

# PERSAMAAN-PERSAMAAN RANCANG BANGUN UNTUK SUNGAI DENGAN DASAR KERIKIL YANG BERGERAK

Oleh :

*Ir. Koensatwanto Inpasihardjo Dip. HE<sup>\*)</sup>  
Dr. Ir. Djoko Legono <sup>\*)</sup>*

## INTISARI

*Persamaan-persamaan dengan cara empiris untuk sungai dengan dasar kerikil yang stabil berdasarkan data di negara-negara maju telah banyak diperkenalkan.*

*Dibutuhkan variabel-variabel untuk membatasi geometri hidrolis tiga dimensi sungai dengan dasar kerikil seperti harga-harga jari-jari hidrolis, keliling basah, kedalaman maksimum, kemiringan dasar, faktor belokan, kelengkungan meander dan kecepatan, demikian pula variabel-variabel kontrol, seperti debit aliran pada saat aliran penuh, termasuk beban sedimen, material dasar dan tebing serta kemiringan lembah, semuanya merupakan persamaan dan batasan utama.*

*Data morfologi dan sedimen didapatkan dari penyelidikan lapangan walaupun data debit dan angkutan sedimen diperkirakan dengan menggunakan perlawanan aliran dan persamaan-persamaan angkutan sedimen dasar disebabkan oleh kurangnya informasi pengukuran.*

*Penekanan analisis dari banyak hal menghasilkan hubungan-hubungan yang penting seperti keliling basah dengan debit dan beban sedimen; jari-jari hidrolis dan kedalaman air maksimum dengan debit dan ukuran material dasar; kemiringan dasar dan kecepatan aliran dengan debit; beban sedimen dan ukuran material dasar. Tipe material tebing terlihat tidak ada pengaruhnya pada geometri hidrolis tetapi sebetulnya berpengaruh terutama disebabkan oleh kurangnya perubahan material tebing. Banyak tebing-tebing terdiri dari material halus yang cohesive dilapisi kerikil.*

## PENDAHULUAN

Studi aliran pada dasar sungai alluvial mulai menaruh perhatian kembali pada akhir-akhir ini dan persamaan-persamaan pendekatan dianjurkan untuk memperkirakan dan menunjukkan geometri hidrolis tiga dimensi dari saluran dan sungai. Banyak penelitian di titik-beratkan pada pengembangan persamaan rancang bangun untuk digunakan pada sungai dengan dasar pasir yang dilakukan 30 tahun yang lalu dan perhatian mulai diberikan lagi untuk masalah-masalah pengembangan kriteria rancang bangun untuk digunakan pada sungai-sungai dengan dasar kerikil.

Ada dua pendekatan untuk memperkirakan geometri hidrolis sungai dengan dasar alluvial yang didasarkan pada penyelesaian bersama persamaan pengaruh aliran dan

didasarkan pada persamaan empiris regime. Oleh karena itu untuk sungai dengan dasar kerikil ada batasan-batasan untuk menggunakan kedua metoda tadi, sebab perlu diketahui tentang semua persamaan aliran dan persamaan empiris adalah terbatas untuk alur-alur yang mana serupa untuk dipakai pada bentuk persamaan.

Seperti pada hasil persamaan aliran hanya dapat dipakai untuk merancang bangun salah satu saluran lurus atau saluran dengan lebar tetap. Seperti kebanyakan alur alam adalah berbelok-belok dan mengangkut sedimen, tampak di sini bahwa kebutuhan untuk mengembangkan persamaan-persamaan yang akan dapat digunakan dalam menentukan skema bentuk sungai untuk tujuan rancang bangun yang mana dapat memperlihatkan dengan jelas akibat beban sedimen pada geometri hidrolis alur sungai. Bagian alur yang berbelok-belok merupakan bagian yang stabil daripada bagian alur yang lurus.

Pengetahuan yang terbatas tentang mekanisme erosi tebing dan proses pembentukan meander membatasi peng-

<sup>\*)</sup>Dosen dan Peneliti Bidang Keairan Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik UGM.

gunaan persamaan-persamaan tersebut untuk memperkirakan geometri hidrolis tiga dimensi dari sungai dengan dasar kerikil. Analisis tipe regime memberikan alternatif pendekatan, tetapi untuk memastikan aplikasi secara umum diperlukan data lapangan dari kawasan yang luas dari lingkungan sungai yang disusun untuk memaksimalkan variasi di dalam dan di antara variabel-variabel yang ada. Kombinasi dari kedua metoda tadi juga memungkinkan untuk dipakai. Sesudah menentukan variabel-variabel yang mana dapat menentukan bentuk dan mengontrol geometri alur, persamaan-persamaan rancang bangun didasarkan data yang diperoleh dari pengukuran lapangan dan beberapa persamaan-persamaan yang berperan akan diperoleh dengan analisis regresi dari bagian-bagian yang ada. Teknik ini memberikan pertimbangan bahwa persamaan-persamaan digunakan untuk melengkapi data dasar yang cocok untuk bagian dari lapangan.

#### FAKTOR-FAKTOR BATAS GEOMETRI HIDROLIS SUNGAI DENGAN DASAR KERIKIL

Sungai dengan dasar pasir yang asli mempunyai 7 tingkat kebebasan sebab pada saat aliran penuh dasar sungai dapat menyesuaikan jari-jari hidrolis ( $R_b$ ), keliling basah ( $P_b$ ), kedalaman maksimum aliran ( $d_{mb}$ ), kemiringan ( $S_b$ ), kecepatan aliran ( $U_b$ ), faktor belokan ( $p$ ), dan panjang lengkung meander ( $\epsilon$ ), di dalam memberikan reaksi untuk erosi dan pengendapan (Hey, R.D., 1978). Variabel-variabel ini menunjukkan geometri hidrolis tiga dimensi sungai dengan dasar kerikil dan untuk alur yang stabil atau sungai dengan dasar kerikil di mana mekanisme pemberian kembali dari hulu berjalan sangat lambat, mereka akan dianggap sebagai variabel terkontrol (Hey, R.D., 1978).

Harga variabel-variabel tersebut akan dipengaruhi oleh batasan tingkat aliran penuh. 12 batasan yang berbeda yang telah dipakai pada waktu yang lalu (Williams, G.P., 1978 in Hey, R.D., 1982.), yang telah mendasarkan pada ciri-ciri permukaan sedimen, atau pada elevasi kondisi batas, atau perubahan pada geometri hidrolis potongan melintang. Kemungkinan batasan yang sangat sesuai untuk rencana rancang bangun saluran adalah saat di mana rasio lebar/kedalaman dikaitkan dengan banjir yang terjadi adalah minimum (Wolman, M.G., 1955 in Hey, R.D., 1982.). Elevasi tidak hanya dapat diambil dari profil potongan melintang, tetapi juga dipertimbangkan kepentingan hidrolis sebab hal ini diartikan saat dimana faktor gesekan adalah minimum.

#### FAKTOR-FAKTOR TERKONTROL GEOMETRI HIDROLIS SUNGAI DENGAN DASAR KERIKIL

Variabel terkontrol dapat disimpulkan (Leopold, L.B., 1964), diperoleh dari analisis dimensi (Parker, G., 1979), atau diperoleh dari bentuk fungsional persamaan-persamaan pengontrol (Hey, R.D., 1978). Semua memberi batasan dengan debit, debit sedimen, material dasar dan tebing serta kemiringan lembah.

##### *Debit*

Walaupun rangkaian pengalaman tentang aliran sungai telah banyak diperdebatkan bahwa debit tetap yang mana menghasilkan bentuk kasar dan dimensi yang sama seperti kejadian alam yang berurutan dapat dianggap berpengaruh besar atau sebagai debit pembentuk alur (Englis, C.C., 1949, in Hey, R.D., 1978). Percobaan-percobaan saluran buatan dan pengamatan alur-alur alam menunjukkan bahwa aliran pada atau sekitar pada saat aliran penuh adalah salah satu keadaan yang berpengaruh besar pada proses pembentukan alur (Ackers, P., and Charlton, F.G., 1970, in Hey, R.D., 1978). Bagaimanapun penggunaan debit pada saat aliran penuh merupakan variabel terkontrol pada pengembangan persamaan-persamaan regime tidak disarankan kecuali dapat diperlihatkan bahwa itu merupakan kontrol-kontrol harga geometri hidrolis bukan sebaliknya. Bukti bahwa ini merupakan kejadian yang disyaratkan oleh penyelidikan dalam ukuran besar dan proses pengulangan angkutan sedimen. Walaupun debit-debit puncak akan memberikan sendiri volume angkutan sedimen yang besar, tetapi secara berulang akan mengangkut sedimen dengan volume yang kecil, lebih banyak banjir berulang akan memberikan reaksi untuk angkutan sedimen yang sangat besar pada waktu yang panjang. Harga dan pengulangan aliran yang mana mengangkut sedimen yang sangat besar tergantung kepada aliran regime dan sifat-sifat angkutan sedimen pada sungai (Hey, R.D., 1978, in Hey, R.D., 1982).

##### *Debit sedimen*

Erosi dan pengendapan dikontrol oleh proses angkutan sedimen. Bagaimanapun, seperti angkutan sedimen rata-rata adalah wajar untuk variasi yang banyak disebabkan oleh perubahan di dalam kondisi hidrolis dan persediaan sedimen, adalah diperlukan untuk mengartikan satu beban sedimen untuk menggambarkan perbedaan asli debit sedimen. Inglis berpendapat bahwa apabila beban sedimen dihubungkan dengan debit yang berpengaruh besar

dan pandangan ini diperkuat oleh fakta maka akan menolong untuk mengartikan aliran yang mengangkut sedimen yang sangat besar. Lebih khusus angkutan dasar dihubungkan dengan aliran penuh, memungkinkan kontrol harga untuk sungai dengan dasar kerikil seperti sedimen melayang dipengaruhi oleh persediaan sedimen bukan oleh kondisi hidrolis.

Untuk alur-alur bergerak, debit sedimen yang berpengaruh besar adalah masukan beban sedimen pada debit saat aliran penuh. Walaupun keluaran sedimen mempengaruhi harga aliran di mana erosi dan pengendapan adalah maksimum, ini adalah variabel terkontrol.

#### Material dasar

Beberapa cara yang berbeda dapat digunakan untuk menentukan distribusi ukuran butir sedimen alluvial yang kasar. Berdasarkan pada contoh padat, contoh saringan, contoh areal, panjang pengukuran, rata-rata batuan kerikil, dan pengulangan yang dinyatakan sebagai prosentase berat. Distribusi ukuran butir biasanya didasarkan pada ukuran tengah-tengah dari batuan kerikil. Bagaimanapun pada waktu angkutan sedimen dan evaluasi tahanan aliran tengah-tengah adalah merupakan parameter yang cocok, sebagai salah satu yang akan muncul pada permukaan dasar.

Harga diameter yang dipakai pada penyelidikan angkutan sedimen adalah  $D_{35}$ ,  $D_{50}$ , dan  $D_{e5}$ .

#### Sedimen tebing

Walaupun terbukti untuk berpendapat bahwa tipe material tebing mempengaruhi geometri hidrolis alur alluvial dan khusus lebar alur tetapi sangat kecil untuk mendapatkan ukuran tahanan erosi. Untuk tebing kerikil yang kasar dapat dihubungkan untuk distribusi ukuran butir dan dapat dicari dengan teknik-teknik tertentu.

Di sini tidak mungkin bahwa setiap variabel akan memberi arti pada tahanan erosi untuk semua tipe tebing, dan sampai variabel yang dibutuhkan dapat dikenali adalah sangat penting bahwa klasifikasi secara umum tipe tebing sungai dapat diandalkan.

#### Kemiringan lembah

Ini diartikan sebagai kemiringan memanjang dari lembah diukur memanjang as lembah.

## DATA DASAR

Data lapangan diperoleh dari 66 lokasi yang stabil pada sungai-sungai Wey, Severn dan Tweed di Inggris (Hey, R.D., 1975). Setiap lokasi mempunyai dasar kerikil dengan diameter lebih besar dari 2 mm dan terletak pada alur dengan tampang yang seragam yang mana tidak dipengaruhi oleh lapisan batuan dasar atau oleh bangunan buatan manusia. Lokasi-lokasi tersebut dipilih dalam dua kondisi yaitu bertampang lurus dan berbelok-belok dan meliputi ukuran alur yang luas.

Tabel 1. Harga kisaran untuk data terkontrol.

$Q_b$	$2,12 - 820 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$
$Q_{sb}$	$7,50 \times 10^{-5} - 3,74 \times 10^{-2} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$
$D_{50}$	$0,0021 - 0,190 \text{ m}$
$\angle D$	$2,03 - 8,52$
C	$7,92 - 83,76 \%$
S	$0,000334 - 0,0215$

## GEOMETRI HIDROLIS SUNGAI DENGAN DASAR KERIKIL YANG BERGERAK

Dengan menggunakan harga-harga keliling basah, jari-jari hidrolis, kedalaman maksimum, kemiringan dan kecepatan sebagai variabel terkontrol, debit, debit angkutan, ukuran medium dan variasi material, serta prosentasi lumpur-lempung pada tebing sebagai variabel terkontrol, pada kondisi aliran penuh. Persamaan-persamaan berikut diperoleh dari saluran stabil dengan bermacam tebing menggunakan prosedur regresi dan SI unit. Persamaan untuk mendapatkan faktor lengkung alur diperoleh dari batasan dan untuk menerangkan panjang lengkung meander menggunakan persamaan epiris yang ada berdasarkan data yang diperoleh dari setiap lokasi.

$$P_b = 2,59 Q_b^{0,526} Q_{sb}^{-0,046} D_{50}^{0,064} \sqrt{D}^{-0,117} C^{-0,075}$$

untuk mana  $r^2 = 95,49\%$ ; S.E. = 0,0727 unit log; F = 254

$$R_b = 0,135 Q_b^{0,418} Q_{sb}^{-0,0055} D_{50}^{-0,179} \sqrt{D}^{0,129} C^{-0,047}$$

untuk mana  $r^2 = 94,71\%$ ; S.E. = 0,0604 unit log; F = 214

$$d_b = 0,158 Q_b^{0,369} Q_{sb}^{0,009} D_{50}^{-0,187} \sqrt{D}^{0,163} C^{0,064}$$

untuk mana  $r^2 = 88,66\%$ ; S.E. = 0,0851 unit log; F = 93.

$$S_b = 0,679 Q_b^{-0,53} Q_{sb}^{0,126} D_{50}^{0,96} \sqrt{D}^{0,08} C^{0,004}$$

untuk mana  $r^2 = 95,74\%$ ; S.E. = 0,0942 unit log; F = 269.

$$U_b = 2,84 Q_b^{0,056} Q_{sb}^{0,053} D_{50}^{0,96} \sqrt{D}^{0,08} C^{0,004}$$

untuk mana  $r^2 = 66,66\%$ ; S.E. = 0,0332 unit log; F = 24.

$$p = S \sqrt{S_b}$$

$$\epsilon = 2 \Pi B$$

Setiap pengambilan variabel bebas dimasukkan pada analisis sebagai alasan fisik yang disarankan bahwa semua mempengaruhi geometri hidrolis sungai dengan dasar kerikil. Perhatian yang sungguh-sungguh harus diberikan pada evaluasi statistik dari persamaan ini sebab perkiraan bebas dari debit dan beban sedimen tidak dipakai dalam analisis. Seperti pada hasil pencarian koefisien ( $r^2$ ) menjadi besar dan tidak asli serta standar kesalahan terlalu kecil. Bagaimanapun, seperti harga debit dan angkutan dasar tidak terpengaruhi perkiraan, hasil persamaan berlaku meskipun sedikit membutuhkan kepercayaan untuk diperlakukan dengan hati-hati.

Persamaan menunjukkan bahwa keliling basah, jari-jari hidrolis, kedalaman maksimum dan kemiringan

dapat dicari dengan tingkat kecermatan yang lebih dari kecepatan. Ini akan terlihat agak mengejutkan sejak kecepatan (66,6 persen penjelasan) dapat juga dicari dari persamaan dengan melibatkan keliling basah (95,49 persen penjelasan) dan jari-jari hidrolis (94,71 persen penjelasan) ke dalam persamaan kontinuitas. Hal ini dapat diterangkan oleh perbedaan yang betul-betul kelihatan dihubungkan dengan variabel-variabel terkontrol (Tabel 2.) sejak jari-jari hidrolis dan keliling basah mempunyai perbedaan relatif besar, berturut-turut 0,0636 dan 0,1081, ketika kecepatan mempunyai perbedaan yang kecil yaitu 0,0030. Dengan demikian, meskipun variabel bebas menunjukkan prosentase perubahan yang besar dari keliling basah dan jari-jari hidrolis, relatif pada total perubahan kecepatan di sana tetap tidak dijelaskan pertimbangannya.

Tabel 2. Perbedaan dari variabel terkontrol dan variabel bebas (distribusi log<sub>10</sub>).

Variabel	$P_b$	$R_b$	$d_b$	$S_b$	$U_b$	$Q_b$	$Q_{sb}$	$D_{50}$	$\sqrt{D}$	C
Perbedaan	,1081	,0636	,0589	,1924	,0030	,3342	,3208	,0366	,0220	,0322

Tabel 3. Hitungan harga t dan hubungan-hubungan penting pada 95 persen dan 99 persen tingkat kepentingan.

	$Q_b$	$Q_{sb}$	$D_{50}$	$\zeta D$	C
$P_b$	25,7221**	-2,4539*	1,1813	-1,7492	1,0251
$R_b$	24,5888**	-0,3574	-3,9418**	2,3325*	-0,7770
$d_b$	15,4069**	0,4219	-2,9200**	2,0868*	0,7502
$S_b$	-19,9906**	5,1903**	13,5519**	0,9549	0,0445
$U_b$	5,9493**	6,2206**	4,6560**	-0,3830	-0,6947

\* 95 persen tingkat kepentingan.

\*\* 99 persen tingkat kepentingan.

Tes statistik menunjukkan bahwa beberapa pengambilan variabel bebas tidak mempunyai pengaruh yang berarti pada keliling basah, jari-jari hidrolis, ke dalaman maksimum, kemiringan atau kecepatan (Tabel 3.). Hal ini dapat disebabkan oleh banyaknya kesamaan antara variabel bebas atau perbedaan antara variabel bebas atau kurangnya hubungan fisik antara variabel terkontrol dan pengambilan variabel bebas. Harga perbedaan (Tabel 2.) untuk keharusan variabel bebas menunjukkan bahwa perubahan persentase lumpur-lempung tebing dan ukuran serta perubahan sedimen dasar agak berkurang. Bagaimanapun, tidak ada kepastian kesamaan sebab variabel bebas tidak mempunyai kaitan yang erat (Tabel 4).

Tabel 4. Matrik hubungan koefisien untuk variabel bebas. (distribusi Log<sub>10</sub>).

	$Q_{sb}$	$D_{50}$	D	C
$Q_b$	-0,2808	-0,2372	-0,1184	0,6391
$Q_{sb}$		0,3682	0,3020	-0,4162
$D_{50}$			0,2921	-0,4013
$\zeta D$				-0,0379

Debit angkutan dasar akan kelihatan tidak mempunyai pengaruh pada jari-jari hidrolis dan kedalaman maksimum dan menghasilkan hubungan yang lemah dan mengherankan dengan keliling basah.

Sebelum dipisahkan setiap variabel akan diperlukan untuk menganalisa data dari kawasan yang luas dari lingkungan sungai. Secara khusus akan dikehendaki untuk memasukkan informasi dari sungai dengan debit saat alir-

an penuh lebih daripada  $820 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , transport angkutan dasar lebih besar dari  $3,72 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , kisaran ukuran sedimen dasar dan secara khusus alur dengan tebing tidak cohesive sebaik dengan tebing cohesive.

#### PERSAMAAN RANCANG BANGUN UNTUK SUNGAI DENGAN DASAR KERIKIL YANG BERGERAK

Untuk tujuan praktis secara garis besar tidak dibenarkan untuk menggunakan hubungan geometri hidrolis dalam bagian yang terdahulu. Perubahan statistik variabel yang penting dari analisis regresi hanya batas perubahan eksponen tetap dan ini menunjukkan kisaran limit dari variabel yang diabaikan, khususnya tipe tebing dan variasi sedimen dasar.

$$P = 2,20 Q^{0,54} Q_s^{-0,05}$$

untuk mana  $r^2 = 95,20 \%$ ; S.E. = 0,0732 unit log; F = 624

$$R = 0,161 Q^{0,41} D_{50}^{-0,15}$$

untuk mana  $r^2 = 94,21 \%$ ; S.E. = 0,0616 unit log; F = 512

$$d_m = 0,252 Q^{0,38} D_{50}^{-0,16}$$

untuk mana  $r^2 = 87,45 \%$ ; S.E. = 0,0873 unit log; F = 219

$$S = 0,679 Q^{-0,53} Q_s^{0,13} D_{50}^{0,97}$$

untuk mana  $r^2 = 95,67 \%$ ; S.E. = 0,0934 unit log; F = 457

$$p = S \sqrt{S}$$

$$= 2 \Pi B.$$

Persamaan di atas disediakan dan hanya dipakai untuk tampang seragam dengan (i) dasar rata, (ii) tebing terdiri dari aluvial halus dan cohesive (8 persen < C < 80 persen) dilapisi kerikil, (iii) material dasar kerikil berkisar

21 mm <  $D_{50}$  < 190 mm dan  $2,0 < \sigma_D < 8,5$ , (iv) debit aliran penuh  $820 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , (v) kekasaran relatif berkisar  $4 < R/D_{50} < 175$ , dan memberikan arti praktis dari batasan geometri hidrolis yang stabil dari alur dengan dasar kerikil yang bergerak.

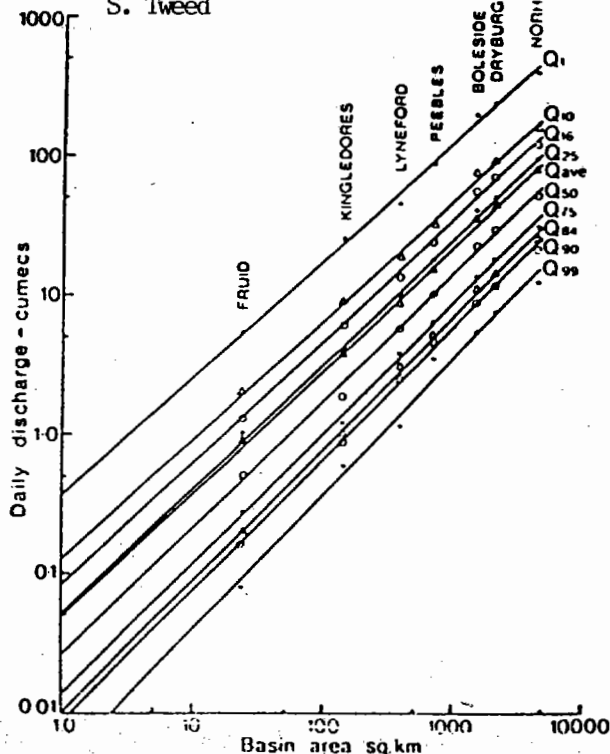
Kecermatan perlu digunakan dalam memerinci debit dan angkutan sedimen untuk persamaan-persamaan tersebut. Bila diaplikasikan pada alur buatan dengan debit dan angkutan sedimen, masukan harga menunjukkan kriteria rancang bangun. Untuk alur alam nilai rancang bangun akan dapat diperoleh dari debit asli aliran penuh dan mengumpulkan rata-rata angkutan sedimen.

Hitungan oleh Nixon (Nixon, M., 1959, in Hey, R.D., 1982) berdasarkan data dari sungai dengan dasar kerikil di Inggris menunjukkan bahwa saat aliran-penuh, saat rata-rata, sebangun pada 0,6 persen dari hari yang tercatat atau pada 2,2 hari per tahun. Di sini perlu dipertimbangkan penyebaran harga dan ini adalah wajar bahwa frekuensi aliran penuh akan lebih terkait dengan distribusi frekuensi banjir berdasarkan kejadian banjir daripada persentase harga lamanya aliran yang diperoleh dari grafik aliran harian rata-rata.

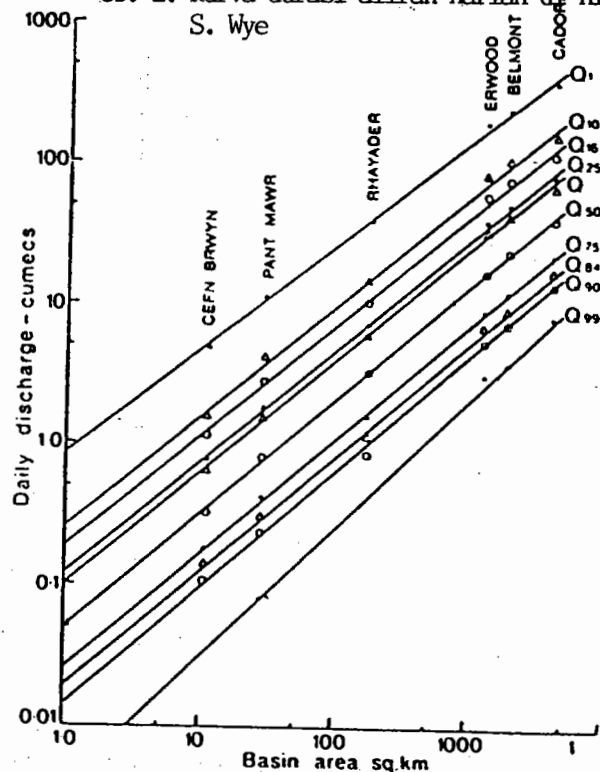
Untuk men-tes hipotesis tersebut, digunakan data dari 66 stasiun pada sungai Wey, Severn dan Tweed (Hey, R.D., 1982) yang dibandingkan dengan lamanya aliran harian dan grafik frekuensi banjir (gambar 1 – 6). Dalam gambar ditunjukkan pada keadaan rata-rata 1,5 banjir tahunan pada rangkaian banjir tahunan menunjukkan kala ulang aliran penuh untuk sungai dengan dasar kerikil yang stabil (gambar 7 – 8). Setiap percobaan yang menggunakan banjir rancangan yang lebih besar akan menghasilkan bagian alur yang tidak stabil.

Meskipun persamaan regime dapat dengan pasti digunakan untuk menjelaskan geometri hidrolis yang stabil dari sungai dengan dasar kerikil, persamaan tersebut tidak dapat untuk memperkirakan reaksi alur untuk perubahan debit ataupun angkutan sedimen. Selama periode erosi dan pengendapan di hulu maupun di hilir yang akan menyebabkan perubahan semua variabel yang ada, yang menyebabkan alur akan menyesuaikan dengan kondisi keseimbangan yang baru. Dengan demikian perubahan bentuk aliran akan mempengaruhi transport sedimen dan ukuran sedimen dasar. Tanpa informasi mengenai harga keseimbangan baru maka tidak mungkin menggunakan persamaan rancang bangun tersebut untuk memperkirakan geometri hidrolis saluran yang baru.

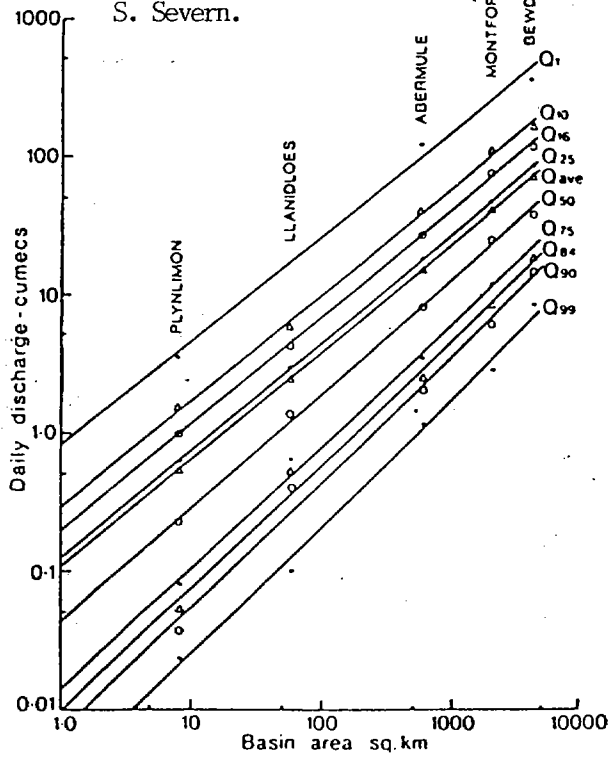
Gb. 1. Kurva durasi aliran harian di hilir S. Tweed



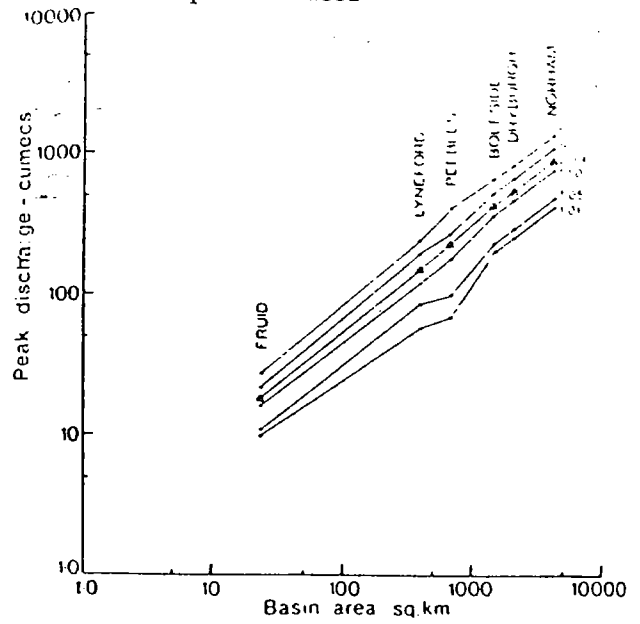
Gb. 2. Kurva durasi aliran harian di hilir S. Wye



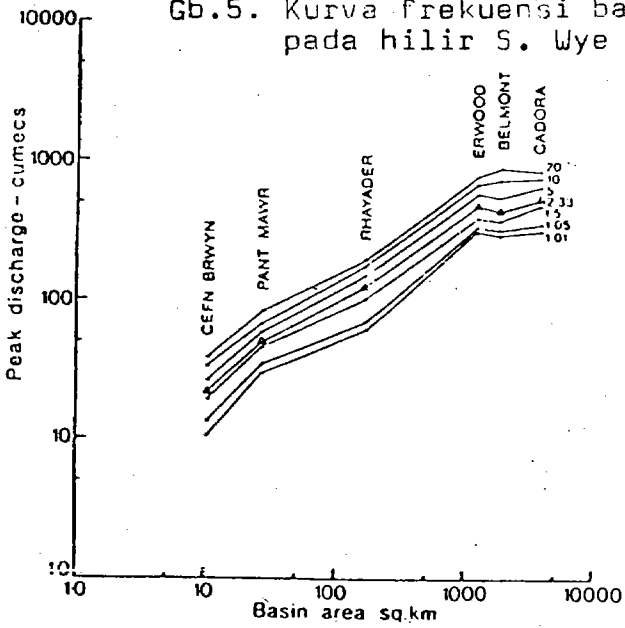
Gb. 3. Kurva durasi aliran harian di hilir S. Severn.



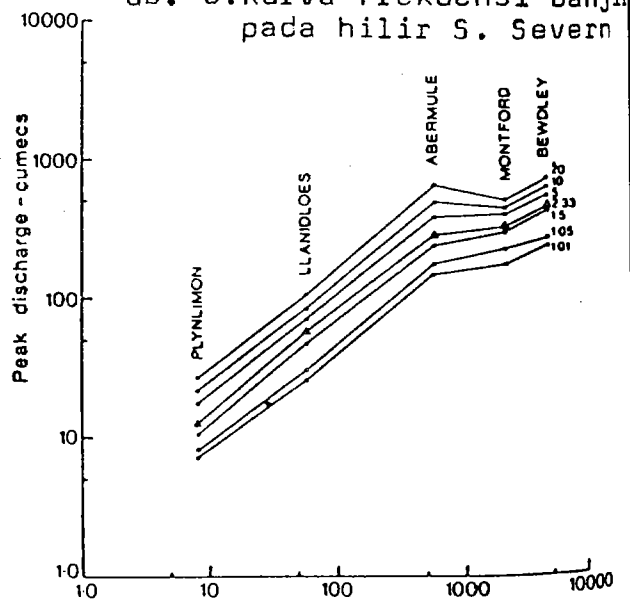
Gb. 4. Kurva frekuensi banjir pada hilir pada S. Tweed



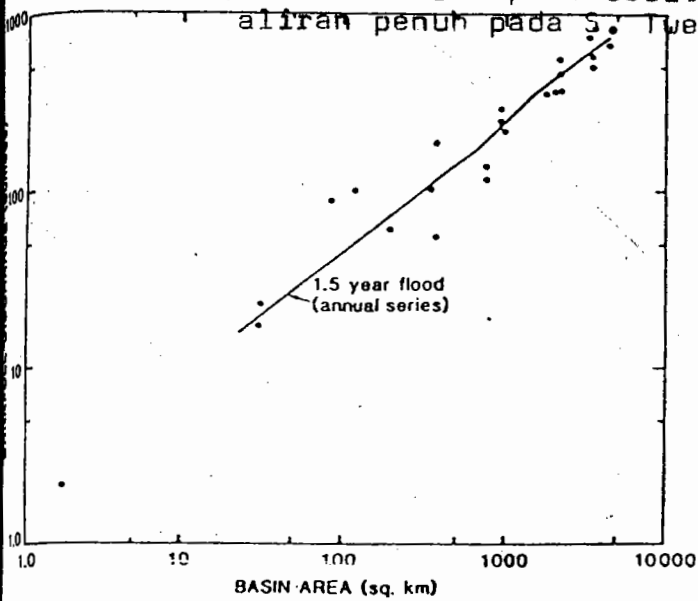
Gb. 5. Kurva frekuensi banjir pada hilir S. Wye



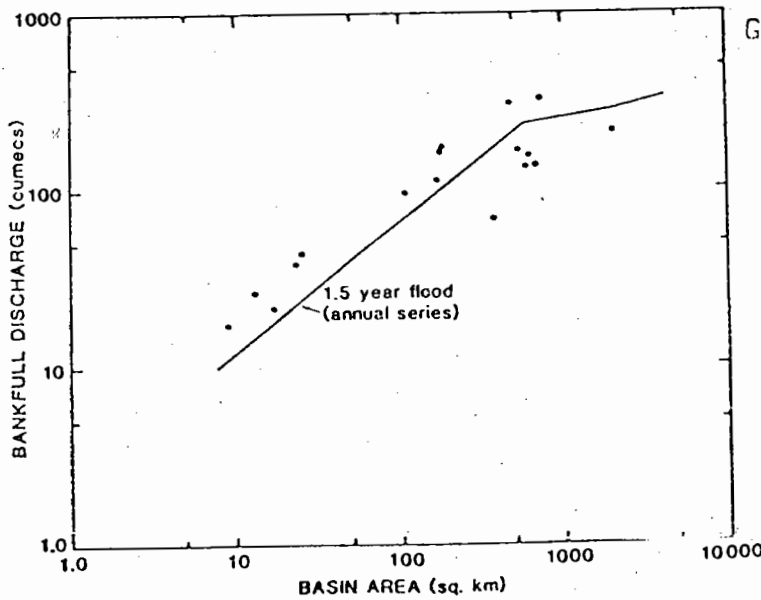
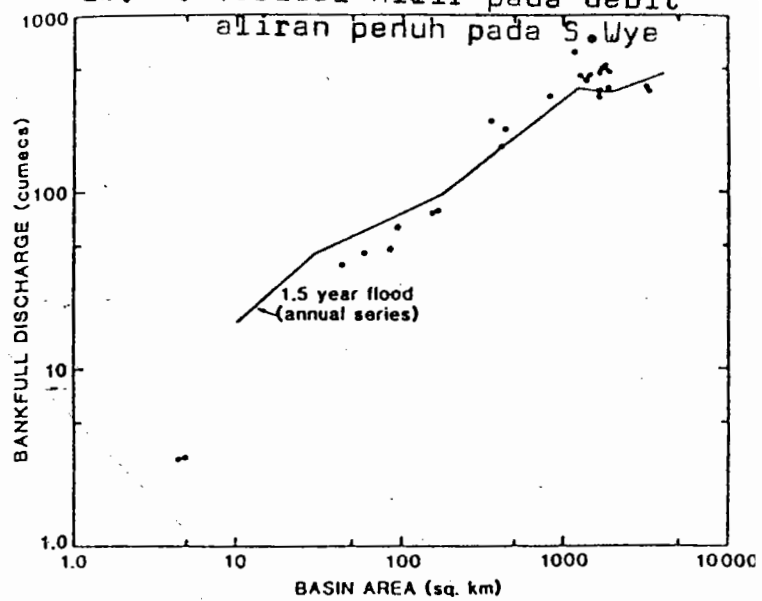
Gb. 6. Kurva frekuensi banjir pada hilir S. Severn



Gb. 7. Variasi hilir pada debit aliran penuh pada S. Tweed



Gb. 8. Variasi hilir pada debit aliran penuh pada S. Wye



Gb. 9. Variasi hilir pada debit aliran penuh pada S. Severn.

Untuk pengembangan secara umum persamaan tipe regime akan dibutuhkan untuk menambah kisaran data yang digunakan, jika mungkin, pengukuran lebih banyak daripada harga yang didapat.

#### KESIMPULAN

1. Sungai dengan dasar kerikil mempunyai 7 tingkat kebebasan sebab dasar sungai akan menyesuaikan jari-jari

hidrolis (R), keliling basah (P), kedalaman maksimum ( $d_m$ ), kemiringan(S), faktor kelengkungan(p), panjang lengkung meander ( $\epsilon$ ), dan kecepatan karena erosi dan sedimentasi. Pengontrol atau variabel bebas adalah debit (Q), masukan angkutan dasar ( $Q_s$ ), material dasar ( $D_{50}$ ), prosentase material lumpur-lempung tebing, dan kemiringan lembah ( $S_v$ ).

2. Untuk alur yang mengalirkan rangkaian aliran dengan debit dan angkutan sedimen yang besar pengaruh-



nya adalah harga aliran penuh yang menunjukkan aliran yang mana mengangkut sedimen yang besar pada waktu yang panjang.

3. Data diambil dari 66 lokasi dengan dasar stabil dan seragam dengan menggunakan teknik regresi untuk mengembangkan persamaan tipe regime untuk sungai yang mempunyai dasar kerikil yang bergerak dan tebing dengan lapisan aluvial halus di atas kerikil.

4. Persamaan tipe regime yang diperoleh adalah sebagai berikut:

$$P = 2,20 Q^{0,54} \cdot Q_s^{-0,05};$$

$$R = 0,161 Q^{0,41} \cdot D_{50}^{-0,15};$$

$$d_m = 0,252 Q^{0,38} \cdot D_{50}^{-0,16};$$

$$S = 0,679 Q^{-0,53} \cdot Q_s^{0,13} \cdot D_{50}^{0,97};$$

$$p = S_v / S;$$

$$= 2 \Pi B$$

## DAFTAR PUSTAKA

1. Hey, R.D., Bathurst, J.C., and Thorne, C.R., "Gravel-Bed Rivers", John Wiley & Sons, New York, 1982.
2. Hey, R.D., "Determinate Hydraulic Geometry of River Channel", Journal of the Hydraulics Division, American Society of Civil Engineers, Vol. 104, No. HY6, Proc. Paper 13830, 1978.
3. Leopold, L.B., Wolman, M.G., and Miller, J.P., "Fluvial Processes in Geomorphology, Freeman, San Francisco, 1964.
4. Parker, G., "Hydraulic Geometry of Active Gravel Rivers". Journal of the Hydraulics Division, American Society of Civil Engineers, Vol. 105, Proc. Paper 14841, No. HY9, 1979.
5. Vanoni, V.A., "Sedimentation Engineering", American Society of Civil Engineers, New York, 1977.