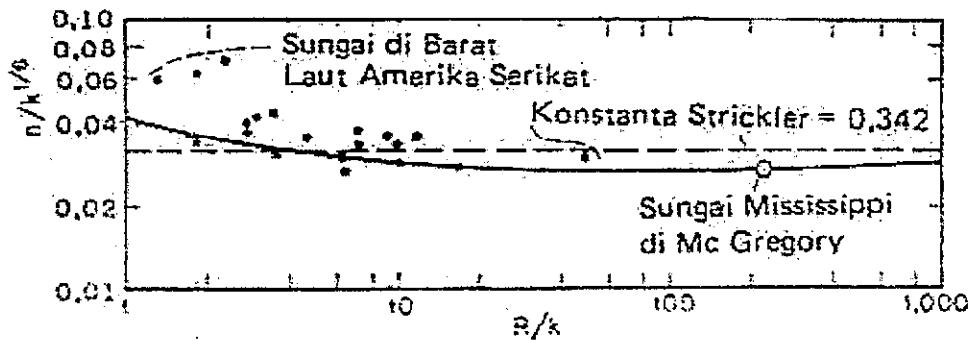
Bila Persamaan (2.14) dan Persamaan (2.15) disubstitusikan akan menjadi:

$$\frac{1}{n}R^{1/6} = 32,6\text{Log}\frac{12,2R}{k}$$

maka :

$$\frac{n}{k^{1/6}} = \frac{(R/k)^{1/6}}{32,6\text{Log}(12,2R/k)} \dots\dots\dots(2.16)$$

Bila Persamaan tersebut digambarkan :



Gambar 2.7. Fungsi (R/k)
 SUMBER : MC. Boyer (23), 1954

Menurut *A. Strickler* (1) nilai rata-rata $n/k^{1/6} = 0,342$. Tinggi kekasaran yang dipakai *Strickler* adalah ukuran pertengahan ayakan bahan yang digunakan. Data dalam *Gambar (2.7)* oleh *Boyer* dikumpulkan dari beberapa sungai di Barat Laut Amerika dan dari Sungai Mississippi.

2.8. METODE PENENTUAN KOEFISIEN KEKASARAN MANNING

Berdasarkan distribusi kecepatan teoritis pada saluran yang kasar menurut *Ludwig Prandtl* (22), nilai *n Manning* dapat ditentukan dengan dua metode pendekatan.

A. Metode Pengukuran Kecepatan

Pada persamaan *J. Nikuradse* (17) seperti berikut ini :

$$V = 5,75.V_f \cdot \text{Log} \frac{30y}{k} \dots\dots\dots(2.17)$$

dimana :

V = kecepatan aliran (m/det)

V_f = kecepatan gesek / friksi (m/det)

k = tinggi kekasaran (m)

y = kedalaman aliran (m)

Dapat dilihat bahwa distribusi kecepatan tergantung pada tinggi kekasaran yang dapat dihubungkan dengan nilai n Manning dari persamaan (2.16). Dengan kata lain, kekasaran sehubungan dengan nilai n Manning dapat diambil sebagai faktor penentu yang mempengaruhi kecepatan.

MC. Boyer (23), Boris (3), dan MP O'Brien (24) memperkirakan nilai n dari distribusi kecepatan vertikal sungai. Misalkan nilai $V_{0,2}$ yaitu kecepatan pada kedalaman 0,2 dari permukaan air (20% kedalaman aliran dari muka air) atau 0,8 y dari dasar sungai yang kasar, dimana y kedalaman aliran, maka persamaan (2.17) tentang kecepatan dapat dinyatakan yaitu dengan :

$$V_{0,2} = 5,75 V_f \text{Log} (24y/k) \dots\dots\dots(2.18)$$

Dengan cara yang sama

$$V_{0,8} = 5,75 V_f \text{Log} (6y/k) \dots\dots\dots(2.19)$$

Bila persamaan (2.18) dibandingkan dengan persamaan (2.19), maka diperoleh :

$$\frac{V_{0,2}}{V_{0,8}} = \frac{\text{Log}(24y/k)}{\text{Log}(6y/k)}$$

Bila $V_{0,2}/V_{0,8} = x$, maka :

$$\text{Log} \frac{y}{k} = \frac{0,778x - 1,381}{1 - x} \dots\dots\dots(2.20)$$

Bila persamaan (2.20) dimasukkan ke persamaan (2.17), maka akan diperoleh :

$$V = V_f(6,25 + 5,75 \text{ Log } (y/k)) \dots\dots\dots(2.21)$$

Bila persamaan (2.17) disubstitusikan ke persamaan (2.21), maka :

$$\frac{V}{V_f} = \frac{1,78(x + 0,95)}{x - 1} \dots\dots\dots(2.22)$$

dimana :

V = kecepatan aliran (m/det)

V_f = kecepatan gesek / friksi (m/det)

bila :

- V pada persamaan *Manning* (2.11) substitusikan kedalam persamaan tersebut di atas

- $R = y$ (m)

- $g = 0,98$ (m/det)

maka :

$$\frac{V}{V_f} = \frac{1,49}{n} \frac{Y^{2/3} S^{1/2}}{R^{1/2} S^{1/2} \sqrt{g}}$$

atau :

$$\frac{V}{V_f} = \frac{Y^{1/6}}{3,81(n)} \dots\dots\dots(2.23)$$

Substitusi persamaan (2.22) dan (2.23)

$$\frac{V}{V_f} = \frac{Y^{1/6}}{3,81(n)} = \frac{1,78(x + 0,95)}{x - 1}$$

maka :

$$n = \frac{(x - 1)y^{1/6}}{6,78(x + 0,95)} \dots\dots\dots(2.24)$$

dimana : y = kedalaman rata-rata (m)

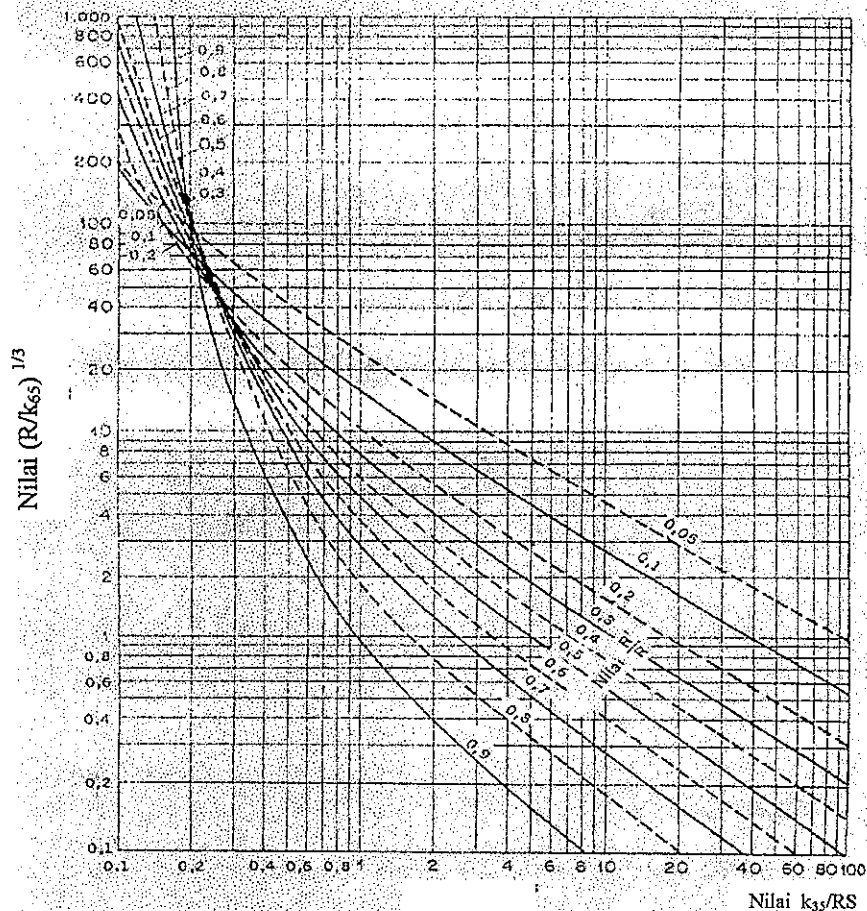
B. Metode Pengukuran Kekasaran

Menurut *Chow* (4) persamaan (2.11) dapat diterapkan pada fungsi $(n/k^{1/6})$, dan selanjutnya nilai n Manning dapat dihitung dengan persamaan (2.16) bila tinggi kekasaran telah diketahui.

Untuk sungai dengan dasar sedimen yang bergerak, menurut *Hans A. Einstein dan Barbarossa* (13), jari-jari hidrolis R terdiri dari 2 (dua) bagian, jari-jari hidrolis R akibat kekasaran permukaan dan jari-jari hidrolis $R-R'$ akibat kekasaran yang disebabkan oleh gerakan dasar sedimen. Tinggi kekasaran permukaan dinyatakan dengan k_{35} (dalam feet dan ukuran butirnya lebih kasar 35% dari butiran sedimen). Ukuran ini diperoleh dari kurva analisa mekanis berdasarkan contoh sedimen. Berdasarkan konsep ini, menurut *James J. Doland dan Chow* (19) fungsi $n/k^{1/6}$ untuk gangguan pengaruh kekasaran permukaan dan sedimen bergerak adalah :

$$n/k^{1/6} = \frac{0,342}{(R'/R)^{2/3}} \dots\dots\dots(2.25)$$

R'/R tergantung jari-jari hidrolis R , kemiringan dan ukuran butiran k_{65} dan k_{35} . Dengan menghitung nilai-nilai $(R/k_{65})^{1/3}$ dan k_{35}/RS , nilai R'/R dapat diperoleh dari kurva-kurva semi empiris pada *Gambar 2.8*.



Gambar 2.8 : Hubungan antara $(R/k_{65})^{1/3}$ dan k_{35}/RS

Sumber : Chow (4)

Kurva ini berdasarkan data yang diambil dari ketujuh sungai di Amerika Serikat (Sungai Missouri, Sungai Elkoorn, Sungai Big Sioux, Sungai Niobrara, Sungai Platte, Sungai Salinas, Sungai Nacimienta). Bila $(n/k^{1/6})$ dihitung dengan persamaan (2.25), nilai n dapat ditentukan dengan persamaan (2.16), dimana $k = k_{65}$.

Metode yang diuraikan di atas hanya dapat dipakai untuk saluran yang tebingnya bebas dari tumbuhan, juga tidak boleh terdapat gundukan pasir.

2.9 PENDEKATAN DALAM PENENTUAN KOEFISIEN KEKASARAN SUNGAI

Menurut *Chow (4)*, menentukan nilai n berarti memperkirakan hambatan aliran pada saluran yang benar-benar sulit diperhitungkan.

Untuk tuntutan bagi penentuan koefisien kekasaran dapat ditempuh dengan 4 (empat) langkah :

1. Memahami faktor-faktor yang mempengaruhi n .
2. Mencocokkan tabel nilai-nilai n untuk berbagai tipe saluran.
3. Memeriksa dan memahami sifat beberapa saluran yang koefisien kekasarannya telah diketahui sebelumnya.
4. Menentukan nilai n dengan cara analitis berdasarkan distribusi kecepatan teoritis pada penampang saluran dan data pengukuran kecepatan maupun pengukuran kekasaran.

2.10 FAKTOR YANG MEMPENGARUHI KOEFISIEN KEKASARAN SUNGAI

Menurut *James J. Doland dan Chow (19)*, dalam memilih nilai n yang sesuai untuk berbagai kondisi perancangan diperlukan pemahaman tentang faktor-faktor keadaan dan beban saluran sebagai berikut :

A. Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan ditandai dengan ukuran dan bentuk butiran bahan yang membentuk luas basah dan menimbulkan efek hambatan terhadap aliran. Secara umum dikatakan bahwa butiran halus

mengakibatkan nilai n yang relatif rendah dan butiran kasar memiliki nilai n yang tinggi.

B. *Tetumbuhan*

Tetumbuhan dapat digolongkan dalam jenis kekasaran permukaan. Pengaruhnya terhadap angka kekasaran (n) tergantung pada tinggi, kerapatan, distribusi dan jenis tetumbuhan dan hal ini sangat penting dalam perencanaan saluran pembuangan yang kecil.

C. *Ketidakteraturan Saluran*

Yang dimaksud dengan ketidakteraturan saluran adalah ketidakteraturan keliling basah dan variasi bentuk dan ukuran penampangnya di sepanjang saluran. Secara umum, perubahan yang lambat laun dan teratur dari bentuk dan ukuran penampang tidak terlalu mempengaruhi nilai n , tetapi perubahan tiba-tiba atau peralihan dari penampang kecil ke besar memerlukan penggunaan nilai n yang besar.

D. *Trase (Alur) Saluran*

Kelengkungan yang *smooth* dengan radius besar akan mengakibatkan nilai n yang relatif rendah, sedangkan kelengkungan yang tajam dengan belokan-belokan yang patah akan memperbesar nilai n .

E. *Pengendapan dan Penggerusan*

Secara umum, pengendapan dapat mengubah saluran yang sangat tidak beraturan menjadi cukup beraturan dan memperkecil n , sedangkan penggerusan dapat berakibat sebaliknya dan memperbesar n . Namun efek utama dari pengendapan akan tergantung pada sifat alamiah bahan yang diendapkan. Energi yang dipakai untuk menggerus dan mengangkut bahan dalam suspensi atau menggulingkannya sepanjang dasar saluran juga akan memperbesar nilai n . Efek penggerusan tidak terlalu nyata selama erosi pada dasar saluran yang diakibatkan oleh kecepatan aliran seragam yang tinggi dan berlangsung terus menerus.

F. *Hambatan*

Adanya balok sekat, pilar jembatan dan sejenisnya merupakan hambatan aliran dalam hal ini cenderung akan memperbesar n . Besarnya kenaikan ini tergantung pada sifat alamiah hambatan, ukuran, bentuk, jumlah dan penyebarannya.

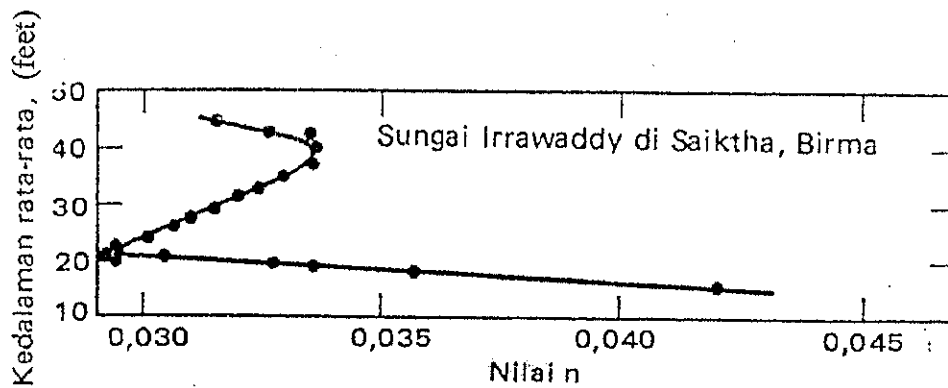
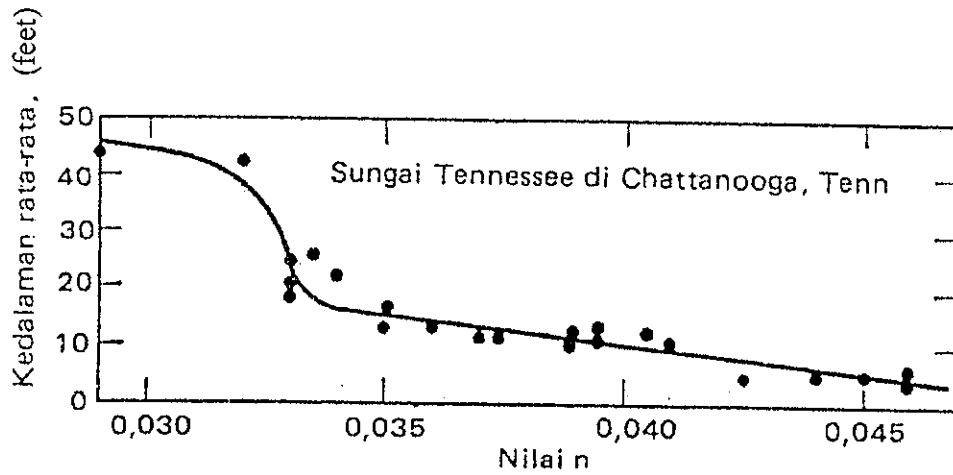
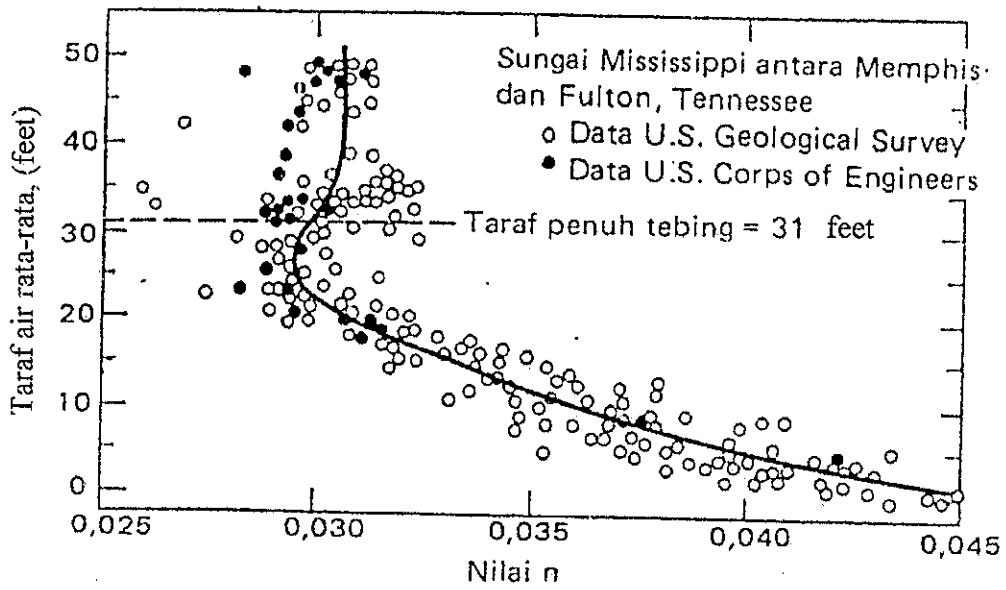
G. *Ukuran dan Bentuk Saluran*

Hingga kini belum ada bukti nyata bahwa ukuran dan bentuk dari saluran merupakan faktor penting yang mempengaruhi nilai n . Perbesaran jari-jari hidrolis dapat memperbesar maupun memperkecil n , tergantung pada keadaan salurannya.

H. *Taraf Air dan Debit*

Nilai n pada saluran umumnya berkurang bila taraf air dan debitnya bertambah. Bila taraf air rendah, ketidakteraturan dasar saluran akan menonjol dan efeknya terlihat jelas. Namun nilai n dapat pula besar pada taraf air tinggi bila dinding saluran kasar dan berumput.

Kurva hubungan antara nilai n terhadap taraf air dan debit sungai (Gambar 2.9 di bawah ini), ditetapkan oleh *E.W. Lane* (9), 1951, memperlihatkan bahwa nilai n dipengaruhi oleh taraf air dan debit.



Gambar 2.9 Variasi nilai n pada taraf air rata-rata atau debit rata-rata
 Sumber : E.W. Lane (9), 1951

I. *Perubahan Musiman*

Akibat pertumbuhan musiman dari tanaman-tanaman air, rumput, dan semak-semak di saluran atau di tebing, nilai n dapat bertambah pada musim semi dan berkurang pada musim dingin. Perubahan musiman ini dapat menimbulkan perubahan faktor-faktor lainnya.

J. *Endapan Melayang dan Endapan Dasar*

Bahan-bahan endapan melayang dan endapan dasar, baik yang bergerak maupun tidak bergerak akan menyerap energi dan menyebabkan kehilangan energi atau memperbesar kekasaran sungai.

Dari beberapa faktor utama yang mempengaruhi koefisien kekasaran, *Woody L. Cowan* (34) mengembangkan suatu cara untuk memperkirakan nilai n . Dengan cara ini, nilai n dapat dihitung dengan rumus :

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m_5$$

dimana :

- n_0 = nilai dasar n menurut bahan alamiah pembentuk sungai
- n_1 = nilai yang ditambahkan sebagai efek ketidakteraturan permukaan
- n_2 = nilai yang ditambahkan sebagai efek variasi bentuk penampang
- n_3 = nilai yang ditambahkan sebagai efek hambatan
- n_4 = nilai yang ditambahkan sebagai efek adanya tetumbuhan
- m_5 = faktor koreksi karena adanya belokan-belokan saluran.

Dari persamaan di atas maka oleh Cowan dikembangkan penentuan praktis tingkat kekasaran saluran dalam bentuk Tabel 2.4 di bawah ini.

Tabel 2.4 : Penentuan nilai kekasaran n menurut Woody L. Cowan (34)

Keadaan saluran		Nilai n	
Bahan Pembentuk	Tanah	n_0	0,020
	Batu pecah		0,025
	Kerikil halus		0,024
	Kerikil Kasar		0,028
Derajat ketidakteraturan	Sangat kecil	n_1	0,000
	Sedikit		0,005
	Sedang		0,010
	Besar		0,020
Variasi Penampang melintang saluran	Bertahap	n_2	0,000
	Kadang-kadang berganti		0,005
	Sering berganti		0,010-0,015
Efek relatif dari hambatan	Dapat diabaikan	n_3	0,000
	Kecil		0,010-0,015
	Cukup		0,020-0,030
	Besar		0,040-0,060
Tetumbuhan	Rendah	n_4	0,005-0,010
	Sedang		0,010-0,025
	Tinggi		0,025-0,050
	Sangat Tinggi		0,050-0,100
Derajat Kelokan	Kecil	m_5	1,000
	Cukup		1,150
	Besar		1,300

Sumber : Woody L. Cowan (34), 1956

2.11 PENDEKATAN SECARA VISUAL PADA PENENTUAN KOEFISIEN KEKASARAN SUNGAI (n)

Sesuai dengan *Engineering Handbook* : Harace William King (14), Robert E. Horton (29), dan Woody L. Cowan (34), Penentuan n secara visual dapat dilakukan dengan 2 (dua) cara pendekatan :

A. Dengan Persamaan *Cowan*

Kondisi sungai tersebut dicocokkan dengan *Tabel 2.5* dari *Woody L. Cowan (34)*, sehingga diperoleh nilai-nilai koreksi n sehubungan dengan sifat dan karakter sungai.

B. Sistem Tabel

Untuk keperluan hasil kasar (perkiraan), penentuan n dapat dilakukan dengan cara membandingkan sifat-sifat dan kondisi sungai-sungai yang sudah diketahui nilai n -nya yang disusun dalam tabel di bawah ini (*Tabel 2.5 : Estimasi Nilai Koefisien Kekasaran*) berdasarkan penyelidikan para ahli terdahulu, dengan sifat dan kondisi sungai yang akan ditentukan nilai n -nya.

TABEL 2.5. : Estimasi Nilai Koefisien Kekasaran (*Estimating Hydraulic Roughness Coefficients*)

No	Type Saluran	Baik sekali	Baik	Sedang	Jelek
I	Saluran buatan :				
1	Saluran tanah, lurus teratur	0,017	0,020	0,023	0,025
2	Saluran tanah, yang dibuat dengan excavator	0,023	0,028	0,030	0,040
3	Saluran pada dinding batuan, lurus, teratur.	0,023	0,030	0,033	0,035
4	Saluran pada dinding batuan, tidak lurus, tidak teratur	0,035	0,040	0,045	0,045
5	Saluran batuan yang diledakkan, ada tumbuh-tumbuhan	0,025	0,030	0,035	0,040
6	Dasar saluran dari tanah, sisi saluran berbatu	0,028	0,030	0,033	0,035
7	Saluran lengkung, dengan kecepatan aliran rendah	0,020	0,025	0,028	0,030
II	Saluran Alam :				
8	Bersih, lurus, tidak berpasir, tidak berlubang	0,025	0,028	0,030	0,033
9	Seperti No. 8 tapi ada tumbuhan atau kerikil	0,030	0,033	0,035	0,040
10	Melengkung, bersih, berlubang dan berdinding pasir	0,033	0,035	0,040	0,045
11	Seperti No. 10 dangkal, tidak teratur	0,040	0,045	0,050	0,055
12	Seperti No. 10 berbatu dan ada tubuh-tumbuhan	0,035	0,040	0,045	0,050
13	Seperti No. 11 sebagian berbatu	0,045	0,050	0,055	0,060
14	Aliran pelan, banyak tumbuhan dan berlubang	0,050	0,060	0,070	0,080
15	Banyak tumbuh-tumbuhan	0,075	0,100	0,125	0,150
III	Saluran buatan, beton atau batu kali :				
16	Saluran pasangan batu, tanpa finishing	0,025	0,030	0,033	0,035
17	Seperti No.16 tapi dengan finishing	0,017	0,020	0,025	0,030
18	Saluran beton	0,014	0,016	0,019	0,021
19	Saluran beton, halus dan rata	0,010	0,011	0,012	0,013
20	Saluran beton pracetak dengan acuan baja	0,013	0,014	0,014	0,015
21	Saluran beton pracetak dengan acuan kayu	0,015	0,016	0,016	0,018

Sumber : Robert E. Horton (29), 1916

2.12 VERIFIKASI DAN KORELASI

1. Verifikasi

Verifikasi hasil pengukuran dapat dilakukan dengan program komputer menggunakan Tes *Kolmogorov-Smirnov*. Bila hasil pengolahan komputer (print out) memperlihatkan :

- a. pernyataan "*test distribution is normal*" (distribusi normal).
- b. pada gambar kurva model *normal P-P Plot*, bahwa sebaran data terletak disekitar garis lurus (tidak terpenjar jauh dari garis lurus).
- c. nilai *Asymptotic Significant* (probabilitas) lebih besar atau sama dengan 0,05.

Maka distribusi data dapat dikatakan Normal.

2. Analisis Korelasi

Ada tidaknya hubungan antara variabel-variabel dan seberapa kuat hubungan tersebut dapat diolah dengan komputer menggunakan Korelasi Pearson (*Pearson Correlation*), seperti contohnya analisa korelasi antara nilai kekasaran sungai (n) dengan kecepatan alir (V). Bila angka korelasi Pearson sama dengan 0 (nol), berarti tidak ada korelasi antara variabel n dengan variabel V . Bila angka korelasi Pearson sama dengan 1 (satu), berarti korelasi sempurna.

Variabel n dan V berkorelasi secara signifikan bila nilai probabilitas lebih kecil atau sama dengan 0,01.

BAB III

Metodologi Penelitian

*Analisis Koefisien Kekasaran Sungai
di Sungai Beringin*

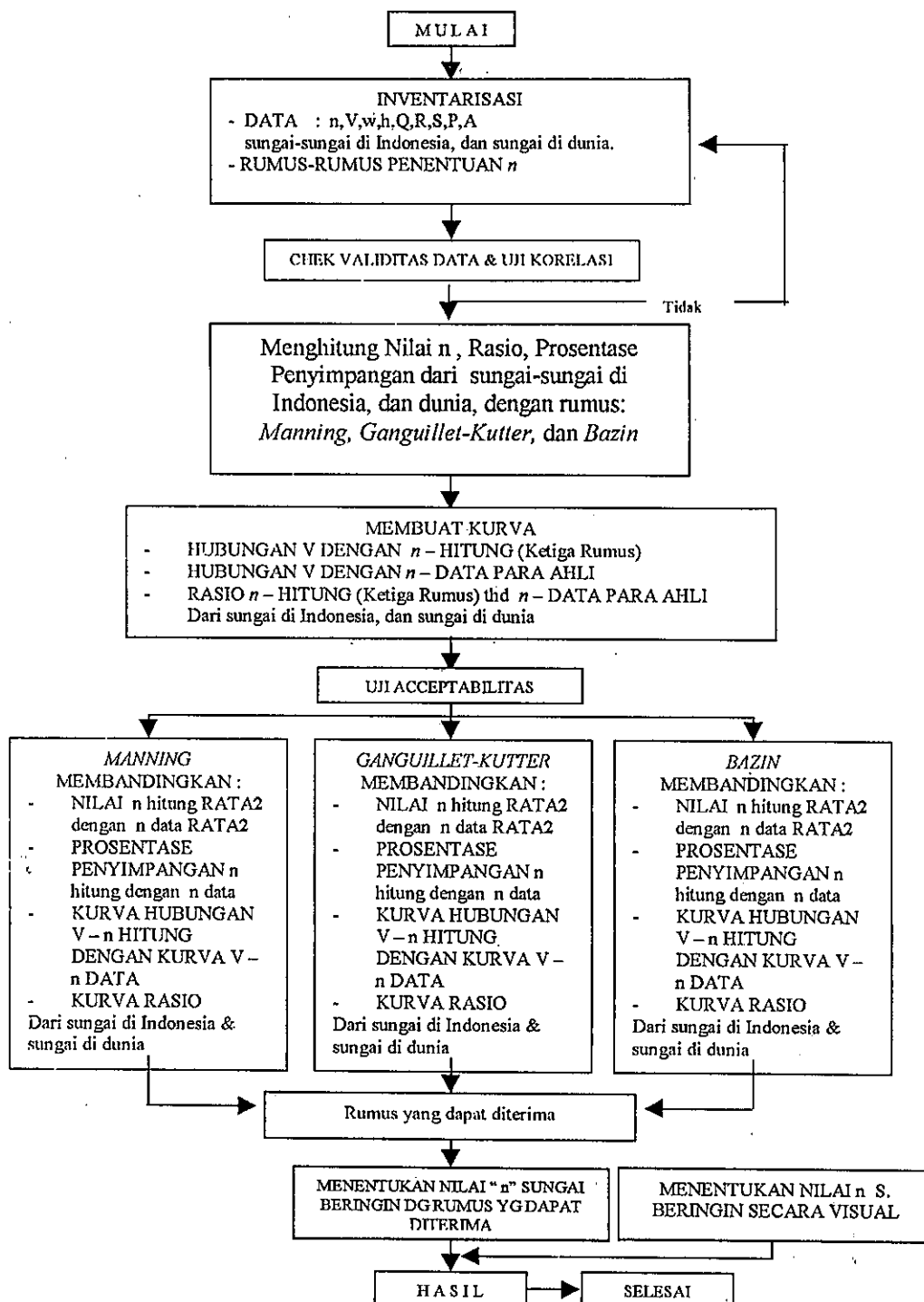


PROGRAM PASCA SARJANA TEKNIK SIPIL UNDIP

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. DIAGRAM ALIR PEMBUATAN TESIS

Alur pelaksanaan penelitian dilakukan seperti diagram dibawah ini :



3.2. ASUMSI

Sungai yang diselidiki adalah saluran terbuka (*Open Channel*) dengan aliran tetap seragam (*Steady Flow*).

3.3. METODE PENELITIAN

3.3.1. Inventarisasi Data

Penelitian dilakukan terhadap 15 bagian Sungai Beringin yang selanjutnya dinamakan Kode Bagian (*section code*) atau Kode Stasiun. Selanjutnya nilai dari variabel-variabel pada 15 (lima belas) titik pengamatan yang tersebar dari hulu sampai hilir tersebut digunakan untuk menghitung nilai variabel-variabel hidrolis lain yang belum diketahui.

Data sungai – sungai di Indonesia diambil dari Laporan Hasil Pengukuran Aliran Sungai, Dinas Pekerjaan Umum Pengairan Propinsi Jawa Tengah. Sedangkan data sungai-sungai di dunia diambil dari hasil penelitian *Barnes (AS)*.

Data sungai-sungai di Indonesia, di dunia, dan Sungai Beringin dicuplik sesuai dengan keadaan yang ada dari sumber data tanpa merubah nilai yang tercantum dalam daftar.

3.3.2. Chek Validitas (Verifikasi)

Verifikasi variabel-variabel hidrolis Sungai Beringin dilakukan dengan program komputer, menggunakan Tes *Kolmogorov-Smirnov*. Apabila variabel-variabel tersebut memenuhi syarat selanjutnya dilakukan uji korelasi.

3.3.3. Uji Korelasi

Ada tidaknya hubungan antara variabel-variabel dianalisis dengan komputer menggunakan Korelasi Pearson (*Pearson Correlation*). Apabila variabel tersebut berhubungan, maka selanjutnya data dari variabel-variabel tersebut digunakan untuk meneliti nilai koefisien kekasaran sungai.

3.3.4. Menghitung Nilai n Sungai di Indonesia dan di Dunia

Nilai n sungai-sungai di dunia dan di Indonesia dihitung menggunakan rumus *Manning*, rumus *Ganguillet - Kutter*, dan rumus *Bazin*, yang dihitung dari nilai variabel-variabel hidrolis sungai-sungai di Indonesia dan dunia yang sudah pernah diteliti oleh para ahli.

Penggunaan rumus dilakukan dengan langkah – langkah sebagai berikut :

A. Menghitung n dengan Rumus *Manning*

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

dimana : V = kecepatan rata-rata (m/det)

R = jari-jari hidrolis (m)

S = kemiringan saluran

n = koefisien kekasaran, dikenal sebagai nilai n dari

Manning.

B. Menghitung n dengan Rumus *Ganguillet-Kutter*

$$\frac{V}{\sqrt{RS}} = \frac{41,65 + \frac{0,00281}{S} + \frac{1,811}{n}}{1 + \left(41,65 + \frac{0,00281}{S}\right) \frac{n}{\sqrt{R}}}$$

dimana :

- S = kemiringan saluran n = koefisien kekasaran
 R = jari-jari hidrolis (m) C = koefisien Chezy
 V = kecepatan alir (m/det)

C. Menghitung n menurut Rumus *Bazin*

$$n = \frac{mR^{-1/3} + R^{1/6}}{157,6}$$

- dimana : R = jari-jari hidrolis (m)
 m = koefisien kekasaran Bazin
 n = koefisien kekasaran *Manning* menurut *Bazin*

3.3.5. Menghitung Nilai Rasio n_{hitung} / n_{data}

Nilai kekasaran (n) sungai-sungai di Indonesia dan di dunia hasil hitungan dengan rumus *Manning*, rumus *Ganguillet-Kutter*, dan rumus *Bazin*, dibandingkan dengan nilai kekasaran (n) sungai-sungai di dunia dan Indonesia yang sudah pernah diteliti oleh para ahli sebelumnya.

$$\text{Rasio.nilai..}n = \frac{n_{hitung}}{n_{data}}$$

3.3.6. Menghitung Nilai Prosentase Penyimpangan

1. Menghitung prosentase penyimpangan nilai kekasaran (n) sungai-sungai di Indonesia dan dunia hasil hitungan dengan rumus *Manning* terhadap nilai kekasaran (n) sungai-sungai di Indonesia dan Dunia yang sudah pernah diteliti oleh para ahli sebelumnya (n data).
2. Menghitung prosentase penyimpangan nilai kekasaran (n), sungai-sungai di Indonesia dan dunia hasil hitungan dengan rumus *Ganguillet-Kutter* terhadap nilai kekasaran (n) sungai-sungai di Indonesia dan dunia yang sudah pernah diteliti oleh para ahli sebelumnya (n data).
3. Menghitung prosentase penyimpangan nilai kekasaran (n) sungai-sungai di Indonesia dan dunia hasil hitungan dengan rumus *Bazin* terhadap nilai kekasaran (n) sungai-sungai di Indonesia dan Dunia yang sudah pernah diteliti oleh para ahli sebelumnya (n data).

Penentuan prosentase penyimpangan dimaksudkan untuk memudahkan dalam meneliti keakuratan atau kebenaran hasil hitungan.

Rumus Penyimpangan :

$$(\text{nilai rasio} - 1) \times 100\%$$

3.3.7. Membuat Kurva Hubungan “V” dengan “n”

1. Membuat kurva hubungan V dengan n_{hitung} dari ketiga rumus dan kurva hubungan V dengan n_{data} untuk sungai-sungai di Indonesia.
2. Membuat kurva hubungan V dengan n_{hitung} dari ketiga rumus dan kurva hubungan V dengan n_{data} untuk sungai-sungai di dunia.

3.3.8. Membuat Grafik *Double Plot* n_{hitung} / n_{data}

Membuat grafik *double plot* n_{hitung} Manning, Ganguillet-Kutter, dan Bazin terhadap n_{data} para ahli dari sungai-sungai di Indonesia, dan di dunia.

3.3.9. Rumus Yang Dapat Diterima (*Acceptable*)

Pemilihan rumus dari ketiga rumus yaitu *Manning*, *Ganguillet-Kutter*, dan *Bazin* yang menghasilkan nilai n yang lebih mendekati benar dilakukan dengan cara :

1. Membandingkan rata-rata nilai n_{hitung} *Manning*, rata-rata n_{hitung} *Ganguillet-Kutter*, dan rata-rata n_{hitung} *Bazin* dengan rata-rata n_{data} sungai-sungai di Indonesia, dan di dunia yang pernah dihitung oleh para ahli.
2. Membandingkan Rasio n_{hitung} / n_{data}
Perbandingan nilai rasio n_{hitung} / n_{data} untuk rumus Manning, Ganguillet-Kutter, dan Bazin dari sungai di Indonesia dan dunia.
3. Membandingkan prosentase penyimpangan :
 - n_{hitung} *Manning* terhadap n_{data}
 - n_{hitung} *Ganguillet-Kutter* terhadap n_{data}
 - n_{hitung} *Bazin* terhadap n_{data}
 dari sungai-sungai di Indonesia dan di dunia.
4. Membandingkan kurva hubungan $V - n_{Manning}$, kurva $V - n_{Ganguillet-Kutter}$ dan kurva $V - n_{Bazin}$ terhadap kurva $V - n_{data}$ sungai-sungai di Indonesia dan di dunia yang sudah pernah diteliti oleh para ahli.

5. Membandingkan grafik *double plot* $n_{Manning}$ terhadap n_{data} , $n_{Ganguillet-Kutter}$ terhadap n_{data} , n_{Bazin} terhadap n_{data} , dari sungai-sungai di Indonesia dan di dunia.

BAB IV

Analisis Penentuan Rumus

Kekasaran Sungai

*Analisis Koefisien Kekasaran Sungai
di Sungai Beringin*

PROGRAM PASCA SARJANA TEKNIK SIPIL UN



BAB IV

ANALISIS PENENTUAN RUMUS KEKASARAN SUNGAI

4.1. INVENTARISASI DATA

Data sungai-sungai di Indonesia diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Pengairan Propinsi Jawa Tengah yang terdiri dari 22 (dua puluh dua) sungai di Jawa Tengah.

Data sungai-sungai di dunia diperoleh dari penelitian yang dilakukan oleh *Barnes* pada 10 (sepuluh) sungai yang terdapat di negara-negara bagian di Amerika.

Data sungai di Indonesia dan dunia diambil sesuai dengan keadaan yang ada dari sumber data tanpa merubah nilai yang tercantum dalam daftar di Direktorat Jenderal Pengairan Propinsi Jawa Tengah maupun dari penelitian *Barnes* yang tercantum dalam buku *Open Channel Hydraulics*, 1987. Data lengkap hasil inventarisasi sungai-sungai di Indonesia dan sungai - sungai di dunia dapat dilihat pada Lampiran II-A dan Lampiran III-A.

4.2. NILAI KEKASARAN “n”

Dari data sungai-sungai di Indonesia, dan dunia, yang sudah pernah dibuat oleh para ahli hidrolika, dihitung kembali nilai n - nya dengan menggunakan rumus *Manning* (persamaan 2.11), rumus *Ganguillet-Kutter* (persamaan 2.3), dan rumus *Bazin* (persamaan 2.4).

- Contoh sebagian hasil perhitungan koefisien kekasaran (n) Sungai-sungai di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 4.1
- Contoh sebagian hasil perhitungan koefisien kekasaran (n) sungai-sungai di dunia dapat dilihat pada Tabel 4.2

Tabel 4.1 : Nilai Kekasaran n Sungai di Indonesia

No	Kode Stasiun Sungai	Kecep.	Debit	Lebar	Tinggi	Kemi-	Luas	Jari-2	Koef.	n	n	n
		Aliran	Sungai	Sungai	Aliran	Ringan	Pnp.	Hidrolik	Chezy	Manning	Bazin	Ganguillet
		V	Q	W	H	S	A	R	C			Kutter
		(m/det)	(m ³ /det)	(m)	(m)		(m ²)	(m)				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Bengawan Solo(Sek.1)	0,551	7,00	22,0	0,42	4E-04	12,71	1,411	42,0	0,0458	0,02522	0,0460
2	Bengawan Solo(Sek.2)	0,765	9,01	27,0	0,72	4E-04	11,78	2,432	44,4	0,0474	0,02612	0,0520
3	Bengawan Solo(Sek.3)	0,673	5,43	18,5	0,52	4E-04	8,07	2,075	42,3	0,0485	0,02670	0,0520
4	Bengawan Solo(Sek.4)	0,650	4,99	12,0	0,50	4E-04	7,68	1,782	44,1	0,0454	0,02497	0,0460
5	Bengawan Solo(Sek.5)	1,245	215,55	82,5	4,33	4E-04	173,40	5,201	49,4	0,0484	0,02665	0,0550
6	Bengawan Solo(Sek.6)	1,234	203,72	82,0	4,22	4E-04	165,10	5,138	49,3	0,0484	0,02665	0,0550
7	Bengawan Solo(Sek.7)	0,573	7,27	18,0	0,49	4E-04	12,07	1,562	41,5	0,0471	0,02596	0,0480
8	Sulang (Seksi 1)	0,525	3,78	9,5	0,63	2E-04	7,19	2,031	47,2	0,0433	0,02384	0,0450
9	Sulang (Seksi 2)	0,550	4,21	9,5	0,73	2E-04	7,62	2,254	46,9	0,0443	0,02441	0,0470
10	Sulang (Seksi 3)	0,341	1,00	2,5	0,78	2E-04	2,29	1,044	42,8	0,0428	0,02353	0,0430
11	Sulang (Seksi 4)	0,445	2,77	1,0	1,33	2E-04	6,23	1,476	46,9	0,0413	0,02275	0,0420
12	Sulang (Seksi 5)	0,370	1,86	8,4	1,24	2E-04	5,09	1,182	43,6	0,0429	0,02358	0,0435
13	Serang (Seksi 1)	0,418	3,42	18,8	0,56	1E-04	8,19	2,576	47,2	0,0451	0,02481	0,0465
14	Serang (Seksi 2)	0,517	3,89	13,1	0,51	1E-04	6,81	3,582	49,5	0,0454	0,02499	0,0485

Tabel 4.2 : Nilai kekasaran n Sungai-sungai di dunia

No	Kode Stasiun Sungai	Kecep.	Debit	Lebar	Tinggi	Kemi-	Luas	Jari-2	Koef.	n	n	n
		Aliran	Sungai	Sungai	Aliran	Ringan	Pnp.	Hidrolik	Chezy	Manning	Bazin	Ganguillet
		V	Q	W	h	S	A	R	C			Kutter
		(m/det)	(m ³ /det)	(m)	(m)		(m ²)	(m)				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Indian Fork (Seksi 1)	0,835	021,7	18,0	1,60	3E-04	26,0	1,480	71,8	0,0270	0,01487	0,0270
2	Indian Fork (Seksi 2)	0,860	21,7	16,0	1,60	3E-04	25,4	1,470	74,2	0,0261	0,01437	0,0260
3	Indian Fork (Seksi 3)	0,841	21,7	16,0	1,60	3E-04	25,9	1,510	71,6	0,0272	0,01496	0,0275
4	Salt Creek at Roca (Sek. 1)	1,050	530,0	22,0	2,30	8E-04	49,1	2,000	47,6	0,0429	0,02358	0,0450
5	Salt Creek at Roca (Sek. 2)	1,130	53,0	24,0	1,90	8E-04	46,6	1,800	53,9	0,0371	0,02046	0,0380
6	Salt Creek at Roca (Sek. 3)	1,140	53,0	21,0	2,20	8E-04	46,2	2,000	51,6	0,0395	0,02175	0,0405
7	Salt Creek at Roca (Sek. 4)	1,140	53,0	24,0	2,00	8E-04	46,2	1,800	54,4	0,0368	0,02027	0,0380
8	Rio Chama (Seksi 1)	1,140	30,0	29,0	1,00	0,001	29,0	0,951	58,2	0,0309	0,01704	0,0310
9	Rio Chama (Seksi 2)	1,090	30,0	26,0	1,10	0,001	27,6	1,050	58,1	0,0315	0,01735	0,0310
10	Rio Chama (Seksi 1)	0,887	19,0	28,0	0,79	0,001	21,8	0,768	55,3	0,0314	0,01730	0,0310
11	Rio Chama (Seksi 2)	0,838	19,0	25,0	0,94	0,001	23,1	0,899	48,3	0,0370	0,02034	0,0370
12	Salt River (Seksi 1)	0,808	36,2	57,6	0,79	0,001	45,0	0,777	44,4	0,0393	0,02160	0,0390
13	Salt River (Seksi 2)	0,957	36,2	58,5	0,64	0,001	37,9	0,646	57,7	0,0293	0,01611	0,0290
14	Salt River (Seksi 3)	1,020	36,2	46,9	0,79	0,001	35,7	0,759	56,7	0,0306	0,01684	0,0300
15	Salt River (Seksi 4)	0,872	36,2	59,1	0,70	0,001	41,7	0,701	50,4	0,0340	0,01870	0,0335
16	Salt River (Seksi 5)	0,930	36,2	62,2	0,64	0,001	39,0	0,628	56,8	0,0296	0,01629	0,0285
17	Salt River (Seksi 6)	1,020	36,2	63,1	0,55	0,001	35,4	0,561	65,9	0,0250	0,01378	0,0250
18	Salt River (Seksi 7)	1,270	36,2	58,2	0,49	0,001	28,6	0,491	87,7	0,0184	0,01013	0,1800

Hasil perhitungan yang lebih lengkap untuk variabel sungai-sungai di Indonesia disajikan pada Lampiran II-B, sedangkan sungai-sungai di dunia disajikan pada Lampiran III-B

4.3. NILAI RASIO n_{hitung} / n_{data}

Hasil hitungan rasio diperoleh dengan rumus di bawah ini :

- A. $\frac{n_{hitung} \text{ Manning}}{n_{data}}$ sungai-sungai di Indonesia dan sungai-sungai di Dunia.
- B. $\frac{n_{hitung} \text{ G-Kutter}}{n_{data}}$ sungai-sungai di Indonesia dan sungai-sungai di Dunia.
- C. $\frac{n_{hitung} \text{ Bazin}}{n_{data}}$ sungai-sungai di Indonesia dan sungai-sungai di Dunia.

Sebagian contoh hasil perhitungan rasio dari sungai-sungai Indonesia dan dunia disajikan dalam Tabel 4.3 dan Tabel 4.4.

Tabel 4.3 : Nilai Rasio kekasaran n Manning, Ganguillet-Kutter, dan Bazin terhadap Nilai n data untuk sungai-sungai di Indonesia

No	Kode Stasiun Sungai	n Data	n Manning	n Bazin	n Ganguillet Kutter	Rasio	Rasio	Rasio
						$\frac{n_{hitung}}{n_{data}}$	$\frac{n_{hitung}}{n_{data}}$	$\frac{n_{hitung}}{n_{data}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Bengawan Solo (Seksi 1)	0,048	0,0458	0,02522	0,046	0,954	0,525	0,958
2	Bengawan Solo (Seksi 2)	0,048	0,0474	0,02612	0,052	0,988	0,544	1,083
3	Bengawan Solo (Seksi 3)	0,048	0,0485	0,02670	0,052	1,010	0,556	1,083
4	Bengawan Solo (Seksi 4)	0,048	0,0454	0,02497	0,046	0,946	0,520	0,958
5	Bengawan Solo (Seksi 5)	0,048	0,0484	0,02665	0,055	1,008	0,555	1,146
6	Bengawan Solo (Seksi 6)	0,048	0,0484	0,02665	0,055	1,008	0,555	1,146
7	Bengawan Solo (Seksi 7)	0,048	0,0477	0,02625	0,052	0,994	0,547	1,083
8	Bengawan Solo (Seksi 8)	0,048	0,0477	0,02621	0,052	0,994	0,546	1,083
9	Bengawan Solo (Seksi 9)	0,048	0,0462	0,02544	0,047	0,963	0,530	0,979
10	Bengawan Solo (Seksi 10)	0,048	0,0495	0,02726	0,048	1,031	0,568	1,000
11	Bengawan Solo (Seksi 11)	0,048	0,0475	0,02618	0,049	0,990	0,545	1,021
12	Bengawan Solo (Seksi 12)	0,048	0,0471	0,02596	0,048	0,981	0,541	1,000
13	Sulang (Seksi 1)	0,043	0,0433	0,02384	0,045	1,007	0,554	1,047
14	Sulang (Seksi 2)	0,043	0,0443	0,02441	0,047	1,030	0,568	1,093
15	Sulang (Seksi 3)	0,043	0,0442	0,0243	0,047	1,028	0,565	1,093
16	Sulang (Seksi 4)	0,043	0,0442	0,02429	0,046	1,028	0,565	1,081
17	Sulang (Seksi 5)	0,043	0,0448	0,02464	0,045	1,042	0,573	1,058
18	Sulang (Seksi 6)	0,043	0,0428	0,02353	0,043	0,995	0,547	1,000
19	Sulang (Seksi 7)	0,043	0,0413	0,02275	0,042	0,960	0,529	0,977
20	Sulang (Seksi 8)	0,043	0,0429	0,02358	0,043	0,998	0,548	1,012
21	Serang (Seksi 1)	0,045	0,0451	0,02481	0,046	1,002	0,551	1,033
22	Serang (Seksi 2)	0,045	0,0446	0,02446	0,047	0,991	0,544	1,044
23	Serang (Seksi 3)	0,045	0,0454	0,02499	0,048	1,009	0,555	1,078

Tabel 4.4 : Nilai Rasio kekasaran n Manning, Ganguillet-Kutter, dan Bazin terhadap Nilai n data untuk sungai-sungai di dunia

No	Kode Stasiun	n Data	n Manning	n Bazin	n Ganguillet Kutter	Rasio	Rasio	Rasio
						nManning ndata	nBazin ndata	nKutter ndata
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Indian Fork (Seksi 1)	0,026	0,0270	0,01487	0,0270	1,038	0,572	1,038
2	Indian Fork (Seksi 2)	0,026	0,0261	0,01437	0,0260	1,004	0,553	1,000
3	Indian Fork (Seksi 3)	0,026	0,0272	0,01496	0,0275	1,046	0,575	1,058
4	Salt Creek at Roca (Seksi 1)	0,030	0,0429	0,02358	0,0450	1,430	0,786	1,500
5	Salt Creek at Roca (Seksi 2)	0,030	0,0371	0,02046	0,0380	1,237	0,682	1,267
6	Salt Creek at Roca (Seksi 3)	0,030	0,0395	0,02175	0,0405	1,317	0,725	1,350
7	Salt Creek at Roca (Seksi 4)	0,030	0,0368	0,02027	0,0380	1,227	0,676	1,267
8	Rio Chama (Seksi 1)	0,032	0,0309	0,01704	0,0310	0,966	0,532	0,969
9	Rio Chama (Seksi 2)	0,032	0,0315	0,01735	0,0310	0,984	0,542	0,969
10	Rio Chama (Seksi 1)	0,036	0,0314	0,01730	0,0310	0,872	0,481	0,861
11	Rio Chama (Seksi 2)	0,036	0,0370	0,02034	0,0370	1,028	0,565	1,028

Hasil perhitungan rasio yang lebih lengkap untuk sungai-sungai di Indonesia disajikan pada Lampiran II-B, sedangkan sungai-sungai di dunia disajikan pada Lampiran III-B

4.4. NILAI PROSENTASE PENYIMPANGAN

Sebagian contoh hasil perhitungan prosentase penyimpangan n_{hitung} terhadap n_{data} dari sungai-sungai di Indonesia dan di dunia dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan tabel 4.6.

Tabel 4.5 : Contoh Sebagian nilai % Penyimpangan n_{hitung} terhadap n_{data} untuk Sungai di Indonesia

No	Kode Stasiun	Rasio	Rasio	Rasio	Penyimp.	Penyimp.	Penyimp.
		nManning ndata	nBazin ndata	nKutter ndata	nManning ndata %	nBazin ndata %	nKutter ndata %
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Bengawan Solo (Seksi 1)	0,954	0,525	0,958	-4,583	-47,467	-4,167
2	Bengawan Solo (Seksi 2)	0,988	0,544	1,083	-1,250	-45,587	8,333
3	Bengawan Solo (Seksi 3)	1,010	0,556	1,083	1,042	-44,377	8,333
4	Bengawan Solo (Seksi 4)	0,946	0,520	0,958	-5,417	-47,984	-4,167
5	Bengawan Solo (Seksi 5)	1,008	0,555	1,146	0,833	-44,489	14,583
6	Bengawan Solo (Seksi 6)	1,008	0,555	1,146	0,833	-44,489	14,583
7	Bengawan Solo (Seksi 7)	0,994	0,547	1,083	-0,625	-45,308	8,333
8	Bengawan Solo (Seksi 8)	0,994	0,546	1,083	-0,625	-45,391	8,333
9	Bengawan Solo (Seksi 9)	0,963	0,530	0,979	-3,750	-47,005	-2,083
10	Bengawan Solo (Seksi 10)	1,031	0,568	1,000	3,125	-43,212	0,000
11	Bengawan Solo (Seksi 11)	0,990	0,545	1,021	-1,042	-45,467	2,083
12	Bengawan Solo (Seksi 12)	0,981	0,541	1,000	-1,875	-45,926	0,000
13	Sulang (Seksi 1)	1,007	0,554	1,047	0,698	-44,553	4,651
14	Sulang (Seksi 2)	1,030	0,568	1,093	3,023	-43,221	9,302
15	Sulang (Seksi 3)	1,028	0,565	1,093	2,791	-43,499	9,302
16	Sulang (Seksi 4)	1,028	0,565	1,081	2,791	-43,508	8,140
17	Sulang (Seksi 5)	1,042	0,573	1,058	4,186	-42,697	5,814
18	Sulang (Seksi 6)	0,995	0,547	1,000	-0,465	-45,273	0,000
19	Sulang (Seksi 7)	0,960	0,529	0,977	-3,953	-47,090	-2,326
20	Sulang (Seksi 8)	0,998	0,548	1,012	-0,233	-45,154	1,163

Tabel 4.6 : Contoh sebagian nilai % Penyimpangan n hitung terhadap n data untuk Sungai di Dunia

No	Kode Stasiun	Rasio	Rasio	Rasio	Penyimp.	Penyimp.	Penyimp.
		$\frac{n_{Manning}}{n_{data}}$	$\frac{n_{Bazin}}{n_{data}}$	$\frac{n_{Kutter}}{n_{data}}$	$\frac{n_{Manning}}{n_{data}}$ %	$\frac{n_{Bazin}}{n_{data}}$ %	$\frac{n_{Kutter}}{n_{data}}$ %
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Indian Fork (Seksi 1)	1,038	0,572	1,038	3,846	-42,815	3,846
2	Indian Fork (Seksi 2)	1,004	0,553	1,000	0,385	-44,728	0,000
3	Indian Fork (Seksi 3)	1,046	0,575	1,058	4,615	-42,464	5,769
4	Salt Creek at Roca (Seksi 1)	1,430	0,786	1,500	43,000	-21,396	50,000
5	Salt Creek at Roca (Seksi 2)	1,237	0,682	1,267	23,667	-31,792	26,667
6	Salt Creek at Roca (Seksi 3)	1,317	0,725	1,350	31,667	-27,490	35,000
7	Salt Creek at Roca (Seksi 4)	1,227	0,676	1,267	22,667	-32,419	26,667
8	Rio Chama (Seksi 1)	0,966	0,532	0,969	-3,438	-46,754	-3,125
9	Rio Chama (Seksi 2)	0,984	0,542	0,969	-1,563	-45,774	-3,125
10	Rio Chama (Seksi 1)	0,872	0,481	0,861	-12,778	-51,931	-13,889
11	Rio Chama (Seksi 2)	1,028	0,565	1,028	2,778	-43,501	2,778

Hasil perhitungan prosentase penyimpangan n hitung terhadap n data untuk semua sungai di Indonesia dirangkum dalam bentuk tabel dan disajikan pada Lampiran II-B, sedangkan sungai-sungai di dunia pada Lampiran III-B.

4.5. KURVA HUBUNGAN “V” DENGAN “n”

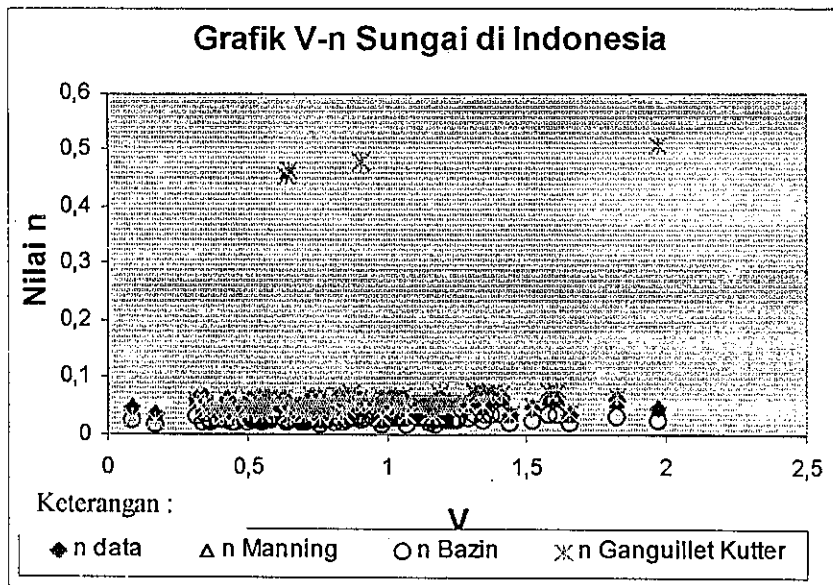
Dari hasil perhitungan yang diperoleh pada sub bab sebelumnya di atas, dibuat kurva hubungan V dengan nilai n dari sungai – sungai di bawah ini :

A. Sungai- sungai di Indonesia :

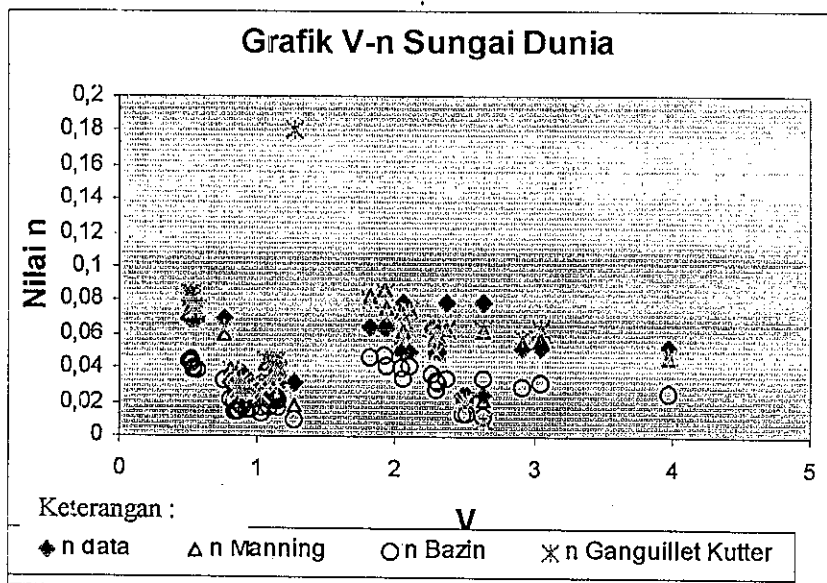
Grafik hubungan V – n_{data} , Grafik hubungan V – n_{hitung} dengan rumus Manning, Grafik hubungan V – n_{hitung} dengan rumus Ganguillet-Kutter, dan Grafik hubungan V – n_{hitung} dengan rumus Bazin, dapat dilihat pada Gambar 4.1

B. Sungai- sungai di dunia :

Grafik hubungan $V - n_{data}$, Grafik hubungan $V - n_{hitung}$ dengan rumus *Manning*, Grafik hubungan $V - n_{hitung}$ dengan rumus *Ganguillet-Kutter*, dan Grafik hubungan $V - n_{hitung}$ dengan rumus *Bazin*, dapat dilihat pada Gambar 4.2



Gb. 4.1 Grafik V dan n (Manning, Bazin, & Ganguillet-Kutter) sungai-sungai di Indonesia

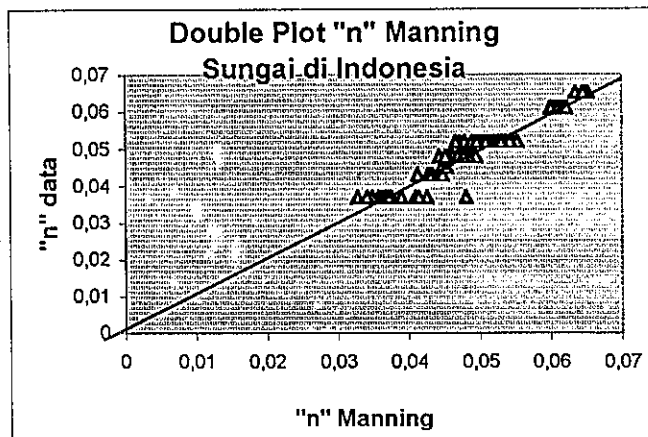


Gb. 4.2 Grafik V dan n (Manning, Bazin, & Ganguillet-Kutter) sungai-sungai di Dunia

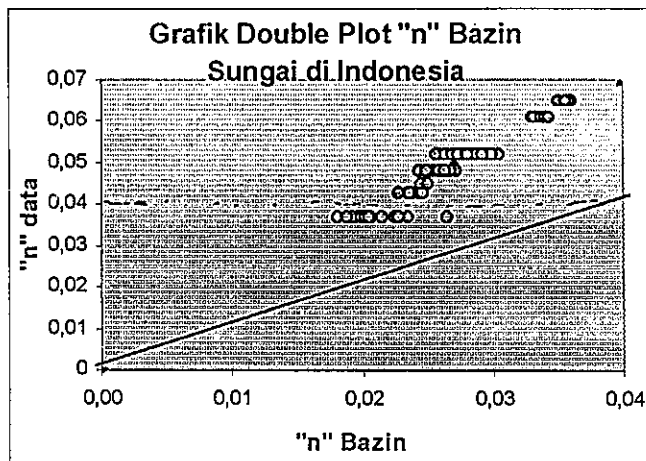
4.6. GRAFIK DOUBLE PLOT n HITUNG / n DATA

Grafik *double plot* n hitung Manning terhadap n data, n hitung Ganguillet-Kutter terhadap n data, n hitung Bazin terhadap n data sungai di Indonesia dan dunia dapat dilihat pada Gambar 4.3, Gambar 4.4, Gambar 4.5, Gambar 4.6, Gambar 4.7, dan Gambar. 4.8.

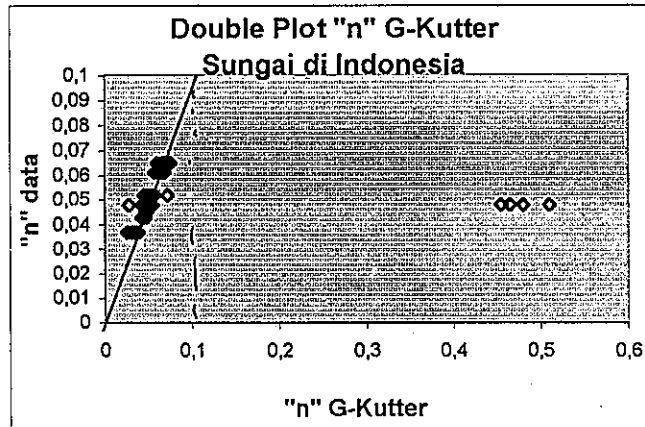
1. Sungai-sungai di Indonesia



Gb 4.3 : Grafik Double Plot n Manning dg n data Sungai di Indonesia

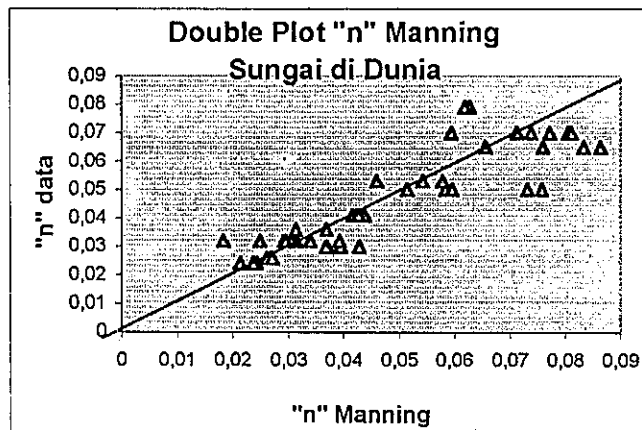


Gb 4.4 : Grafik Double Plot n Bazin dg n data Sungai di Indonesia

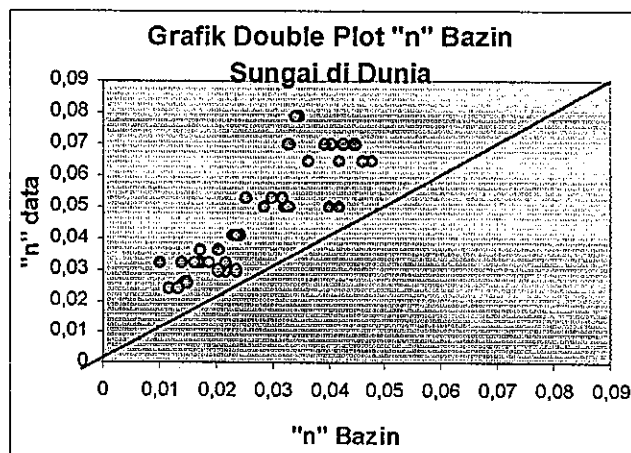


Gb 4.5 : Grafik Double Plot n Ganguillet-Kutter dg n data Sungai di Indonesia

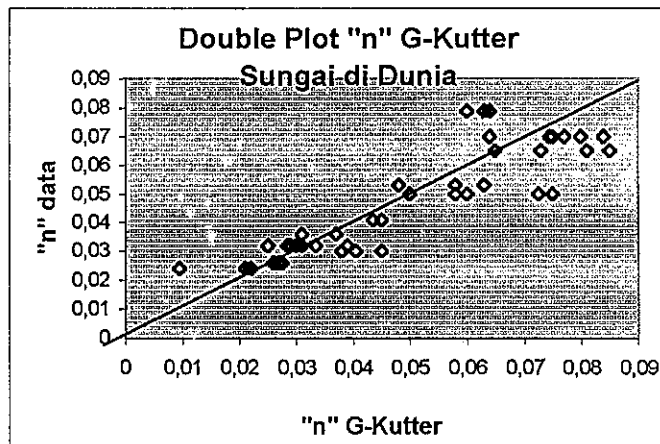
2. Sungai-sungai di Dunia



Gb 4.6 : Grafik Double Plot n Manning dg n data Sungai di Dunia



Gb 4.7 : Grafik Double Plot n Bazin dg n data Sungai di Dunia



Gb 4.8 : Grafik Double Plot n Ganguillet-Kutter dg n data Sungai di Dunia

4.7. PEMILIHAN RUMUS YANG DAPAT DITERIMA (ACCEPTABLE)

4.7.1. Cara Pemilihan

Pemilihan rumus yang menghasilkan nilai n yang lebih mendekati benar dari ketiga rumus yang digunakan, yaitu Manning, Ganguillet-Kutter, dan Bazin dilakukan dengan 5 (lima) cara :

1. Membandingkan n hitung dan n data

n hasil hitungan dianggap mendekati benar bila nilainya mendekati nilai n_{data} yang sudah pernah diteliti oleh para ahli.

2. Membandingkan rasio n hitung / n data

n hasil hitungan dianggap lebih mendekati benar bila nilai rasio n_{hitung}/n_{data} mendekati 1 (satu).

3. Membandingkan prosentase penyimpangan

n hasil hitungan dianggap lebih mendekati benar bila nilai % penyimpangan n hitungan terhadap n data mendekati 0%.

4. Membandingkan gambar kurva hubungan $V-n$
 n hasil hitungan dianggap lebih mendekati benar bila kurva hubungan $V - n$ hitungan berimpit dengan kurva hubungan $V- n_{data}$
5. Membandingkan gambar grafik *double plot* n_{hitung}/ n_{data}
 n hasil hitungan dianggap lebih mendekati benar bila sebaran data rasio n_{hitung}/ n_{data} berada pada garis normal.

4.7.2. Rumus yang dapat diterima (*Acceptable*)

1. Perhitungan n hitung dan n data

- a. Sungai-sungai di Indonesia

- Rata-rata nilai $n_{Manning}$ Sungai di Indonesia = 0,0513
- Rata-rata nilai $n_{Ganguillet-Kutter}$ Sungai di Indonesia = 0,0660
- Rata-rata nilai n_{Bazin} Sungai di Indonesia = 0,0282
- Rata-rata nilai n_{data} Sungai di Indonesia = 0,0377

Terlihat bahwa n_{hitung} Manning lebih mendekati n_{data} , berarti n_{hitung} Manning lebih mendekati benar.

- b. Sungai-sungai di Dunia

- Rata-rata nilai $n_{Manning}$ Sungai di dunia = 0,0489
- Rata-rata nilai $n_{Ganguillet-Kutter}$ Sungai di dunia = 0,0526
- Rata-rata nilai n_{Bazin} Sungai di dunia = 0,0269
- Rata-rata nilai n_{data} Sungai di dunia = 0,0465

Terlihat bahwa n_{hitung} Manning lebih mendekati n_{data} , berarti n_{hitung} Manning lebih mendekati benar.

2. Perbandingan Rasio n hitung terhadap n data

a. Sungai di Indonesia :

$$\text{- Rata-rata Rasio } n_{\text{hitung Manning}} / n_{\text{data}} = 0,9991$$

$$\text{- Rata-rata Rasio } n_{\text{hitung Ganguillet-Kutter}} / n_{\text{data}} = 1,2978$$

$$\text{- Rata-rata Rasio } n_{\text{hitung Bazin}} / n_{\text{data}} = 0,5499$$

Terlihat bahwa rasio $n_{\text{hitung Manning}} / n_{\text{data}}$ lebih mendekati nilai 1 (satu), berarti $n_{\text{hitung Manning}}$ lebih mendekati benar.

b. Sungai di dunia :

$$\text{- Rata-rata Rasio } n_{\text{hitung Manning}} / n_{\text{data}} = 1,0540$$

$$\text{- Rata-rata Rasio } n_{\text{hitung Ganguillet-Kutter}} / n_{\text{data}} = 1,1580$$

$$\text{- Rata-rata Rasio } n_{\text{hitung Bazin}} / n_{\text{data}} = 0,5802$$

Terlihat bahwa rasio $n_{\text{hitung Manning}} / n_{\text{data}}$ lebih mendekati nilai 1 (satu), berarti $n_{\text{hitung Manning}}$ lebih mendekati benar.

3. Perbandingan Prosentase Penyimpangan

a. Sungai di Indonesia :

$$\text{- Rata-rata penyimpangan } n_{\text{hitung Manning}} = - 0,089 \%$$

$$\text{- Rata-rata penyimpangan } n_{\text{hitung Ganguillet-Kutter}} = 29,781 \%$$

$$\text{- Rata-rata penyimpangan } n_{\text{hitung Bazin}} = - 45,005 \%$$

Terlihat bahwa prosentase penyimpangan n hitung Manning terhadap n data lebih kecil dibandingkan dengan kedua rumus lainnya, berarti n hitung Manning lebih mendekati benar.

b. Sungai di dunia :

$$\text{- Rata-rata penyimpangan } n_{\text{hitung Manning}} = 5,402 \%$$

- Rata-rata penyimpangan $n_{\text{Ganguillet-Kutter}}$ = 15,805 %

- Rata-rata penyimpangan n_{Bazin} = - 41,982 %

Terlihat bahwa prosentase penyimpangan n hitung Manning terhadap n_{data} lebih kecil dibandingkan dengan kedua rumus lainnya, berarti n hitung Manning lebih mendekati benar.

4. Perbandingan gambar kurva hubungan $V - n$

Pada Gambar 4.1 dan 4.2, terlihat bahwa sebaran data n_{hitung} Manning dari Sungai di Indonesia dan dunia lebih mendekati sebaran data dari n_{data} sungai di Indonesia dan dunia yang sudah pernah diteliti sebelumnya, berarti n yang dihitung dengan rumus Manning lebih mendekati benar.

5. Perbandingan gambar Grafik *Double Plot* $n_{\text{hitung}} / n_{\text{data}}$

Pada Gambar 4.3 dan 4.6, terlihat bahwa sebaran data rasio n_{hitung} Manning/ n_{data} dari sungai di Indonesia maupun di dunia lebih mendekati garis normal, berarti n yang dihitung dengan rumus Manning lebih mendekati benar

Dari kelima cara pemilihan , semua menunjukkan bahwa n yang dihitung dengan rumus Manning lebih mendekati benar atau rumus Manning lebih dapat diterima.

BAB V

Analisis & Pembahasan

Koefisien Kekasaran S. Beringin

*Analisis Koefisien Kekasaran Sungai
di Sungai Beringin*



PROGRAM PASCA SARJANA TEKNIK SIPIL UNDIP

BAB V
ANALISIS DAN PEMBAHASAN KOEFISIEN KEKASARAN
SUNGAI BERINGIN

5.1. INVENTARISASI DATA SUNGAI BERINGIN

Data Sungai Beringin diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Pengairan Propinsi Jawa Tengah dimana diambil sesuai dengan keadaan yang ada dari sumber data tanpa merubah nilai yang tercantum dalam daftar di Direktorat Jenderal Pengairan Propinsi Jawa Tengah.

Data lengkap hasil inventarisasi Sungai Beringin dapat dilihat pada Lampiran IV-A dan Lampiran IV-B.

5.2. CHEK VALIDITAS DATA

Sebelum dianalisis lebih lanjut, data seluruh variabel hidrolik Sungai Beringin diuji validitasnya dengan program komputer, menggunakan Tes *Kolmogorov-Smirnov*.

5.2.1. Pengambilan Keputusan

Dasar pengambilan keputusan berdasarkan:

1. Probabilitas (Asymptotic Significant) :

- Jika probabilitas > 0.05 , maka hipotesis diterima
- Jika probabilitas < 0.05 , maka hipotesis ditolak.

2. Gambar kurva :

Jika distribusi suatu variabel adalah normal, maka sebaran data berada disekitar garis normal.

5.2.2. Keputusan

1. Terlihat pada keluaran (print out) contoh uji normalitas variabel *V* (kecepatan alir) Tabel 5.1, bahwa pada kolom nilai signifikansi (*Asymtotic Significant*) adalah 0,768 atau di atas 0,05 ($0,768 > 0,05$), maka hipotesa diterima atau distribusi variabel *V* adalah normal.
2. Terlihat pada gambar 5.1, bahwa sebaran data variabel *V* berada disekitar garis normal, maka dapat dikatakan distribusi variabel *V* adalah normal

Uji normalitas untuk variabel-variabel lain dilakukan dengan cara yang sama

Contoh keluaran (print out) komputer : Test Normalitas data kecepatan aliran Sungai Beringin :

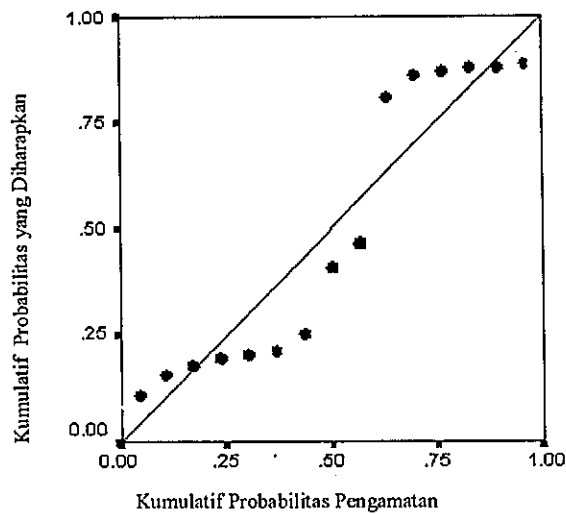
Tabel 5.1 Contoh Uji Validitas Data Variabel *V*

		V
N		15
Parameter Normal ^{a,b}	Rata-rata	3,330333
	Std. Deviasi	0,757276
Penyimpangan Terbesar Perbedaan	Mutlak	0,172
	Positif	0,148
	Negatif	-0,172
Kolmogorov-Smirnov Z		0,665
Asymp. Sig (2-tailed)		0,768

- a. test distribusi adalah normal
- b. terhitung dari data

Normal P-P Plot - V

Variabel Tidak Bebas : V



Gb. 5.1 Kurva Normal P-P Plot dari V

Pada hasil keluaran (print out) komputer untuk uji normalitas variabel-variabel hidrolis Sungai Beringin yang lain (Lampiran V) terlihat bahwa seluruh variabel berdistribusi normal.

5.3. UJI KORELASI

Analisis korelasi dimaksudkan untuk mengetahui apakah data yang ada mempunyai cukup bukti bahwa ada kaitan atau hubungan antara variabel-variabel dalam sampel. Bila ada hubungan, seberapa kuat hubungan antar variabel tersebut.

5.3.1. Analisis

1. Arti angka korelasi

- angka korelasi 0 (nol) berarti tidak ada korelasi sama sekali. Angka korelasi 1 (satu) berarti korelasi sempurna.

- Tanda “-“ (negatif) pada output berarti antar variabel berbanding terbalik. Tanda “+” (positif) pada output berarti antar variabel berbanding lurus.

2. Signifikansi hasil korelasi

Signifikansi didasarkan pada probabilitas.

- Jika probabilitas $> 0,05$, maka tidak ada hubungan (korelasi) antara 2 (dua) variabel atau angka korelasi 0 (nol).
- Jika probabilitas $< 0,05$, maka antara 2 (dua) variabel ada hubungan (korelasi) atau angka korelasi tidak sama dengan 0 (nol).
- Jika probabilitas $< 0,01$, berarti antara 2 (dua) variabel berkorelasi sangat signifikan.

5.3.2. Keputusan

1. Pada tabel 5.2 dan tabel 5.3 contoh keluaran uji korelasi antara variabel n dengan V dan n dengan Q , terlihat korelasi n - V lebih besar dari n - Q .

Tabel 5.2 : Tabel Korelasi V dan n Sungai Beringin

Korelasi		
	n	V
n	Korelasi Pearson	-0,998(**)
	Sig. (2-tailed)	0,0001
	N	15
V	Korelasi Pearson	-0,998(**)
	Sig. (2-tailed)	0,0001
	N	15
** Berkorelasi signifikan bila pada level 0,01 (2-tailed).		

Tabel 5.3. : Tabel Korelasi Q dan n Sungai Beringin

Korelasi			
		n	Q
n	Korelasi Pearson	.	-0,241
	Sig. (2-tailed)	.	0,388
	N	.	15
Q	Korelasi Pearson	-0,241	.
	Sig. (2-tailed)	0,388	.
	N	15	.

2. Angka korelasi antara variabel n dan V dari Tabel 5.2 adalah $-0,998$, berarti ada korelasi antara n dan V , tetapi karena tandanya “-“ (negatif), berarti bila n makin besar, maka V makin kecil atau berbanding terbalik. Probabilitas atau signifikansi $0,0001$ atau lebih kecil dari $0,01$ berarti variabel n dan V berkorelasi sangat signifikan.
3. Angka korelasi antara variabel n dan Q dari Tabel 5.3 adalah $-0,241$, berarti n dan Q ada korelasi, tetapi sangat lemah, hal ini diperkuat oleh probabilitas atau signifikansi dimana nilainya $0,388$ atau lebih besar dari $0,05$.
4. Angka korelasi antara variabel n dan A dari Tabel 5.4 di bawah, adalah $0,518$, berarti n dan A ada korelasi, tetapi karena tandanya “+“ (positif), berarti bila n makin besar, maka A makin besar pula atau sebanding. Probabilitas atau signifikansi $0,048$ atau lebih kecil dari $0,05$ berarti variabel n dan A berkorelasi.

5. Angka korelasi antara variabel n dan R dari Tabel 5.4 adalah 0,655, berarti ada korelasi antara n dan R , tetapi karena tandanya “+” (positif), berarti bila n makin besar, maka R makin besar atau berbanding searah berarti n dan R ada korelasi, hal ini diperkuat oleh probabilitas atau signifikansi dimana nilainya 0,008 atau lebih kecil dari 0,01.

Berdasarkan pada hasil Uji Korelasi, maka rumus-rumus yang digunakan dalam meneliti koefisien kekasaran sungai (n) adalah rumus yang variabel-nya berkorelasi kuat dengan variabel n , seperti V , A , dan R , sedangkan Q tidak

Hasil Uji Korelasi dari semua variabel hidrolik terhadap variabel n dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 5.4 Tabel Korelasi seluruh variabel hidrolik S. Beringin

		Korelasi					
		n	w	h	S	A	
n	Korelasi Pearson	.	0,113	0,512	-0,505	0,518	
	Sig. (2-tailed)	.	0,689	0,051	0,055	0,048(*)	
	N	.	15	15	15	15	
w	Korelasi Pearson	0,113	.	0,792	-0,904	0,877	
	Sig. (2-tailed)	0,689	.	0,0001(**)	0,0001(**)	0,0001(**)	
	N	15	.	15	15	15	
h	Korelasi Pearson	0,512	0,792	.	-0,904	0,973	
	Sig. (2-tailed)	0,051	0,0001(**)	.	0,0001(**)	0,0001(**)	
	N	15	15	.	15	15	
S	Korelasi Pearson	-0,505	-0,904	-0,904	.	-0,970	
	Sig. (2-tailed)	0,055	0,0001(**)	0,0001(**)	.	0,0001(**)	
	N	15	15	15	.	15	
A	Korelasi Pearson	0,518	0,877	0,973	-0,970	.	
	Sig. (2-tailed)	0,048(*)	0,0001(**)	0,0001(**)	0,0001(**)	.	
	N	15	15	15	15	.	
		** Berkorelasi signifikan bila pada level 0,01 (2-tailed).					
		* Berkorelasi signifikan bila pada level 0,05 (2-tailed).					

Dari Tabel 5.4 terlihat bahwa:

- a. Nilai n dan A terdapat korelasi, dan
- b. Nilai n - R , w - h , w - S , w - R , w - A , h - S , h - R , h - A , S - R , S - A , dan R - A , berkorelasi sangat signifikan.

5.4. PERHITUNGAN VARIABEL HIDROLIK

Variabel hidrolis Sungai Beringin yang belum diketahui dalam data yaitu R dan P . Sedangkan yang diketahui adalah variabel V , A , Q , w , h , S , dan n , seperti terlihat pada Lampiran IV-A.

P dan R dihitung dengan nilai P (keliling basah sungai) dicari terlebih dahulu menggunakan data gambar potongan melintang dari stasioning Sungai Beringin dengan tinggi aliran (h) sesuai data yang ada dalam Lampiran IV-A, mulai dari hulu sampai dengan hilir. Perhitungan nilai P dilakukan dengan menggunakan *Curvimeter* dan dengan metode seperti pada Gambar 2.1 halaman 10. Tahapan perhitungan dilakukan sebagai berikut :

- P (m) dihitung dengan keadaan sebenarnya Potongan Melintang setiap STA dari ruas Sungai Beringin.
- R (m) dihitung dengan rumus :

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

dimana :

R = jari-jari hidrolis (m)

A = luas penampang basah (m^2), sudah ada dalam data sungai

P = panjang keliling basah (m), dengan mengukur panjang skala gambar potongan melintang.

- n (nilai kekasaran sungai) dihitung dengan rumus Manning, Ganguillet-Kutter, dan Bazin, seperti pada Subbab 3.3.4.

Hasil perhitungan yang lengkap variabel P , R , dan n dapat dilihat pada Lampiran IV-B.

5.5. PENENTUAN NILAI “ n ” SUNGAI BERINGIN DENGAN RUMUS YANG DAPAT DITERIMA (*ACCEPTABLE*)

Pengambilan data tidak dilakukan secara waktu yang berurutan (Time Series), tetapi dilakukan pada lokasi dan waktu yang berbeda.

Data Sungai Beringin sepanjang 11,0 km ditentukan secara acak pada 15 (lima belas) titik yang akan diteliti yang selanjutnya dinamakan Kode Bagian (*Section Code*) atau Kode Stasiun Sungai.

Apabila 15 (lima belas) titik ini dikelompokkan, maka pada bagian hulu (dataran tinggi) terdapat 5 (lima) buah kode bagian (*section code*), bagian tengah 8 (delapan) buah kode bagian, sedangkan pada bagian hilir (dataran rendah) terdapat 2 (dua) buah kode bagian sungai (Lampiran I-A : Kondisi Eksisting Sungai Beringin dan Letak Stasioning).

Kondisi tanah disekitar Sungai Beringin sesuai hasil penelitian laboratorium (Lampiran I-B : Data Hasil Uji Laboratorium) yang dilakukan di dua tempat menyatakan bahwa kondisi tanah sampai kedalaman 1,00 m adalah lempung, dan pada kedalaman 2,00 m yakni lempung kepasiran.

Apabila 15 titik ini dikelompokkan , maka pada bagian hulu terdapat 5 (lima) buah kode bagian (section code) yakni STA 0+075 sampai dengan STA 2+595, terlihat pada ruas atas Tabel 5.5, pada bagian tengah terdapat 8 (delapan) buah kode bagian sungai yakni STA 2+900 sampai dengan STA 6+525, sedangkan pada hilir terdapat 2 (dua) kode, yakni STA 6+913 dan STA 7+155, seperti pada ruas bawah Tabel 5.5. Nilai variabel-variabel hidrolis Sungai Beringin yang diketahui adalah sebagai berikut :

Tabel 5.5 : Tabel Data S. Beringin

STA	Koef. Kekasaran n	Debit Q (m ³ /det)	Kecep. Aliran V (m/det)	Lebar Sungai w (m)	Dalam Aliran h (m)	Kemiringan S	Luas A (m ²)	
0+075	0,030	69,949	3,3310	8,00	1,81	0,0070	20,999	Bag. Hulu
1+225	0,030	74,632	3,2130	8,00	1,95	0,0060	23,228	
2+120	0,030	94,298	3,2700	12,00	1,84	0,0060	28,837	
2+500	0,030	93,777	2,9870	14,00	1,79	0,0050	31,395	
2+595	0,030	94,249	2,9160	16,00	1,67	0,0050	32,321	
2+900	0,030	216,447	3,5250	20,00	2,46	0,0045	61,403	Bag. Tengah
4+550	0,030	216,788	3,3280	22,00	2,43	0,0040	65,141	
4+590	0,030	223,782	3,3320	23,00	2,41	0,0040	67,161	
5+125	0,030	230,923	3,3660	23,00	2,46	0,0040	68,605	
5+325	0,023	231,882	4,1700	25,00	2,13	0,0040	55,607	
5+725	0,023	239,266	4,2170	25,00	2,17	0,0040	56,738	
5+925	0,023	248,873	4,2780	25,00	2,23	0,0040	58,175	
6+525	0,023	253,727	4,3070	25,00	2,25	0,0040	58,910	
6+913	0,030	228,082	1,8770	30,00	3,20	0,0009	121,514	Bag. Hilir
7+155	0,030	213,318	1,8380	30,00	3,08	0,0009	116,060	

Sumber : Final Report Semarang Urban Drainage Masterplan Project

Variabel hidrolis diatas dipakai untuk menghitung variabel hidrolis yang belum diketahui yakni *P*, *R*, dan *n* perhitungan dengan ketiga rumus.

Tabel 5.6 : Tabel Data P, R, dan n hitung S. Beringin

No	Kode stasiun	Kell. Basah P (m)	Jari-jari hidrolis R (m)	n Manning	n Bazin	n Kutter
BAGIAN HULU						
1	0+075	8,900	2,359	0,0445	0,0205	0,0570
2	1+225	10,100	2,300	0,0420	0,0206	0,0620
3	2+120	12,000	2,403	0,0425	0,0205	0,0482
4	2+500	18,400	1,706	0,0338	0,0210	0,0335
5	2+595	20,400	1,584	0,0330	0,0211	0,0300
BAGIAN TENGAH						
6	2+900	25,340	2,423	0,0343	0,0205	0,0295
7	4+550	28,000	2,326	0,0334	0,0205	0,0350
8	4+590	28,200	2,382	0,0339	0,0205	0,0335
9	5+125	29,800	2,302	0,0328	0,0206	0,0340
10	5+325	30,200	1,841	0,0228	0,0157	0,0290
11	5+725	30,800	1,842	0,0225	0,0157	0,0200
12	5+925	30,500	1,907	0,0227	0,0157	0,0225
13	6+525	30,700	1,919	0,0227	0,0157	0,0215
BAGIAN HILIR						
14	6+913	40,600	2,993	0,0332	0,0203	0,0300
15	7+155	40,900	2,838	0,0327	0,0203	0,0350

Rumus yang dapat diterima (*acceptable*) dari hasil analisis data adalah

Rumus Manning, yaitu :
$$n = \frac{1}{V} R^{2/3} S^{1/2}$$

Contoh perhitungan nilai kekasaran *n* pada STA 0+075 dengan rumus Manning sebagai berikut:

diketahui :

$V = 3,3310 \text{ m/det}$

$R = 2,359 \text{ m}$

$S = 0,0070$

Jadi
$$n = \frac{1}{3,3310} 2,359^{2/3} 0,0070^{1/2} = 0,0445$$

Dengan cara yang sama, diperoleh nilai *n* Sungai Beringin seperti pada Tabel 5.6 di atas.

Dari nilai kekasaran sungai di atas, maka diperoleh rasio antara *n*hitung Manning, Bazin, dan Ganguillet-Kutter terhadap *n*data . Rasio yang

diperoleh dapat untuk menghitung penyimpangan yang terjadi, seperti dalam tabel di bawah ini.

Tabel 5.7 : Nilai % Penyimpangan n_{hitung} terhadap n_{data} untuk Sungai Beringin

No.	Kode STA	Rasio			Penyimp.		
		$\frac{n_{Manning}}{n_{data}}$	$\frac{n_{Bazin}}{n_{data}}$	$\frac{n_{Kutter}}{n_{data}}$	$\frac{n_{Manning}}{n_{data}}$	$\frac{n_{Bazin}}{n_{data}}$	$\frac{n_{Kutter}}{n_{data}}$
BAGIAN HULU							
1	0+075	1,484	0,684	1,900	48,388	-31,606	90,003
2	1+225	1,400	0,685	2,067	40,014	-31,497	106,667
3	2+120	1,417	0,683	1,607	41,663	-31,675	60,667
4	2+500	1,127	0,700	1,117	12,674	-30,041	11,667
5	2+595	1,099	0,704	1,000	9,854	-29,615	0,000
BAGIAN TENGAH							
6	2+900	1,144	0,683	0,983	14,441	-31,698	-1,667
7	4+550	1,112	0,685	1,167	11,221	-31,529	16,667
8	4+590	1,128	0,684	1,117	12,837	-31,625	11,667
9	5+125	1,092	0,685	1,133	9,199	-31,485	13,333
10	5+325	0,991	0,683	1,261	-0,936	-31,713	26,087
11	5+725	0,980	0,683	0,870	-2,010	-31,715	-13,043
12	5+925	0,989	0,682	0,978	-1,140	-31,813	-2,174
13	6+525	0,986	0,682	0,935	-1,411	-31,829	-6,522
BAGIAN HILIR							
14	6+913	1,106	0,676	1,000	10,646	-32,391	0,000
15	7+155	1,091	0,678	1,167	9,050	-32,198	16,667
Rata-rata		1,152	0,684	1,225	15,214	-31,6191	22,559

5.6 PENENTUAN NILAI “n” SUNGAI BERINGIN SECARA VISUAL

Penentuan n secara visual digunakan sebagai pembanding atau penunjang untuk cara penentuan nilai n menggunakan rumus dan hitungan.

A. Dengan Persamaan Cowan

Sungai Beringin adalah sungai alam yang apabila diamati kondisinya adalah sebagai berikut :

- berkelok dan berceruk
- bertebing dan berbatu
- tidak terisi penuh oleh air dan banyak kemiringan
- ada tanaman pengganggu
- penampang bervariasi

Kondisi Sungai Beringin tersebut dicocokkan dengan Tabel 2.4 dari

Woody L. Cowan (34) pada Bab II, sehingga diperoleh nilai-nilai

koreksi n sehubungan dengan sifat dan karakter sungai. Selanjutnya masing-masing nilai koreksi dimasukkan dalam persamaan Cowan

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m_5$$

dimana :

n_0 = nilai dasar n menurut bahan alamiah pembentuk sungai

n_1 = nilai yang ditambahkan sebagai efek ketidakteraturan permukaan

n_2 = nilai yang ditambahkan sebagai efek variasi bentuk penampang

n_3 = nilai yang ditambahkan sebagai efek hambatan

n_4 = nilai yang ditambahkan sebagai efek adanya tetumbuhan

m_5 = faktor koreksi karena adanya belokan-belokan.

Contoh :

- Sungai Beringin terbentuk dari tanah, sehingga menurut *Tabel 2.4* pada Bab II, $n_0 = 0,020$
- Derajat ketidakteraturan Sungai Beringin kecil sehingga menurut *Tabel 2.4*, $n_1 = 0,005$
- Variasi penampang melintang Sungai Beringin bertahap sehingga menurut *Tabel 2.4*, $n_2 = 0,000$
- Efek relatif dari hambatan kecil, sehingga menurut *Tabel 2.4*, $n_3 = 0,010$
- Jenis tetumbuhan di Sungai Beringin termasuk tetumbuhan rendah, sehingga menurut *Tabel 2.4*, $n_4 = 0,005$
- Derajat kelokan Sungai Beringin kecil, sehingga menurut *Tabel 2.4*, $m_5 = 1,000$

Nilai – nilai koreksi tersebut dimasukkan dalam rumus Cowan, sehingga :

$$n = (0,020 + 0,005 + 0,000 + 0,010 + 0,005)1,000$$

$$n = 0,040$$

B. Sistem Tabel

Membandingkan sifat-sifat dan kondisi sungai-sungai yang sudah diketahui nilai n-nya yang disusun dalam tabel berdasarkan penyelidikan ahli-ahli terdahulu dengan sifat dan kondisi Sungai Beringin.

Contoh :

Sungai Beringin adalah sungai alam yang apabila diamati kondisinya adalah berkelok dan berceruk, bertebing, berbatu, tidak terisi penuh oleh air dan banyak kemiringan, ada tanaman pengganggu, serta penampang melintang bervariasi.

Kondisi ini dibandingkan (dicocokkan) dengan *Tabel 2.5* berisi estimasi nilai koefisien kekasaran (*Estimating Hydraulic Roughness Coefficients*) yang disusun oleh *Robert E. Horton* (29), 1916. Sehingga diperoleh nilai $n = 0,030 - 0,045$, atau rata-rata $n = 0,0375$.

Nilai n Sungai Beringin yang didapatkan dengan cara visual dapat dilihat dalam *Tabel 5.8* :

Tabel 5.8 : Nilai n Sungai Beringin secara Visual

No	Keterangan	n	n rata-rata
Sungai Beringin			
	- Cara Cowan	0,040	0,040
	- Cara Tabel	0,030-0,045	0,0375
		Rata-rata n visual	0,03875

Hasil penentuan Sungai Beringin secara visual sangat mendukung hasil penentuan Sungai Beringin menggunakan rumus Manning, karena hasil penentuan secara visual didasarkan pada kondisi eksisting secara visual.

Pada hasil penentuan secara visual diperoleh nilai n rata-rata Sungai Beringin :

- | | |
|--|-----------|
| - Dengan rumus <i>Cowan</i> adalah sebesar | = 0,040 |
| - Secara tabel diperoleh sebesar | = 0,0375 |
| | |
| - Rata-rata nilai n secara visual | = 0,03875 |

Sedangkan hasil hitungan dengan rumus Manning n rata-rata Sungai Beringin di bagian hulu 0,0392, bagian tengah 0,0281, bagian hilir 0,033. Sementara n rata-rata data bagian hulu 0,030, bagian tengah 0,027, bagian hilir 0,030.

Jadi dibanding kedua rumus yang lain (rumus Ganguillet-Kutter dan rumus Bazin), lihat Lampiran IV-B, hasil penentuan n Sungai Beringin dengan rumus Manning lebih sesuai dengan hasil penentuan n Sungai Beringin secara visual, berarti n Sungai Beringin yang dihitung dengan rumus Manning hasilnya lebih mendekati benar.

5.7 PEMBAHASAN

5.7.1. Faktor-faktor Hidrolik Sungai

1. Bagian Hulu

Pada daerah ini ruas Sungai Beringin (STA 0+075 s.d. STA 2+595), Tabel 5.5, memiliki karakter sungai berada pada dataran tinggi, dengan lebar sungai yang lebih sempit ($w = 8,00-16,00$ m). Kemiringan sungai (S) lebih besar dibandingkan dengan di daerah tengah maupun hilir, yakni $0,005 - 0,007$. Kondisi kemiringan sungai yang curam mengakibatkan proses erosi lebih sering terjadi, akibatnya butiran endapan sungai yang terbentuk lebih kasar.

2. Bagian Tengah

Pada daerah ini ruas Sungai Beringin (STA 2+900 s.d. STA 6+525), Tabel 5.5, memiliki karakteristik sungai yang mulai melandai, karena terjadinya perubahan dimensi akibat proses erosi. Debit juga semakin bertambah karena dimensi cenderung melebar.

Kecepatan aliran bervariasi di bagian tengah hilir (lebih besar dan lebih kecil dari kecepatan aliran di bagian hulu) dikarenakan kondisi aliran di beberapa tempat yang melewati bangunan jembatan maupun bangunan tempat tinggal akan lebih cepat karena penyempitan sungai, sedangkan bila melewati daerah kelokan maupun dengan hambatan karena tumbuhan, maka kecepatan aliran akan berkurang.

3. Bagian Hilir

Pada daerah hilir lebar sungai (w) semakin lebar, sehingga nilai debit aliran (Q), lebar jari-jari hidrolis (R), keliling basah sungai (P) akan semakin besar dibandingkan dengan di bagian hulu. Dimensi penampang sungai semakin besar dibagian hilir.

Tabel 5.5 memperlihatkan kecepatan aliran semakin mendekati muara sungai (STA 6+913 dan STA 7+155) semakin mengecil yakni 1,800 m/det, akibat sedimentasi yang terlalu besar dan kemiringan aliran yang semakin kecil.

5.7.2. Nilai Kekasaran Sungai

1. Bagian Hulu

Nilai kekasaran (n) rata-rata, dengan perhitungan Manning Sungai Beringin pada bagian hulu sebesar = 0,0392, lebih besar nilainya dibandingkan di bagian tengah maupun hilir. Kondisi tersebut disebabkan karena keadaan daerah sekitar aliran sungai, maupun butiran material sungai yang lebih kasar dibandingkan daerah hilir yang terpengaruh oleh sedimentasi.

Menurut *James J. Doland dan Chow* (19) bahwa nilai n yang tinggi karena butiran lebih kasar dengan ditandai efek hambatan yang lebih besar pula. Demikian juga efek penggerusan karena kemiringan sungai di bagian hulu lebih curam, maka memperbesar nilai n akibat erosi pada sungai yang berlangsung terus menerus. Bila melihat Tabel 5.6 dan Lampiran IV-B,

dimana nilai n lebih besar di bagian hulu, maka perhitungan tabel di atas mendekati benar.

2. Bagian Tengah

Nilai kekasaran (n) rata-rata perhitungan Manning dibagian tengah sebesar $= 0,0281$, lebih kecil nilainya dibandingkan dengan di bagian hulu. Keadaan ini karena butiran material sungai sudah terpengaruh oleh proses sedimentasi serta pengendapan, dan agak jauh dari pengaruh penggerusan air karena kemiringan sungai sedikit melandai. Ukuran butiran material menjadi semakin halus, sehingga efek hambatan berkurang dan nilai n cenderung mengecil, seperti yang diperlihatkan pada Lampiran IV-B.

Menurut *James J. Doland dan Chow* (19) bahwa pengendapan dapat mengubah sungai yang tidak beraturan menjadi cukup beraturan dan memperkecil nilai n .

3. Bagian Hilir

Pada Lampiran IV-B dan Tabel 5.6, nilai kekasaran (n) rata-rata perhitungan Manning dibagian hilir sebesar $= 0,0330$, sedikit membesar dibandingkan dengan di bagian tengah, tetapi masih kecil dibandingkan di bagian hulu. Keadaan ini disebabkan faktor trase (alur) sungai yang tidak beraturan, sehingga memperbesar hambatan, yang memperbesar pula nilai n . Dan tidak menutup kemungkinan karena faktor hambatan tanaman maupun bangunan di daerah hilir sangat besar, hal ini dampak dari berubahnya fungsi lokasi menjadi tempat pemukiman padat mendekati daerah muara sungai.

Jika melihat taraf air dan debit menurut *E.W. Lane* (9),1951, pada *Gambar 2.9* : Gambar variasi nilai n pada taraf air rata-rata dan debit rata-rata, maka nilai n pada sungai umumnya akan berkurang bila taraf air dan debitnya bertambah. Seperti halnya dilihat pada Tabel 5.5 dan Tabel 5.6, dimana di bagian hilir, debit Sungai Beringin semakin besar, maka nilai n rata-rata pada sungai tersebut semakin kecil. Tidak sama halnya dengan di bagian hulu, debit sungai lebih kecil dan tinggi aliran air lebih rendah, maka nilai n semakin besar.

BAB VI

Kesimpulan dan Saran

*Analisis Koefisien Kekasaran Sungai
di Sungai Beringin*



PROGRAM PASCA SARJANA TEKNIK SIPIL UNDIP

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. KESIMPULAN

A. Nilai koefisien kekasaran sungai dapat diteliti dengan menggunakan rumus *Manning*, *Ganguillet-Kutter*, dan *Bazin*.

B. Penyimpangan rata-rata nilai n hitung Sungai Beringin (dari 15 data yang diamati) terhadap nilai n data untuk ketiga rumus di atas adalah :

- Rata-rata penyimpangan $n_{Manning}$	=	15,214 %
- Rata-rata penyimpangan $n_{Ganguillet-Kutter}$	=	22,559 %
- Rata-rata penyimpangan n_{Bazin}	=	- 31,619 %

Diantara ketiga rumus tersebut di atas, *Rumus Manning* adalah yang lebih mendekati nilai n data yang ada (15 titik pengamatan). Sehingga dapat digunakan untuk meneliti koefisien kekasaran Sungai Beringin, karena nilai penyimpangan yang lebih kecil dibanding rumus yang lain.

C. Koefisien kekasaran n sebagai berikut :

1. Dengan rumus Manning diperoleh nilai koefisien kekasaran Sungai Beringin dari nilai terendah sampai terbesar yakni = 0,0225 s.d. 0,0445 (dari 15 data yang diamati). Nilai n rata-rata pada beberapa bagian sungai sebagai berikut :

➤ *bagian hulu:* $n_{Manning} = 0,0392$ (STA 0+075 s.d. STA 2+595)
 $n_{Data} = 0,0300$

➤ *bagian tengah:* $n_{Manning} = 0,0281$ (STA 2+900 s.d. STA 6+525)
 $n_{Data} = 0,0270$

➤ bagian hilir: $n_{Manning} = 0,0330$ (STA 6+913 s.d. STA 7+155)

$$n_{Data} = 0,0300$$

2. Secara Visual berdasarkan :

- Estimasi nilai koefisien kekasaran R.E. Horton
(sistem tabel) $= 0,0375$.
- Penentuan nilai kekasaran Woody L. Cowan $= 0,040$.
- Rata-rata nilai n secara visual $= 0,0387$.

6.2. SARAN DAN REKOMENDASI

- A. Rumus Manning dapat digunakan untuk menghitung koefisien kekasaran sungai dari sungai-sungai lain yang mempunyai karakteristik serupa.
- B. Nilai koefisien kekasaran sungai dari Sungai Beringin dari hasil studi ini dapat digunakan untuk keperluan perancangan normalisasi atau untuk keperluan lain yang memerlukan data koefisien kekasaran sungai dengan karakteristik sungai yang sama.

DAFTAR PUSTAKA

*Analisis Koefisien Kekasaran Sungai
di Sungai Beringin*



PROGRAM PASCA SARJANA TEKNIK SIPIL UNDIP

DAFTAR PUSTAKA

1. A. Strickler, *Beitrage zur Frage der Geschwindigkeit – Keitsformel und der Rauheitszahlen fur Strome, Kanale und Geschlossene Leitungen* (Some Contributions to The Problem of the Velocity Formula and Roughness Factor for Rivers, Canals, and Close Conduits), *Mitteilungen des Eidgenossischen Amtes fur Wasserwirtschaft, Bern, Switzerland*, no. 16, 1923.
2. Andrew Chadwick and John Moorfet, *Hydraulics in Civil and Enviromental Engineering*, Departement of Civil Engineering, University of Brighton, 1993.
3. Boris A. Bakhmeteff and Nicholas V. Feodoroff, *Discussion on Open Channel Flow*, Transaction, American Society of Civil Engineers, Vol. 108, pp. 492-502, 1943.
4. Chow, Ven Te, *Open Channel Hydraulics*, Mc: Graw Hill Book Company ,1959.
5. Directorate General of Water Resources Development , Government of The Republic of Indonesia , Ministry of Public Works, *Final Report Volume 2 (Flood Control For West Semarang Rivers)*, Semarang Flood Control Project Consolidated Preparation Study (IBRD Loan No. 3913-IND) by SMEC International LTD, Semarang, November, 1999.
6. Directorate General of Water Resources Development , Government of The Republic of Indonesia , Ministry of Public Works, *Final Report Volume 6 (Part A – Land Use Planning, Part B – Watershed Management, Part C - Water Resources Planning)*, Semarang Flood Control Project Consolidated Preparation Study (IBRD Loan No. 3913-IND) by SMEC International LTD, Semarang, November, 1999.
7. Directorate General of Water Resources Development , Government of The Republic of Indonesia , Ministry of Public Works, *Final Report Volume 8 (Geotechnical Investigations)*, Semarang Flood Control Project Consolidated Preparation Study (IBRD Loan No. 3913-IND) by SMEC International LTD, Semarang, November, 1999.
8. E.C. Schneckenberg, *Alluvial Streams and Rivers*, Proceedings, New Zealand Institution of Engineers, Wellington, 1951.
9. E.W. Lane, *Discussion of Slope Discharge Formula for Alluvial Streams and Rivers*, by E.C. Schneckenberg, Proceedings, New Zealand Institution of Engineers, Wellington, 1951.
10. French, R.H., *Open Channel Hydraulics*, Mc. Graw Hill Book Company, New York,1987.
11. Garbis H. Keulegan , *Law of Turbulent Flow in Open Channels*, Research paper pp. 1151, Journal of Research U.S. National Bureau of Standards, Vol. 21, pp. 707-741, December, 1938.

12. H.J. Overbeek, *River Engineering and Flood Protection*, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand, 1987.
13. Hans A. Einstein and H.L. Barbarossa, *River Channel Roughness*, Transaction, American Society of Civil Engineers, Vol. 117, pp. 1121-1132, 1952.
14. Harace William King, *Handbook of Hydraulics*, 4th ed., revised by Ernest F. Brater, Mc Graw – Hill Book Company, Inc., New York, 1954, pp. 7-102 to 7-111.
15. Henderson, F.M., *Open Channel Flow*, Mac. Millan Publishing Co. Inc. , New York , 1966.
16. Ivan E. Houk, *Calculation of Flow in Open Channels*, Miami Concervancy District, Technical report, Pt.IV, Dayton, Ohio, 1918.
17. J. Nikuradse, *Gesetzmässigkeiten der Turbulenten Stromung in Glatten Rohren* (Law of Turbulent Flow in Smooth Pipes), Verein deutscher ingenieure, Forschungsheft, no. 356, Berlin, 1932.
18. J.J Sharp, *Hydraulic Modelling* ; Butterworth & Co Ltd, London United Kingdom, 1981.
19. James J. Doland and Ven Te Chow , *Discussion of River Channel Roughness*, by Hans A. Einstein and H.L. Barbarossa, Transaction, , American Society of Civil Engineers, Vol. 117, pp. 1134-1139, 1952.
20. K.G. Ranga Raju, *Flow Through Open Channels*, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, University of Roorkee, Roorkee, 1986.
21. Lincoln Arsyad, Drs. , *Metodologi Penelitian* , UPP-YKPN, Yogyakarta, 1995.
22. Ludwig Prandtl, *Uber die Ausgebildete Turbulens* (on fully developed turbulence), Proceedings of The 2nd International Congress of Applied Mechanics, Zurich, pp. 62-74, 1926.
23. M.C. Boyer, *Estimating the Manning Coefficient from an Average Bed Roughness in Open Channels*, Transaction, American Geophysical Union, Vol. 35, no. 16, pp. 957-961, December, 1954.
24. M.P. O'Brien, *The Vertical Distribution of Velocity in Wid Rivers*, Transactions, American Geophysical Union, Vol. 18, pt. 2, pp. 467-470, 1937.
25. Marcello Benedini, Kodwo Andah, Ricardo Harboc; *Water Resources Management : Modern Decision Techniques*, Papers from The Internasional Symposium, Perugia, 1986.
26. R.E. Featherstone and C. Nalluri, *Civil Engineering Hydraulics*, OXFORD BSP PROFESSIONAL Books, 1968.

27. Ralph W. Powell, *Resistance to Flow in Rough Channels*, Transactions, American Geophysical Union, Vol. 31, No. 4, Agustus, 1950.
28. Ranga Raju, K.G., *Aliran Melalui Saluran Terbuka*, Erlangga, Jakarta, 1986.
29. Robert E. Horton, *Some Better Kutter's Formula Coefficients* *Engineering News*, Vol. 75, no. 8, pp. 373-374, February, 1916.
30. S.F. Averianov, *O Grdavlitcheskom Raschete Rusel Krivolineinai Formy Poperechnogo Secheniia (Hydraulic design of Channels With Curvilinear Form of The Cross Section)*, Izvestiia Akademi Nauk S.S.S.R., Otdelenie Tekhnicheskikh Nauk, Moscow, 1956.
31. Sriyono, D., *Statistik dengan Microstat*, Universitas Atmajaya, Yogyakarta, 1992.
32. Supranto, J., *Statistik Teori dan Aplikasi Jilid 1*, Erlangga, Jakarta, 1997.
33. Supranto, J., *Statistik Teori dan Aplikasi Jilid 2*, Erlangga, Jakarta, 1997.
34. Woody L. Cowan, *Estimating Hydraulic Roughness Coefficients*, *Agriculture Engineering*, Vol. 37, no. 7, pp. 473-475, July, 1956.