APLIKASI METODE KONSEP REGIME PADA PERENCANAAN SUDETAN DI SUNGAI SARIO

Fuad Halim
Dosen Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi

ABSTRAK

Konsep Regim Sungai adalah salah satu metode yang diperkenalkan untuk mendimensi saluran stabil agar tidak terjadi penggerusan dan pengendapan yang berlebihan akibat adanya variasi debit yang cukup lama. Metode yang digunakan adalah metode Lacey, Blench, dan Konsep Energi Minimum.

Sungai Sario merupakan salah satu objek yang akan dilakukan perencanaan Sudetan. Hal ini dilakukan karena pada tempat-tempat tertentu di alur sungai tersebut sering terjadi luapan air, gerusan lokal (local scoring) serta tergerusnya tanggul, terutama pada daerah yang bermeander cukup tajam. Daerah yang akan dilakukan perencanaan Sudetan yaitu pada jarak 811 m - 1335 m. Secara topografi sungai tersebut terletak pada ketinggian 240 m diatas permukaan laut dan memiliki panjang sekitar 15.274,52 m. Dalam perencanaan sudetan ada tiga metode yang digunakan yaitu metode Lacey, metode Blench dan metode Konsep Energi Minimum. Ketiga metode diatas sering juga disebut sebagai Metode Regime.

Hasil analisa yang diperoleh dari ketiga metode Regim dengan debit aliran (Q) sebesar 30,50 m^3/det yaitu untuk metode Lacey didapatkan Lebar atas (B) = 14,746 m, lebar bawah (b) = 11,802 m, kedalaman aliran (D) = 1,472 m dan kemiringan saluran (S) = 3,86 x 10^{-4}. Untuk metode Blench didapatkan Lebar atas (B) =15,876 m, lebar bawah (b) = 12,894 m, kedalaman aliran (D) = 1,491 m dan kemiringan saluran (S) = 5,64 x 10^{-4}. Sedangkan untuk metode konsep Energi Minimum didapatkan lebar atas (B) = 14 m, lebar bawah (b) = 12,20 m, kedalaman aliran (D) = 0,8981 m dan kemiringan saluran (S) = 2,771 x 10^{-3}.

Dari hasil perencanaan ketiga metode diatas maka untuk dimensi Sudetan yang digunakan adalah dimensi Sudetan berdasarkan hasil perencanaan Konsep Energi Minimum.

Kata Kunci *: Sudetan, Sungai Sario, Metode Regime*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Indonesia memiliki banyak sungai dan dari jumlah tersebut 2/3 nya mempunyai morfologi sungai berkelok–kelok (*meandering*) Leopold et al (1964).

Bentuk morfologi sungai itu umumnya di bagian hilir mempunyai morfologi yang berkelok-kelok. Kondisi sungai yang seperti ini pada dasar sungai dan tebingnya mempunyai sifat yang labil. Hal ini ditandai dengan adanya longsor pada tebing, gerusan local (*local scoring*) serta tergerusnya tanggul-tanggul pada daerah tikungan sungai. Untuk meminimalkan kerusakan-kerusakan akibat morfologi sungai yang berkelok–kelok ini, maka alternatif penanganannya dipilih pembuatan alur sungai baru dengan maksud menormalisasi alur sungai dari yang berkelok-kelok (*meander*) menjadi agak lurus dan lebih pendek. Pembuatan alur sungai baru ini disebut **Sudetan.**

Dalam perencanaan bangunan keairan khususnya pada bagian tikungan sungai seperti pembuatan sudetan, perubahan-perubahan morfologi sungai yang mungkin terjadi perlu diperhatikan secara cermat sebelum pekerjaan dilakukan. Karena dengan adanya pembangunan tersebut akan menimbulkan dampak positif maupun negatif bagi masyarakat yang tinggal disekitar sungai. Namun terkadang

dalam menganalisis dimensi saluran tidak menggunakan metode – metode yang sesuai tetapi hanya ditentukan berdasarkan asumsi-asumsi, apalagi jika sungai tersebut belum mencapai kondisi yang seimbang dinamis (*equilibrium*) sehingga kemudian menimbulkan kerusakan pada bagian lain di sungai karena dimensi yang tidak sesuai.

Oleh karena itu untuk menghindari dampak yang merugikan akibat perubahan morfologi sungai pada daerah kelokan dalam perencanaan ini, penulis mencoba memperkenalkan metode yang digunakan dan cara menganalisa dimensi saluran dengan Konsep Regime.

Tujuan Penulisan

Berdasarkan latar belakang dan pemasalahan yang ada maka tujuan dari penulisan ini adalah untuk mendapatkan dimensi Saluran yang stabil berdasarkan metode Lacey, metode Blench dan metode Konsep Energi Minimum.

Pembatasan Masalah

Penulisan ini hanya dibatasi pada keadaan sebagai berikut:

1. Daerah tinjauan Perencanaan sudetan terletak pada jarak 811 m – 1335 m dengan titik awal pengukuran di bawah jembatan Boulevard
2. Perencanaan dimensi sudetan berdasarkan metode Lacey, metode Blench dan metode Konsep Energi Minimum

Manfaat Penulisan

Adapun manfaat dari penulisan ini adalah :

1. Sebagai masukan bagi perkembangan ilmu pengetahuan khususnya dalam bidang Rekayasa sungai.
2. Sebagai bahan referensi dan contoh cara perhitungan / analisis dimensi sudetan dengan menggunakan konsep Regim.
3. Perencanaan ini, dapat diaplikasikan pada pekerjaan bidang keairan, khususnya pada bidang Rekayasa sungai.

LANDASAN TEORI

Konsep Regim

Konsep Regim umumnya di artikan atau sinonim dengan suatu keseimbangan (equilibrium). konsep ini berasal dari studi tentang aliran sungai alluvial yang stabil, dengan lapisan tanah dasar yang terus bergerak (mobile bad), dimana tidak terjadi gerusan dan pengendapan dalam satu siklus tertentu.

Aliran alluvial biasanya digunakan untuk keperluan saluran dan biasanya dilaksanakan dalam kondisi debit yang konstan. Oleh karena secara alami pengaruh debit sangat bervariasi, maka kondisi regim pada suatu suatu sungai di alam tidak dapat dipastikan (dicapai dalam waktu yang cukup lama), maka kondisi ini disebut keseimbangan dinamis.

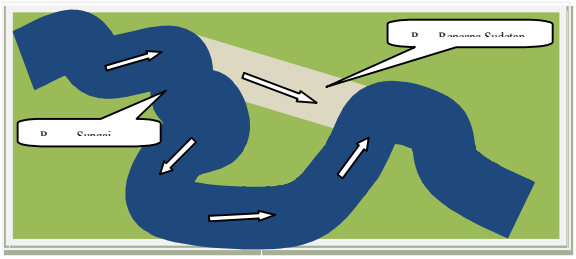
Sudetan Sungai

Pengertian sudetan sungai

Koreksi sungai adalah suatu usaha untuk mengubah tampang alur memanjang sungai yang semula bermeander atau berkelok–kelok menjadi relatif lurus. Disamping tampak memanjang, koreksi sungai juga mengubah tampang melintang sungai alamiah yang semula tidak teratur menjadi tampang teratur (biasanya berupa trapesium atau segi empat).

Pada ruas sungai yang belokan – belokannya sangat tajam atau meandernya sangat kritis maka tanggul yang akan di bangun biasanya akan menjadi lebih panjang. Selain itu pada ruas sungai yang demikian gerusan pada belokan luar akan meningkat dan terjadi kerusakan tebing sungai yang akhirnya mengancam kaki tanggul. Sebaliknya pada belokan dalamnya terjadi pengendapan yang intensif pula.

Sudetan adalah pelurusan sungai yang bermender di tempat–tempat tertentu, sehingga air sungai tersebut tidak lagi melewati meander, melainkan melintasi langsung melalui saluran sudetan baru. Secara umum kegunaan sudetan sungai adalah mengatur secara baik permukaan sungai maupun alur sungai. Sudetan ini akan menurunkan muka air disebelah hulunya tetapi muka air di sebelah hilirnya biasanya sedikit naik. Usaha penyudetan pada sungai dapat di lihat pada gambar 1.



Gambar 1. Pelurusan atau Sudetan pada sungai

Dampak sudetan sungai yang tidak di desain berdasarkan keseimbangan sungai

Dampak abiotik (*Abiotic Impacts*)

Perubahan drastis morfologi sungai

Pembangunan sungai berlangsung sekitar 80 sampai 250 tahun telah menyebabkan terjadinya perubahan yang sangat ekstrim pada sebagian wilayah sungai yang ada Indonesia.
Perubahan yang terjadi seperti :

a. perubahan lebar rata-rata sungai yang menjadi kecil.
b. panjang sungai dengan pembuatan konstruksi penguat tebing yang semakin panjang akibat penggerusan yang terjadi secara terus menerus.
c. adanya pengendapan pada bagian dalam dan penggerusan pada bagian luar sungai.

Penurunan tahanan aliran

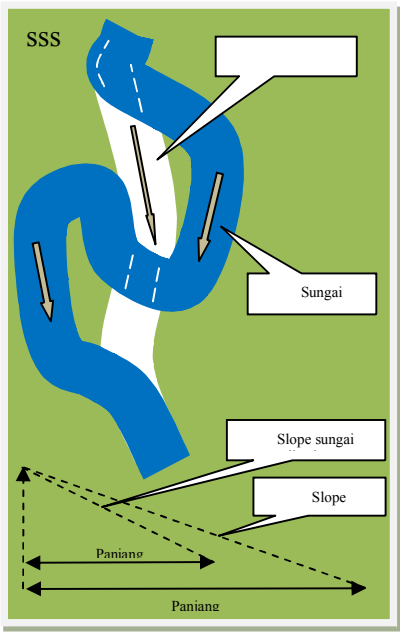
Dengan adanya koreksi sungai menyebabkan seluruh potensi retensi morfologi dan ekologi dikanan dan kiri sungai menjadi hilang. Sungai berfungsi sebagai sebuah saluran dengan retensi yang sangat rendah. Dengan diubahnya tampang memanjang dan melintang sungai menjadi lebih teratur, maka secara otomatis retensi aliran akan berkurang dan disamping itu juga akan menghilangkan bataran sungai.

Meningkatkan erosi dan dan transport sedimen

Dengan peningkatan kecepatan air akibat sudetan akan meningkatkan erosi di bagian hulu. Selanjutnya meningkatkan transportasi sedimen kearah hilir. Keseimbangan erosi dan sedimentasi (degradasi dan agradasi) akan berubah mengarah dan semakin banyaknya erosi didaerah hulu dan daerah tengah. Erosi akibat pelurusan atau sudetan sungai ini sebenarnya tidak hanya terbatas pada hulu dan hilirnya saja, melainkan dapat terjadi disepanjang sungai dengan lokasi yang sulit diprediksi.

Meninggikan slope memanjang dan memendekkan panjang alur

Dengan adanya sudetan pada sungai maka kemiringan memanjang sungai akan meningkat. Hal ini disebabkan karena beda tinggi antara hulu dan hilir sebelum dan sesudah koreksi sungai tetap, sementara setelah dikoreksi panjang sungai dari hulu sampai hilir memendek. Dengan adanya beda tinggi yang sama dan panjang alur yang lebih pendek akan menghasilkan kemiringan (*slope*) yang lebih besar.



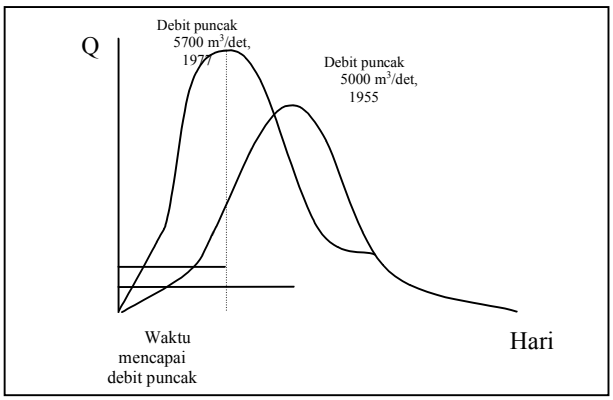
Sumber : Maryono Agus, 2002

Gambar 2. Pelurusan atau Sudetan sungai meningkatkan slope sungai dan memendekkan alur sungai

Meningkatkan debit air dihilir dan memendekkan waktu debit mencapai puncak

Dengan kecepatan air yang meningkat kearah hilir, maka debit air yang mencapai hilir akan lebih tinggi. Hal ini dilihat bahwa volume air dari hulu ke hilir hampir sama, tetapi karena

kecepatan air lebih besar dan jarak tempuhnya pendek, maka debit yang sampai kehilir akan lebih tinggi di bandingkan dengan sebelum diadakan pelurusan atau sudetan. Hal itu dapat kita lihat pada gambar 3 berikut :



Sumber : Maryono, 2002

Gambar 3. Pemendekkan waktu mencapai puncak dan waktu aliran dasar serta meningkatnya debit puncak (Debit Sungai Rhine, Maxau, Jerman)

Kerusakan struktur dasar sungai

Struktur dasar pada sungai alamiah pada umumnya relatif stabil. Struktur dasar tersebut berubah bersiklus secara regular akan kembali kebentuk semulanya, sehingga struktur semacam ini dikatakan relatif tidak berubah atau konstan. Hanya material penyusun dasar sungai secara drastis yang sebelumnya relatif stabil.

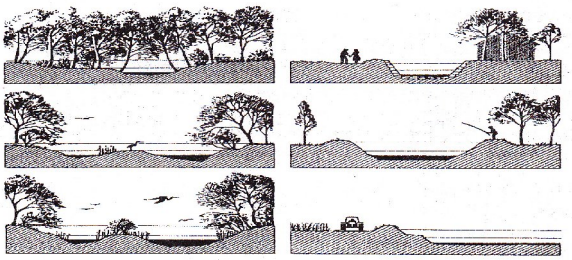
Dengan pembangunan sungai berupa pengerukan, pembetonan dinding, perkerasan dasar dan sebagainya akan menyebabkan karakteristik aliran di sungai tersebut berubah. Perubahan ini akan di ikuti oleh perubahan seluruh struktur dasar sungai dalam mencari keseimbangan barunya. Untuk mencapai keseimbangan baru ini diperlukan waktu yang cukup lama. Dalam skala ruang dan waktu (room time scale) keseimbangan morfologi sungai baru bisa dicapai sekitar 10.000 – 25.000 tahunan setelah terjadi perubahan (Maryono 2003).

Menurunkan daya dinamis atau kestabilan sungai

Dengan sungai-sungai yang lurus maka disepanjang alur sungai tidak didapat kondisi dinamik sungai yang cukup. Kondisi dinamik yang tinggi akan terjadi jika disepanjang alur sungai frekuensi genangan dan pengatusan (pasang dan surut muka air) tinggi, kecepatan di sepanjang sungai beragam, kedalaman air sungai beragam dan turbulensi air sungai juga beragam. Kondisi dinamis yang seperti itu akan sangat mendukung kehidupan flora dan fauna di daerah tersebut, karena dengan dinamisasi wilayah aliran sungai yang tinggi, maka semakin banyak di verifikasi flora dan fauna dialur sungai tersebut.

Dengan pelurusan atau sudetan bahkan penyerdehanaan profil sungai baik profil memanjang maupun melintang, akan menjurus kearah homogenisasi keseluruh faktor yang ada pada sungai, sehingga sifat dinamik sungai berubah menjadi sangat rendah.

Pada gambar 4 berikut menunjukkan Perubahan Klasik dari kondisi sungai alamiah ke kondisi buatan



Sumber : Maryono Agus, 2002

Gambar 4. Perubahan Klasik dari kondisi sungai alamiah (ekologis - kiri) ke kondisi buatan (hidraulik murni - kanan)

Penurunan muka air tanah

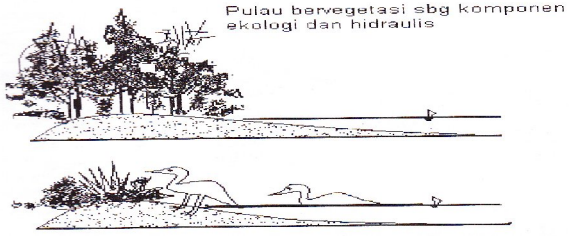
Dengan pelurusan atau sudetan pada sungai dan perbaikan tebing maka muka air pada musim penghujan air akan mengalir cepat menuju hilir sehingga pada musim kemarau simpanan air di bagian hulu akan turun drastis. Sudetan atau pelurusan pada hakekatnya adalah pengaturan air diwilayah sungai yang bersangkutan kearah hilir. Defisit muka air pada musim kemarau berpengaruh terhadap penurunan muka air tanah. Demikian juga penurunan muka air sungai juga dapat

berpengaruh pada penurunan muka air tanah di wilayah perairan sungai, karena antara air tanah dan air sungai terjadi aliran masuk dan keluar. Selain itu penurunan muka air tanah juga di pengaruhi oleh peningkatan *run off* akibat perubahan tata guna lahan dari daerah aliran sungai (DAS) yang bersangkutan.

Dampak biotik (*Biotic Impacts*)

Penurunan tingkat heterogenitas wilayah sungai

Penurunan heterogenitas ini sama dengan proses penurunan kualitas habitat disertai dengan penurunan kualitas dan kuantitas flora dan fauna. Dengan sudetan/pelurusan maka wilayah sungai di ubah menjadi suatu sistem tanpa bantaran sepanjang sungai atau dengan bantaran buatan yang homogen, sehingga heterogenitas sungai akan berkurang secara drastis. Dengan penurunan habitat ini akan menimbulkan gangguan pada ekosistem sungai dan juga perubahan ekosistem secara makro. Pola hubungan timbal balik antara komponen fisik hidraulis sungai dengan komponen biotis dapat dijelaskan pada gambar dibawah ini.



Sumber : Maryono Agus, 2002

Gambar 5. Korelasi komponen Biotis dan Abiotis

Kerusakan ekosistem sungai

Kerusakan ekosistem pada awalnya disebabkan oleh kerusakan habitat mikro dan makro secara lokal. Dengan semakin banyak habitat makro dan mikro di sungai yang rusak maka akibatnya adalah rusaknya ekosistem

Metode Regim Untuk Perencanaan Sudetan

Dalam perencanaan dimensi saluran Sudetan di gunakan 3 metode yang sering di sebut dengan Metode Regime. Adapun ketiga metode Regime tersebut yaitu :

1. Metode Lacey

Metode Lacey pertama kali diperkenalkan pada tahun 1930 - 1958. Pada metode Lacey di bagi dalam tiga persamaan regim yaitu :

Persamaan 1 :

$$V = 1{,}15\,(f, \overline{D})^{1/2} \quad (1)$$

$$V = \frac{1{,}346}{Na}\, x\overline{D}^{1/4}\, xR^{1/2}\, xS^{1/2} \quad (2)$$

Dimana :

V = kecepatan rata-rata (m/ det)
= kedalaman rata-rata (m)
fL = *Silt Factor*
d = diameter median butiran (mm)
R = Hidrolik Radius (m)
A = Luas penampang (m)
P = keliling basah (m)
S = kemiringan saluran

Variabel f adalah silt faktor menurut Lacey dan Na adalah faktor kekasaran dimana :

$$fL = 1{,}6xd^{1/2} \quad (3)$$

$$Na = 0{,}0225xfL^{1/4} \quad (4)$$

Jika dibandingkan dengan angka kekasaran Manning dengan rumus $n = f(Na, R, \overline{\ })$ terlihat bahwa kekasaran masih merupakan fungsi dari aliran.

Persamaan 2 :

$$B = 2{,}67xQ^{1/2} \quad (5)$$

Dimana :

- B = Lebar sungai (m)
- Q = Debit aliran sungai (m^3/ det)

Sangat menarik untuk dicatat bahwa lebar saluran yang stabil berdasar pada hubungan ini adalah suatu fungsi dari aliran itu sendiri. Jadi, untuk sungai tertentu dimana lebar saluran betul-betul tergantung pada kemiringan dalam pertambahan terhadap debit yang lain.

Persamaan 3 :

$$S = \frac{fL^{5/3}}{1883xQ^{1/6}} \quad (6)$$

Kemiringan saluran adalah berbanding terbalik dengan $Q^{1/6}$ dan secara langsung berhubungan dengan ukuran sedimen. Karena ukuran median sedimen dan debit ditentukan maka ketiga persamaan Lacey dengan sendirinya memerlukan lebar atas*(B*), kedalaman (*D*) dan kemiringan (*S*).

Tidak ada hubungan spesifik yang diberikan untuk kemiringan tebing sungai *(bank)* dari saluran. Kebanyakan saluran mempunyai tepi/ pinggiran sungai yang kohesif.

2. Metode Blench

Metode Lacey kemudian di kembangkan oleh Blench pada tahun 1952 - 1970. Kelebihan dari metode Blench ini dibandingkan dengan metode Lacey adalah diberinya perhatian terhadap talud yang memungkinkannya dengan material talud yang berbeda. Metode Blench terdiri dari 3 (tiga) kondisi beban yaitu : *Bed factor* (dasar), *side factor* (sisi) dan persamaan *factor Resistance*.

Blench mempraktekkan 3 (tiga) variabel independent yaitu :

Bed factor

$$F_b = \frac{V^2}{D} \quad (7)$$

Side factor

$$Fs = \frac{V^3}{\overline{B}} \quad (8)$$

Persamaan *Factor Resistance*

$$\frac{V}{gxDxs} = 3{,}63x\left[1 + \frac{C}{2330}\right]x\left[\frac{Vx\overline{B}}{\nu}\right]^{1/4}. \quad (9)$$

Dimana :

V = kecepatan (m/det)

D = kedalaman (m)

$\overline{B}$ = lebar rata – rata (m)

ν = kinematic viskositas (m^2/ det)

C = konsentrasi sedimen (mg/L)

Nilai emperis masing - masing untuk *bed-factor* dan *side-factor* yang diperoleh oleh Blench sebagai berikut

- $F_b = 0{,}19\ x\ d^{1/2}$ (10)
- $F_S = 0{,}1$ (slighly cohesive bank)
- $F_S = 0{,}2$ (medium cohesive bank) (11)
- $F_S = 0{,}3$ (slight cohesive bank)

Dari ketiga variabel tersebut diatas diperoleh :

$$B = \left[\frac{F_B xQ}{Fs}\right]^{1/2} \quad (12)$$

$$D = \left[\frac{FsxQ}{F_b^{\,2}}\right]^{1/3} \quad (13)$$

$$S = \frac{F_b^{\,5/6} xFs^{1/12} x\nu^{1/4}}{3{,}63x\left(1 + \frac{C}{2330}\right)xgxQ^{1/6}} \quad (14)$$

Dari ketiga persamaan diatas tersebut dapat memberikan suatu saluran yang stabil jika diketahui Debit (Q), konsentrasi sedimen (C), diameter median butiran (d) dan nilai imperial Blench (Fs)

3. Metode Konsep Energi Minimum.

Penerapan metode konsep Energi Minimum memerlukan 3 (tiga) variabel bebas yaitu : Q, Qs, d. Ketiga variabel bebas tersebut tergantung juga pada variabel-variabel seperti : B, D, S.

Variabel B, D, S diperoleh dari :

- Daya tahan aliran (*Flow Resistance*)
- Material dasar sungai (*Bed load transport*)
- Kekuatan aliran minimum (*Minimum stream power*)

Bed load transport dapat diperoleh dari DU-BOYS, England dan sebagainya. Dalam perhitungan dengan metode konsep energi minimum, kemiringan talud didasarkan pada stabilitas tebing sungai (*bank stability*).

Berikut ini adalah tahapan-tahapan perhitungan dengan menggunakan konsep energi minimum:

- Input Q, Qs, d, ν dan z dimisalkan tergantung pada stabilitas tebing sungai (depent on bank stability)
- Anggap B dengan berbagai pertambahan (*increment*)
  Tiap B hitung D dari flow resistance
- hitung lebar dasar sungai (*b*)
  $b = B - 2 \, x \, Z \, x \, D$ (15)
- hitung luas penampang (*A*)
  $A = b \, x \, D + Z \, x \, D^2$ (16)
- hitung keliling basah (*P*)
  $P = b + 2 \, x \, \sqrt{1 + \quad} \, x \, D$ (17)
- hitung jari - jari hidrolis (*R*)
  $$R = \frac{A}{P} \quad (18)$$
- hitung c_1
  $$c_1 = \gamma^2 \, x \, R^2 \quad (19)$$
- hitung c_2
  $$c_2 = \gamma \, x \, R \, x \, \tau_c \; ; \; \tau_c = 0{,}061 + 0{,}095d \quad (20)$$
- hitung c_3
  $$c_3 = \frac{Qsxd^{3/4}}{0{,}173xb} \quad (21)$$
  Dimana :
  $$Qs = qs.b = \frac{0.713}{d^{4/3}} . \gamma . R . S . (\gamma . R . S - \tau_c) b$$
  Atau
  $C_1 x \, S^2 - C_2 x S - C_3 = 0$
- hitung kemiringan saluran (*S*)
  $$S = \frac{c_2 + \left[c_2^2 + 4 x c_1 x c_3 \right]^{1/2}}{2 x c_1} \quad (22)$$

Setiap S yang dihitung dari tiap-tiap B dibandingkan dan dipilih S yang paling kecil (minimum). Prinsip ini adalah dalam upaya mendapatkan S minimum atau energi minimum. Oleh karenanya konsep ini disebut juga sebagai *Konsep Energi Minimum*

- hitung kedalaman rata -rata ( )
  $$\overline{D} = \frac{A}{B} \quad (23)$$
- hitung kecepatan aliran (*V*)
  $$V = \frac{1{,}346}{Na} x \overline{D}^{1/4} x R^{1/2} x S^{1/2} \quad (24)$$
- hitung bilangan Froude (*Fr*)
  $$Fr = \frac{V}{\sqrt{gx\frac{A}{B}}} \quad (25)$$

Perhitungan Debit Puncak BanjirTahunan

Dalam perhitungan debit puncak banjir tahunan dapat dilakukan dengan 3 (tiga) metode yaitu :

1. Serial data *(data series)*
2. POT *(peaks over a threshold series)*
3. Persamaan regresi *(regression equation)*

Metode POT (*Peaks Over a Threshold series*)

Apabila pengamatan data debit kurang dari 10 tahun data, umumnya kurang teliti untuk memperkirakan nilai MAF dengan metode serial data, oleh karena itu disarankan menggunakan metode puncak banjir diatas ambang (POT).

Metode POT disarankan untuk tidak digunakan apabila lama pengamatan data debit kurang dari 2 tahun. Setiap tahun data dipilih puncak banjir sebanyak 2 - 5 buah. Data debit selama tahun pengamatan ditentukan nilai batas ambangnya (q_0) dan selanjutnya ditentukan nilai debit puncak banjir yang lebih besar dari q_0. Dari hidrograf debit puncak banjir dipilih yang harus independen, apabila tidak independen sebaiknya dipilih puncak pertamanya.
Pemilihan nilai q_0, dapat ditentukan dari grafik hidrograf muka air yang terekam dalam grafik tinggi muka air otomatis (AWLR). Berdasarkan nilai q_0 yang ditentukan dari tinggi muka air AWLR maka dapat ditentukan nilai debit yang lebih besar dari q_0.
Debit banjir tahunan rata-rata dengan metode POT, dapat diperkirakan dengan persamaan model matematik sebagai berikut:

$$\overline{X} = X_0 + B(0{,}5772 + \ln A) \quad (26)$$

$$B = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} (X_i - X_0) \quad (27)$$

$$A = \frac{m}{n} \quad (28)$$

$$Sx = 1{,}1 \, x \, \frac{B}{\sqrt{n}} \text{ (bila m} \geq 3\text{/tahun)} \quad (29)$$

$$Sx = \frac{B}{\sqrt{n}}\left[\frac{1}{A} + \frac{(0,5772 + \ln A)^2}{A}\right]^{\frac{1}{2}}$$

(bila m ≤ 3/tahun) (30)

Keterangan :

= debit puncak banjir tahunan rata - rata (MAF) (m^3/det)

X_0 = debit batas ambang (q_0) (m^3/det)

B = rata - rata terlampaui (*mean exceedence)* (m^3/det)

X_i = debit puncak lebih besar dari X_0 (m^3/det)

m = jumlah puncak banjir

n = lama tahun pengamatan

S_x = standar deviasi dari (m^3/det)

A = jumlah puncak banjir terlampaui (*number of exceedence)* per tahun

Metode Regresi dapat digunakan apabila dalam suatu DAS atau sub DAS tidak tersedia data

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perencanaan Sudetan

Prosedur perencanaan

Data - data perencanaan sudetan

- Peta situasi lokasi sungai Sario pada Gambar L.1 (lampiran)
- Penampang melintang sungai Sario pada Gambar L.2 (lampiran)
- Diameter butiran (d_{50}) = 0,51 mm
  Diameter butiran sedimen didapat dari percobaan di Laboratorium Mekanika Tanah.
- Berat spesifik sedimen (γ_s) = 1881 kg/m^3
  Berat spesifik sedimen juga didapat berdasarkan hasil percobaan di Laboratorium Mekanika Tanah
- Berat spesifik air (γ) = 1000 kg/m^3
- Percepatan gravitasi (g) = 9,81 m/det^2
- Tegangan geser kritis (τc) = 0,10843 kg/m^2
- Koefisien kekentalan kinematik air (ν) = $1x10^{-6}$ m^2/det
- Kemiringan saluran (Z) = 1
- Debit aliran (Q) = 30,50 m^3/det

Dalam perencanaan sudetan di sungai Sario data debit yang digunakan yaitu berdasarkan data debit harian. Data debit yang digunakan adalah data debit dari tahun 2002 - 2008. Dari data debit harian yang ada dilakukan rekapitulasi untuk mendapatkan data debit maximum bulanan yang terjadi. Kemudian dicari debit puncak tahunan rata-rata dengan metode POT (*Peaks Over a Threshold series)*. Untuk data debit harian dan debit puncak dapat dilihat pada lampiran.

Perhitungan debit puncak tahunan rata-rata

Dalam menghitung debit puncak tahunan rata-rata metode yang digunakan adalah Metode POT (*Peaks Over a Threshold series*). Dipilihnya metode ini karena data debit yang tersedia hanya 7 tahun (2002 - 2008). Tabel 1. Setiap tahun data dipilih puncak banjir sebanyak 2 - 5 buah. Dalam perhitungan dengan metode ini pertama ditentukan nilai batas ambang (q_0) berdasarkan grafik hidrograf muka air yang terekam dalam grafik tinggi muka air otomatis (AWLR), kemudian tentukan debit yang berada diatas batas ambang (q_0).

Dari tabel 2. maka diperoleh data - data sebagai berikut:

Xo = 0,8 m^3/det

n = 7 tahun

m = 35 buah kejadian banjir terlampaui

$$A = \frac{m}{n}$$

$$A = \frac{35}{7} = 5 \text{ buah}$$

$$B = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}(X_i - X_0)$$

$$B = \frac{1}{35}.(111,641)$$

$$B = 4,6517 \text{ m}^3/\text{det}$$

berdasarkan persamaan (26) didapat :

$$\overline{X} = X_0 + B(0,5772 + \ln A)$$

$$\overline{X} = 0,8 + 4,6517 .(0,5772 + \ln 5)$$

$$\overline{X} = 10,9716 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$Sx = 1,1 \times \frac{B}{\sqrt{n}}$$

$$Sx = 1,1 \times \frac{4,6517}{\sqrt{7}}$$

$$Sx = 1,9340 \quad m^3 / det$$

dengan menggunakan metode POT maka debit puncak banjir tahunan rata-rata (MAF) disungai Sario diperkirakan sebesar 10,9716 m^3/det, dengan deviasi standar 1,9340 m^3/det atau 17,827 % dari MAFnya.

Perhitungan Debit Banjir dengan Kala Ulang Tertentu

Pada perencanaan Sudetan disungai Sario akan digunakan debit banjir dengan kala ulang 100 tahun dengan kala ulang 100 tahun didapat dengan menggunakan rumus :

$X_T = C \times \overline{X}$

$X_{100} = 2,78 \times 10,9716$ m^3/det

$X_{100} = 30,50$ m^3/det

Jadi debit yang digunakan dalam perencanaan sudetan yaitu debit banjir dengan kala ulang 100 tahun sebesar ***30,50 m^3/det***

Perhitungan Dimensi Sudetan

Dalam perencanaan ini adapun parameter-parameter yang telah di ketahui yaitu :

- Debit aliran (Q) = 30,50 m^3/det
- Diameter sedimen (d_{50})= 0,51 mm
- Konsentrasi sedimen (C) = 8,6 mg/L
- Percepatan gravitasi (g)=9,81 m/det^2
- kemiringan Saluran (Z) = 1

Metode Lacey

Hasil perhitungan dalam bentuk tabel untuk Metode Lacey dapat dilihat pada tabel 3.

Metode Blench

Hasil perhitungan dalam bentuk tabel untuk Metode Blench dapat dilihat pada tabel 4.

Metode Konsep Energi Minimum

Pada metode konsep energi minimum ini lebar aliran sungai (*B*) ditentukan dengan pemisalan. Selain lebar aliran yang dilakukan pemisalan yaitu kedalaman aliran (*D*). hal ini dilakukan untuk mendapatkan kemiringan (*S*) yang terkecil atau energi minimum.

- lebar aliran (*B*) dimisalkan 14 m
- kedalaman aliran (*D*) dimisalkan yaitu 0,898120 m
- hitung lebar dasar sungai (*b*)
  lebar dasar (b) = B - 2 *x* Z *x* D
  lebar dasar (b) = 14 - 2 *x* 1 *x* 0,898120

Hasil perencanaan dalam bentuk tabel untuk metode Konsep Energi Minimum dapat dilihat pada tabel 5.

Pembahasan

Dari hasil perencanaan sudetan dengan menggunakan metode Lacey, metode Blench dan konsep Energi Minimum yang dilakukan pada sungai Sario maka akan di bahas beberapa hal sebagai berikut :

Metode Lacey

Hasil dari perencanaan dengan menggunakan Metode Lacey yaitu Lebar sungai (B) = 14,746 m dengan lebar dasar (b) = 11,802 m, kedalaman (D) = 1,472 m dengan kemiringan saluran (S) = 0,000386. Disini dapat dilihat bahwa kemiringan hasil perencanaan dimensi sudetan dengan metode Lacey lebih kecil dibandingkan dengan dua metode lainnya. Ini disebabkan untuk mendapatkan kemiringan saluran pada metode Lacey selain berdasarkan debit aliran juga tergantung pada faktor lumpur (*silt factor)* yang ada. Dari hasil yang ada lebar sungai (B) hanya tergantung pada debit aliran Dengan adanya pendekatan-pendekatan penelitian pada umumnya yang memasukkan kemiringan saluran (S) sebagai variabel tambahan. Jadi pada dasarnya untuk mendapatkan saluran yang stabil pada metode Lacey jika diketahui debit aliran (*Q*) dan *silt factor (fL)*.

Metode Blench

Hasil dari perencanaan dengan metode Blench yaitu Lebar sungai (B) = 15,876 m dengan lebar dasar (b) = 12,894 m, kedalaman (D) = 1,491 m dan kemiringan saluran (S) = 0,000564. Dalam metode ini kemiringan sungai lebih besar daripada metode Lacey namun lebih kecil dari metode Konsep Energi Minimum.

Kelebihan dari metode Blench dibandingkan dengan metode Lacey yaitu pada metode ini material talud pada saluran diperhitungkan sehingga bisa didapatkan material talud yang

berbeda-beda. Material talud yang diperhitung-kan yaitu material talud pada dasar saluran (F_B) dan sisi saluran (*Fs*). Pada metode ini ini akan memberikan suatu saluran yang stabil jika diketahui Debit (*Q*), Konsentrasi sedimen (*C*), kedalaman aliran (*D*) dan faktor samping (*Fs*).

Metode Konsep Energi Minimum

Pada metode Konsep Energi Minimum lebar dan kedalaman dilakukan dengan pemisalan. Tiap lebar saluran yang dimisalkan di bandingkan dengan kedalaman dan dipilih kemiringan (S) yang paling kecil (minimum). Pemisalan kedalaman selanjutnya digunakan unutk mendapatkan lebar dasar (*b*). Pada metode ini lebar saluran yang dilakukan pemisalan harus sesuai dengan kondisi lebar yang ada di sungai tersebut. Atau secara khusus pada metode ini rumus yang digunakan adalah setiap kemiringan (S) yang dihitung dari tiap - tiap Lebar (B) dibandingkan dan dipilih kemiringan (S) yang paling kecil (minimum). Prinsip ini adalah dalam upaya mendapatkan S minimum atau energi minimum. Semua parameter-parameter dimensi saluran stabil didapatkan berdasarkan kemiringan saluran terkecil dan jika Debit rencana ($Q_{rencana}$) = Debit Hitung (Q_{hitung}) maka dimensi saluran sudah stabil.

Adapun hasil dari perencanaan dengan metode konsep energi minimum yaitu lebar aliran sungai (*B)* = 14 m dengan lebar dasar (*b*) = 12,20 m, kedalaman aliran (D) = 0,8981 m dan kemiringan saluran (S) yang di dapat yaitu 0,002771. Kemiringan yang didapatkan dari metode ini lebih besar daripada kedua metode yang ada diatas. Berdasarkan hasil analisis ketiga metode diatas, maka metode yang tepat untuk diterapkan pada perencanaan Sudetan pada sungai Sario adalah metode Konsep Energi Minimum. Dipilihnya konsep ini karena kemiringan sungai hampir sesuai dengan kemiringan sungai aslinya.

Panjang sungai sebelum dilakukan pembuatan sudetan yaitu berjarak ± 524 m dengan elevasi sungai terdalam pada bagian hulu sebesar +3,41 m dan elevasi sungai terdalam pada bagian hilir sebesar +1,87 m. Setelah adanya pembuatan sudetan, panjang sungai menjadi ± 282 m dengan elevasi sungai terdalam pada bagian hulu awal sudetan sebesar +3,41 m dan elevasi sungai terdalam pada bagian hilir sudetan sebesar +2,63 m dengan kemiringan saluran 0,002771

Gambar potongan memanjang perenca-naan sudetan

Berdasarkan hasil perencanaan dimensi sudetan dan metode yang digunakan yaitu metode Konsep Energi Minimum maka dibuatkan gambar potongan memanjang rencana sudetan seperti pada gambar L.1

Gambar potongan melintang perencana-an sudetan

Berdasarkan hasil perencanaan dimensi sudetan dan metode yang digunakan yaitu metode konsep energi minimum maka dibuatkan gambar potongan melintang rencana sudetan untuk Metode Konsep Energi Minimum seperti pada gambar L.2.

KESIMPULAN

Dari hasil perencanaan dimensi saluran dan pembahasan yang telah dilakukan untuk mendapatkan dimensi sudetan yang stabil berdasarkan konsep Regime diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil perencanaan berdasarkan Metode konsep Energi Minimum yang dipilih dalam perencanaan dimensi sudetan. Adapun parameter-parameter yang didapatkan sebagai berikut :
   - ✓ B = 14 m
   - ✓ b = 12,20 m
   - ✓ D = 0,8981 m
   - ✓ S = 0,002771
2. Perencanaan dengan metode Konsep Energi Minimum memberikan hasil yang lebih baik karena kemiringan saluran (S) yang didapatkan hampir sesuai dengan kondisi yang ada dilapangan.
3. Perencanaan dengan metode Lacey dan metode Blench memberikan kemiringan (S) sungai yang lebih landai daripada perencanaan dengan metode Konsep Energi Minimum.
4. Dalam mendimensi suatu saluran yang stabil sangat tergantung pada ketersedian data. berupa Debit (Q), debit angkutan sedimen dasar (Qs), diameter butiran (d), berat spesifik sedimen (γ_s).

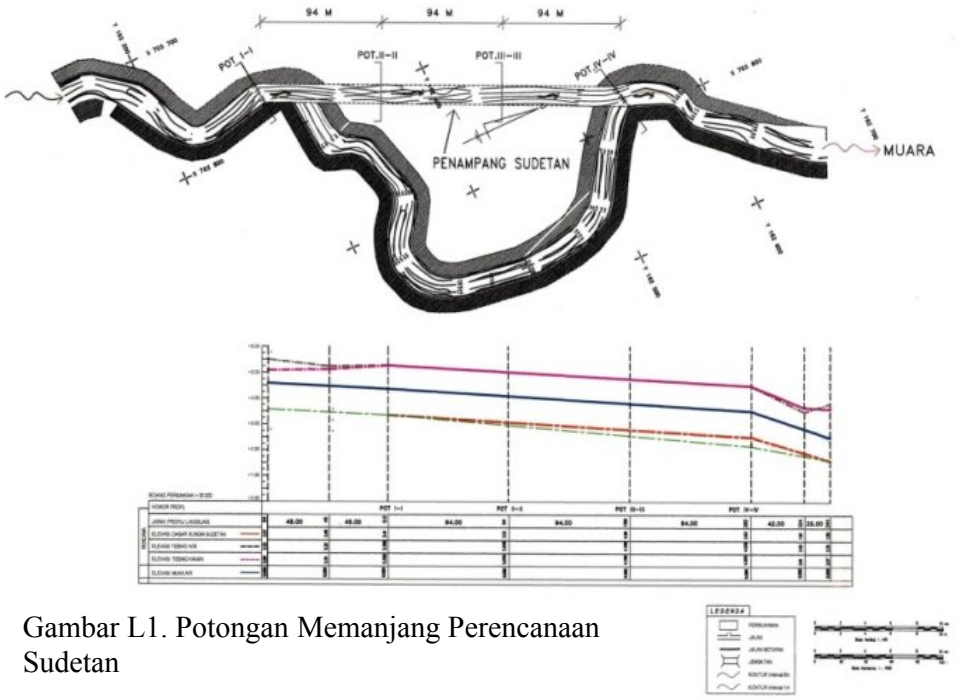
SARAN

1. Perlu adanya kajian Laboratorium dalam perencanaan dimensi saluran stabil dengan pembuatan skala model dan juga perencanaan dengan metode numerik melalui program komputer.
2. Perencanaan sudetan dapat dilakukan jika sudah tidak ada lagi alternatif lain dalam mengatasi permasalahan yang ada di sungai.
3. Perlu adanya kajian yang matang dan menyeluruh dengan memperhatikan dampak terhadap lingkungan sekitarnya dalam melakukan perencanaan sudetan.
4. Perlu adanya pengamatan terhadap dimensi saluran sebelum diadakan usaha perlindungan tebing.

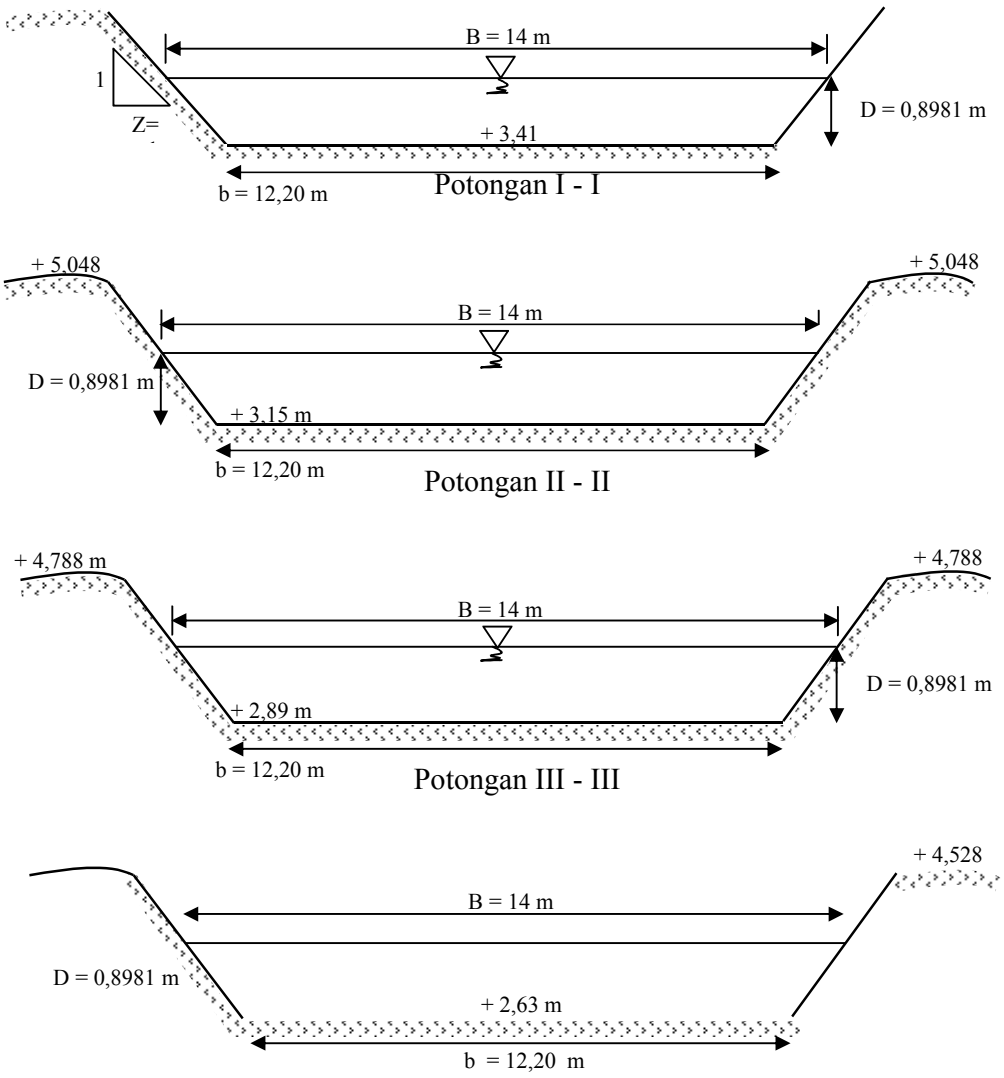
DAFTAR PUSTAKA

1. Chang, H. Howard ,1987: *"Fluvial Processes in River Engineering"*, A. Willey Inter-science Publication San Diego State University New York,
2. Chow V.T, Rosalina, N.N.V, Kristanto, S.V.F.X, Suyatman,1989: "Hidrolika Saluran Terbuka" Erlangga, Jakarta.
3. Joesron Loebis, Soewarno, Suprihadi B, 1993: "Hidrologi Sungai" , Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum,
4. Sosrodarsono Suyono, Tominaga Masteru, 1984: "Perbaikan dan Pengaturan sungai", Pradaya Paramita Jakarta,.
5. Soekarno, Indratmo, 1992: "Materi Kuliah Morphologi dan Hidraulika Sungai", Program Pasca Sarjana ITB Jurusan Teknik Sumber Daya Air Bandung ,
6. Soewarno, 1995: "Hidrologi-Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data Jilid 1" Nova 1995,
7. Triatmodjo, Bambang, 2008: "Hidrologi Terapan" Beta Offset Yogyakarta.

LAMPIRAN



Gambar L1. Potongan Memanjang Perencanaan Sudetan



Gambar L.2. Potongan Melintang Penampang Rencana Sudetan

Tabel 1. Data debit bulanan maksimum (tahun 2002 - 2008)

No	Tahun	Bulan											
		Jan (m^3/det)	Feb (m^3/det)	Mar (m^3/det)	Apr (m^3/det)	Mei (m^3/det)	Juni (m^3/det)	Juli (m^3/det)	Aug (m^3/det)	Sep (m^3/det)	Oct (m^3/det)	Nov (m^3/det)	Dec (m^3/det)
1	2002	*4.067*	*2.474*	*1.040*	0.848	0.78	*3.72*	0.454	0.412	0.355	0.373	0.6	*1.082*
2	2003	*12.684*	*4.568*	*2.727*	*2.641*	1.523	0.747	1.822	0.814	1.216	1.264	2.727	*5.558*
3	2004	*4.689*	*5.371*	*28.050*	*9.51*	3.164	2.423	*6.544*	1.087	0.61	1.038	3.164	2.423
4	2005	1.268	*6.085*	*4.649*	*2.862*	1.799	1.938	1.076	0.605	*2.323*	1.732	1.799	*2.96*
5	2006	1.326	*3.499*	*1.689*	*1.452*	*1.357*	*1.517*	0.703	0.664	0.807	0.626	0.829	0.874
6	2007	*1.991*	*1.952*	*1.296*	*1.517*	1.045	0.807	0.743	1.991	0.59	0.703	*1.551*	0.994
7	2008	1.105	1.160	0.724	*1.671*	*1.896*	0.555	*1.368*	0.644	0.788	0.626	*1.975*	*1.306*

Tabel 2. Data debit puncak banjir diatas batas ambang (tahun 2002 - 2008)

No	Tahun	Xi (m^3/det)	Xo (m^3/det)	(Xi-Xo) (m^3/det)
1	2002	4.067	0.8	3.267
2		2.474	0.8	1.674
3		1.040	0.8	0.24
4		3.720	0.8	2.92
5		1.082	0.8	0.282
6	2003	12.684	0.8	11.884
7		4.568	0.8	3.768
8		2.727	0.8	1.927
9		2.641	0.8	1.841
10		5.558	0.8	4.758
11	2004	4.689	0.8	3.889
12		5.371	0.8	4.571
13		28.050	0.8	27.25
14		9.510	0.8	8.71
15		6.544	0.8	5.744
16	2005	6.085	0.8	5.285
17		4.649	0.8	3.849
18		2.862	0.8	2.062
19		2.323	0.8	1.523
20		2.960	0.8	2.16
21	2006	3.499	0.8	2.699
22		1.689	0.8	0.889
23		1.452	0.8	0.652
24		1.357	0.8	0.557
25		1.517	0.8	0.717
26	2007	1.991	0.8	1.191
27		1.952	0.8	1.152
28		1.296	0.8	0.496
29		1.517	0.8	0.717
30		1.551	0.8	0.751
31	2008	1.671	0.8	0.871
32		1.896	0.8	1.096
33		1.368	0.8	0.568
34		1.975	0.8	1.175
35		1.306	0.8	0.506
Jumlah		***139.64***	***28***	***111.641***

Tabel 3 hasil perencanaan dimensi Sudetan dengan Metode Lacey

B (m)	D (m)	b (m)	A (m^2)	P (m)	R (m)	S -	(m)	V (m/det)	Fr -
14,746	1,472	11,802	19,539	15,965	1,224	0,000386	1,349	1,313	0,37

sumber : hasil analisis

Tabel 4 Hasil perencanaan dimensi sudetan dengan Metode Blench

Q (m^3/det)	B (m)	D (m)	b (m)	A (m^2)	P (m)	R (m)	S -	V (m/det)	Fr -
30,50	15,876	1,491	12,894	21,445	17,111	1,253	0,000564	1,42	0,39

sumber : hasil analisis

Tabel 6 Hasil perencanaan sudetan dengan metode Konsep Regime pada jarak 811 m - 1335m

Metode Regime	**Dimensi Sudetan**			
	B (m)	**B (m)**	**D (m)**	**S (-)**
Metode Lacey	14,746	11,802	1,472	0,000386
Metode Blench	15,876	12,894	1,491	0,000564
Metode Konsep Energi Minimum	***14***	***12,20***	***0,8981***	***0,002771***

sumber : hasil analisis

Tabel 5 hasil perencanaan dimensi sudetan dengan Metode Konsep Energi Minimum

Qrenc m^3/det	B m	D m	b m	A m^2	P m	R m	S -	m	V m/det	Qhit m^3/det	Fr -
30.50	8	1.400	5.20	9.2400	9.4000	0.983	0.0033805	1.16	3.46	31.953	1.03
30.50	8	1.300	5.40	8.7100	9.3000	0.937	0.0034829	1.09	3.38	29.405	1.03
30.50	8	1.310	5.38	8.7639	9.3100	0.941	0.0034715	1.10	3.38	29.660	1.03
30.50	8	1.320	5.36	8.8176	9.3200	0.946	0.0034604	1.10	3.39	29.914	1.03
30.50	8	1.330	5.34	8.8711	9.3300	0.951	0.0034495	1.11	3.40	30.169	1.03
30.50	8	1.340	5.32	8.9244	9.3400	0.956	0.0034390	1.12	3.41	30.424	1.03
30,50	***8***	***1.3430***	***5.31***	***8.9404***	***9.3430***	***0.957***	***0.0034358***	***1.12***	***3.41***	***30.500***	***1.03***
30.50	9	1.000	7.00	8.0000	10.0000	0.800	0.0035896	0.89	3.01	24.088	1.02
30.50	9	1.100	6.80	8.6900	10.1000	0.860	0.0033854	0.97	3.10	26.903	1.01
30.50	9	1.200	6.60	9.3600	10.2000	0.918	0.0032210	1.04	3.18	29.738	0.99
30.50	9	1.300	6.40	10.0100	10.3000	0.972	0.0030877	1.11	3.26	32.586	0.99
30.50	9	1.250	6.50	9.6875	10.2500	0.945	0.0031509	1.08	3.22	31.160	0.99
30.50	9	1.240	6.52	9.6224	10.2400	0.940	0.0031644	1.07	3.21	30.876	0.99
30,50	***9***	***1.2268***	***6.55***	***9.5362***	***10.2268***	***0.932***	***0.0031826***	***1.06***	***3.20***	***30.500***	***0.99***
30.50	10	1.000	8.00	9.0000	11.0000	0.818	0.0032875	0.90	2.92	26.309	0.98
30.50	10	1.100	7.80	9.7900	11.1000	0.882	0.0030878	0.98	3.00	29.408	0.97
30.50	10	1.150	7.70	10.1775	11.1500	0.913	0.0030025	1.02	3.04	30.968	0.96
30.50	10	1.110	7.78	9.8679	11.1100	0.888	0.0030700	0.99	3.01	29.719	0.97
30.50	10	1.120	7.76	9.9456	11.1200	0.894	0.0030526	0.99	3.02	30.031	0.97
30.50	10	1.140	7.72	10.1004	11.1400	0.907	0.0030189	1.01	3.04	30.655	0.96
30,50	***10***	***1.1350***	***7.73***	***10.0619***	***11.1350***	***0.904***	***0.0030271***	***1.01***	***3.03***	***30.500***	***0.96***
30.50	11	1.000	9.00	10.0000	12.0000	0.833	0.0030469	0.91	2.85	28.473	0.95
30.50	11	1.100	8.80	10.8900	12.1000	0.900	0.0028524	0.99	2.92	31.849	0.94
30.50	11	1.050	8.90	10.4475	12.0500	0.867	0.0029446	0.95	2.89	30.157	0.95
30.50	11	1.060	8.88	10.5364	12.0600	0.874	0.0029254	0.96	2.89	30.494	0.94
30.50	11	1.062	8.88	10.5542	12.0620	0.875	0.0029216	0.96	2.90	30.562	0.94
30.50	11	1.061	8.88	10.5453	12.0610	0.874	0.0029235	0.96	2.89	30.528	0.94
30,50	***11***	***1.0602***	***8.88***	***10.5378***	***12.0602***	***0.874***	***0.0029251***	***0.96***	***2.89***	***30.500***	***0.94***
30.50	12	1.000	10.00	11.0000	13.0000	0.846	0.0028502	0.92	2.78	30.587	0.93
30.50	12	0.900	10.20	9.9900	12.9000	0.774	0.0030842	0.83	2.70	26.987	0.95
30.50	12	0.950	10.10	10.4975	12.9500	0.811	0.0029607	0.87	2.74	28.781	0.94
30.50	12	0.960	10.08	10.5984	12.9600	0.818	0.0029376	0.88	2.75	29.141	0.93
30.50	12	0.970	10.06	10.6991	12.9700	0.825	0.0029150	0.89	2.76	29.502	0.93
30.50	12	0.980	10.04	10.7996	12.9800	0.832	0.0028929	0.90	2.77	29.863	0.93
30,50	***12***	***0.9976***	***10.00***	***10.9760***	***12.9976***	***0.844***	***0.002855***	***0.91***	***2.78***	***30.500***	***0.93***
30.50	13	1.000	11.00	12.000	14.000	0.857	0.0026857	0.92	2.72	32.657	0.90
30.50	13	0.900	11.20	10.890	13.900	0.783	0.0029126	0.84	2.64	28.799	0.92
30.50	13	0.920	11.16	11.114	13.920	0.798	0.0028631	0.85	2.66	29.566	0.92
30.50	13	0.930	11.14	11.225	13.930	0.806	0.0028392	0.86	2.67	29.950	0.92
30.50	13	0.940	11.12	11.336	13.940	0.813	0.0028158	0.87	2.68	30.335	0.91
30.50	13	0.942	11.12	11.359	13.942	0.815	0.0028112	0.87	2.68	30.412	0.91
30,50	***13***	***0.9443***	***11.11***	***11.384***	***13.944***	***0.816***	***0.002806***	***0.88***	***2.68***	***30.500***	***0.91***
30.50	14	1.000	12.00	13.00	15.00	0.87	0.0025458	0.93	2.67	34.687	0.88
30.50	14	0.900	12.20	11.790	14.90	0.79	0.0027660	0.84	2.59	30.576	0.90
30.50	14	0.870	12.26	11.423	14.87	0.768	0.0028423	0.82	2.57	29.357	0.91
30.50	14	0.890	12.22	11.668	14.89	0.78	0.0027909	0.83	2.59	30.169	0.90
30.50	14	0.894	12.21	11.717	14.89	0.79	0.0027808	0.84	2.59	30.332	0.90
30.50	14	0.895	12.21	11.729	14.90	0.79	0.0027784	0.84	2.59	30.373	0.90
30,50	***14***	***0.8981***	***12.20***	***11.767***	***14.898***	***0.790***	***0.002771***	***0.841***	***2.59***	***30.500***	***0.90***
30.50	15	0.500	14.00	7.250	15.50	0.47	0.0043760	0.48	2.18	15.826	1.00
30.50	15	0.600	13.80	8.640	15.60	0.554	0.0037216	0.58	2.29	19.775	0.96
30.50	15	0.700	13.60	10.010	15.70	0.64	0.0032559	0.67	2.38	23.854	0.93
30.50	15	0.800	13.40	11.360	15.80	0.72	0.0029082	0.76	2.47	28.042	0.91
30.50	15	0.850	13.30	12.028	15.85	0.76	0.0027655	0.83	2.59	30.171	0.90
30.50	15	0.860	13.28	12.160	15.86	0.767	0.0027390	0.84	2.59	30.600	0.90
30,50	***15***	***0.857680***	***13.28***	***12.130***	***15.86***	***0.76***	***0.002745***	***0.845***	***2.59***	***30.500***	***0.90***

sumber : hasil analisis.