

DIKTAT
PENGELOLAAN AIR
KODE MK: 09515331



Oleh
Ir. I. Ketut Irianto M.Si

FAKULTAS PERTANIAN PROGRAM STUDI
AGROTEKNOLOGI
UNIVERSITAS WARMADEWA

2015

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kehadapan Tuhan Yang Maha Esa, atas Berkat Rahmat Beliau kami dapat menyelesaikan Diktat berjudul Diktat Pengelolaan air yang akan dipergunakan sebagai pedoman oleh mahasiswa yang menempuh mata kuliah Pengelolaan air. Diktat ini bersumber dari berbagai referensi, buku, jurnal ilmiah, hasil diskusi/konferensi, forum ilmiah. Diktat ini juga diambil dari hasil pengembangan penelitian, bahan-bahan dari praktisi, kebijakan pemerintah dan penelitian Pengelolaan air. Buku Diktat ini dipergunakan pada pembelajaran mata kuliah Pengelolaan air untuk mahasiswa semester V. Hasil pembelajaran dengan penguasaan materi diktat ini diharapkan mahasiswa mampu memahami dan mengembangkan ilmu lingkungan khususnya pengelolaan air, mahasiswa mampu meningkatkan kualitas hasil belajar. Buku Diktat ini dapat dipakai sebagai pedoman untuk pengembangan ilmu lingkungan di Fakultas Pertanian Jurusan Budidaya/ Agroteknologi Pertanian Universitas Warmadewa.

Diktat ini sebagai sumber bacaan mahasiswa, sehingga perlu penyempurnaan lebih lanjut sesuai dengan perkembangan ilmu dan tuntutan kompetensi/keahlian.

Penulis

DAFTAR ISI

| | | |
|--|--|-----|
| KATA PENGANTAR | | li |
| DAFTAR ISI | | lii |
| BAB I. PENDAHULUAN | | 3 |
| BAB II. SIRKULASI AIR | | 10 |
| BAB III. WILAYAH SUNGAI | | 16 |
| BAB IV. PERMUKAAN AIR SUNGAI DAN DEBIT | | 20 |
| BAB V. ANALISIS BANJIR | | 67 |
| BAB VI. PENGARUH AIR YANG MENGALIR | | 77 |
| BAB VII. KESIMPULAN | | |
| | | 82 |
| | | |
| | | |

BAB I

PENDAHULUAN

1. 1 Air

Air adalah salah satu dari sekian banyak sumber daya alam yang sangat di butuhkan bagi kehidupan makhluk hidup. Air membantu aktivitas kehidupan bagi semua makhluk hidup terutama manusia. Tidak hanya manusia saja yang membutuhkan air tetapi dari unsur tumbuhan, hewan maupun tanah itu sangat membutuhkan air dalam kehidupannya. Misalnya tumbuhan memerlukan air untuk tetap tumbuh, seperti halnya manusia, hewan pun memerlukan air untuk tetap tumbuh. Air merupakan suatu senyawa kimia H_2O yang sangat istimewa, yang dalam kandungannya terdiri dari senyawa Hidrogen (H_2), dan senyawa Oksigen (O_2).

Kedua senyawa yang membentuk air ini merupakan komponen pokok dan mendasar dalam memenuhi kebutuhan seluruh makhluk hidup di bumi selain matahari yang merupakan sumber energi. Seperti yang kita ketahui air merupakan hal yang sangat penting, karena segala makhluk hidup di dunia tidak dapat hidup tanpa air. Bahkan di dalam tubuh kita terdiri dari 55% sampai 78% air (tergantung pada ukuran badan). Komposisi air dalam organ tubuh kita yaitu; 83% darah terdiri dari air, 75% otot manusia terdiri dari air, 74% otak manusia terdiri dari air, 22% bagian tulang pun terdiri atas air/cairan.

Permukaan bumi pada dasarnya terdiri dari 71% merupakan air, makanya ketika kita melihat bumi dari luar angkasa, bumi terlihat berwarna biru. 96% air di bumi ini bersifat asin sebagai air laut, sedangkan sisanya sekitar 4% yang bersifat tawar. Kurang dari 3% berwujud salju dan es, sedangkan 1% lainnya sebagai besar air tanah, dan sisanya kurang dari 0,1% sebagai air permukaan (sungai dan danau), serta berada di biosfer dan atmosfer.

1.2 Fungsi Air dalam Kehidupan

3

Fungsi air dalam kehidupan kita tidak hanya memenuhi kebutuhan secara fisik (yang dibutuhkan tubuh manusia), tetapi juga berperan sebagai pemenuh kegiatan manusia sehari-hari. Baik digunakan untuk mencuci pakaian, mandi, dan memenuhi kebutuhan manusia lainnya. Bahkan makhluk hidup lain yang berupa binatang, dan tumbuhan mengkonsumsi air sebagai pemenuh kebutuhannya. Sekilas mengenai pengertian air, dan persentasi air dalam

tubuh serta bumi, kita tahu begitu penting peranan air bagi makhluk hidup. Bagaimanakah tingkah laku dan sikap manusia dalam menjaga sumber daya ini, dan bagaimana wujud manusia berperan aktif dalam melakukan konservasi sumber daya air, sehingga air dapat secara mudah memenuhi kebutuhan hidup seluruh makhluk hidup. Seperti yang kita ketahui, berbagai kegiatan yang dilakukan oleh manusia menyebabkan polusi air.

Penyebab utamanya adalah pencemaran air melalui limbah pabrik, dan limbah rumah tangga yang berupa zat kimia dari deterjen yang digunakan sehari-hari, serta zat-zat kimiayang dihasilkan dari kegiatan manusia lainnya. Hal ini tentu memberi dampak negatif terhadap lingkungan, bahkan pencemaran air tersebut dapat membunuh makhluk yang disekitarnya. Kendala kita sekarang adalah sulitnya untuk memperoleh air bersih. Keadaan ini tentunya sangat memprihatinkan, karena kebutuhan akan air bersih adalah prioritas utama bagi kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lainnya. Dalam kondisi tersebut, tentunya perlu pengawasan dari pihak – pihak yang berkaitan, dan peran aktif dari kita untuk menanganai masalah yang terjadi ini. Hal yang dapat kita lakukan adalah melakukan konservasi sumber daya air. Konservasi sumber daya air adalah kegiatan yang dilakukan dengan tujuan untuk mengurangi penggunaan air bersih/segar, melalui suatu proses, dan tindakan sosial dalam rangka menanggulangi krisis air bersih/segar. Beberapa fungsi air meliputi:

- a. Penyediaan air minum
- b. Untuk keperluan pertanian dalam arti luas.
- c. Untuk keperluan industri sebagai bahan baku.
- d. Untuk sarana transportasi

1.3 Sifat Fisik Air

Air sebagai zat, air tidak berbau, tak berwarna tanpa rasa, air merupakan senyawa yang sangat mantap, pelarut yang mengagumkan serta sumber kimia yang sangat kuat (Kienholz *et al*, 2000). Air memuai bila membeku menjadi zat padat, dalam suatu kegiatan seringkali suatu proses disertai dengan timbulnya panas reaksi atau panas dari gerakan mesin dan zat kimia terlarut, semakin tinggi kenaikan suhu air semakin sedikit oksigen yang terlarut didalamnya (Martin, 2000).

Bau yang berasal dari dalam air dapat langsung berasal dari bahan-bahan buangan atau air limbah dari kegiatan industri atau dapat pula berasal dari hasil degradasi bahan

buangan oleh mikroba yang hidup di dalam air (Diaz, 2008). Mikroba di dalam air akan mengubah bahan buangan organik terutama gugus protein secara degradasi menjadi bahan yang mudah menguap dan berbau (Hendrickey *et al*, 2005). Menurut Rao dan Mamata (2004), air normal yang dapat digunakan untuk kehidupan umumnya tidak berbau, tidak berwarna dan berasa, selanjutnya dikatakan adanya rasa pada air pada umumnya diikuti dengan perubahan pH air.

Pembentukan koloidal terjadi karena bahan buangan padat yang berbentuk halus (butiran kecil), sebagian ada yang larut dan sebagian lagi tidak dapat larut dan tidak dapat mengendap, koloidal ini melayang di dalam air sehingga air menjadi keruh (Fairchild *et al*, 2000). Menurut Koesoebiono (1999) kekeruhan akan menghalangi penetrasi sinar matahari kedalam air akibatnya fotosintesis tanaman didalam air tidak dapat berlangsung dan akan mengganggu kehidupan hewan air.

Padatan tersuspensi total keberadaannya dipengaruhi oleh jumlah dan jenis limbah yang masuk ke dalam suatu perairan (Rao dan Mamata, 2004). Selanjutnya dikatakan bahwa bahan buangan padat berbentuk kasar (butiran besar) dan berat serta tidak larut dalam air maka bahan tersebut akan mengendap di dasar sungai.

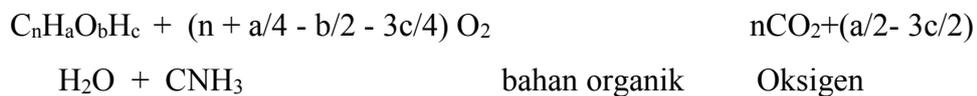
1.4 Sifat Kimia Air

Sebuah molekul air terdiri atas satu atom oksigen yang berikatan kovalen dengan dua atom hidrogen, gabungan dua atom hidrogen dengan satu atom oksigen yang membentuk air (H_2O) ini merupakan molekul yang sangat kokoh dan untuk menguraikan air diperlukan jumlah energi yang besar, jumlah yang sama juga dilepaskan dalam pembentukannya (Rukaesih, 2004). Salinitas merupakan gambaran jumlah kelarutan garam dan konsentrasi ion-ion dalam air, salinitas juga berpengaruh terhadap derajat kelarutan senyawa-senyawa tertentu (Pusstan, 2003).

Organisme perairan harus mengeluarkan energi yang besar untuk menyesuaikan diri dengan salinitas yang jauh di bawah atau di atas normal bagi kehidupan hewan (Suriani, 2000). Secara langsung organisme perairan membutuhkan kondisi air dengan tingkat kemasaman tertentu (Rukaesih, 2004). Air dengan pH yang terlalu tinggi atau terlampau rendah dapat mematikan organisme, demikian pula halnya dengan perubahannya, umumnya organisme perairan dapat hidup pada kisaran pH antara 6,7 dan 8,5. Penambahan suatu senyawa ke perairan kendalanya telah menyebabkan perubahan pH menjadi lebih kecil dari 6,7 atau lebih besar dari 8,5 (Kusnoputranto, 1997). Konsentrasi oksigen terlarut DO

(*disolved oksigen*) merupakan parameter penting yang harus diukur untuk mengetahui kualitas perairan. Organisme perairan tidak selalu nyaman hidup pada air dengan kandungan oksigen tinggi. Air dengan oksigen terlalu tinggi 200% jenuh berakibat dapat membahayakan organisme (Touray, 2008).

Tingkat kejenuhan tersebut ditentukan oleh suhu air dari salinitas air, makin tinggi suhu air maka kapasitas kejenuhan oksigen makin besar (Duncan dan Sandy, 1994), sebaliknya makin tinggi salinitas kapasitas kejenuhan oksigen di air semakin menurun (Saeni, 1989). BOD menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan mikroorganisme hidup untuk memecah atau mengoksidasi bahan-bahan organik buangan dalam air (Darmono, 2001). Di dalam air terdapat banyak senyawa organik (asam lemak, cellulosa, asam organik, lemak dan protein) dan organik terlarut (logam berat, amoniak, nitrit) serta mikroorganisme yang berpotensi mengkonsumsi oksigen (Sugiharto, 1987). Semakin besar BOD menunjukkan bahwa derajat pengotoran air limbah semakin besar (Jaya *dkk*, 1994). Menurut Waluyo (2007), Mikroorganisme yang memerlukan oksigen untuk memecah bahan buangan organik sering disebut dengan bakteri aerobik. Selanjutnya dikatakan mikroorganisme yang tidak memerlukan oksigen, disebut dengan bakteri anaerobik. Proses penguraian bahan buangan organik melalui proses oksidasi oleh mikro organisme atau oleh bakteri aerobik adalah sebagai berikut :



Kebutuhan oksigen kimiawi COD (Chemical Oxygen Demand) adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan-bahan organik didalam air secara kimiawi (Proowse, 1996). Nilai COD merupakan ukuran dan pencemaran air oleh bahan-bahan organik yang secara alamiah dapat dioksidasi melalui proses kimia dan mikro biologis dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut dalam air. Uji COD biasanya menghasilkan nilai kebutuhan oksigen yang lebih tinggi dari uji BOD karena bahan-bahan yang stabil terhadap reaksi biologi dan mikroorganisme dapat ikut teroksidasi dalam uji COD (Kasmidjo, 1997).

Pengukuran COD berpedoman pada prinsip bahwa semua bahan organik dapat dioksidasi secara sempurna menjadi CO₂ dan H₂O dengan bantuan oksidasi kuat dalam kadar asam. Jumlah oksidator yang dibutuhkan untuk proses ini disetarakan dengan kebutuhan oksigen (Sumodiharjo, 1999). Menurut Mcleod dan Eltis (2008) bahan buangan organik akan

dioksidasi oleh Kalium bichromat menjadi gas CO₂ dan H₂O serta sejumlah ion Chrom. Kalium bichromat atau K₂Cr₂O₇ digunakan sebagai sumber oksigen (oxidizing agent), selanjutnya dikatakan oksidasi terhadap bahan buangan organik akan mengikuti reaksi berikut ini :



Nitrogen berperan kuat dalam reaksi-reaksi biologi perairan, untuk menuniukkan tingkat kesuburan suatu perairan dapat dilihat dari kandungan nutrien seperti nitrogen, fosfat dan bahan-bahan organik (Meagler, 2000). Dalam kondisi aerob nitrogen dari urea diikat oleh mikroorganisme dan selanjutnya diubah menjadi nitrat. Sumber-sumber nitrogen dalam air dapat bermacam-macam meliputi hancuran bahan organik buangan domestik, limbah industri, limbah peternakan atau pupuk (Chitnis, 2003). Unsur fosfor didalam perairan tersedia dalam bentuk fosfat organik. Ortofosfat adalah suatu bentuk lain senyawa fosfat organik (Wardana, 1999).

Fosfor bersumber dari hanyutan pupuk limbah industri, hancuran bahan organik dan mineral-mineral fosfat, fosfat dalam detergen memegang peranan penting di dalam kelebihan hara fosfor di dalam perairan, fosfat keadaan normal berluasan 0,001-1 mg/liter (Darmono, 2001). Menurut Suriani (2000), Sulfida berperanan dalam jumlah yang berlebihan akan dapat menurunkan keasaman (pH) suatu perairan, sehingga dengan menurunnya pH akan mempengaruhi kehidupan organisme yang ada dalam air. Menurut Darmono (2001), amonia yang berlebihan dalam air akan menimbulkan penurunan kadar oksigen terlarut dan cenderung bersifat toksik sehingga secara tidak langsung akan mempengaruhi kehidupan dalam air, sedangkan nitrit adalah merupakan senyawa yang bersifat toksik dalam air, akan tetapi sesungguhnya ini bersifat labil dan berubah menjadi nitrat bila ada oksigen dan akan menjadi amonia bila kadar oksigen yang terlarut mulai menurun.

Air tanah mengandung zat Besi (Fe) dan Mangan (Mn) cukup besar, adanya kandungan Besi dan Mangan dalam air menyebabkan warna air tersebut berubah menjadi kuning-coklat setelah beberapa saat kontak dengan udara (Winarno, 1996). Baik besi maupun mangan dalam air biasanya terlarut dalam bentuk senyawa atau garam bikarbonat, garam sulfat hidroksida dan juga dalam bentuk koloidal atau dalam bentuk gabungan senyawa anorganik (Wardana., 1999).

1.5. Sifat Biologi Air

Bio indikator merupakan kelompok atau komunikator organisme yang kehadirannya atau perilakunya di dalam air berkorelasi dengan kondisi lingkungan sehingga dapat digunakan sebagai petunjuk kualitas lingkungan perairan (Willey, 1990)). Organisme yang tergolong sebagai indikator di antara ganggang, bakteri protozoa makrobentos, dan ikan (Wiliam, 1990). Keberadaan coliform yang berlebihan dalam air adalah mengidentifikasi adanya patogen dalam air (Ardhana, 1998).

BAB II.

SIRKULASI AIR

2.1 Sirkulasi air di bumi

Di bumi terdapat kira-kira sejumlah 1,3-1,4 milyar km³ air: 97,5% adalah air laut, 1,75% berbentuk es dan 0,73% berada di daratan sebagai air sungai, air danau, air tanah dan sebagainya. Hanya 0,001 % berbentuk uap di udara. Air di bumi ini mengulangi terus menerus sirkulasi penguapan, presipitasi dan pengaliran keluar (*outflow*). Air menguap ke udara dari permukaan tanah dan laut, berubah menjadi awan sesudah melalui beberapa proses dan kemudian jatuh sebagai hujan atau salju ke permukaan laut atau daratan. Sebelum tiba ke permukaan bumi sebagian langsung menguap ke udara dan sebagian tiba ke permukaan bumi. Tidak semua bagian hujan yang jatuh ke permukaan bumi mencapai permukaan tanah. Sebagian akan tertahan oleh tumbuh-tumbuhan di mana sebagian akan menguap dan sebagian lagi akan jatuh atau mengalir melalui dahan-dahan ke permukaan tanah.

Sebagian air hujan yang tiba ke permukaan tanah akan masuk ke dalam tanah (infiltrasi). Bagian lain yang merupakan kelebihan akan mengisi lekuk-lekuk permukaan tanah, kemudian mengalir ke daerah-daerah yang rendah, masuk ke sungai-sungai dan akhirnya ke laut. Tidak semua butir air yang mengalir akan tiba ke laut. Dalam perjalanan ke laut sebagian akan menguap dan kembali ke udara. Sebagian air yang masuk ke dalam tanah keluar kembali segera ke sungai-sungai (disebut aliran intra = *interflow*). Tetapi sebagian besar akan tersimpan sebagai air tanah (*groundwater*) yang akan keluar sedikit demi sedikit dalam jangka waktu yang lama ke permukaan tanah di daerah-daerah yang rendah (disebut *groundwater runoff* = limpasan air tanah).

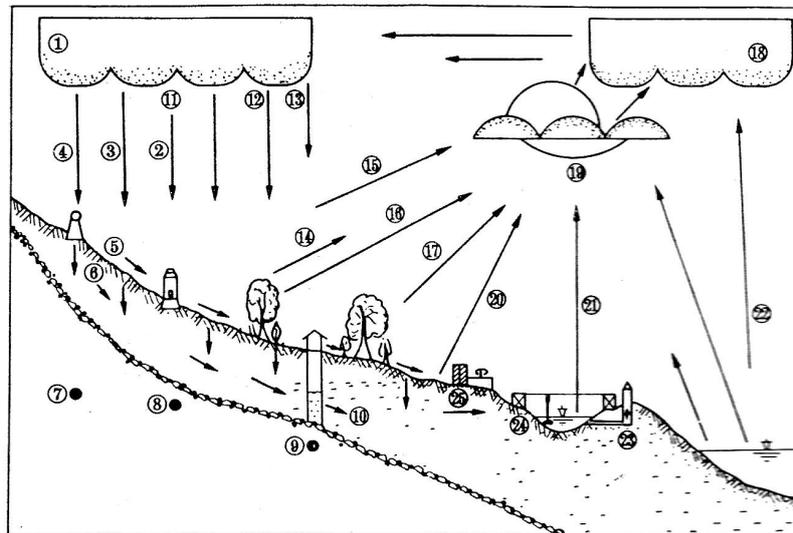
10

Jadi sungai itu mengumpulkan 3 jenis limpasan, yakni limpasan permukaan (*surface runoff*), aliran intra (*interflow*) dan limpasan air tanah (*groundwater -runoff*) yang akhirnya akan mengalir ke laut. Singkatnya ialah: uap dari laut dihembus ke atas daratan (kecuali bagian yang telah jatuh sebagai presipitasi ke laut), jatuh ke daratan sebagai presipitasi (sebagian jatuh langsung ke sungai-sungai dan mengalir langsung ke laut). Sebagian dari hujan atau salju yang jatuh di daratan menguap dan meningkatkan kadar uap di atas daratan. Bagian yang lain mengalir ke sungai dan akhirnya ke laut.

Seperti telah dikemukakan di atas, sirkulasi yang kontinu antara air laut dan air daratan berlangsung terus. Sirkulasi air ini disebut siklus hidrologi (*hydrological cycle*). Lihat Gambar. 1.

Tetapi sirkulasi air ini tidak merata, karena kita melihat perbedaan besar presipitasi dari tahun ke tahun, dari musim ke musim yang berikut dan juga dari wilayah ke wilayah yang lain. Sirkulasi air ini dipengaruhi oleh kondisi meteorologi (suhu, tekanan atmosfer, angin dan lain-lain) dan kondisi topografi; kondisi meteorologi adalah faktor-faktor yang menentukan.

Air permukaan tanah dan air tanah yang dibutuhkan untuk kehidupan dan produksi adalah air yang terdapat dalam proses sirkulasi ini. Jadi jika sirkulasi ini tidak merata (hal mana memang terjadi demikian), maka akan terjadi bermacam-macam kesulitan. Jika terjadi sirkulasi yang lebih, seperti banjir, maka harus diadakan pengendalian banjir.



Gambar.2.1 Siklus Hidrologi.

| | | |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Awan dan uap air di udara • Hujan • Hujan es • Salju • Limpasan permukaan • Perkolasi • Alat ukur salju • Alat ukur hujan • Sumur pengamatan | <ul style="list-style-type: none"> • Presipitasi • Salju yang mencair • Lain-lain • Intersepsi • Evaporasi hujan yang sedang jatuh • Evapotranspirasi • Transpirasi • Awan dan uap air • Evaporasi | <ul style="list-style-type: none"> • Evaporasi dari sungai-sungai dan danau-danau • Evaporasi dari laut • Pengamatan debit • Pengamatan kualitas air • Pengamatan evaporasi |
|--|---|--|

| | | |
|-------------|------------------------|--|
| • Air tanah | • Evaporasi dari tanah | |
|-------------|------------------------|--|

Jika terjadi sirkulasi yang kurang, maka kekurangan air ini harus ditambah dalam suatu usaha pemanfaatan air.

Berdasarkan hal-hal tersebut di atas, maka berkembanglah ilmu Hidrologi, yakni ilmu yang mempelajari sirkulasi air itu. Jadi dapat dikatakan, Hidrologi adalah ilmu untuk mempelajari :

- presipitasi (*precipitation*)
- evaporasi dan transpirasi (*evaporation*)
- aliran permukaan (*surface stream flow*) dan
- air tanah (*ground water*)

2.2 Sirkulasi Air/Siklus Hidrologi dan Neraca air (water balance)

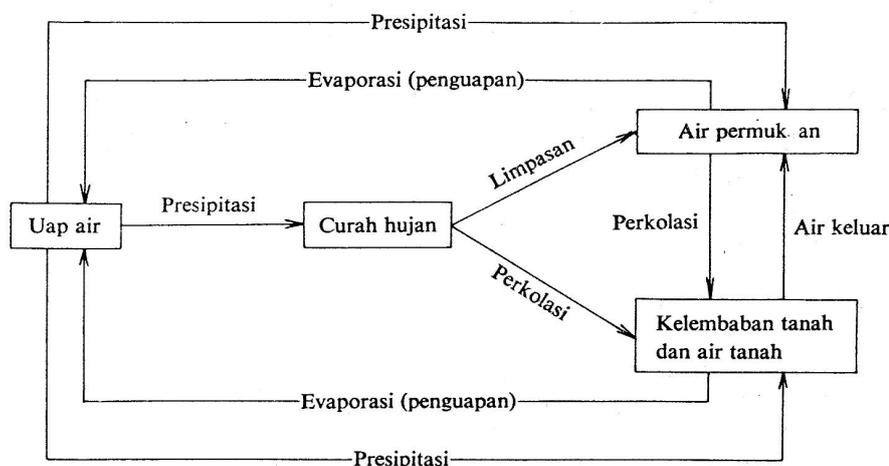
Sirkulasi air telah dikemukakan dalam sub bab 1.1. Hubungan-hubungannya secara singkat telah dilukis pada Gbr. 2. Dalam proses sirkulasi air, penjelasan mengenai hubungan antara aliran ke dalam (*inflow*) dan aliran keluar (*outflow*) di suatu daerah untuk suatu periode tertentu disebut neraca air (*water balance*).

Umumnya terdapat hubungan keseimbangan sebagai berikut:

$$P = D + E + G + M \dots\dots\dots(1.1)$$

dimana:

P: presipitasi



Gambar2.2 Sirkulasi air.

D : debit

E : evapotranspirasi

G : penambahan (*supply*) air tanah

M : penambahan kadar kelembaban tanah (*moisture content*).

Dalam hal-hal tertentu, beberapa buah suku dalam persamaan 1.1 dapat diabaikan, yang tergantung dari periode perhitungan neraca air atau sifat-sifat dari daerah itu. Jika periode perhitungan neraca air diambil 1 tahun dan daerah yang dipelajari itu luas, maka mengingat variasi meteorologi itu berulang dalam siklus 1 tahun, kadar kebasahan tanah itu juga berulang dalam siklus 1 tahun. Harga M dalam persamaan (1.1) akan menjadi nol dan persamaan menjadi:

$$P = D + E + G \dots \dots \dots (1.2)$$

Jika semua supply air tanah itu telah keluar ke permukaan di sebelah atas tempat pengukuran dan mengalir ke bawah, maka persamaan neraca air tahunan menjadi:

$$P = D + E \dots \dots \dots (1.3)$$

Jika perhitungan neraca air itu diadakan pada suatu daerah tertentu yang terbatas, maka aliran ke dalam (*inflow*) dan aliran keluar (*outflow*) dari D dan G kira-kira akan berbeda. Persamaan (1.1) menjadi:

$$P = (D_2 - D_1) + E + (G_2 - G_1) + H.P_a + M \dots \dots \dots (1.4)$$

dimana:

D_1 : Air permukaan dari bagian hulu yang mengalir ke dalam daerah yang ditinjau.

D_2 : Air permukaan yang mengalir keluar dari daerah yang ditinjau ke bagian hilir.

G_1 : Air tanah yang mengalir dari bagian hulu ke dalam daerah yang ditinjau.

G_2 : Air tanah yang mengalir keluar dari daerah yang ditinjau ke bagian hilir.

H : Perubahan/variasi muka air tanah rata-rata daerah yang ditinjau.

P_a : Laju menahan udara rata-rata (mean air holding rate) di bagian lapisan variasi air tanah.

Dalam persamaan ini, P , D_1 , D_2 dan H dapat diukur, G , and G_2 dapat dihitung dengan menggunakan pengukuran variasi muka air tanah.

M dan P , adalah harga-harga yang diperoleh dari profil tanah pada titik-titik tertentu yang dipilih di daerah pengaliran. Dalam perhitungan neraca air yang dipergunakan untuk irigasi, variasi kuantitatif berdasarkan faktor-faktor alamiah seperti presipitasi, pembekuan, evaporasi, transpirasi, aliran keluar (*outflow*) air permukaan tanah, air tanah dan lain-lain,

beserta faktor-faktor buatan (*artificial factors*) seperti pengambilan air untuk irigasi, drainasi air kelebihan, jenis dan cara penanaman dan lain-lain harus diperinci dengan jelas.

2.3 Sifat-sifat air

Air berubah ke dalam tiga bentuk/sifat menurut waktu dan tempat, yakni air sebagai bahan padat, air sebagai cairan dan air sebagai uap seperti gas. Keadaan-keadaan ini kelihatannya adalah keadaan alamiah biasa karena selalu kelihatan demikian. Tetapi sebenarnya keadaan-keadaan/sifat-sifat ini adalah keadaan yang aneh di antara seluruh benda-benda. Tidak ada suatu benda yang berubah ke dalam tiga sifat dengan suhu dan tekanan yang terjadi dalam hidup kita sehari-hari.

Umumnya benda menjadi kecil jika suhu menjadi rendah. Tetapi air mempunyai volume yang minimum pada suhu 4°C. Lebih rendah dari 4°C, volume air itu menjadi agak besar. Pada pembekuan, volume es menjadi 1/11 kali lebih besar dari volume air semula.

Mengingat es mengambang di permukaan air (karena es lebih ringan dari air), maka keseimbangan antara air dan es dapat dipertahankan oleh pembekuan dan pencairan. Jika es lebih berat dari air, maka es itu akan tenggelam ke dasar laut atau danau dan makin lama makin menumpuk yang akhirnya akan menutupi seluruh dunia. Air itu mudah mengembang dan menyusut menurut perubahan suhu. Tetapi volume air hanya berkurang sangat kecil oleh tekanan dari luar. Volume air hanya berkurang 5/100.000 kali oleh tekanan 1 atmosfer.

Tabel 2.1 Tetapan-tetapan fisik dari air.

| | | | | |
|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Kerapatan es (0°C) | 0,9168 | Suhukritis | | 374,1° |
| Panas pencairan | g/cm ³ 79,7 cal/g | ritis | | 218,4 |
| | | Tekanan | | Tekanan Barometris |
| | 0°C | 20°C | 50°C | 100°C |
| Berat jenis (g/cm ²) | 0,99987 | 0,99823 | 0,9981 | 0,9584 |
| Panas jenis | | | | |
| (cal/g- °Q | 1,0074 | 0,9988 | 0,9985 | 1,0069 |
| Panas evaporasi | | | | |
| (cal/g) | 597,3 | 586,0 | 569,0 | 539,0 |
| Konduktivitas panas | | | | |
| (cal/cm-sec-°C) | 1,39x10 ⁻³ | 1,40x10 ⁻³ | 1,52x10 ⁻³ | 1,63x10 ⁻³ |
| Tegangan permukaan | | | | |
| (dyne/cm) | 75,64 | 72,75 | 67,91 | 58,80 |
| Laju viskositas | | | | |
| (10 ⁻⁴ g/cm -sec) | 178,34 | 100,9 | 54,9 | 28,4 |
| Tetapan dielektrik | | | | |
| (cgse) | 87,825 | 80,08 | 69,725 | 55,355 |

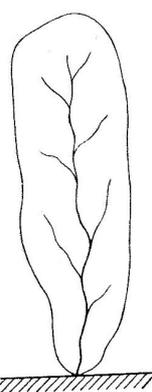
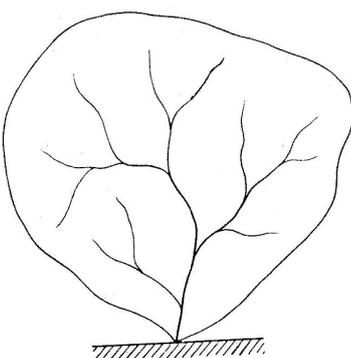
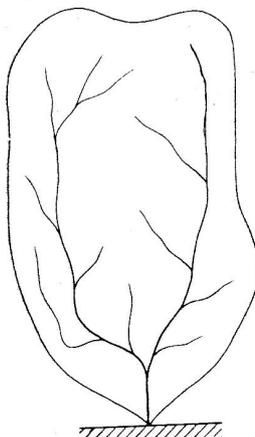
BAB III WILAYAH SUNGAI

3.1 Karakteristik sungai

Sungai mempunyai fungsi mengumpulkan curah hujan dalam suatu daerah tertentu dan mengalirkannya ke laut. Sungai itu dapat digunakan juga untuk berjenis-jenis aspek seperti pembangkit tenaga listrik, pelayaran, pariwisata, perikanan dan lain-lain. Dalam bidang pertanian sungai itu berfungsi sebagai sumber air yang penting untuk irigasi.

3.1.1 Daerah pengaliran

Daerah pengaliran sebuah sungai adalah daerah tempat presipitasi itu mengkonsentrasi ke sungai. Garis batas daerah-daerah aliran yang berdampingan disebut batas daerah pengaliran. Luas daerah pengaliran diperkirakan dengan pengukuran daerah itu pada peta topografi. Daerah pengaliran, topografi, tumbuh-tumbuhan dan geologi mempunyai pengaruh terhadap debit banjir, corak banjir, debit pengaliran dasar dan seterusnya.

| | | |
|---|---|--|
|  |  |  |
| Gambar3.1 Daerah pengaliran yang menyebarkan. | Gambar3.2 Daerah pengaliran yang sejajar. | Gambar3.3 Daerah pengaliran yang berbentuk bulu burung. |

3.1.2 Corak dan Karakteristik Daerah Pengaliran

(1) Daerah pengaliran berbentuk bulu burung

Jalur daerah di kiri kanan sungai utama di mana anak-anak sungai mengalir ke sungai utama disebut daerah pengaliran bulu burung. Daerah pengaliran sedemikian mempunyai debit banjir yang kecil, oleh karena waktu tiba banjir dari anak-anak sungai itu berbeda-beda. Sebaliknya banjirnya berlangsung agak lama.

(2) Daerah pengaliran radial

Daerah pengaliran yang berbentuk kipas atau lingkaran dan di mana anak-anak sungainya mengkonsentrasi ke suatu titik secara radial disebut daerah pengaliran radial. Daerah pengaliran dengan corak sedemikian mempunyai banjir yang besar di dekat titik pertemuan anak-anak sungai.

(3) Daerah pengaliran paralel

Bentuk ini mempunyai corak di mana dua jalur daerah pengaliran yang bersatu di bagian pengaliran yang bersatu di bagian hilir. Banjir itu terjadi di sebelah hilir titik pertemuan sungai-sungai.

(4) Daerah pengaliran yang kompleks

Hanya beberapa buah daerah aliran yang mempunyai bentuk-bentuk ini dan disebut daerah pengaliran yang kompleks.

3.1.3 Koeffisien yang memperlihatkan corak daerah pengaliran

(1) Koeffisien corak/bentuk

Koeffisien ini memperlihatkan perbandingan antara luas daerah pengaliran itu dengan panjang sungainya.

$$F = \frac{A}{L^2} \dots\dots\dots(3.1)$$

F: koeffisien corak

A: luas daerah pengaliran (km²)

L: Panjang sungai utama (km)

Makin besar harga *F*, makin lebar daerah pengaliran itu.

Tabel 3.1 Koeffisien corak sungai.

| Nama sungai | Daerah pengaliran (1000km ²) | Panjang sungai utama (km) | <i>F</i> |
|-------------|--|---------------------------|----------|
| Amazon | 7.050 | 6.200 | 1,840 |

| | | | |
|--------------------|-------|-------|-------|
| Mississippi | 3.250 | 6.500 | 0,077 |
| Yangtze | 1.780 | 5.200 | 0,066 |
| Donau | 820 | 2.900 | 0,097 |
| Kiso (tiga sungai) | 9,1 | 229 | 0,175 |

(2) Kerapatan sungai

Kerapatan sungai adalah suatu indeks yang menunjukkan banyaknya anak sungai dalam suatu daerah pengaliran.

$$\text{Kerapatan sungai} = \frac{\text{panjang sungai utama dan anak-anak sungai (km)}}{(\text{luas daerah pengaliran}) (\text{km}^2)} \dots\dots\dots(3.2)$$

Biasanya harga ini adalah kira-kira 0,30 sampai 0,50 dan dianggap sebagai indeks yang menunjukkan keadaan topografi dan geologi dalam daerah pengaliran. Kerapatan sungai itu adalah kecil di geologi yang permeabel, di pegunungan-pegunungan dan di lereng-lereng, tetapi besar untuk daerah-daerah yang banyak curah hujannya.

3.1.4 Gradien memanjang sungai dan corak (bentuk) penampang melintang

Kurva yang memperlihatkan hubungan antara jarak dan permukaan dasar sungai yang diukur sepanjang sungai mulai dari estuari, disebut profil sungai. Profil ini tahap demi tahap berubah menjadi profil yang stabil sesudah terjadi erosi dan sedimentasi sesuai pengaruh aliran sungai itu. Profil yang telah menjadi stabil sedemikian disebut profil seimbang. Bentuk penampang melintang sungai berubah-ubah sesuai dengan karakteristik bahan dasar sungai, kecepatan aliran dan seterusnya.

Pada bagian hulu daerah-daerah pegunungan biasanya dasar sungai itu sangat digusur, dan penampang melintangnya menjadi lembah yang berbentuk V. Pada bagian pertengahan penampang lembah itu berbentuk U. Di zone alluvial bagian hilir sungai, penampang melintangnya menjadi trapezoid pada bagian yang lurus dan berbentuk segitiga pada bagian tikungan. Umumnya bentuk penampang melintang sungai adalah antara bentuk persegi panjang dan segitiga. Umpamanya luas penampang melintang *A*, lebar *b* dan dalam air maksimum *h_{max}*, maka;

$$A = c \times b \times h_{max} \dots\dots\dots(3.3)$$

c disebut koefisien bentuk penampang melintang.

Untuk bentuk persegi panjang *c* = 1, untuk segitiga *c* = 1/2 dan untuk parabola *c* = 2/3.

Biasanya pada sungai-sungai, koefisien ini adalah kira-kira 0,60.

BAB. IV

PERMUKAAN AIR SUNGAI DAN DEBIT

Perubahan kondisi permukaan air sungai dalam jangka waktu yang panjang akan dapat diketahui dengan mengadakan pengamatan permukaan air sungai itu dalam jangka waktu yang panjang. Debit sungai dapat diperoleh juga dari permukaan air sungai itu. Dalam persoalan pengendalian sungai, permukaan air sungai yang sudah dikorelasikan dengan curah hujan dapat membantu mengadakan penyelidikan data untuk pengelakan banjir, peramalan banjir, pengendalian banjir dengan bendungan. Dalam usaha pemanfaatan air, permukaan air sungai itu dapat digunakan untuk mengetahui secara umum banyaknya air sungai yang tersedia, penentuan kapasitas bendungan dan seterusnya.

4.1 Pengamatan permukaan air sungai

Untuk kebutuhan usaha pemanfaatan air, pengamatan permukaan air sungai dilaksanakan pada tempat-tempat di mana akan dibangun bangunan air seperti bendungan, bangunan-bangunan pengambilan air dan lain-lain. Untuk kebutuhan usaha pengendalian sungai atau pengaturan sungai, maka pengamatan itu dilaksanakan pada tempat yang dapat memberikan gambaran mengenai banjir termasuk tempat-tempat perubahan tiba-tiba dari penampang sungai.

Permukaan air sungai itu harus diukur berdasarkan datum standar dalam negara. Sedikit-dikitnya, dalam suatu sistem sungai, data permukaan air sungai itu harus disusun berdasarkan penentuan datum standar.

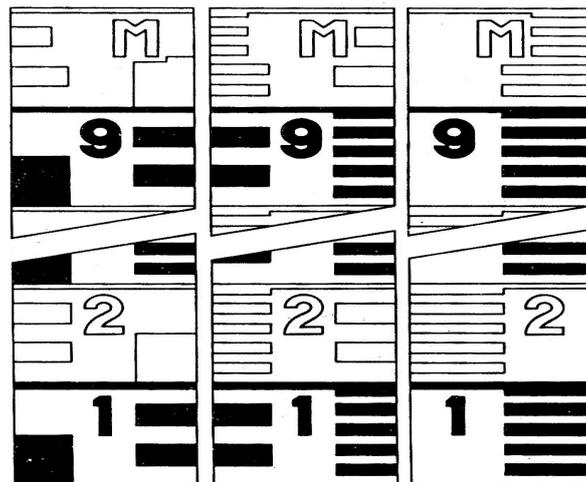
4.2 Tempat pemasangan/pembangunan alat ukur permukaan air sungai

20

Untuk pemasangan alat ukur permukaan air sungai, harus dipilih tempat yang memungkinkan pengamatan seluruh keadaan permukaan air, dari batas terendah sampai batas tertinggi. Bagian yang menjadi tempat tekanan yang tinggi atau bagian kecepatan aliran yang tinggi pada permukaan air yang tinggi, harus dihindarkan, karena dapat terjadi kesalahan pengukuran permukaan air yang tinggi dan juga alat itu mudah menjadi rusak oleh aliran. Juga tempat yang dipilih itu harus bebas dari kayu-kayuan yang mengalir dan lain-lain.

Tempat-tempat di mana terjadi aliran air tanah, harus dihindarkan karena perubahan dasar sungai itu besar dan alirannya berbelok-belok (*meander*). Untuk mendapatkan kurva debit permukaan air, maka pengukuran debit biasanya dilakukan pada tempat pengamatan permukaan air. Jadi untuk itu harus dipilih tempat di mana kesalahan pengukurannya kecil dan mudah dilaksanakan. Untuk maksud-maksud itu, maka sedapat mungkin dipilih tempat dengan kondisi yang cocok sebagai berikut;

Panjang bagian yang lurus di atas tempat pengamatan harus 5 kali lebar sungai dan bagian lurus di bagian bawah adalah 2 kali lebar sungai. Pada dasar sungai dan tepian-nya hanya terdapat perubahan-perubahan bentuk yang kecil. Pada lereng dasar sungai tidak terdapat titik perubahan tiba-tiba. Perubahan kecepatan aliran adalah kecil (meskipun terjadi perubahan permukaan air yang agak besar) yang dapat diukur oleh alat ukur arus dengan ketelitian yang tinggi (0,3 sampai 3,0 m/detik). Jembatan sering kali dipilih karena mudah untuk melakukan pengukuran debit pada permukaan air yang tinggi, meskipun aliran sungai itu terganggu oleh tiang-tiang jembatan itu.



Gambar. 4.1 Contoh papan pengukur (duga).

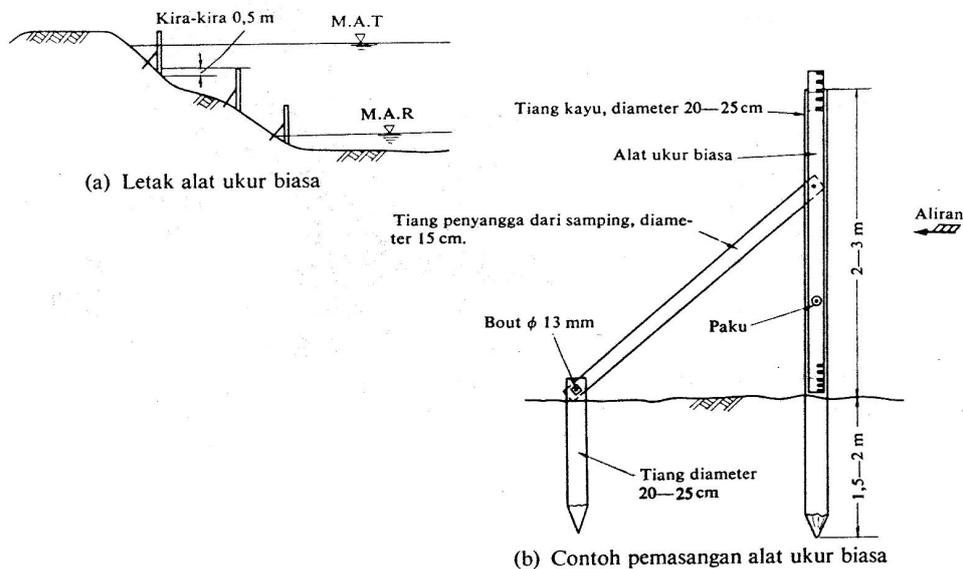
4.3 Jenis-jenis alat ukur permukaan air sungai

(1) Jenis pembacaan langsung

Pembacaan langsung diadakan pada alat ukur biasa (*staff gauge*) yang diikatkan pada tiang-tiang yang dipancangkan di tepi sungai. Alat ukur biasa ini biasanya dibuat dari kayu atau pelat baja yang dienamel dengan pembagian Ukuran 1 sampai 2 cm.

Pembacaan seluruh keadaan permukaan air dari permukaan yang terendah sampai yang tertinggi biasanya tidak dapat dilakukan dengan sebuah alat ukur. Pada keadaan

permukaan air yang tinggi, pembacaan telah sulit diadakan pada alat yang sudah berada hampir di tengah-tengah sungai. Jadi alat ukur biasa ini dipasang kira-kira setiap 2 m



Gambar. 4.2 Gambar pemasangan alat ukur biasa.

tinggi pada beberapa buah titik dalam penampang melintang yang sama seperti terlihat dalam Gambar. 4.2

Di Jepang pembacaan alat ukur ini biasanya diadakan 2 kali sehari (jam 0.60 dan jam 18.00). Pada waktu banjir pembacaan diadakan setiap waktu jika diperlukan. Dalam keadaan permukaan air yang bergelombang pembacaan-pembacaan harus diratakan.

(2) Jenis pelampung

Jenis pembacaan langsung memerlukan orang untuk membaca permukaan air. Jadi perubahan permukaan air yang kontinu tidak dapat dicatat. Untuk memperoleh data yang kontinu, maka harus dipasang alat ukur permukaan air yang otomatis. Salah satu jenis ini adalah alat ukur jenis pelampung.

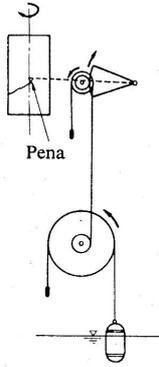
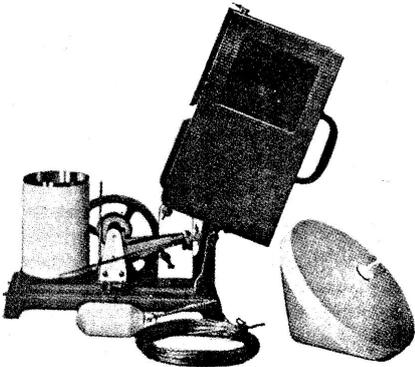
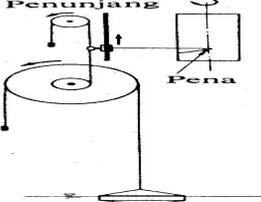
Pelampung itu dipasang di permukaan air. Naik turunnya pelampung ini (permukaan air) dicatat pada kertas pencatat oleh pena pencatat yang merubah gerak turun naik itu ke gerak putaran sudut. Kertas pencatat itu diputar dengan kecepatan yang tetap oleh jam sehingga pembacaan permukaan air dapat diadakan setiap waktu.

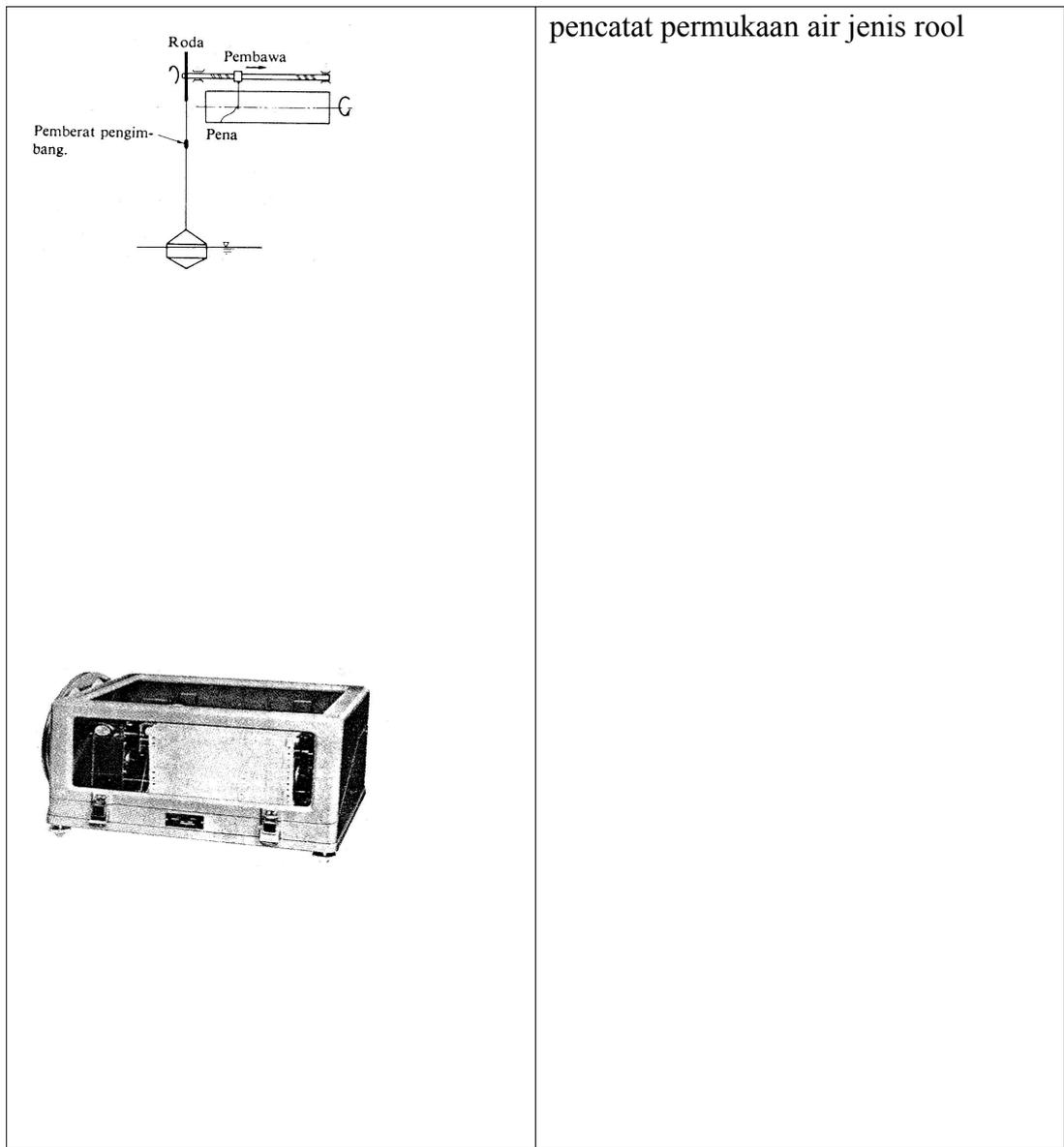
Jenis pelampung ini diklasifikasi sebagai berikut;

(a) *Jenis Richard*: Jenis ini mempunyai alat yang mencatat perubahan permukaan air pada kertas pencatat yang dilingkarkan pada drum/silinder dengan sumbu vertikal yang

diputar oleh jam. Pencatatan diadakan oleh pena pencatat yang merubah perubahan permukaan air itu menjadi putaran sudut.

- (b) *Jenis Fuess*: Jenis ini mempunyai peralatan yang mencatat perubahan permukaan air pada kertas pencatat yang dilingkarkan pada drum/silinder yang ber-putar. Drum dengan kertas pencatat ini digerakkan oleh roda sebanding dengan perubahan permukaan air. Jenis ini mempunyai arah pencatatan yang langsung yang lebih mudah dibaca. Keuntungannya ialah bahwa interval pencatatannya dapat dipilih.
- (c) *Jenis Roll*: Jenis ini mempunyai peralatan yang menggerakkan putaran sudut roda pemutar yang mengikuti perubahan permukaan air menjadi pergerakan roda ulat (*worm gear*) sehingga pena pencatat itu bergerak horizontal yang mencatat perubahan permukaan air itu pada kertas pencatat yang dilingkarkan pada drum dengan sumbu horizontal. Jenis Suiken termasuk jenis ini. Alat ini

| | |
|---|---|
|  |  |
|  <p>Gambar. 4.3 Gambar Sketsa alat pencatat permukaan air (alat duga air otomatis) jenis Richard</p> | <p>Gambar.4.4 Alat pencatat permukaan air jenis Richard</p> |
| | <p>Gambar.4.5 Sketsa alat pencatat permukaan air jenis Fuess</p> |
| | <p>Gambar 4.7 Bagian jenis Suiken</p> <p>Gambar. 4.6 Gambar sketsa alat</p> |

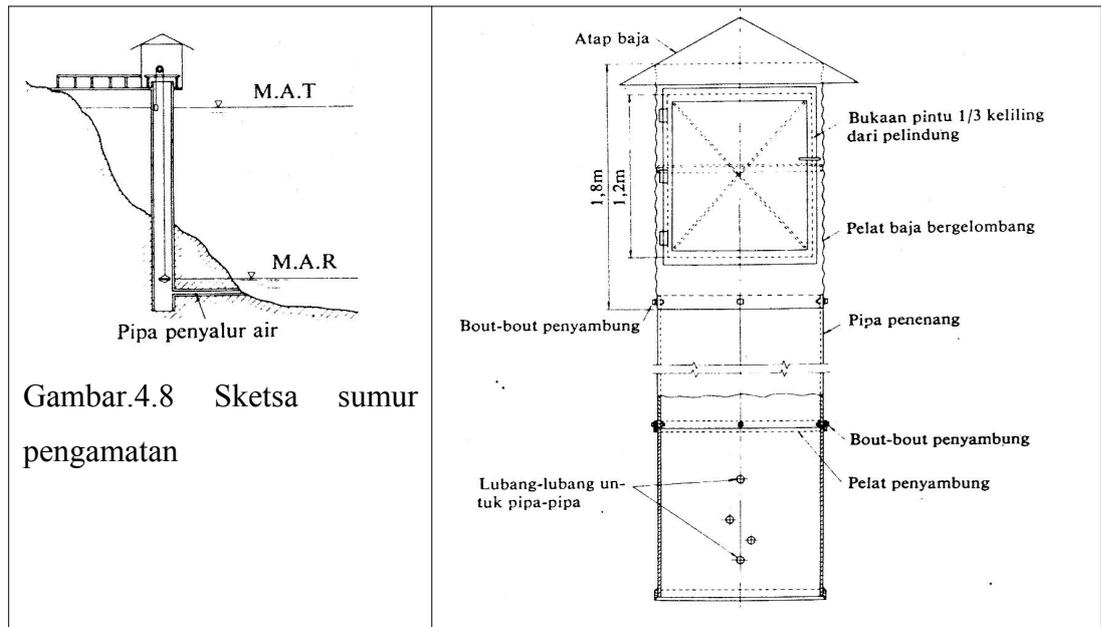


mempunyai 2 pena. Pena yang satu mempunyai interval 1 m dengan laju kontraksi yang kecil yang berbalik setiap 1 m perubahan permukaan air dan pena yang lain mempunyai interval dari 0 sampai 10m. Mengingat perubahan permukaan air dicatat 2 kali dengan 2 buah pena, maka interval pencatatan permukaan air sungai itu dapat diambil besar dan ketelitiannya tinggi.

(3) Sumur pengamatan

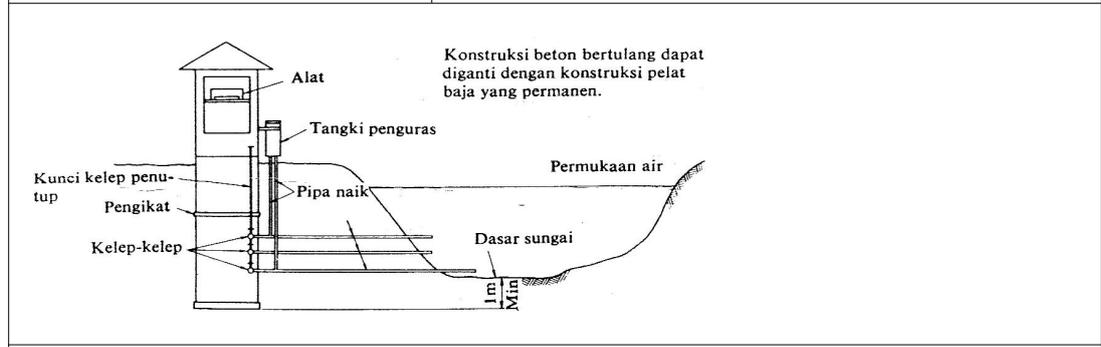
Pelampung alat ukur permukaan air itu harus dilindungi terhadap gelombang dan aliran dengan sumur. Diameter sumur harus dapat memuat pelampungnya, pemberat kontra dan ditambah kira-kira 10 cm ruang bebas. Jika sumur pengamatan dibangun miring maka meskipun ada ruang bebas, pelampung itu masih dapat menyentuh dinding sumur. Jadi pembangunannya harus dilaksanakan dengan memperhatikan hal-hal ini.

Sumur dan sungai dihubungkan dengan sebuah pipa. Jika pipa itu terlalu besar, maka perubahan-perubahan yang kecil dari permukaan air sungai seperti gelombang akan tercatat sehingga pembacaan permukaan air akan menjadi sulk. Jika terlalu kecil, maka pipa itu akan mudah tersumbat sehingga pencatatan perubahan-perubahan permukaan air di luar akan tersumbat. USBR (United States Bureau Of Reclamation) menentukan luas penampang pipa kira-kira 1/1.000 luas penampang sumur. Jika digunakan pipa yang panjang maka dapat digunakan penampang yang lebih luas seperti yang diperlihatkan dalam Tabel 4-2.



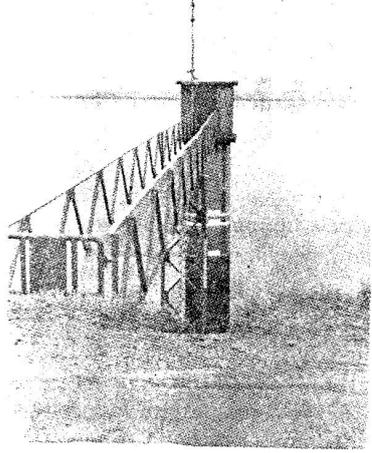
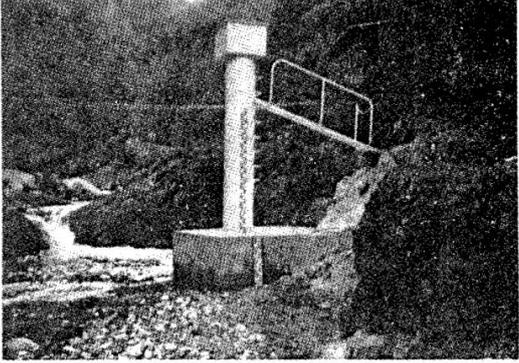
Gambar.4.8 Sketsa sumur pengamatan

Gambar. 4.9 Contoh sumur pengamatan (USBR).



Konstruksi beton bertulang dapat diganti dengan konstruksi pelat baja yang permanen.

Gambar. 4.10 Contoh sumur pengamatan (USBR).

| | |
|---|---|
|  |  <p data-bbox="711 584 1254 656">Gambar.4.11 Alat pencatat permukaan air di daerah pegunungan</p> |
| <p data-bbox="204 696 571 797">Gambar.4.12 Alat pencatat permukaan air (alat duga air otomatis)</p> | <p data-bbox="711 696 724 723">.</p> |

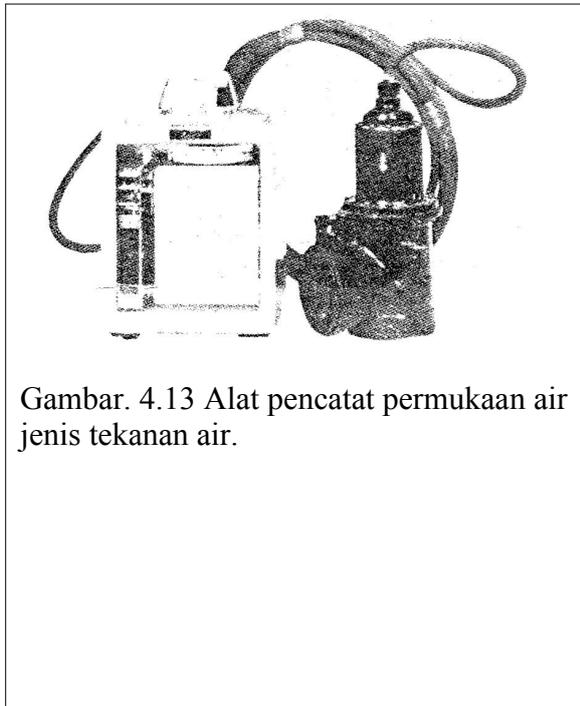
Tabel 4.1 Lubang penyalur dan ukuran pipa penyalur.

| Ukuran sumur pengamat (cm) | Diameter lubang penyalur (cm) | Ukuran pipa penyalur (Panjang 5m-10m) |
|----------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|
| Diameter 30 | 1,2 | 1,2 |
| 40 | 1,2 | 2 |
| 50 | 1,5 | 2 |
| 60 | 2 | 2,5 |
| 75 | 2,5 | 4 |
| 90 | 3 | 5 |
| 0,9 m x 0,9 m | 3 | 5 |
| (segi empat) | | |
| 1,2 x 0,9 | 4 | 7,5 |
| (segi empat) | | |
| 1,2 x 1,5 | 5 | 10 |
| (segi empat) | | |

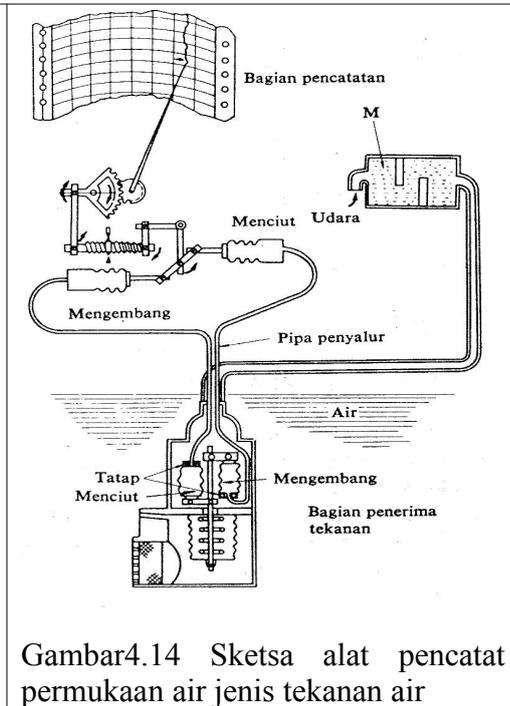
(4) Jenis tekanan air (*Waterpressure type*)

Mengingat permukaan air dan tekanan air mempunyai hubungan yang linier (jika gaya gelombang ditiadakan), maka perubahan permukaan air itu dapat diukur dengan alat pengukur tekanan yang diletakkan di dasar sungai. Alat pengukur itu tidak menghalangi aliran sungai dan dapat meneruskan tekanan air itu melalui pipa tekan. Alat ini dapat ditempatkan pada bagian yang terdalam dari sungai, jadi alat ini dapat digunakan pada

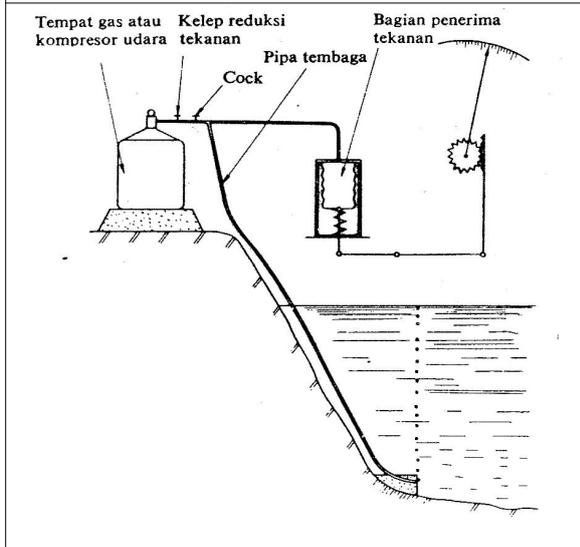
sungai-sungai kecil di pegunungan yang pada musim kemarau airnya menjadi kecil. Alat ini tidak menggunakan sumur pengamatan sehingga jumlah pembiayaan adalah kurang, tetapi mempunyai lebih banyak kesulitan.



Gambar. 4.13 Alat pencatat permukaan air jenis tekanan air.



Gambar4.14 Sketsa alat pencatat permukaan air jenis tekanan air



Gambar. 4.15 Sketsa alat pencatat permukaan air jenis gelembung.

(5) Jenis gelembung (*Bubble type*)

Gas seperti udara dalam tekanan terhembus melalui pipa kecil di dalam air. Permukaan air dapat diketahui dari perubahan tekanan gas yang sama dengan tekanan air di ujung pipa kecil itu.

(6)Pemilihan alat ukur permukaan air (alat duga air)

Dalam pemilihan alat ukur permukaan air ini, harus diperhatikan hal-hal sebagai berikut.

- Berapa tinggi ketelitian yang diperlukan?
- Dapatkah interval perubahan permukaan air diukur dengan baik?
- Apakah kondisi aliran sungai tidak diganggu oleh alat ukur permukaan air?
- Dapatkah fasilitasnya dilayani dengan baik⁹ Jika tidak dapat dilayani dengan baik, maka harus dipilih jenis yang dapat lebih lama bekerja yang mempunyai waktu penggantian kertas pencatat yang lebih lama.
- Untuk menghadapi kerusakan alat, maka harus disediakan selalu alat yang baik sebagai cadangan. Jika terjadi kerusakan, maka adalah penting untuk segera diadakan penggantian supaya tidak terjadi kekurangan pengukuran. Jika pada beberapa tempat pengamatan dipasang alat-alat dari jenis yang sama, maka penggantian dapat diadakan segera. Jadi lebih baik digunakan alat-alat yang sama.

Di Jepang umumnya digunakan alat ukur permukaan air jenis pelampung. Pada sungai yang mempunyai perubahan permukaan air yang kecil (kurang dari 2 m) digunakan jenis Richard. Pada sungai dengan perubahan yang lebih, banyak digunakan jenis, Suiken.

4.4 Pengukuran debit

Cara-cara pengukuran debit adalah sebagai berikut:

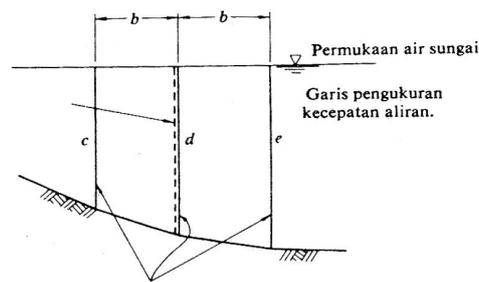
- Pengukuran debit dengan bendung.
- Perhitungan debit dengan mengukur kecepatan aliran dan luas penampang melintang (untuk pengukuran kecepatan digunakan pelampung atau pengukur arus dengan kincir).
- Didapat dari kerapatan larutan obat.
- Dengan menggunakan pengukur arus magnetis, pengukur arus gelombang supersonis, meter venturi dan seterusnya.

Dari cara-cara pengukuran debit tersebut di atas cara menghitung debit dengan pengukuran kecepatan dan luas penampang melintang adalah yang sering digunakan seperti yang diperlihatkan dalam (2).

(1) Mengukur kecepatan aliran dengan pelampung

Cara ini dapat dengan mudah digunakan meskipun permukaan air sungai itu tinggi. Cara ini sering digunakan karena tidak dipengaruhi oleh kotoran atau kayu-kayuan yang hanyut dan mudah dilaksanakan.

Tempat yang harus dipilih adalah bagian sungai yang lurus dengan perubahan lebar sungai, dalamnya air dan gradien yang kecil. Seperti terlihat dalam Gbr. 8-19, tiang-tiang untuk observasi dipancang pada 2 buah titik dengan jarak dari 50 sampai 100 m. Waktu mengalirnya pelampung diukur dengan "stopwatch." Setelah kecepatan aliran



Gambar. 4.18 Pengukuran kecepatan aliran dengan pelampung.

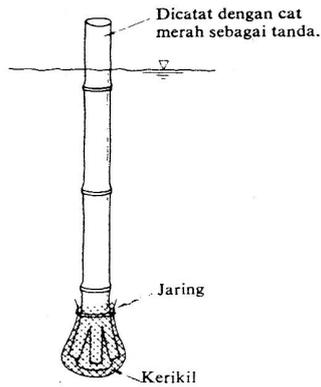
dihitung, maka diadakan perhitungan debit yakni kecepatan kali luas penampang melintangnya. Biasanya digunakan 3 buah pelampung yang dialirkan pada satu garis pengukuran aliran dan diambil kecepatan rata-rata. Mengingat arah mengalirnya pelampung itu dapat dirubah oleh pusaran-pusaran air dan lain-lain, maka harga yang didapat dari pelampung yang arahnya sangat berbeda harus ditiadakan.

(a) *Pelampung permukaan*: Untuk mengukur kecepatan aliran permukaan digunakan sepotong kayu dengan diameter 15 sampai 30cm, tebal 5cm. Supaya mudah dilihat, kayu itu dicat atau kadang-kadang pada malam hari dipasang bola lampu listrik yang kecil. Bahan dari pelampung yang digunakan adalah tidak tentu, sepotong kayu, seikat jerami, botol dan lain-lain, dapat digunakan.

Pengukuran kecepatan aliran dengan pelampung permukaan digunakan dalam keadaan banjir atau jika diperlukan segera harga perkiraan kasar dari debit, karena cara ini adalah sangat sederhana dan dapat menggunakan bahan tanpa suatu pilihan.

Akan tetapi, harga yang teliti adalah sulit diketahui karena disebabkan oleh pengaruh angin atau perbandingan yang berubah-ubah dari kecepatan aliran permukaan terhadap kecepatan aliran rata-rata yang sesuai dengan keadaan sungai. Kecepatan rata-rata aliran pada penampang sungai yang diukur adalah kecepatan pelampung permukaan dikali dengan koefisien 0,70 atau 0,90, tergantung dari keadaan sungai dan arah angin. Dr. Bazin menggunakan koefisien 0,86.

(b) *Pelampung tangkai*: Pelampung tangkai dibuat dari sepotong/setangkai kayu atau bambu yang diberi pemberat pada ujung bawahnya. Seperti terlihat pada Gbr. 8-20, pemberat itu dibuat dari kerikil yang dibungkus dengan jaring atau kain di ujung bawah tangkai. Sebelum digunakan di sungai, maka kedalaman yang cocok tangkai itu harus ditentukan terlebih dahulu dalam tangki air.



Gambar. 4.19 Pelampung tongkat.

(c) *Koeffisien*: Gambar. 4.19 bawah memperlihatkan distribusi kecepatan aliran sesuai dengan kedalaman dari permukaan air. Pelampung tangkai itu dipengaruhi oleh kecepatan pada permukaan sampai ke dekat dasar sungai. Jadi cara ini lebih teliti dari pelampung permukaan dan pelampung ganda. Akan tetapi kedalaman pelampung tangkai tidak boleh mencapai dasar sungai sehingga tangkai tidak dipengaruhi oleh bagian kecepatan yang lambat pada lapisan bawah. Jadi hasil yang didapat adalah lebih tinggi dari kecepatan rata-rata, sehingga kecepatan pelampung harus disesuaikan dengan sesuatu koeffisien.

Menurut Dr. Y. B. Francis, harga ini dapat dihitung menurut rumus sebagai berikut (tahun 1856):

$$y = \frac{V}{u} = 1 - 0,116(\sqrt{1 - \lambda} - 0,1) \dots\dots\dots (8.4)$$

y : koeffisien

V : kecepatan rata-rata

u : kecepatan pelampung tangkai

(kedalaman tangkai)

:

(dalamnya air)

Pada angka-angka A yang tertentu, koeffisieny dapat dihitung:

| | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0,15 | 0,80 | 0,85 | 0,90 | 0,95 | "0,99 |
| Y | 0,954 | 0,961 | 0,968 | 0,975 | 0,981 | 1,000 |

Pada Kementerian Konstruksi di Jepang, jenis pelampung, dalamnya air dan kedalaman tangkai ditentukan sebagai berikut;

| | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Pelampung | No. 1 | No. 2 | No. 3 | No. 4 | No. 5 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|

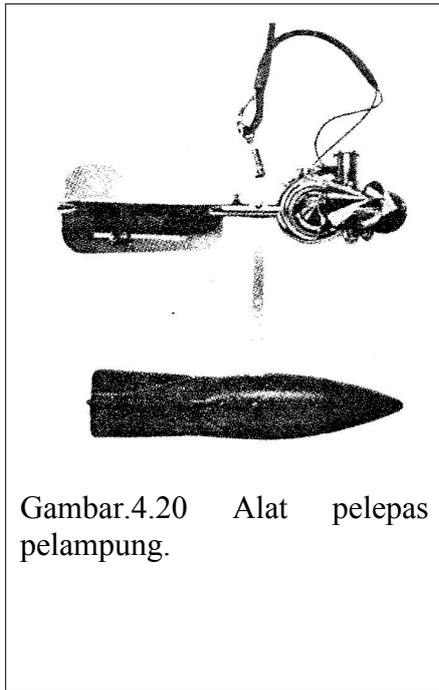
| | | | | | |
|-----------------------------|-------|----------|-----------|---------|-------|
| No. | | | | | |
| Dalamnya air (m) | <0,70 | 0,7-1,30 | 1,30-2,60 | 2,6-5,4 | >5,20 |
| Kedalaman tangkai . . . | 0,0 | 0,50 | 1,0 | 2,0 | 4,0 |
| Koeffisien modifikasi . . . | 0,85 | 0,88 | 0,91 | 0,94 | 0,96 |

(d) *Pelepasan pelampung*: Beberapa saat sesudah pelepasan, pelampung itu tidak stabil. Jadi pelampung harus dilepaskan kira-kira 20 m di sebelah udik garis observasi pertama, sehingga pada waktu observasi, pelampung itu telah me-ngalir dalam keadaan yang stabil. Hal ini akan dipermudah jika di sebelah udik titik pelepasan terdapat jembatan. Pada keadaan yang cukup aman, dapat digunakan perahu untuk melepaskan pelampung. Namun demikian mengingat posisi pelepasan itu sulit ditentukan, maka sebelumnya harus disiapkan tanda yang menunjuk posisi tersebut dengan jelas. Dalam keadaan istimewa, kadang-kadang dapat dipasang alat pelepas pelampung seperti terlihat dalam Gbr. 8-21.

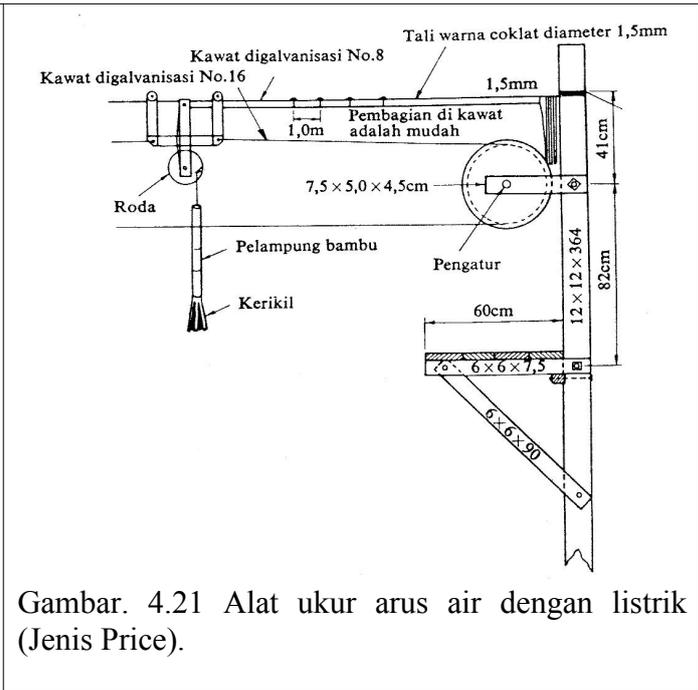
(2) Pengukuran dengan alat ukur arus (*current meter*)

Alat ukur arus biasanya digunakan untuk mengukur aliran pada air rendah. Kalau dicoba mengukur dalam keadaan banjir, alat itu akan dihanyutkan sehingga posisinya, dalamnya dan akhirnya pengukuran kecepatan akan menjadi tidak teliti. Sebaliknya, jika digunakan pemberat untuk menjaga supaya alat itu tidak hanyut, maka pelaksanaan-nya akan menjadi sulit. Jadi penggunaan alat ukur arus pada sungai yang besar atau pada waktu banjir, akan menemui banyak kesulitan. Demikian pula ditinjau dari ketelitiannya, alat ukur arus ini adalah cocok untuk mengukur kecepatan aliran antara 0,30 sampai 3,00 m/detik dan dengan kedalaman lebih dari 30 m.

Alat ukur arus ini ada berjenis-jenis; jenis Price, jenis Waltman dan lain-lain. Pada kedua jenis ini, jumlah putaran mangkok atau baling-baling menunjukkan kecepatan aliran seperti yang terlihat pada Gbr. 8-22. Alat ukur itu dipasang pada sebuah tangkai atau digantungkan pada kabel karena pada kecepatan aliran yang tinggi gaya yang bekerja pada alat itu adalah besar. Supaya tidak dihanyutkan, maka alat ukur arus yang digantungkan pada kabel itu harus digantungi pemberat. Bagian yang berputar itu mempunyai alat yang berbunyi setiap kali terjun 10 kali putaran sehingga kecepatan aliran dapat diukur dengan menghitung waktu yang diperlukan untuk jumlah putaran tertentu.



Gambar.4.20 Alat pelepas pelampung.



Gambar. 4.21 Alat ukur arus air dengan listrik (Jenis Price).

Di samping alat ini, telah terdapat alat ukur arus yang secara listrik langsung merubah putaran itu menjadi kecepatan. Waktu yang diperlukan untuk satu pengukuran adalah 40 sampai 70 detik, termasuk faktor-faktor keseimbangan jumlah putaran, kesalahan waktu yang diukur dan lain-lain.

Pemeriksaan bagian yang berputar itu dilakukan dengan menggerakkan bagian ini dengan kecepatan yang tetap dalam air yang statis. Dengan pemeriksaan ini, maka koefisien-koefisiennya dapat ditentukan sehingga kecepatannya dapat diperoleh dari jumlah putaran itu.

$$V = an + b \dots\dots\dots(8.5)$$

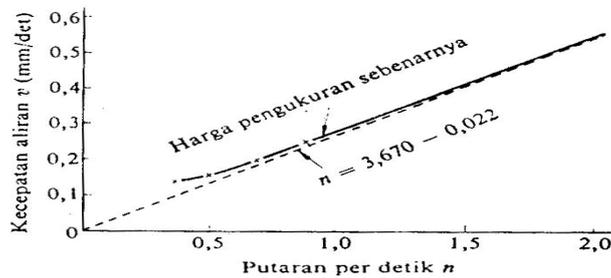
V : kecepatan aliran (m/detik)

n : jumlah putaran dalam waktu yang tertentu.

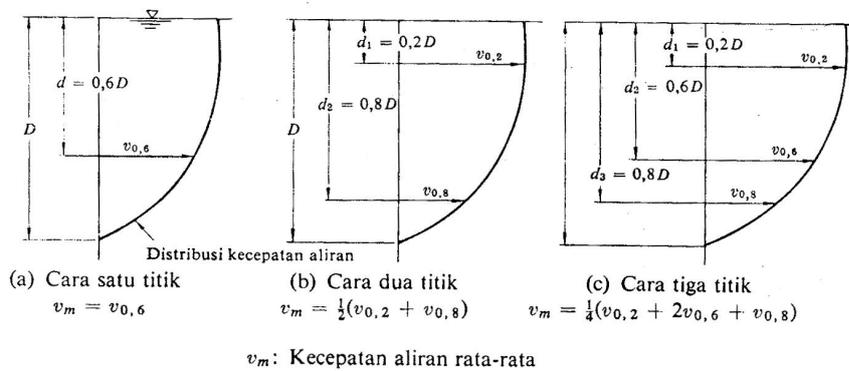
a dan b : tetapan/koeffisien yang diperoleh dari pemeriksaan.

Dalam praktek, hubungan antara jumlah putaran dan kecepatan aliran adalah tidak linier. Umumnya pada putaran yang kecil, kecepatannya kelihatannya menjadi agak besar seperti terlihat dalam Gbr. 8-23. Jadi untuk kecepatan yang kurang dari 30 m/ detik, harus diperhatikan bahwa kesalahan-kesalahan yang dibuat adalah agak besar. Akan tetapi, mengingat telah terdapat alat ukur arus untuk kecepatan yang rendah (0,05 sampai 1,0 m/detik), maka sebaiknya untuk kecepatan ini harus digunakan alat jenis ini. Jika pengukuran diadakan dengan berjalan kaki, maka harus dijaga supaya posisi kaki tidak mengganggu

aliran itu. Untuk pengukuran sering digunakan perahu, jembatan atau kotak yang digantungkan pada kabel yang melintasi sungai.



Gambar 4.20 Kurva pemeriksaan alat ukur arus air.



Gambar. 4.21 Perhitungan kecepatan aliran rata-rata.

Seperti terlihat dalam Gambar. 4.21, cara pengukuran titik adalah sebagai berikut; cara satu titik (untuk dalamnya air kurang dari 60 m), cara dua titik dan tiga titik dalam satu penampang yang tergantung dari dalamnya air. Harga yang diperoleh dengan cara ini dianggap sebagai harga rata-rata yang mewakili penampang. Cara yang paling tepat adalah cara yang menghitung kecepatan rata-rata dari pengukuran yang mendetail dalam suatu arah vertikal dan penggunaan integrasi dengan rumus trapezoidal.

Umpamanya dalamnya air = D dan dalamnya pengukuran = d . Untuk cara pengukuran satu titik, maka kecepatan aliran diukur pada $d/D = 0,60$ dan dianggap sebagai kecepatan rata-rata pada garis pengukuran itu. Untuk cara pengukuran dua titik, maka kecepatan aliran diukur pada $d/D = 0,20$ dan $0,80$ dan harga rata-rata dari kedua hasil yang didapat dianggap sebagai kecepatan rata-rata pada garis pengukuran itu. (3) Survey penampang melintang.

Untuk menghitung debit, baik pengukuran dengan pelampung maupun dengan alat ukur arus, diperlukan luas penampang melintang. Pada titik pengukuran dipasang titik tetap (*bench mark*) lalu diadakan survey penampang melintang sebelum diadakan pengukuran.

Tabel 4.2 memperlihatkan standar interval pengukuran dalamnya air untuk survey penampang melintang jika pengukuran diadakan dengan pelampung. Ketika mengadakan survey di dalam air, waktu mulai dan akhir survey harus dicatat.

Tabel 4.2 Interval pengukuran dalamnya air.

| Lebar sungai (m) | | 100 | 100-200 | Lebih dari 200 |
|------------------|---------------|---------------|----------------|----------------|
| Interval (m) | Di atas tanah | Kurang dari 5 | Kurang dari 10 | Kurang dari 20 |
| | Dalamnya air | Kurang dari 5 | Kurang dari 5 | Kurang dari 10 |

Makin dekat interval garis pengukuran kecepatan itu, makin tinggi ketelitian yang didapat. Akan tetapi mengingat pada keadaan banjir permukaan air itu berubah-ubah, maka pengukuran dengan interval yang berdekatan yang memerlukan waktu yang banyak harus dihindarkan. Tabel 8-4 memperlihatkan ancar-ancar standar interval garis pengukuran.

Tabel 4.3 Interval pengukuran kecepatan air.

| Lebar sungai (m) | Kurang dari 50 | Kurang dari 50-100 | Kurang dari 100-200 | Kurang dari 200-400 | Kurang dari 400-800 | Lebih dari 800 |
|---------------------|----------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------|
| Banyaknya penampang | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |

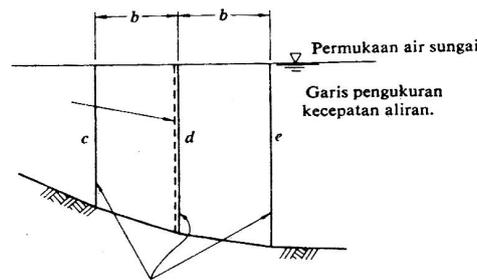
Tabel 4.4 Standar Interval Garis Pengukur

| Lebar permukaan air $B(m)$ | Interval garis-garis pengukur dalamnya air. (m) | Interval garis-garis pengukur kecepatan aliran. (m) |
|-------------------------------|--|--|
| Kurang dari 10 | 0,15—0,155 | |
| 10-20 | 1 | 2 |
| 20-40 | 2 | 4 |
| 40-60 | 3 | 6 |
| 60-80 | 4 | 8 |
| 80-100 | 5 | 10 |
| 100-150 | 6 | 12 |
| 150-200 | 10 | 20 |
| Lebih dari 200 | 15 | 30 |

Tabel 4.4 memperlihatkan standar interval pengukuran dalamnya air dan interval pengukuran kecepatan untuk pengukuran dengan alat ukur arus.

Banyaknya garis pengukuran dalamnya air adalah 2 kali banyaknya garis pengukuran kecepatan. Hal ini akan mempermudah perhitungan luas penampang melintang dengan menggunakan rumus trapezoidal, perhitungan kecepatan rata-rata dan perhitungan debit.

Jika interval pengukuran dalamnya air adalah b seperti terlihat dalam Gbr. 8-25, maka luas penampang dan debit adalah;



Gambar. 4.22. Garis-garis pengukuran.

$$F_d = 2 \times b \times \frac{e + 2d + e}{4} \dots\dots\dots(8.6)$$

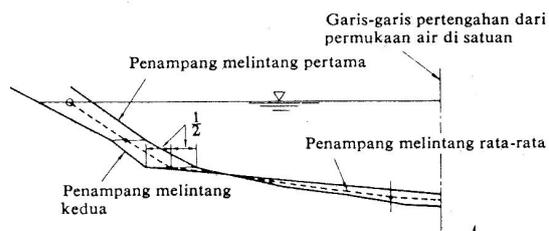
$$Q_4 = F_4 \times V_4 \dots\dots\dots(8.7)$$

F_d : luas penampang melintang antara garis pengukuran dalamnya air c dan e .

c , d dan e : dalamnya air pada setiap garis pengukuran.

V_4 : kecepatan aliran rata-rata pada garis pengukuran pengaliran d .

Jika digunakan alat ukur arus, maka sebuah penampang melintang adalah cukup untuk pengukuran itu. Akan tetapi, jika digunakan pelampung, maka untuk memperoleh penampang melintang rata-rata dibutuhkan paling sedikit dua atau tiga penampang melintang. Seperti terlihat dalam Gbr. 8-26, garis tengah lebar permukaan air kedua penampang melintang yang diukur pada waktu yang bersamaan disusun satu sama yang lain (berimpitan). Penampang melintang rata-rata itu didapat dengan menentukan titik-titik pertengahan garis-garis horizontal dan vertikal yang digambar pada beberapabagian dari penampang-penampang itu. Jika terdapat tiga penampang melintang, maka mula-mula dibuat penampang melintang rata-rata antara penampang teratas dan penampang terbawah. Kemudian dibuatkan penampang rata-rata antara penampang rata-rata tersebut di atas dengan penampang melintang yang di tengah.



Gambar. 4,22 Penampang melintang rata-rata.

Jika pasir dan kerikil di dasar sungai pada penampang pengukuran ikut bergerak dengan air, maka akan terjadi perubahan yang besar. Penampang melintang yang diukur itu tidak dapat digunakan karena akan terdapat kesalahan yang besar. Dalam hal sedemikian, dalamnya air harus diukur dengan menggunakan bola tembaga dengan kabel. Tetapi di sungai yang dalam dan deras, bola tembaga itu masih dihanyutkan sehingga hasil pengukurannya harus disesuaikan untuk mendapatkan dalamnya air yang besar. Permukaan air.

Tabel 4.5 Tanda permukaan air dasar. Tanda permukaan air pertama. Tanda permukaan air kedua

| | Permukaan Air | | | | | | | | | | | |
|-----------|---------------------------|------|-----|-----------|-----------------------------|------|-----|-----------|---------------------------|------|-----|-----------|
| | Tanda permukaan air dasar | | | | Tanda permukaan air pertama | | | | Tanda permukaan air kedua | | | |
| | Waktu (jam, menit) | Maks | min | Rata-rata | Waktu (jam, menit) | maks | min | Rata-rata | Waktu (jam, menit) | Maks | min | Rata-rata |
| Permulaan | 6.01 | . | . | 6.98 | . | . | . | . | 6.03 | . | . | 6.97 |
| Akhir | 6.15 | . | . | 7.02 | . | . | . | . | 6.16 | . | . | 7.01 |
| Rata-rata | 6.08 | . | . | 7.00 | . | . | . | . | 6.10 | . | . | 6.99 |
| Catatan | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |

Gbr. 4.23 (a). Contoh formulir pencatatan untuk pengukuran debit dengan pelampung.

| | | | | | |
|--------------------|-------------------|-----------|---------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Tanggal pengamatan | 1961.8.2 | | | Cuaca | Berawan |
| Waktu | Pertama | | | Arah angin | Dari hulu |
| Nama sipencatat | Taro Yamada | | | Kecepatan angin | Angin kencang |
| | Pemimpin Kelompok | Pelampung | Penglihatan Permukaan air | Waktu pengamatan (jam, menit) | Permulaan 6.00 Akhir 6.16 |

| Garis pengukuran No. | Pelampung No. | Kedalaman (m) | Waktu pelemparan (jam, menit) | Waktu yang diperlukan untuk mengalir (det) | Kondisi air |
|----------------------|---------------|---------------|-------------------------------|--|-------------|
| 1 | 3 | 1.5 | 6.01 | 84.0 | Normal |
| 2 | 5 | 5.0 | 6.04 | 44.0 | Normal |
| 3 | 5 | 5.0 | 6.06 | 41.4 | Normal |
| 4 | 5 | 5.0 | 6.9 | 45.6 | Normal |
| 5 | 5 | 5.0 | 6.11 | 48.0 | Normal |
| 6 | 4 | 2.5 | 6.13 | 12.4 | Normal |
| . | . | . | . | . | . |

Gbr. 4.24 (b)

| Garis pengukuran No. | Jarak dari kiri kanan tepian (m) | Dalam air (m) | | | Luas potongan melintang | | | | |
|----------------------|----------------------------------|---------------|--------------|-----------|----------------------------|---------------------|-----------------|---|--------------------------|
| | | Menuju ke | Kembali dari | Rata-rata | Dalam air dari pertengahan | Dalam air rata-rata | Pembagian lebar | Penampang melintang pembagian (m ²) | Jumlah (m ²) |
| 1 | 0 | | | 0 | 0,18 | | | | |
| 2 | 2 | 0,34 | 0,36 | 0,35 | 0,46 | 0,18 0,40 | 2 1 | 0,36 0,40 | 0,76 |
| 3 | 4 | 0,58 | 0,59 | 0,58 | 0,66 | 0,52 0,62 | 1 1 | 0,52 0,62 | 1,14 |
| 4 | 6 | 0,74 | 0,76 | 0,75 | 0,75 | 0,70 0,75 | 1 1 | 0,70 0,75 | 1,45 |
| 5 | 8 | | | 0,75 | | | | | |

| Dalam alat ukur arus (m) | Ba-nyaknya pendu-gaan | Waktu yang diper-lukan (det) | Kecepa-tan aliran pada titik peng-u-kuran (m/det) | Antara titik pengukuran | | | Dalam alat ukur arus (m) | Ba-nyaknya pendu-gaan | Waktu yang di-perlu-kan (det) | Kecepa-tan aliran pada titik peng-u-kuran (m/det) | Antara titik pengukuran | | |
|--------------------------|-----------------------|------------------------------|---|-------------------------------------|---------------|---|--------------------------|-----------------------|-------------------------------|---|-------------------------------------|---------------|--|
| | | | | Kecepa-tan aliran rata-rata (m/det) | Di da-lam (m) | Kecepa-aliran areal (m ² /det) | | | | | Kecepa-tan aliran rata-rata (m/det) | Di da-lam (m) | Kecepatan aliran areal (m ² /det) |
| 0 | | (0,57) | | 0,57 | 0,1 | 0,057 | 0 | | | (0,76) | 0,76 | 0,1 | 0,076 |
| 0,1 | 6 | 37,8 | 0,57 | 0,56 | 0,1 | 0,056 | 0,1 | 6 | 28,2 | 0,76 | 0,76 | 0,1 | 0,076 |
| 0,2 | 6 | 39,0 | 0,55 | 0,52 | 0,1 | 0,052 | 0,2 | 6 | 27,8 | 0,77 | 0,75 | 0,1 | 0,075 |
| 0,3 | 6 | 43,3 | 0,50 | 0,25 | 0,05 | 0,012 | 0,3 | 6 | 29,4 | 0,73 | 0,66 | 0,1 | 0,066 |
| 0,35 | | (0) | | | | | 0,4 | 6 | 26,0 | 0,60 | 0,56 | 0,1 | 0,056 |
| | | | | | | | 0,5 | 6 | 41,4 | 0,52 | 0,26 | 0,1 | 0,021 |
| | | | | | | | 0,58 | | | (0) | | | |

Gambar 4.24 (a) Contoh formulir pencatatan untuk pengukuran debit dengan alat ukur arus

| | | | | | | |
|---|-----------------------------|--|------------------------------------|--------------------------------------|--|---|
| Kecepatan aliran areal pada garis kecepatan (m ² /det) | | 0,177 | | 0,370 | | |
| Kecepatan aliran rata-rata pada garis pengukuran (m/det) | | 0,50 | | 0,64 | | |
| Kecepatan aliran rata-rata garis pengukuran (m/det) | | Debit (m ³ /det) | | Pengukuran No. 13 | | |
| | | | | Tanggal pengamatan 76. 5. 8. | | |
| | | | | Cuaca Berawan | | |
| 0,50 | | 0,38 | | Arah angin Dari hilir | | |
| 0,64 | | 0,72 | | Kecepatan angin Angin lemah | | |
| 0,82 | | 1,19 | | Mulai 10.45 | | |
| | | | | Selesai 13.0 | | |
| | | | | Rata-rata 11.52 | | |
| | | Antara titik pengukuran | | Pengamat Pengukuran oleh Taro Yamada | | |
| | | | | Dicatat oleh Masao Goto | | |
| | | | | Standar | | |
| Dalamnya alat ukur arus (m) | Banyaknya yang diukur (det) | Waktu aliran pada titik pengukuran (m/det) | Kecepatan aliran rata-rata (m/det) | Interval (m) | Kecepatan aliran areal (m ² /det) | Permukaan air (m) |
| 0 | | (0,98) | 0,98 | 0,1 | 0,098 | Jenis Price No. 1991 |
| 0,1 | 6 | 21,8 | 0,98 | 0,1 | 0,098 | Rumus pemeriksaan $V = 0,709N \pm 0,006$ |
| 0,2 | 6 | 21,6 | 0,99 | 0,1 | 0,095 | Cara yang digunakan Tangki, Kabel, Pemberat |
| 0,3 | 6 | 23,6 | 0,91 | 0,1 | 0,089 | Perahu, Jembatan, Berjalan |
| 0,4 | 6 | 24,6 | 0,87 | 0,1 | 0,084 | Perhitungan Masao Goto |
| 0,5 | 6 | 26,0 | 0,82 | 0,1 | 0,076 | Perhitungan ulang |
| 0,6 | 6 | 31,2 | 0,69 | 0,1 | 0,064 | Jumlah debit (m ³ /det) 19,49 |
| 0,7 | 6 | 35,8 | 0,60 | 0,05 | 0,015 | Jumlah luas penampang melintang (m ²) 25,06 |
| 0,75 | | (0) | 0,30 | 0,05 | 0,015 | Kecepatan aliran rata-rata (m/det) 0,78 |
| | | | | 0,196 | | Catatan |
| | | | | 0,82 | | |

Gbr. 4-25(a)

Dari Gambar. 4.25 dapat dilihat bahwa dalamnya air be dapat dihitung sebagai berikut; dasar sungai cf dianggap horizontal, ae dan (ef-bc) dikurangi dari panjang kabel af, ae dan (ef-bc) adalah fungsi sudut seperti terlihat dalam Gambar 8-30.

$$Ae = ab \sec i \quad (8.8)$$

Selisih antara ef dan dalamnya air be dinyatakan secara empiris dengan k X ef.

Tabel 8-6 memperlihatkan angka tabel dari Dr. F. C. Schnehong. Sebagai contoh umpamanya

$$ab = 5 \text{ m}, af = 9 \text{ m}, = 28^\circ$$

$$ae = 5 \text{ m} \times 1,1326 = 5,86 \text{ m}$$

$$ef = 9 \text{ m} - 5,86 \text{ m} = 3,32 \text{ m}$$

$$bc = 3,32 \text{ m} - 0,0408 \times 3,32 \text{ m} = 3,185 \text{ m}.$$

Jadi dalamnya air telah dikorisir.

Hal-hal yang harus diperhatikan adalah;

- (1) Bola tembaga itu harus mencapai dasar sungai.
- (2) Kabel harus berada dalam keadaan tegang.

4.5 Kurva permukaan air-debit (Kurva debit = lengkung debit)

(1) Koreksi debit

| Garis pengukuran No. | Jarak dari kiri ke kanan tepian (m) | Dalam air (m) | | | Luas potongan melintang | | | | |
|----------------------|-------------------------------------|---------------|--------------|-----------|----------------------------|---------------------|-----------------|-------------------------------|--------------------------|
| | | Menuju ke | Kembali dari | Rata-rata | Dalam air dari pertengahan | Dalam air rata-rata | Pembagian lebar | Penampang melintang pembagian | Jumlah (m ²) |
| 4 | 6 | 0,74 | 0,76 | 0,75 | 0,75 | | | | |
| 5 | 8 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,80 | 0,75 0,78 | 1 1 | 0,75 0,78 | 1,53 |
| 6 | 10 | 0,83 | 0,85 | 0,84 | 0,84 | 0,82 0,84 | 1 1 | 0,82 0,84 | 1,66 |
| 7 | 12 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,84 0,85 | 1 1 | 0,84 0,85 | 1,69 |
| 8 | 14 | 0,84 | 0,86 | 0,85 | | | | | |

| Dalam alat ukur | Banyaknya pendugaan | Waktu yang diperlukan (det) | Antara titik pengukuran | | | Dalam alat ukur (m) | Banyaknya pendugaan | Waktu yang diperlukan (det) | Antara titik pengukuran | | |
|---|---------------------|-----------------------------|--|------------------------------------|--------------|---------------------|---------------------|-----------------------------|--|--|------------------------------------|
| | | | Kecepatan aliran pada titik pengukuran (m/det) | Kecepatan aliran rata-rata (m/det) | Interval (m) | | | | Kecepatan aliran areal (m ² /det) | Kecepatan aliran pada titik pengukuran (m/det) | Kecepatan aliran rata-rata (m/det) |
| 0 | | | (1,10) | | | 0 | | | (1,15) | | |
| 0,1 | 12 | 29,0 | 1,10 | 0,1 | 0,110 | 0,1 | 12 | 37,2 | 1,15 | 0,15 | 0,115 |
| 0,2 | 12 | 39,6 | 1,09 | 0,1 | 0,109 | 0,2 | 12 | 37,2 | 1,15 | 1,15 | 0,115 |
| 0,3 | 12 | 38,4 | 1,11 | 1,10 | 0,1 | 0,110 | 0,3 | 12 | 40,8 | 1,10 | 0,110 |
| 0,4 | 6 | 21,4 | 1,00 | 1,06 | 0,1 | 0,106 | 0,4 | 6 | 21,6 | 1,02 | 0,102 |
| 0,5 | 12 | 47,4 | 0,90 | 0,95 | 0,1 | 0,095 | 0,5 | 6 | 22,8 | 0,96 | 0,096 |
| 0,6 | 6 | 26,2 | 0,82 | 0,86 | 0,1 | 0,086 | 0,6 | 6 | 27,4 | 0,86 | 0,086 |
| 0,7 | 6 | 32,2 | 0,67 | 0,74 | 0,1 | 0,074 | 0,7 | 6 | 36,8 | 0,68 | 0,068 |
| 0,75 | | (0) | | 0,34 | 0,05 | 0,017 | 0,8 | 6 | 45,6 | 0,24 | 0,04 |
| | | | | | | | 0,84 | | (0) | | |
| Kecepatan aliran areal pada garis kecepatan (m ² /det) | | | | | | 0,707 | | | | | |
| Kecepatan aliran rata-rata pada garis pengukuran (m/det) | | | | | | 0,94 | | | | | |

Gbr. 8.24(b)

Jika aliran sungai itu dianggap berada dalam kondisi aliran yang seragam (*uniform flow*), maka satu detik akan sesuai dengan satu keadaan permukaan air. Pengukuran air itu dapat diadakan suatu bagian yang linier yang tidak mempunyai perubahan gradien yang tiba-tiba. Akan tetapi, dalam kenyataan, permukaan air yang sama pada periode peningkatan banjir dan pada periode pengukuran banjir mempunyai debit yang berbeda-beda. Seperti terlihat dalam Gbr. 8-31, debit pada periode peningkatan banjir adalah lebih besar dari debit pada periode pengukuran banjir, karena pada periode peningkatan banjir, permukaan air di bagian hulu meningkat lebih cepat, gradien permukaan air menjadi lebih curam sehingga kecepatannya lebih tinggi. Pada sungai dengan kemiringan dasar yang curam, kenyataan di atas ini dapat diabaikan. Sebaliknya pada sungai yang mempunyai kemiringan dasar yang kecil hal ini tidak dapat diabaikan.

Cara yang sederhana untuk mengkoreksi debit, adalah dengan membuat kurva hubungan antara persentase koreksi debit dan kecepatan perubahan permukaan air. Pembuatan kurva hubungan ini adalah sebagai berikut;

Pertama-tama diadakan pengukuran debit pada beberapa kecepatan perubahan permukaan air, periode permukaan air yang tetap dan periode penurunan permukaan air, kemudian digambar seperti terlihat pada Gbr. 8-32.

Selanjutnya antara gambar harga-harga pada waktu kenaikan dan pada waktu penurunan itu digambarkan sebuah kurva debit. Kemudian dihitung persentase setiap harga yang diukur dan harga dari kurva debit ini pada keadaan permukaan air yang sama.

| Kecepatan aliran rata-rata garis pengukuran (m/det) | | Debit (m ³ /det) | | Pengukuran No. | | |
|---|---------------------------------|-------------------------------|--|------------------------------------|-----------------|--|
| 0,94 | | 1,44 | | Cuaca | | |
| 0,90 | | 1,49 | | Meteorologi | Arah angin | |
| 0,99 | | 1,67 | | Jam pengamatan | Kecepatan angin | |
| | | | | | Mulai | |
| | | | | | Selesai | |
| | | | | | Rata-rata | |
| | | Antara titik-titik pengukuran | | Pengamat | | |
| Dalamnya alat ukur arus (m) | Banyaknya yang diperlukan (det) | Waktu yang diperlukan (det) | Kecepatan aliran pada titik pengukuran (m/det) | Kecepatan aliran rata-rata (m/det) | Interval (m) | Kecepatan aliran areal (m ² /det) |
| 0 | | | (1.17) | | | |
| 0,1 | 12 | 36,2 | 1,17 | 1,17 | 0,1 | 0,117 |
| 0,2 | 12 | 35,2 | 1,12 | 1,19 | 0,1 | 0,119 |
| 0,3 | 12 | 37,8 | 1,13 | 1,17 | 0,1 | 0,117 |
| 0,4 | 12 | 40,4 | 1,06 | 1,10 | 0,1 | 0,110 |
| 0,5 | 12 | 40,4 | 1,06 | 1,06 | 0,1 | 0,106 |
| 0,6 | 6 | 23,4 | 1,91 | 0,98 | 0,1 | 0,098 |
| 0,7 | 6 | 26,2 | 0,82 | 0,86 | 0,1 | 0,086 |
| 0,8 | 6 | 32,8 | 0,65 | 0,74 | 0,1 | 0,074 |
| 0,85 | | | (0) | 0,32 | 0,05 | 0,016 |
| | | | | Catatan | | |
| | | | | | | 0,843 |
| | | | | | | 0,99 |

Gambar. 4. 25 (b)

DISCHARGE MEASUREMENT

STATION:

Drainage Area _____ km; River System _____

| No. | Date | | | Water Level m | | Width M | Flow Area m ² | Mean Velocity m/sec | Discharge m ³ /sec | Temp | | Remarks |
|-----|------|-------|-----|---------------|--------|---------|--------------------------|---------------------|-------------------------------|-------|-----|---------|
| | Year | Month | Day | Reading | Change | | | | | Water | Air | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |

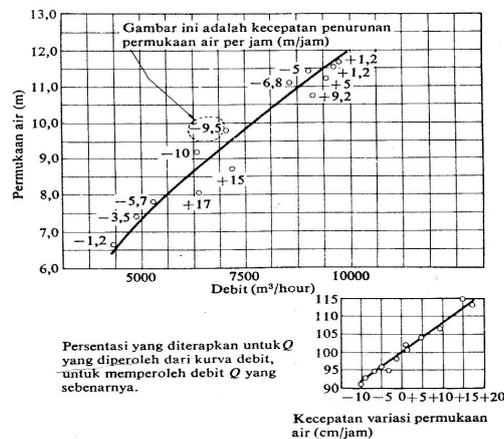
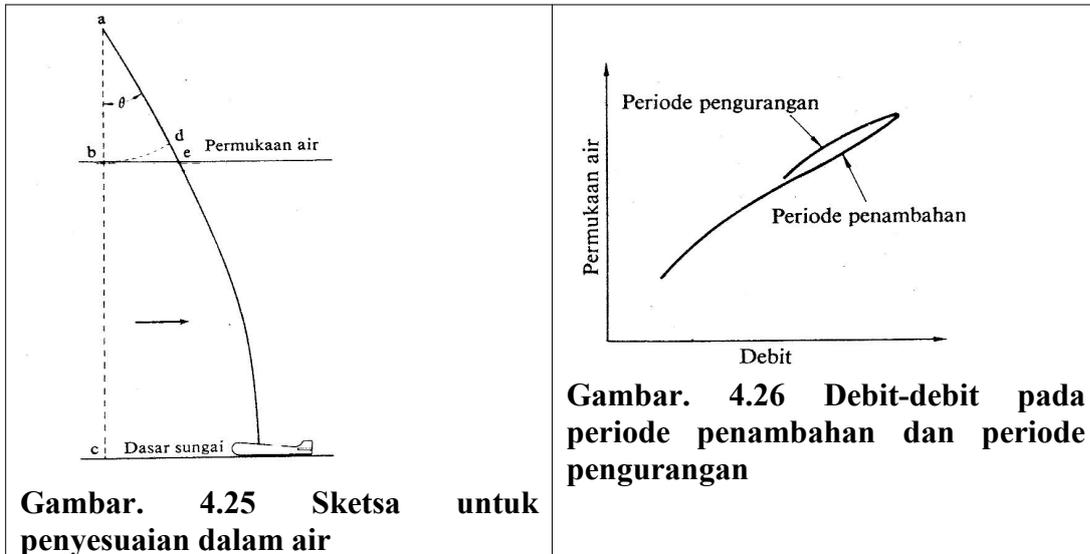
Elevation of zero point of water gauge; _____ m

Gambar. 4.25 Contoh formulir untuk pengukuran debit dengan alat ukur arus

Tabel 4.6 Tabel penyesuaian dalamnya air

| | . sec | K | | sec | K |
|---|--------|--------|----|--------|--------|
| 4 | 1,0024 | 0,0006 | 22 | 1,0785 | 0,0248 |
| 6 | 1,0055 | ,0016 | 24 | 1,0945 | ,0286 |

| | | | | | |
|----|--------|-------|----|--------|-------|
| 8 | 1,0098 | ,0032 | 26 | 1,1126 | ,0350 |
| 10 | 1,0154 | ,0052 | 28 | 1,1326 | ,0408 |
| 12 | 1,0223 | ,0072 | 30 | 1,1547 | ,0472 |
| 14 | 1,0306 | ,0098 | 32 | 1,1792 | ,0544 |
| 16 | 1,0403 | ,0128 | 34 | 1,2062 | ,0620 |
| 18 | 1,0515 | ,0164 | 36 | 1,2361 | ,0698 |
| 20 | 1,0642 | ,0204 | | | |



Gambar. 4.27 Variasi permukaan air dan laju penyesuaian

Hubungan antara persentase di atas ini dan kecepatan perubahan permukaan air pada waktu pengukuran juga digambar supaya dapat mengadakan koreksi debit. Dengan mengoreksi harga-harga pengamatan debit tersebut di atas, maka kurva permukaan air debit (kurva-debit) itu dapat ditentukan. (2) Kurva permukaan air-debit (Kurva debit)

Jika pengamatan/pengukuran permukaan air dan debit yang tersebar dari keadaan permukaan air yang tinggi sampai permukaan yang rendah lebih dari 10 kali, maka hubungan antara permukaan air dan debit dapat diperoleh dengan cara kwadrat ter-kecil. Kurva ini disebut kurva permukaan air-debit (kurva debit). Debit pada setiap permukaan air dapat diperkirakan dengan menggunakan kurva ini.

Berikut ini adalah rumus-rumus yang digunakan sebagai rumus kurva debit:

$$(1) \sqrt{Q} = ah + b \dots\dots\dots(8.9)$$

$$(2) Q = ah^2 + bh + c \dots\dots\dots(8.10)$$

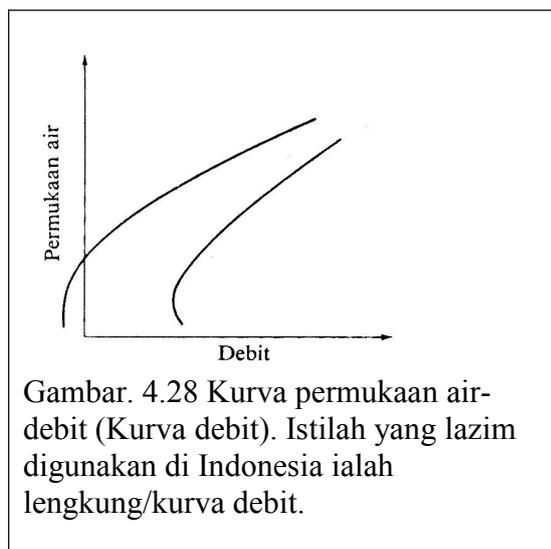
Q : debit

h : permukaan air

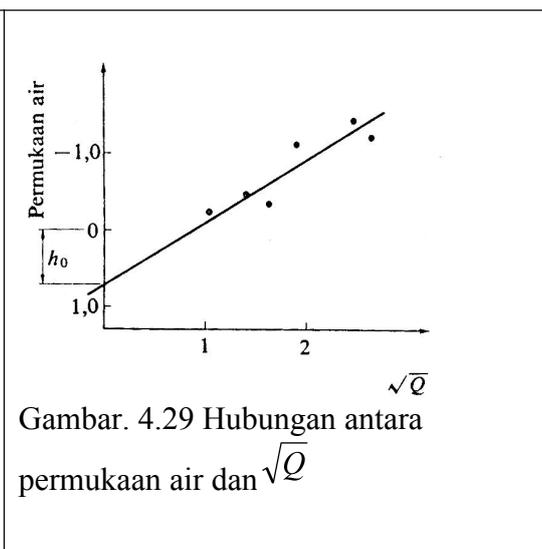
a , b dan c : tetapan-tetapan,

Jika hubungan itu tidak dapat dinyatakan dengan sebuah rumus seperti tersebut di atas, maka penterapan rumus itu diadakan bagian demi bagian dengan membaginya dalam bagian keadaan air tinggi dan bagian keadaan air rendah.

Meskipun kurva debit itu ditentukan dengan cara kwadrat terkecil dari data yang terbatas itu, dari sifat kurva dapat dilihat bahwa adalah tidak tepat menggunakan rumus (8.10) untuk keadaan air rendah. Perhitungan persamaan kwadrat ini dalam Gambar. 4.25 memperlihatkan bahwa debit pada permukaan air yang rendah menjadi negatif atau kadang-kadang menjadi besar.



Gambar. 4.28 Kurva permukaan air-debit (Kurva debit). Istilah yang lazim digunakan di Indonesia ialah lengkung/kurva debit.



Gambar. 4.29 Hubungan antara permukaan air dan \sqrt{Q}

Sebelum perhitungan dengan cara kwadrat terkecil diadakan, hubungan antara \sqrt{Q} dan permukaan air h harus digambar seperti terlihat pada Gbr. 8-34 dan ditarik garis lurus yang menunjukkan perkiraan kasar dari harga rata-rata.

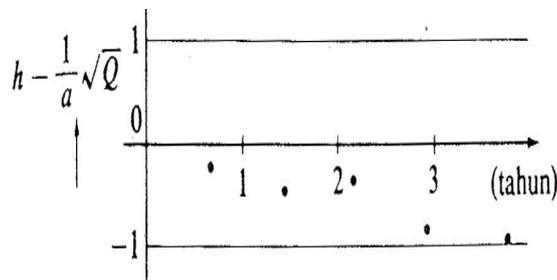
Rumus (8.11) berikut ini dapat dirubah menjadi rumus (8.12).

$$\sqrt{Q} = ah + b \dots\dots\dots(8.11)$$

$$\sqrt{Q} = a(h-h_0)\dots\dots\dots(8.12)$$

Jadi a dan h_0 sebelumnya harus diperkirakan dari garis lurus tersebut di atas. Kemudian dengan mengadakan pengamatan keadaan sungai di lapangan harus dipastikan bahwa h_0 adalah kira-kira berimpitan dengan permukaan dasar sungai.

Kurva debit itu tidak dapat digunakan untuk jangka waktu yang lama, karena dasar sungai selalu berubah-ubah. Jadi debit itu harus disesuaikan dengan mengadakan pengamatan yang kontinu. Seperti terlihat dalam Gbr. 8-35, h_0 adalah penting juga untuk mengetahui bagaimana perubahan tinggi h_a dalam rumus (8.12) (h_0 dianggap sebagai perubahan permukaan dasar sungai).



Gambar. 4.29 Kondisi dasar sungai yang berubah-ubah

(3) Perhitungan tetapan-tetapan dengan cara kwadrat terkecil Umpamanya kurva debit itu dinyatakan oleh rumus

$$Q = ah^2 + bh + c \dots\dots\dots(8.13)$$

dan h_i : permukaan air pada sesuatu saat

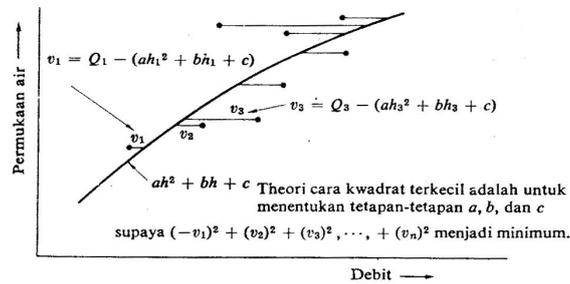
Q_i : debit pada permukaan air h_i .

$$\text{Hitung: } V_t = [ah_i^2 + b_i + c] \dots\dots\dots(8.14)$$

V_t disebut sisa. Angka ini dapat diperoleh sesuai dengan waktu yang diukur.

$$\sum_{i=1}^n = [(V_t)]^2 \dots\dots\dots(8-15)$$

disebut jumlah kwadrat sisa n adalah banyaknya pengukuran. Tetapan-tetapan a , b dan c harus ditentukan sedemikian supaya jumlah kwadrat sisa mempunyai harga yang terkecil. Perhitungannya adalah sebagai berikut.



Gambar. 4.30 Penggambaran sisa-sisa.

Gambar. 4.30 memperlihatkan jumlah kwadrat angka-angka.

$$V_1, V_2, V_3, \dots \text{ atau } [V_i]^2 = + V_1^2 + V_2^2 + \dots + V_n^2 \dots \dots \dots (8.16)$$

Jadi tetapan-tetapan a , b dan c harus ditentukan sedemikian supaya harga jumlah tersebut di atas ini adalah terkecil. Kurva yang diperoleh dengan prosedur ini adalah kurva yang paling baik untuk menentukan debit dari data permukaan air.

$$V_1^2 = [Q_1 - (ah_1^2 + bh_1 + c)]^2 \dots \dots \dots (8.17)$$

$$V_2^2 = [Q_2 - (ah_2^2 + bh_2 + c)]^2 \dots \dots \dots (8.18)$$

$$V_1^2 = [Q_1 - (ah_1^2 + bh_1 + c)]^2 \dots \dots \dots (8.19)$$

$$V_n^2 = [Q_n - (ah_n^2 + bh_n + c)]^2 \dots \dots \dots (8.20)$$

Umpamanya jumlah adalah S ,

$$S = V_1^2 + V_2^2 + \dots + V_n^2 \dots \dots \dots (8.21)$$

Untuk memperoleh a dengan S minimum, maka S didiferensiasi menurut a dan hasilnya dijadikan nol.

$$\frac{\partial S}{\partial a} = 0 \dots \dots \dots (8.22)$$

(a dapat dihitung)

Kemudian persamaan (8.19) dikembangkan sebagai berikut;

$$[Q_i - (ah_i^2 + bh_i + c)]^2 \dots \dots \dots (8.23)$$

$$\begin{aligned}
&= Q_i^2 - 2Q_i(ah_i^2 + bh_i + c)(ah_i^2 + bh_i + c)^2 \\
&= Q_i^2 - 2Q_i^2 ah_i^2 - 2Q_i bh_i - 2Q_i c + a^2 h_i^4 + 2 ab h_i^4 \\
&+ 2ach_i^2 + b^2 h_i^2 + 2cbh_i + c^2 \dots \dots \dots (8.24)
\end{aligned}$$

Jika S didifferensiasi menurut a , maka semua suku yang tidak mempunyai harga a akan menjadi nol. Jadi untuk perhitungan dapat ditinjau saja suku-suku yang mempunyai a ,

$$a^2 h_i^4 + a(-2Q_i h_i^2 + 2bh_i^3 + 2ch_i^2) \dots \dots \dots (8.25)$$

Mengingat S adalah jumlah dari $i = 1$ sampai n , maka persamaan (8.25) menjadi

$$a^2 \sum_{i=1}^n h_i^4 + a(-Q_i h_i^2 + 2bh_i^3 + 2ch_i^2) \dots \dots \dots (8.26)$$

Differensiasi menurut a ,

$$\begin{aligned}
\frac{\partial S}{\partial a} &= 0 \\
&= 2ah_i^4 - 2Q_i h_i^2 + 2bh_i^3 + 2c h_i^2 \dots \dots \dots (8.27)
\end{aligned}$$

Setiap harga h_i^4 , $Q_i h_i^2$, h_i^3 dan h_i^2 persamaan (8.27) ini, dapat diperoleh dengan perhitungan dari harga-harga pengamatan. Demikian pula untuk memperoleh b dari harga minimum S , maka harga suku-suku yang mempunyai b dari persamaan(8.24) yang ditinjau.

$$b^2 h_i^2 + b(-2Q_i h_i + 2ah_i^3 + 2ch_i) \dots \dots \dots (8.28)$$

Jumlahnya adalah,

$$b^2 h_i^2 + b(-2Q_i h_i + 2a h_i^3 + 2ch_i) \dots \dots \dots (8.29)$$

Untuk memperoleh b , maka S didifferensiasi menurut b lalu dijadikan nol.

$$\frac{\partial S}{\partial b} = 0 = 2bh_i^2 - 2Q_i h_i + 2ah_i^3 + 2ch_i \dots \dots \dots (8.30)$$

Harga-harga h_i^2 , $Q_i h_i$, h_i^3 dan h_i dalam persamaan (8.30) ini dapat diperoleh dari harga-harga pengamatan.

Untuk memperoleh c dari harga minimum S , maka hanya suku-suku yang mempunyai c dari persamaan (8.24) yang ditinjau.

$$c^2 + c(-2Q_i + 2ah_i^2 + 2bh_i) \dots \dots \dots (8.31)$$

Jumlahnya adalah;

$$nc^2 + c(-2 Q_i + 2ah^i + 2bh_i) \dots \dots \dots (8.32)$$

Persamaan (8.32) ini didiferensiasi menurut c dan dijadikan nol.

$$\frac{\partial S}{\partial c} = 0 = 2nc - 2Q_i + 2ah^i + 2bh_i \dots \dots \dots (8.33)$$

Harga-harga n, Q_i, h^i dan h_i dapat diperoleh dari harga-harga pengamatan. Untuk membuat S menjadi minimum, maka ketiga persamaan differensiasi itu harus disusun dan dihitung.

$$\frac{\partial S}{\partial a} = 0 \dots \dots \dots (8.34)$$

$$\frac{\partial S}{\partial b} = 0 \dots \dots \dots (8.35)$$

$$\frac{\partial S}{\partial c} = 0 \dots \dots \dots (8.36)$$

$$\frac{\partial S}{\partial a} = a(h^i)^4 + b(h^i)^3 + c(h^i)^2 - (Q_i h^i)^2 = 0 \dots \dots \dots (8.37)$$

$$\frac{\partial S}{\partial b} = a(h^i)^3 + b(h^i)^2 + c(h_i) - (Q_i h_i) = 0 \dots \dots \dots (8.38)$$

$$\frac{\partial S}{\partial c} = a(h^i)^2 + b(h_i) + c(n) - (Q_i) \dots \dots \dots (8.39)$$

Semua bagian-bagian yang berada di dalam tanda kurung dapat diperoleh dari harga-harga pengamatan dan sudah diketahui. Jadi dengan ini terbentuklah tiga persamaan linier dengan tiga buah faktor yang tidak diketahui a, b dan c . Harga-harga a, b dan c yang didapat dari ketiga persamaan linier ini adalah tetapan-tetapan yang menjadikan jumlah kwadrat sisa 5 minimum. Penyelesaiannya adalah sebagai berikut;

$$c = \frac{(h^i)^2 (h^i)^4 (Q_i) + (h^i)^2 (h^i)^3 (h_i Q_i) + (h_i) (h^i)^3 (Q h^i)^2}{n(h^i)^2 (h^i)^4 + 2(h_i)(h^i)^2 (h^i)^3 - n(h^i)^2 - (h^i)^3 (Q_i) - (h_i)(h^i)^4 (Q_i h_i) - (h^i)^2 (Q h^i)^2 - (h_i)(h^i)^4 - (h^i)^3} \dots \dots \dots (8.40)$$

$$b = \frac{(h^i)^2 (h^i)^3 (Q_i) + n(h^i)^4 (Q_i h_i) - (h^i)^2 (h^i)^2 (Q h^i)^2}{n(h^i)^2 (h^i)^4 + 2(h_i)(h^i)^2 (h^i)^3 - n(h^i)^2 - (h_i)(h^i)^4 (Q_i) + (h_i)(h^i)^2 (Q_i h_i) + n(h^i)^2 (Q h^i)^2} \dots \dots \dots (8.41)$$

$$a = \frac{-(h_i)^2(h^i)^4 - (h^i)^3}{(h_i)(h^i)(Q_i) + (h_i)(h^i)^2(Q_i h_i) + n(h^i)^2(Q_i h^i) + n(h^i)^2(h^i)^4 + 2(h_i)(h^i)^3(h^i) - n(h^i)^3 - (h^i)^2(Q_i) - n(h^i)^3(Q_i h_i) - (h_i)^2(Q_i h^i) - (h_i)^2(h^i)^4 - (h^i)^3} \dots\dots\dots(8.42)$$

Jika rumus kurva debit itu seperti berikut ini,

$$\sqrt{Q} = ah + b \dots\dots\dots(8.43)$$

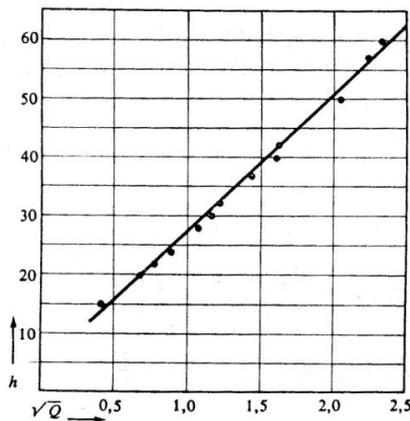
maka mengingat hanya terdapat dua buah tetapan dengan penyelesaian yang lebih sederhana, maka (hanya perhitungan yang diperlihatkan):

$$a = \frac{(\sqrt{Q_i})(h_i) - n(h_i\sqrt{Q_i})}{(h_i)^2 - n(h^i)^2} \dots\dots\dots(8.44)$$

$$b = \frac{(h_i)(h_i\sqrt{Q_i}) - (h^i)^2(\sqrt{Q_i})}{(h_i)^2 - n(h^i)^2} \dots\dots\dots(8.45)$$

Tabel 8-7Permukaan-permukaan air dan debit yang diukur.

| | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <i>h</i> (cm) | 15 | 20 | 22 | 24 | 28 | 30 | 32 | 37 | 40 | 42 | 50 | 57 | 60 |
| <i>Q</i> (m ³ /det) | 0,180 | 0,450 | 0,590 | 0,804 | 1,150 | 1,360 | 1,500 | 2,050 | 2,590 | 2,620 | 4,181 | 4,980 | 5,390 |
| \sqrt{Q} | 0,42 | 0,67 | 0,77 | 0,89 | 1,07 | 1,16 | 1,22 | 1,43 | 1,60 | 1,61 | 2,04 | 2,23 | 2,32 |



Tabel 4.7 Tabel perhitungan untuk $\sqrt{Q_i} = ah + b$

| | | | | | |
|----------|--------------|-----------------------|--------------------------------|--------------|-----------------------|
| <i>N</i> | <i>h</i> (m) | <i>h</i> ² | <i>Q</i> (m ³ /det) | $\sqrt{Q_i}$ | <i>h</i> $\sqrt{Q_i}$ |
|----------|--------------|-----------------------|--------------------------------|--------------|-----------------------|

| | | | | | |
|--------|------|--------|-------|-------|--------|
| 1 | 0,15 | 0,0225 | 0,18 | 0,42 | 0,063 |
| 2 | 0,20 | 0,0400 | 0,45 | 0,67 | 0,134 |
| 3 | 0,22 | 0,0484 | 0,59 | 0,77 | 0,1694 |
| 4 | 0,24 | 0,0576 | 0,80 | 0,89 | 0,2136 |
| 5 | 0,28 | 0,0784 | 1,15 | 1,07 | 0,2996 |
| 6 | 0,30 | 0,0900 | 1,36 | 1,16 | 0,3480 |
| 7 | 0,32 | 0,1024 | 1,50 | 1,22 | 0,3904 |
| 8 | 0,37 | 0,1369 | 2,05 | 1,43 | 0,5291 |
| 9 | 0,40 | 0,1600 | 2,59 | 1,60 | 0,6400 |
| 10 | 0,42 | 0,1764 | 2,62 | 1,61 | 0,6762 |
| 11 | 0,50 | 0,2500 | 4,18 | 2,04 | 1,0200 |
| 12 | 0,57 | 0,3249 | 4,98 | 2,23 | 1,2711 |
| 13 | 0,60 | 0,3600 | 5,39 | 2,32 | 1,3920 |
| n = 13 | 4,57 | 1,8475 | 27,84 | 17,43 | 7,1464 |

Di bawah ini diperlihatkan sebuah contoh perhitungan.

Tetapan-tetapan itu diperoleh dari permukaan air dan debit yang diukur (yang tercantum dalam Tabel 8-7) dengan cara kwadrat terkecil. Tabel 8-8. adalah tabel perhitungan untuk jenis $\sqrt{Q_i} = ah + b$.

Harga-harga dalam tabel ini disubstitusi ke dalam persamaan-persamaan (8.44) dan (8.45),

$$a = \frac{17,43 \times 4,57 - 13 \times 7,1464}{4,57 \times 4,57 - 13 \times 1,8475} = 4,2291$$

$$b = \frac{4,57 \times 7,1464 - 1,8475 \times 17,43}{4,57 \times 4,57 - 13 \times 1,8475} = -0,14592$$

Tabel 4.8 Perbandingan antara debit-debit yang diukur dan debit yang dihitung.

| Permukaan air <i>H</i> | Debit yang diamati <i>Q</i> (m ³ /det) | Debit yang dihitung <i>Q_i</i> (m ³ /det) | <i>Q_i - Q</i> | <i>Q_i - Q</i> <i>Q</i> |
|---------------------------|--|---|--------------------------|--------------------------------------|
| 0,15 | 0,18 | 0,239 | 0,059 | 0,327 |
| 0,20 | 0,45 | 0,489 | 0,039 | 0,087 |
| 0,24 | 0,80 | 0,755 | -0,045 | -0,056 |
| 0,30 | 1,36 | 1,261 | -0,069 | -0,073 |
| 0,37 | 2,05 | 2,013 | -0,037 | -0,018 |
| 0,40 | 2,59 | 2,389 | -0,201 | -0,078 |
| 0,42 | 2,62 | 2,658 | 0,038 | 0,015 |
| 0,50 | 4,18 | 3,876 | -0,304 | -0,073 |
| 0,57 | 4,98 | 5,129 | 0,149 | 0,030 |
| 0,60 | 5,39 | 5,719 | 0,329 | 0,061 |
| Jumlah | | | | 0,207 |
| rata-rata. | | | | 2,1% |

Jadi;

$$\sqrt{Q} = 4,229/i - 0,1459 \quad Q = 17,885(6 - 0,0345)^2.$$

Perbandingan antara debit yang dihitung dan debit yang diukur dapat dilihat dalam Tabel 8-9. Perhitungan untuk jenis $Q = ah^2 + bh + c$ dapat dilihat dalam Tabel 8-10. Untuk memperoleh tetapan-tetapan a , b dan c maka harga-harga dalam tabel ini disubstitusi dalam persamaan-persamaan (8.40), (8.41) dan (8.42).

$$\begin{aligned} C = & (1,8475 \times 0,41404 \times 27,84) + (1,8475 \times 0,85913 \times 12,7063) \\ & (13 \times 1,8475 \times 0,41404) + (2 \times 4,57 \times 1,8475 \times 0,85913) \\ & + (4,57 \times 0,85913 \times 6,22347) - (0,85913)^2 \times 27,84 \\ & - 13 \times (0,85913)^2 - (4,57)^2 \times 0,41404 \\ & - (4,57 \times 0,41404 \times 12,7063) - (1,8475)^2 \times 6,22347 \\ & (1,8475)^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b = & (1,8475 \times 0,85913 \times 27,84) + (13 \times 0,41404 \times 12,7063) \\ & (13 \times 1,8475 \times 0,41404) + (2 \times 4,57 \times 1,8475 \times 0,85913) \\ & + (4,57 \times 1,8475 \times 6,22347) - (4,57 \times 0,41404 \times 27,84) \\ & - 13 \times (0,85913)^2 - (4,57)^2 \times 0,41404 \\ & - (1,8475)^2 \times 12,7063 - 13 \times 0,85913 \times 6,22347 \\ & = 4,433 \\ & - (1,8475)^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a = & (4,57 \times 0,85913 \times 27,84) + (4,57 \times 1,8475 \times 12,7063) \\ & (13 \times 1,8475 \times 0,41404) - (2 \times 4,57 \times 1,8475 \times 0,85913) \\ & + (13 \times 1,8475 \times 6,22347) - (1,8475)^2 \times 27,84 \\ & - 13 (0,85913)^2 - (4,57)^2 \times 0,41404 \\ & - (13 \times 0,85913 \times 12,7063) - (4,57)^2 \times 6,22347 \\ & = 8,831 \\ & (1,8475)^3 \end{aligned}$$

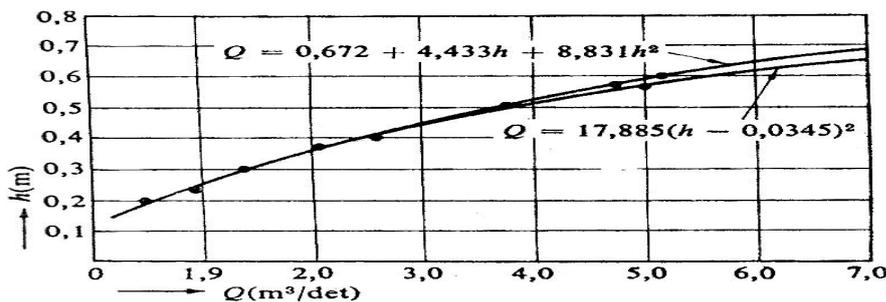
Dengan demikian persamaan itu menjadi:

Tabel 4.8 Tabel perhitungan untuk $Q = ah^2 + bh + c$

| n | h | h^2 | h^3 | h^4 | Q | hQ | h^2Q |
|---------------------|------|--------|---------|---------|-------|---------|---------|
| 1 | 0,15 | 0,0225 | 0,00338 | 0,00051 | 0,18 | 0,0270 | 0,00405 |
| 2 | 0,20 | 0,0400 | 0,00800 | 0,00160 | 0,45 | 0,0900 | 0,01800 |
| 3 | 0,22 | 0,0484 | 0,01065 | 0,00234 | 0,59 | 0,1298 | 0,02856 |
| 4 | 0,24 | 0,0576 | 0,01106 | 0,00265 | 0,80 | 0,1920 | 0,04603 |
| 5 | 0,28 | 0,0784 | 0,02524 | 0,00707 | 1,15 | 0,3220 | 0,09016 |
| 6 | 0,30 | 0,0900 | 0,03672 | 0,01102 | 1,36 | 0,4080 | 0,12240 |
| 7 | 0,32 | 0,1024 | 0,04015 | 0,01573 | 1,50 | 0,4800 | 0,15360 |
| 8 | 0,37 | 0,1369 | 0,05065 | 0,01874 | 2,05 | 0,7585 | 0,28065 |
| 9 | 0,40 | 0,1600 | 0,06400 | 0,02560 | 2,59 | 1,0360 | 0,41440 |
| 10 | 0,42 | 0,1764 | 0,07409 | 0,03112 | 2,62 | 1,1004 | 0,46217 |
| 11 | 0,50 | 0,2500 | 0,12500 | 0,06250 | 4,18 | 2,0900 | 1,04500 |
| 12 | 0,57 | 0,3249 | 0,18519 | 0,10556 | 4,98 | 2,8386 | 1,61800 |
| 13 | 0,60 | 0,3600 | 0,21600 | 0,12960 | 5,39 | 3,2340 | 1,94040 |
| $\Sigma n=13$ | 4,57 | 1,8475 | 0,85913 | 0,41404 | 27,84 | 12,7063 | 6,22347 |
| $\frac{\Sigma}{13}$ | 0,35 | 0,1421 | 0,06608 | 0,03184 | 2,14 | 0,9774 | 0,47872 |

Tabel 4.9 Perbandingan antara debit yang diukur dan debit yang dihitung

| Permukaan air h | Debit yang diukur. Q (m ³ /det) | Debit yang dihitung. Q_1 (m ³ /det) | $Q_1 - Q$ | $\frac{Q_1 - Q}{Q}$ |
|----------------------|---|---|-----------|---------------------|
| 0,15 | 0,18 | 0,192 | 0,012 | 0,066 |
| 0,20 | 0,45 | 0,568 | 0,118 | 0,262 |
| 0,24 | 0,80 | 0,901 | 0,101 | 0,126 |
| 0,30 | 1,36 | 1,453 | 0,093 | 0,068 |
| 0,37 | 2,05 | 2,177 | 0,127 | 0,062 |
| 0,40 | 2,59 | 2,514 | -0,076 | -0,029 |
| 0,42 | 2,62 | 2,748 | 0,128 | 0,049 |
| 0,50 | 4,18 | 3,752 | -0,428 | -0,102 |
| 0,57 | 4,98 | 4,724 | -0,256 | -0,051 |
| 0,60 | 5,39 | 5,167 | -0,223 | -0,041 |
| Jumlah rata-rata. | | | | 0,41 4,1% |



Gambar. 4.31 Kurva permukaan air-debit (Kurva/lengkung debit)

$$Q = 0,672 + 4,433h + 8,831h^2$$

Perbandingan antara debit yang dihitung dengan debit yang diukur dapat dilihat dalam Tabel 8-11. Kurva debit kedua persamaan itu terdapat dalam Gbr. 8-37.

(4) Kurva debit rumus Manning

Jika hanya terdapat debit-debit yang diukur pada permukaan air rendah dan sedang atau hanya beberapa debit yang diukur pada permukaan air tinggi, maka adalah lebih baik menghitung kurva debit itu dengan menggunakan rumus Manning. Luas penampang melintang dan jari-jari hidrolis yang sesuai dengan permukaan air sembarang, dapat diketahui dari penampang melintang.

Rumus Manning;

$$v = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2} \dots\dots\dots (8.46)$$

Jadi

$$Q = A \cdot v = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2} A \dots\dots\dots (8.47)$$

$$= kR^{2/3}A \dots\dots\dots (8.48)$$

dengan;

n : koefisien kekasaran

r : gradien permukaan air

v : kecepatan aliran rata-rata (m/detik)

A : luas penampang melintang air (m²)

$R = \frac{A}{P} (m)$ = jari-jari hidrolis

P : = Keliling basah (m)

k diperoleh dari hubungan antara debit yang diukur Q dan $AR^{2/3}$ sesuai dengan permukaan air yang bersangkutan.

Harga $k = (1/n)i^{1/2}$ ini dapat dianggap tetap untuk permukaan air yang tinggi. Jadi jika hubungan antara harga k yang diperoleh dari harga-harga pengamatan dan permukaan air itu digambarkan, maka dapat diperoleh asymptot yang perlahan-lahan mendekati garis yang tegak lurus pada permukaan air tinggi. Untuk menentukan kurva debit bagian permukaan air tinggi, maka harga k permukaan air tinggi ditentukan dengan menarik garis tegak lurus ke absis.

4.6 Pengukuran aliran dengan bendung

Biasanya bendung hanya digunakan pada tempat yang kecil debitnya, mengingat pembangunan bendung yang besar untuk pengukuran aliran memerlukan biaya yang besar. Jika permukaan air di udik bendung sudah diketahui, maka debit dapat dihitung. Jadi permukaan air di udik bendung harus dicatat.

Bendung itu mempunyai rumus hubungan antara permukaan air dan debit, yang ditetapkan berdasarkan standar industri Jepang (Japan industrial standard = J.I.S.). Rumus-rumus ini adalah untuk bendung segitiga, bendung segiempat dan lain-lain. Juga standar dari bendung untuk menerapkan rumus itu telah ditentukan dan mempunyai ketelitian yang tinggi. Akan tetapi jika bendung itu dibangun di sungai maka mengingat standar itu tidak dapat bekerja dengan sewajarnya oleh karena keadaan peralatannya dan sedimentasi, maka pengurusannya harus diadakan dengan sebaik-baiknya.

Debit dapat juga diukur dengan menggunakan bendung pengendalian kotoran sungai atau bangunan terjun lain. Akan tetapi mengingat adanya pengaruh kecepatan men-dekat (*velocity of approach*), maka kurva debit itu harus dibuat berdasarkan pengukuran debit dan bukan berdasarkan rumus-rumus teoritis.

Demikian pula tinggi air pada pelimpah dari bendungan dapat menunjukkan besarnya debit yang melimpah.

Debit yang melimpah pada bendung adalah,

$$Q = c B H^{3/2} \dots\dots\dots(8.49)$$

C : koefisien

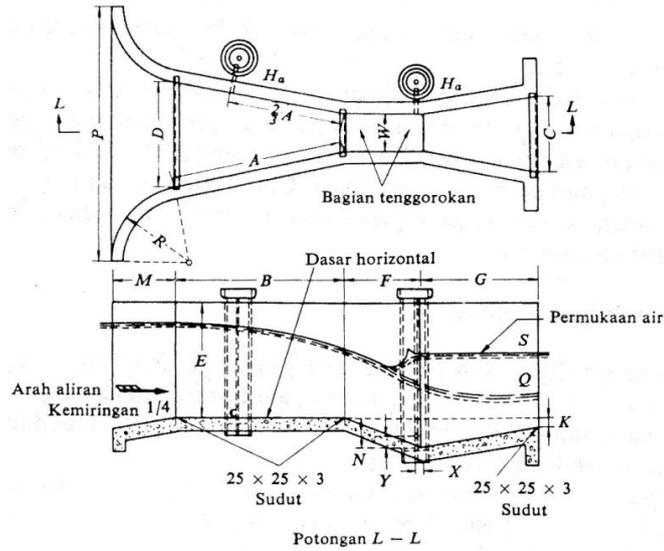
B : lebar bendung (dengan memperhitungkan pengaruh tembok-tembok samping).

H : tinggi air di hulu bendung.

c adalah kira-kira 1,8 sampai 2,2 yang berubah-ubah tergantung dari bentuk mercu bendung dan dalamnya pelimpahan. Untuk debit yang melimpah pada bendungan yang merupakan bangunan yang penting seringkali dapat digunakan kurva debit yang telah dibuat pada model test hidrolis.

Ada sebuah saluran parsiil yang bekerja sebagai bendung. Air mengalir dengan kecepatan yang tinggi melalui tenggorokan saluran itu sehingga tidak terjadi sedimentasi dan penyumbatan kotoran yang terapung. Pengurusannya mudah dan tidak perlu memperhitungkan pengaruh kecepatan mendekati (*velocity of approach*). Pada keadaan yang terendam, debit dapat dihitung dengan mengadakan koreksi dalamnya air di hilir H_b terhadap dalamnya air di udik H_u . Gbr. 8-38 memperlihatkan prinsip saluran parsiil ini. Dimensi bagian-bagian setiap jenis dapat dilihat dalam Tabel 8-12. Rumus-rumus perhitungan debit dapat dilihat dalam Tabel 8-13.

Mengingat dalam keadaan terendam hubungan antara H_a dan H_b menjadi seperti yang terlihat dalam Tabel 8-14, maka hasilnya harus dikoreksi dengan Gbr. 8-39. Jika lebar W lebih dari 1 ft (30,48cm), maka hasilnya harus dikoreksi dengan Tabel 8-15 dengan menentukan debit per ft dari Gambar 8-39 (d).



Gambar. 4.32 Gambar umum saluran ukur parsii.

Tabel 4.10 Dimensi saluran ukur parsii

Satuan-satuan dari W — Y (cm)

| W | A | $\frac{2}{3}A$ | B | C | D | E | F | G | K | N | R | M | P | X | Y | Kapasitas dari air bebas. (m ³ /sec) | | |
|-------------|--------|----------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|--------|------|------|---|---------|--|
| | | | | | | | | | | | | | | | | min. | max. | |
| (3 in) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7,62 | 46,67 | 31,12 | 45,72 | 17,78 | 25,88 | 60,96 | 15,24 | 30,48 | 2,54 | 5,72 | 40,64 | 30,48 | 76,84 | 2,54 | 3,81 | 0,0008495 | 0,05380 | |
| (6 in) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15,24 | 62,05 | 41,43 | 60,96 | 39,37 | 39,69 | 60,96 | 30,48 | 90,95 | 7,62 | 11,43 | 40,64 | 30,48 | 90,17 | 5,08 | 7,62 | 0,001415 | 0,1104 | |
| (9 in) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22,86 | 87,95 | 58,74 | 86,36 | 38,10 | 57,47 | 60,96 | 30,48 | 45,73 | 7,62 | 11,43 | 40,64 | 30,48 | 107,95 | 5,08 | 7,62 | 0,002549 | 0,2520 | |
| (1 ft) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 30,48 | 137,16 | 91,44 | 134,24 | 60,96 | 84,46 | 91,44 | 60,96 | 91,20 | 7,62 | 22,86 | 50,80 | 38,10 | 149,21 | 5,08 | 7,62 | 0,003115 | 0,4560 | |
| (1 ft 6 in) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 45,72 | 144,78 | 96,52 | 141,86 | 76,20 | 102,55 | 91,44 | 60,96 | 91,20 | 7,62 | 22,86 | 50,80 | 38,10 | 167,64 | 5,08 | 7,62 | 0,004248 | 0,6797 | |
| (2 ft) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 60,96 | 152,40 | 101,60 | 149,47 | 91,44 | 120,65 | 91,44 | 60,96 | 91,20 | 7,62 | 22,86 | 50,48 | 38,10 | 195,44 | 5,08 | 7,62 | 0,01189 | 0,9374 | |
| (3 ft) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 91,44 | 167,64 | 111,76 | 164,47 | 121,92 | 157,16 | 91,44 | 60,96 | 91,20 | 7,62 | 22,86 | 50,48 | 38,10 | 222,29 | 5,08 | 7,62 | 0,01728 | 1,427 | |
| (4 ft) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 121,92 | 182,88 | 121,92 | 179,39 | 192,40 | 193,68 | 91,44 | 60,96 | 91,20 | 7,72 | 22,86 | 60,96 | 30,48 | 271,11 | 5,08 | 7,62 | 0,03682 | 1,9229 | |
| (5 ft) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 152,40 | 198,12 | 132,08 | 194,31 | 182,88 | 230,17 | 91,44 | 60,95 | 91,20 | 7,62 | 22,85 | 60,96 | 30,48 | 307,98 | 5,08 | 7,62 | 0,04532 | 2,424 | |
| (6 ft) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 182,8 | 213,36 | 142,24 | 209,23 | 213,36 | 266,70 | 91,44 | 60,96 | 91,20 | 7,62 | 22,86 | 60,96 | 30,48 | 344,19 | 5,08 | 7,62 | 0,07363 | 2,931 | |
| (7 ft) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 213,36 | 228,60 | 152,40 | 224,16 | 243,84 | 303,21 | 91,44 | 60,96 | 91,20 | 7,62 | 22,86 | 60,95 | 30,48 | 331,04 | 5,08 | 7,62 | 0,08496 | 3,438 | |
| (8 ft) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 243,84 | 243,84 | 152,56 | 239,08 | 274,32 | 339,73 | 91,44 | 60,96 | 91,20 | 7,62 | 22,86 | 60,96 | 30,48 | 417,16 | 5,08 | 7,62 | 0,09912 | 3,951 | |

Tabel 4.11 Rumus-rumus perhitung debit

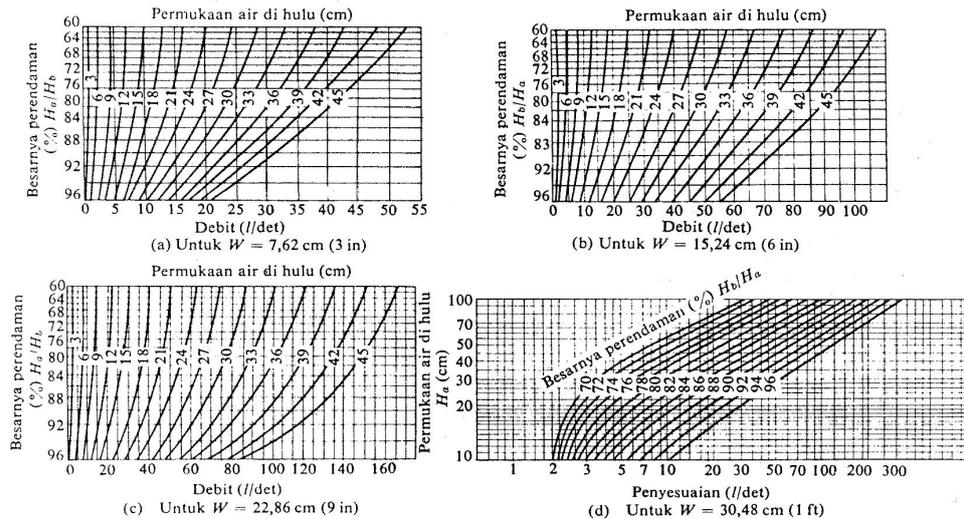
| Jenis (harge W) | ft · sec | l · sec |
|--------------------|--|---|
| 1 in | $q = 0,338H_a^{1,55}$ | $q = 0,048H_a^{1,55}$ |
| 2 | $q = 0,676H_a^{1,55}$ | $q = 0,096H_a^{1,55}$ |
| 3 | $q = 0,992H_a^{1,55}$ | $q = 0,141H_a^{1,55}$ |
| 6 | $q = 2,06H_a^{1,58}$ | $q = 0,264H_a^{1,58}$ |
| 9 | $q = 3,07H_a^{1,53}$ | $q = 0,466H_a^{1,53}$ |
| 1—8 ft | $q = 4 \cdot W \cdot H_a^{1,522W^{0,026}}$ | $q = \frac{3,711}{115,66W^{0,026}} W \cdot H_a^{1,39W^{0,026}}$ |
| Catatan | $q = \text{ft}^3/\text{sec}$ $H_a = \text{ft } W = \text{ft}$ | $q = \text{l}/\text{sec}$ $H_a = \text{cm } W = \text{cm}$ |

Tabel 4. 12 Hubungan dari dalamnya air jika saluran ukur parsil itu terendam

| Jenis | H_b/H_a |
|--------|----------------|
| 1-2 in | Lebih dari 0,5 |
| 3-6in | Lebih dari 0,5 |
| 1-8ft | Lebih dari 0,7 |
| 8-50ft | Lebih dari 0,8 |

Tabel 4.13 Harga penyesuaian jika lebar bendung lebih dari 1 ft

| W (ft) | Koefisien penyesuaian |
|-----------------|-----------------------|
| 1,0 | 1,0 |
| 1,5 | 1,4 |
| 2 | 1,8 |
| 3 | 2,4 |
| 4 | 3,1 |
| 6 | 4,3 |
| 8 | 5,4 |
| 1 ft = 30,48 cm | |



Gambar. 4.34 Debit saluran ukur parsel untuk aliran terendam

Dimensi bendung standar JIS adalah sebagai berikut:

| | L_1 | L_s | L_2 |
|------------------------------|-------------|-----------------|-------------|
| Bendung segitiga siku — siku | $(B + 2h')$ | kira-kira $2h'$ | $(B + /0)$ |
| Bendung persegi Empat | $(B + 3h')$ | kira-kira $2h'$ | $(B + 2h')$ |
| Bendung lebar penuh | $(B + 5h')$ | kira-kira $2h'$ | $(B + 3h')$ |

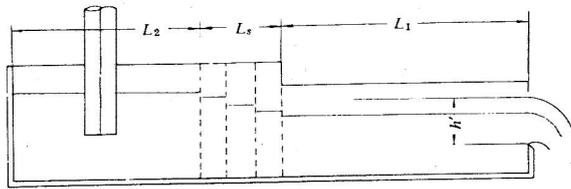
B : lebar saluran

h' : dalamnya pelimpahan.

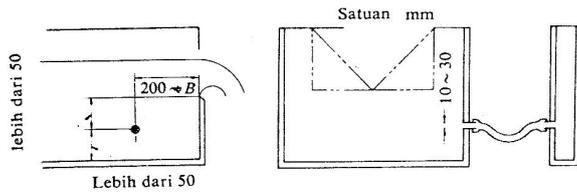
[Alat pengukur tinggi air]

- Tinggi air adalah jarak vertikal dari permukaan air di hulu bendung ke titik terendah (untuk bendung segitiga siku-siku), ke bagian tengah mercu yang bawah (untuk bendung persegi empat) dan ke bagian tengah mercu bendung (untuk bendung lebar penuh).
- Pengukuran tinggi air dilakukan dengan pengamatan permukaan air dalam tangki kecil yang dihubungkan dengan saluran melalui lubang yang kecil dalam dinding samping saluran seperti terlihat dalam gambar.
- Lubang kecil tersebut di atas harus terletak minimum 200 mm dan maksimum B (lebar saluran) di hulu sisi depan bendung; terletak sekurang-kurangnya 50cm lebih rendah dari titik terendah, mercu bagian bawah atau mercu bendung yang tersebut dalam (F); terletak 50 cm atau lebih di atas dasar saluran.

- Diameter bagian dalam pipa kecil ini adalah 10 sampai 30 mm dan tegak lurus pada sisi bagian dalam dari tembok saluran. Sekeliling lubang harus licin dan tidak boleh terdapat penghalang-penghalang.



Gbr. A



Gbr. B

[Cara pengukuran]

- Bendung harus digunakan dengan kondisi bahwa air yang melimpah melalubendung itu tidak pernah terpencah keluar.
- Ketelitian pengukuran tinggi air harus lebih kecil dari 0,2 mm.
- Ketelitian pengukuran permukaan air pada bendung segitiga siku-siku harus 1/250 dari tinggi air, pada bendung persegi empat dan bendung lebar penuh adalah 1/150 dari tinggi air.
- Untuk pengukuran permukaan air, harus digunakan alat ukur pelampung dan kait ukur yang dapat memberikan ketelitian yang diperlukan.
- Pengukuran tinggi air dilaksanakan sesudah air dalam tangki kecil itu telah menjadi tenang.

[Rumus-rumus debit]

Rumus-rumus debit adalah sebagai berikut;

(1) Bendung segitiga siku-siku (Gbr. C)

$$Q = K h^{5/2}$$

Q : debit (m³/menit)

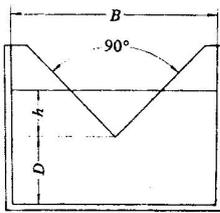
h: tinggi air (m)

K: Koefisien debit

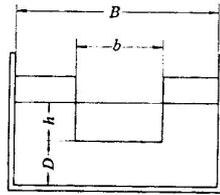
$$= 81,2 + \frac{0,24}{h} + \left(8,4 + \frac{12}{\sqrt{D}} \right) \left(\frac{h}{B} - 0,09 \right)^2$$

B: lebar saluran (m)

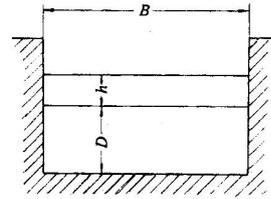
D : tinggi dan dasar saluran ke titik terendah dari bendung (m)



Gbr. C



Gbr. D



Gbr. E

Interval penerapan rumus ini adalah,

$$B = 0,50 \text{ sampai } 1,20 \text{ m}$$

$$D = 0,10 \text{ sampai } 0,75 \text{ m}$$

$$h = 0,07 \text{ sampai } 0,26 \text{ m.}$$

$$h = < B/3.$$

Jika D lebih dari 100 mm, pengukuran debit tidak akan terganggu. Jika kurang dari 100mm pengukuran akan dipengaruhi oleh dasar saluran. Jadi Jika mungkin harus digunakan saluran yang lebih dalam. Untuk pengukuran debit yang lebih besar diperlukan perhatian yang lebih besar.

Jika lebar B dan dalamnya D melampaui interval tersebut di atas, maka pengukuran harus diadakan menurut syarat-syarat sebagai berikut. Untuk $B > 1,20 \text{ m}$, $D > 0,75 \text{ m}$ maka $0,07 \text{ m} \leq h \leq h'$.

Sebagai hasil perbandingan antara h'_1 dan h'_2 , maka yang lebih kecil diambil sebagai tinggi air h' .

$$h'_1 = \frac{1}{4} (B - 0,20), h'_2 = \frac{1}{3} D.$$

Perhitungan kesalahan-kesalahan (kesalahan kwadrat rata-rata)

$$Q = K h^{5/2}$$

Kesalahan $K = \pm 1,00\%$

$$\text{Kesalahan } h = \pm \frac{100}{250} \%$$

Jadi kesalahan $h^{5/2}$ adalah,

$$\left(\pm \frac{100}{250} \times \frac{5}{2} \right)^2 = 1,0$$

$$\text{Kesalahan } Q = \sqrt{1+1} = \sqrt{2} = \pm 1,4\%$$

Jadi kesalahan rumus ini dalam interval yang diterapkan adalah $\pm 1,4\%$

(2) Bendung persegi empat (Gbr. D)

$$Q = Kb h^{3/2}$$

Q : debit (m^3 /menit)

B : lebar mercu (m)

h : tinggi air (m)

K : Koefisien debit

$$= 107,1 + \frac{0,177}{h} + 14,2 \frac{h}{D} - 25,7 \sqrt{\frac{(B-b)/h}{DB}} + 2,04 \sqrt{\frac{d}{B}}$$

B = lebar saluran (m)

D : tinggi dari dasar saluran ke mercu bendung.

Interval yang diterapkan dalam rumus ini adalah,

$B = 0,50$ sampai $6,30$ m

$D = 0,15$ sampai $5,50$ m.

$b = 0,15$ sampai $5,0$ m.

$\frac{bD}{B^2}$

= lebih dari $0,06$

$h = 0,03$ sampai $0,45 \sqrt{b}$ (m)

Perhitungan kesalahan.

$$Q = Kbh^{3/2}$$

Kesalahan dari $K \pm 1,0\%$ $(\pm 1,0)^2 = 1,00$

Kesalahan $b \pm 0,1\%$ $(\pm 0,1)^2 = 0,01$

Kesalahan $h \pm \frac{100}{150}\%$

Jadi kesalahan $h^{3/2}$ adalah $\left(\pm \frac{100}{250} \times \frac{3}{2}\right)^2 = 1,00$

Kesalahan $Q = \sqrt{1,0 + 0,01 + 1,0} = \sqrt{2,01} = \pm 1,4\%$.

Jadi kesalahan rumus ini dalam interval yang diterapkan adalah $\pm 1,4\%$.

(3) Bendung lebar penuh (Gbr. E)

$$Q = Kbh^{3/2}$$

Q : debit (m^3 /menit)

B : lebar bendung.

h : tinggi air (m)

K : Koefisien debit

$$= 107,1 + \left(\frac{0,177}{h} + 14,2 \frac{h}{D} \right) (1 +)$$

D : tinggi dari dasar saluran ke mercu bendung (m).

: suku pengkoreksi,

untuk $D < 1$ m. $\rightarrow = 0$

untuk $D < 1$ m. $\rightarrow = 0,55 (D - 1)$

Interval untuk penerapan rumus ini adalah,

B = lebih dari 0,50 m

D = 0,30 sampai D m (tetapi h kurang dari 0,8 m)

$h = < 5/4$.

Perhitungan kesalahan-kesalahan,

$$Q = KBh^{3/2}$$

Kesalahan $K \pm 1,5\%$ $(\pm 1,5)^2 = 2,25$

Kesalahan $B \pm 0,1\%$ $(\pm 0,1)^2 = 0,01$

Kesalahan $h \pm 150\%$

Jadi kesalahan $h^{3/2}$ adalah $\left(\pm \frac{100}{250} \times \frac{3}{2} \right)^2 = 1,00$

Kesalahan $Q = \sqrt{2,25 + 0,01 + 1,0 + 11} = \sqrt{3,26} = \pm 1,4\%$.

Jadi kesalahan rumus ini dalam interval penerapannya adalah $\pm 1,81\%$.

4.2.7 Terminologi permukaan air sungai dan debit

(1) Permukaan air sungai

(a) *Permukaan air rata-rata*: Permukaan air rata-rata adalah jumlah permukaan air yang diamati untuk suatu perioda tertentu dibagi banyaknya pengamatan. Terminologinya tergantung dari perioda pengamatan; permukaan air rata-rata bulanan, permukaan air rata-rata tahunan dan seterusnya.

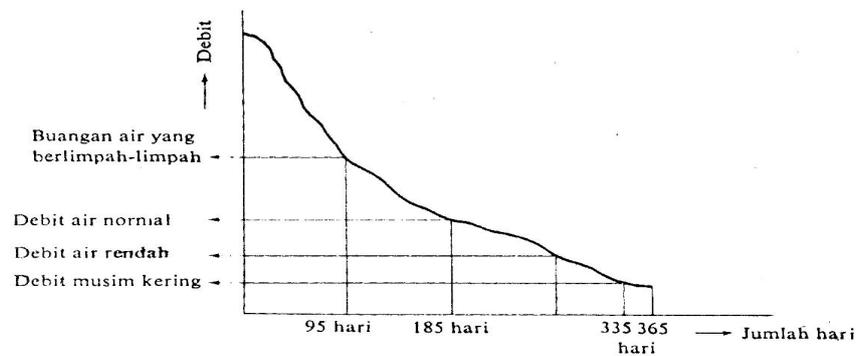
(b) *Permukaan air tinggi rata-rata*: Harga rata-rata permukaan air yang tinggi. Juga terdapat permukaan air tinggi rata-rata bulanan, tahunan dan seterusnya, tergantung dari perioda pengamatannya.

(c) *Permukaan air rendah rata-rata*: Harga rata-rata permukaan air yang rendah.

(2) Debit sungai

- (a) *Debit air musim kering*: Debit yang dilampaui oleh debit-debit sebanyak 355 hari dalam setahun.
- (b) *Debit air rendah*: Debit yang dilampaui oleh debit-debit sebanyak 275 hari dalam setahun.
- (c) *Debit air normal*: Debit yang dilampaui oleh debit-debit sebanyak 185 hari dalam setahun.
- (d) *Debit air cukup (affluent)*: Debit yang dilampaui oleh debit-debit sebanyak 95 hari dalam setahun.

Untuk memperoleh debit-debit tersebut di atas, maka harus dibuatkan kurva kondisi aliran. Kurva ini adalah gambar debit-debit selama 365 hari yang disusun mulai dari yang terbesar. Lihat Gbr. 8-40.



Gambar. 4.35 Kurva kondisi aliran.

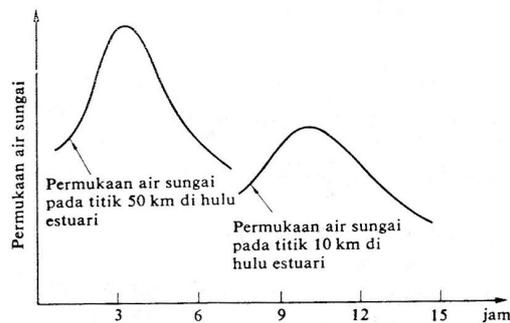
BAB. V
ANALISIS BANJIR

5.1 Perkiraan banjir

Keamanan bangunan-bangunan di sungai terhadap banjir, harus ditentukan dengan pengolahan data debit secara statistik dan penentuan perioda ulangnya sesuai dengan pentingnya bangunan-bangunan itu.

5.2 Gelombang banjir

Permukaan air banjir itu mulai meningkat pada suatu titik, kemudian mencapai maksimum dan berangsur-angsur menjadi rendah. Gbr. 8-41 memperlihatkan posisi yang permukaan air maksimum yang bergerak ke hilir. Kecepatan perpindahan ini adalah lebih cepat dari kecepatan aliran dan mengingat pergerakan ini memperlihatkan suatu sifat gelombang, maka pergerakan ini disebut gelombang banjir.



Gambar. 5.1 Gelombang banjir

Untuk koefisien kekasaran dan gradien permukaan air yang tetap, kecepatan perpindahan banjir itu dapat diperlihatkan oleh rumus (8.50). Rumus ini disebut hukum Kleitz-Seddon,

67

$$\frac{\omega}{V} = 1 + \frac{2}{3} A \frac{d(\log_e R)}{dA} \dots\dots\dots(8.50)$$

ω : kecepatan perpindahan banjir.

V : kecepatan aliran.

A : luas penampang melintang aliran.

R : jari-jari hidrolis.

P : keliling basah.

Jika ω/V dihitung pada penampang melintang di mana jari-jari hidrolis dan luas penampang melintang alirannya dinyatakan sebagai fungsi dalamnya air, maka harganya adalah sebagai berikut.

| | Segiempat Siku-siku Lebar | Parabola | Segitiga |
|--------------------|---------------------------------|----------|----------|
| $\frac{\omega}{V}$ | 1,67 | 1,44 | 1,33 |

Hukum ini tidak tepat karena terlebih dahulu telah ditentukan bahwa corak gelombang banjir tidak berubah sesuai perpindahannya. Akan tetapi secara keseluruhan hukum ini dapat diterapkan. Untuk sungai, ω/V adalah 1,20 sampai 1.70.

5.3 Penyelidikan perjalanan banjir (*Flood tracing*)

Perkiraan corak banjir pada bagian hilir berdasarkan corak banjir di daerah hulu (sumbernya) disebut penyelidikan perjalanan banjir yang digunakan untuk peramalan dan pengendalian banjir. Penyelidikan perjalanan banjir ini dihitung dengan menggunakan persamaan kinetik dan persamaan seri. Akan tetapi cara ini adalah perhitungan yang sangat sulit yang lama dikerjakan. Di samping cara ini, penyelidikan perjalanan banjir dapat dihitung dengan persamaan seri dan persamaan penampungan. Salah satu di antaranya adalah cara Muskingum.

Umpamanya aliran masuk pada sebuah bagian sungai $7\text{m}^3/\text{detik}$ dan aliran keluar $0\text{ m}^3/\text{detik}$. Air yang tertampung selama t detik dalam bagian itu adalah 5m^3 . Persamaan akan menjadi,

$$I - O = \frac{S}{t}$$

Jika diambil sesuatu jangka waktu yang singkat, maka persamaan akan menjadi;

$$\frac{I_1 + I_2}{2} t - \frac{O_1 + O_2}{2} t = S_2 - S_1 \dots\dots\dots(8.51)$$

I_1 : aliran masuk pada permulaan waktu t

I_2 : aliran masuk pada akhir waktu t

Q_t : aliran keluar pada permulaan waktu t

Q_2 : aliran keluar pada akhir waktu t

Mengingat debit dan besarnya penampungan dapat dinyatakan sebagai fungsi dari dalamnya air, maka hubungan antara besarnya penampungan S dan debit Q dapat dinyatakan sebagai berikut,

$$S = K \cdot Q \dots\dots\dots (8.52)$$

Umpamanya angka perbandingan aliran masuk dan aliran keluar yang mempengaruhi besarnya penampungan itu berturut-turut x dan $(1 - x)$, maka

$$S = K[xI + (1 - x)O] \dots\dots\dots (8.53)$$

Dalam sungai-sungai alam, $0 < x < 0,50$

Akan tetapi makin curam kemiringannya, makin besar harga x itu. Biasanya harga x terletak antara 0,10 dan 0,30. Kadang-kadang harga x menunjukkan harga negatif.

K adalah harga dengan satuan waktu dan disebut koefisien penampungan yang kira-kira sama dengan waktu perpindahan banjir dalam bagian sungai itu. Harga K dan x dapat diperoleh dari harga-harga debit I dan O yang diukur.

Umpamanya permulaan dan akhir waktu itu adalah t dan besarnya penampungan itu adalah S_1 dan S_2 , maka

$$S_1 = K[xI_1 + (1 - x)O_1] \dots\dots\dots (8.54)$$

$$S_2 = K[xI_2 + (1 - x)O_2] \dots\dots\dots (8.55)$$

Eliminasi S_1 dan S_2 dengan mensubstitusikan kedua persamaan ini dalam persamaan (8.51) didapat;

$$O_2 = - \left(\frac{Kx - 0,5t}{K - Kx + 0,5t} \right) I_2 + \left(\frac{Kx - 0,5t}{K - Kx + 0,5t} \right) I_2 + \left(\frac{K - Kx - 0,5t}{K - Kt + 0,5t} \right) O_1 \dots\dots\dots (8.56)$$

Umpamanya:

$$C_0 = \frac{Kx - 0,5t}{K - Kx + 0,5t} \dots\dots\dots (8.57)$$

$$C_1 = \frac{Kx - 0,5t}{K - Kx - 0,5t} \dots\dots\dots (8.58)$$

$$C_2 = \frac{Kx - Kx - 0,5t}{K - Kx + 0,5t} \dots\dots\dots (8.59)$$

$$= 1 - C_0 - C_1$$

$$O_2 = C_0 I_2 + C_1 I_1 + C_2 O_1 \dots\dots\dots (8.60)$$

Jadi O_2 dapat dihitung jika I_1 , I_2 dan O_1 dalam rumus dapat diketahui. Dalam penyelidikan perjalanan banjir ke hilir, harga O_2 pada setiap interval waktu berganti diketahui.

Interval waktu yang dipergunakan harus kurang dari 1/10 lamanya banjir. Untuk mendapatkan harga K dan x dari harga-harga pengukuran, rumus-rumus (8.51), (8.54) dan (8.55) harus diselesaikan.

$$K = \frac{t\{0,50(I_1 + I_2) + 0,50(O_1 + O_2)\}}{x(I_2 - I_1) + (1-x)(O_2 - O_1)} \dots\dots\dots (8.61)$$

Harga x diambil 0,10, 0,20, 0,30.....

Pembilang dan penyebut dari rumus di atas dihitung dan digambar pada suatu sistem koordinat dengan penyebutnya sebagai ordinat dan pembilangnya sebagai absis. Harga x harus dipilih sedemikian sehingga diperoleh suatu gambar yang merupakan garis lurus. Harga K didapat dari gradien garis itu. Kolom pertama dalam Tabel 8-16 adalah contoh debit yang diukur di hulu suatu bagian sungai. Kolom kedua adalah debit di hilir bagian sungai itu. Di bawah ini adalah percobaan perhitungan x dan K . Satuan waktu adalah 3 jam. Perhitungan dalam Tabel 5.2

Tabel 5.2 Tabel perhitungan dari cara Muskingum.

| Tanggal | Waktu | ① Aliran masuk I_1 | ② Aliran keluar. O | ③ $\frac{I_1 + I_2}{2}$ | ④ $\frac{O_1 + O_2}{2}$ | ⑤ ③-④ | ⑥ $\frac{⑤ \times 3^{hr}}{\times 3600^s}$ | ⑦ $I_2 - I_1$ | ⑧ $O_2 - O_1$ | $x = 0,2$ | | $x = 0,3$ | | | |
|---------|-------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------|--|------------------|------------------|---------------------|---------------------|-----------|---------------------|---------------------|------|
| | | | | | | | | | | ⑨ $⑦ \times 0,2$ | ⑩ $⑧ \times 0,8$ | ⑪ | ⑫ $⑦ \times 0,3$ | ⑬ $⑧ \times 0,7$ | ⑭ |
| | | (m ³ /det) | (m ³ /det) | | | | (10 ³ m ³) | | | | | | | | |
| 25 | 11 | 15 | 15 | | | | | | | | | | | | |
| | 14 | 20 | 15 | 17,5 | 15 | 2,5 | 27 | 5 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1,5 | 0 | 1,5 |
| | 17 | 30 | 20 | 25 | 17,5 | 7,5 | 81 | 10 | 5 | 2 | 4 | 6 | 3 | 3,5 | 6,5 |
| | 20 | 70 | 35 | 50 | 27,5 | 22,5 | 243 | 40 | 15 | 8 | 12 | 20 | 12 | 10,5 | 22,5 |
| | 23 | 150 | 60 | 110 | 47,5 | 62,5 | 675 | 80 | 25 | 16 | 20 | 36 | 24 | 17,5 | 41,5 |
| 26 | 2 | 280 | 160 | 215 | 110 | 105 | 1135 | 130 | 100 | 26 | 80 | 106 | 39 | 70 | 109 |
| | 5 | 200 | 220 | 240 | 190 | 50 | 540 | -80 | 40 | -16 | 32 | 16 | -24 | 28 | 4 |
| | 8 | 170 | 210 | 185 | 215 | -30 | -324 | -30 | -10 | -6 | -8 | -14 | -9 | -7 | -16 |
| | 11 | 140 | 170 | 155 | 190 | -35 | -378 | -30 | -40 | -6 | -32 | -38 | -9 | -28 | -37 |
| | 14 | 110 | 140 | 125 | 155 | -30 | -324 | -30 | -30 | -6 | -24 | -30 | -9 | -21 | -30 |
| | 17 | 90 | 120 | 100 | 130 | -20 | -216 | -20 | -20 | -4 | -16 | -20 | -6 | -14 | -20 |
| | 20 | 70 | 100 | 80 | 110 | -30 | -324 | -20 | -20 | -4 | -16 | -20 | -6 | -14 | -20 |

Aliran masuk rata-rata $(I_1 + I_2)/2$ dihitung dalam kolom 3.

Aliran keluar rata-rata $(O_1 + O_2)/2$ dihitung dalam kolom 4.

Besarnya yang ditampung dalam bagian ini per detik diperlihatkan dalam kolom 5. Kolom 6 memperlihatkan besarnya yang ditampung selama interval waktu (3 jam).

Harga-harga yang diperlukan untuk perhitungan pembilang dalam rumus (8.61) terdapat dalam kolom-kolom 7 dan 8.

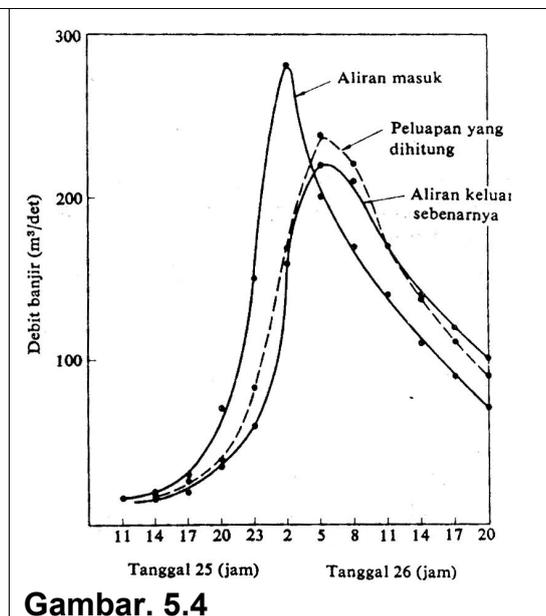
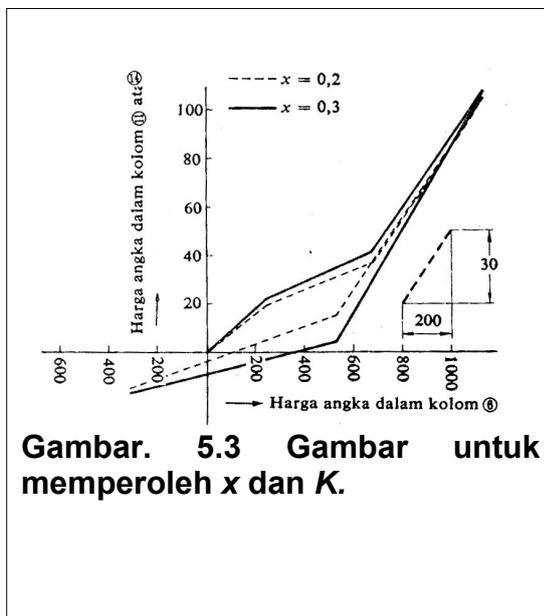
Suku pertama dari pembilang dalam rumus (8.61) untuk $x = 0.20$ terdapat dalam kolom 9.

Dalam kolom 10 terdapat suku kedua dari pembilang dan rumus (S.61) untuk $x = 0,20$ atau $(1 - x) = 0,80$.

Kolom 11 memperlihatkan pembilang dalam rumus (8.61).

Pembilang dengan $x = 0,30$ dihitung dalam kolom 12. 13 dan 14.

Gbr. 8-42 memperlihatkan hubungan antara kolom 6 dan 11 atau 14. Dari gambar dapat dilihat bahwa garis untuk $x = 0,20$ adalah lebih lurus dan pada $x = 0,30$. Jadi yang digunakan adalah harga-harga yang didapat pada $x = 0,20$ Gradien garis: untuk ordinal sebesar $20 \text{ m}^3/\text{detik}$ terdapat harga absis $200 \times 10^3 \text{ m}^3$.



K adalah besarnya absis dibagi besarnya ordinal, jadi

$$K = \frac{200.000\text{m}}{20\text{m}^3/\text{detik}} = 10.000 \text{ detik} = 2,78 \text{ jam}$$

Jadi dengan $K = 2,78 \text{ jam}$ dan $x = 0,20$ didapat;

$$C_0 = \frac{2,78 \times 0,20 + 0,50 \times 3}{2,78 - 2,78 \times 0,2 + 0,5 \times 3} = 0,25$$

$$C_1 = \frac{2,78 \times 0,2 + 0,5 \times 3}{2,78 - 2,78 \times 0,2 + 0,5 \times 3} = 0,55$$

$$C_2 = \frac{2,78 \times 0,78 + 0,2 - 0,5 \times 3}{2,78 - 2,78 \times 0,2 + 0,5 \times 3} = 0,20$$

Dengan menggunakan koefisien-koefisien ini, maka diadakan perhitungan debit-debit dari aliran masuk yang terdapat dalam kolom 1 dalam Tabel 8-15. Kemudian harga-harga yang dihitung ini dibandingkan dengan harga-harga yang diukur. Hasilnya dapat dilihat dalam Tabel 8-17 dan Gbr. 8-43.

5.4 Pengendalian banjir

Waduk atau cekungan penampung itu digunakan untuk mengontrol/mengendalikan debit puncak banjir. Untuk pengendalian banjir dengan waduk harus diketahui,

- Hubungan antara permukaan air dan kapasitas penampungan.
- Hubungan antar permukaan air dan debit.

$$O + \frac{S}{t} = I \quad \dots\dots\dots (8.62)$$

O: aliran keluar

I: aliran masuk

S: besarnya penampungan dalam t jam

t: interval waktu

Tabel 5.4 Penyelidikan perjalanan banjir dengan cara muskingum

| Tanggal | Waktu | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | ⑦ |
|---------|-------|--|---|---|---|--|--|---------|
| | | Aliran masuk pada titik permulaan (m ³ /det) | C ₀ I ₂ C ₀ × ① | C ₁ I ₁ C ₁ × ① | C ₂ O ₁ C ₂ × ⑤ | Aliran keluar pada titik akhir O ₁ ② + ③ + ④ | Aliran keluar yang diukur pada titik akhir O ₁ (m ³ /det) | Selisih |
| 25 | 11 | 15 | | | | 15 | 15 | |
| | 14 | 20 | 5 | 8,25 | 3 | 16,3 | 15 | +1,25 |
| | 17 | 30 | 7,5 | 11,0 | 3 | 26 | 20 | +6 |
| | 20 | 70 | 17,5 | 16,5 | 5 | 39 | 35 | +4 |
| | 23 | 150 | 37,5 | 38,5 | 7 | 83 | 60 | +23 |
| 26 | 2 | 280 | 70,0 | 82,5 | 17 | 169,5 | 160 | +9,5 |
| | 5 | 200 | 50 | 154 | 34 | 238 | 220 | +18 |
| | 8 | 170 | 42,5 | 110 | 48 | 200,5 | 210 | -9,5 |
| | 11 | 140 | 35 | 93,5 | 40 | 168,5 | 170 | -1,5 |
| | 14 | 110 | 27,5 | 77 | 34 | 138,5 | 140 | -1,5 |
| | 17 | 90 | 22,5 | 60,5 | 28 | 110 | 120 | -10,0 |
| | 20 | 70 | 17,5 | 49,5 | 22 | 89 | 100 | -11,0 |

Dari K = 2,78, x = 0,2 yang diperoleh dengan pengukuran, didapat C₀ = 0,25, C₁ = 0,55, C₂ = 0,20
 Dengan harga-harga ini dapat diperoleh aliran keluar O₂ pada titik akhir.

Tabel 5.5 Perhitungan Pengendalian Banjir

| | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | ⑦ | ⑧ |
|-----|------------------------|----------------------------|----------------------------|---|---|---------------------|----------------------------|--|
| | Aliran masuk per-detik | Aliran masuk perjam | Aliran keluar per jam | Besarnya penampungan yang dikurangi (m ³) | Besarnya penampungan akumulatif (m ³) | Daerah penampungan. | Kenaikan permukaan air (m) | Aliran keluar perdetik (m ³ /det) |
| Jam | (m ³ /det) | ① × 3600 (m ³) | ⑦ × 3600 (m ³) | ② - ③ | ⑤ + ④ | (m ³) | ⑤ ÷ ⑥ | ⑦ dan gambar. |
| 11 | 15 | 54.000 | | 54.000 | 54.000 | 1.000.000 | 0,05 | 1 |
| 12 | 20 | 72.000 | 3.600 | 68.400 | 122.400 | 1.002.500 | 0,128 | 2 |
| 1 | 30 | 108.000 | 7.200 | 100.800 | 223.200 | 1.006.400 | 0,222 | 8 |
| 2 | 70 | 252.000 | 28.800 | 223.200 | 446.400 | 1.011.100 | 0,441 | 17 |
| 3 | 150 | 540.000 | 61.200 | 478.800 | 925.200 | 1.022.000 | 0,905 | 46 |
| 4 | 280 | 1.010.000 | 161.000 | 849.000 | 1.774.200 | 1.045.250 | 1,70 | 118 |
| 5 | 200 | 720.000 | 425.000 | 295.000 | 2.069.200 | 1.085.000 | 1,91 | 138 |
| 6 | 170 | 612.000 | 497.000 | 115.000 | 2.184.200 | 1.095.500 | 2,00 | 148 |
| 7 | 140 | 504.000 | 533.000 | -29.000 | 2.155.200 | 1.100.000 | 1,96 | 144 |
| 8 | 110 | 396.000 | 518.000 | -122.000 | 2.033.200 | 1.098.000 | 1,85 | 132 |
| 9 | 90 | 324.000 | 475.000 | -151.000 | 1.882.200 | 1.092.500 | 1,72 | 118 |
| 10 | 70 | 252.000 | 425.000 | -173.000 | 1.709.200 | 1.086.000 | 1,57 | 104 |

⑧ hanya dalam kolom atas

⑤ hanya dalam kolom atas.

Contoh menghitung debit untuk sebuah bendungan dengan lebar bangunan peluap 30m dan aliran masuk seperti yang terdapat dalam kolom 1 Tabel 8-18. Luas daerah penampungan adalah 100 ha dengan penambahan 5 ha untuk setiap kenaikan air 1 m.

Umpamanya debit yang melimpah pada bangunan peluap itu adalah:

$$Q = 1,8BH^{3/2} \dots\dots\dots(8.63)$$

Q: debit (m³/detik)

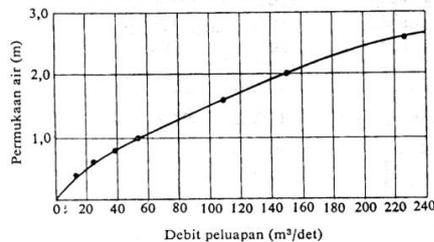
B: lebar peluap (m)

H: dalamnya peluapan (m)

Perhitungan antara kenaikan permukaan air *H* dan debit *Q* terlihat dalam Tabel 3-19 dan Gbr. 8-44.

Tabel 5.6 Debit yang melimpah pada bendung $Q = 1,8BH^{3/2}$

| Dalamnya pelimpahan. H | $H^{3/2}$ | Debit Q (m^3/det) $1,8 \times 30 m$ $\times H^{3/2}$ | Dalamnya pelimpahan. H | $H^{3/2}$ | Debit Q (m^3/det) $1,8 \times 30 m$ $\times H^{3/2}$ | Dalamnya pelimpahan. H | $H^{3/2}$ | Debit Q (m^3/det) $1,8 \times 30 m$ $\times H^{3/2}$ |
|--------------------------------|-----------|---|--------------------------------|-----------|---|--------------------------------|-----------|---|
| 0,2 | 0,089 | 4,8 | 1,2 | 1,32 | 71,3 | 2,2 | 3,26 | 176 |
| 0,4 | 0,25 | 13,5 | 1,4 | 1,66 | 89,6 | 2,4 | 3,7 | 200 |
| 0,6 | 0,46 | 24,8 | 1,6 | 2,02 | 109 | 2,6 | 4,2 | 227 |
| 0,8 | 0,72 | 38,8 | 1,8 | 2,4 | 129,5 | | | |
| 1,0 | 1,0 | 54,0 | 2,0 | 2,8 | 151,2 | | | |



Gambar. 5.5 Permukaan air dan debit peluapan.

Perhitungan debit dapat dilihat dalam Tabel 8-18 dengan urutan sebagai berikut:

Dalam kolom adalah aliran masuk per detik.

Dalam kolom adalah aliran masuk pada interval waktu 1 jam. (makin pendek intervalnya, makin tepat angkanya).

Kolom adalah aliran keluar atau harga dalam satu baris bagian atas kolom (8) dikali 3.600 detik.

Kolom adalah besarnya penampungan dalam waduk pada interval waktu kolom-kolom dan

Kolom adalah besarnya penampungan pada waktu itu, yakni satu baris bagian atas kolom dan

Kolom adalah luas daerah air. Luas daerah air bertambah sesuai dengan kenaikan permukaan air itu. Pada contoh ini, penambahan luas adalah 5 ha per m kenaikan.

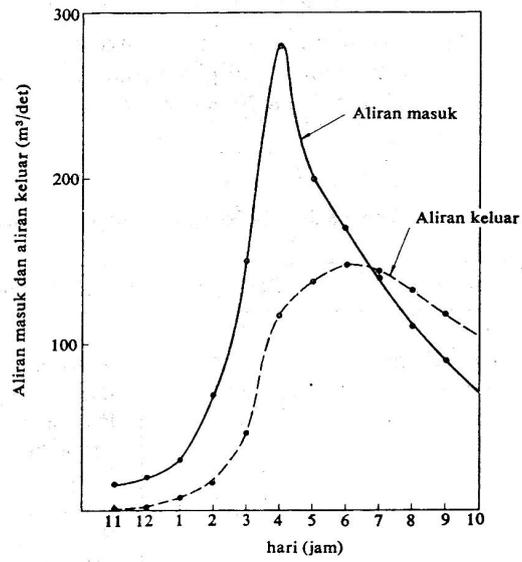
Jadi,

$$\text{Luas daerah air} = 1.000 \times 10^3 + 50 \times 10^3 \times (\text{tinggi kenaikan permukaan air}) \text{ m}^2.$$

Kolom adalah tinggi kenaikan permukaan air, yakni kolom dibagi kolom

Kolom adalah debit yang didapat dari Gambar 8-44 sesuai dengan kenaikan permukaan air dalam kolora.

Hubungan antara aliran masuk dan aliran keluar dapat dilihat dalam Gbr. 8-45. Menurut gambar ini, debit puncak banjir sebesar kira-kira $130 \text{ m}^3/detik$ itu dapat direduksi.



Gambar. 5.6. Aliran masuk dan aliran keluar.

BAB VI
PENGARUH AIR YANG MENGALIR

Erosi, pengangkutan dan sedimentasi adalah akibat pengaruh air yang mengalir yang disebut tiga pengaruh yang besar. Pengangkutan sedimen oleh air yang mengalir dibagi dalam pengangkutan oleh suspensi dan pengangkutan oleh gaya seret (*tractive force*). Pengangkutan oleh suspensi adalah peristiwa dispersi (penyebaran) air yang oleh daya seret adalah peristiwa gaya yang diakibatkan oleh aliran pada butir-butir pasir. Pengaruh-pengaruh ini adalah akibat kombinasi dari karakteristik hidrolis aliran dan karakteristik pasir dan kerikil dasar sungai.

6.1 Karakteristik pasir dan kerikil pada dasar sungai

(1) Distribusi butir pasir dan kerikil

Bahan pada dasar sungai terdiri dari pasir dan kerikil yang bercampur dalam ukuran yang berbeda-beda. Distribusi ukuran-ukuran ini disebut distribusi butir. Logaritma diameter butir dicantumkan pada absis dan persentasi akumulatif berat pada ordinal. Harga-harga distribusi butir yang digunakan adalah sebagai berikut.

(a) *Diameter median*: Diameter median adalah diameter butir yang sesuai dengan persentasi akumulatif 50 dan dinyatakan dengan $f_{>50}$.

(b) *Diameter rata-rata*:

$$d_m = \frac{\sum_{p=0}^{p=100} dx \Delta p}{\sum_{p=0}^{p=100} \Delta p} \dots\dots\dots (8.64)$$

d: diameter pada suatu interval persentasi yang tetap.

Δp : suatu interval persentasi yang tetap.

d_m: diameter rata-rata.

77

(2) Berat jenis pasir dan kerikil

Berat jenis pasir dan kerikil adalah salah satu dari karakteristik-karakteristik dasar sungai. Pasir dan kerikil pada dasar sungai berasal dan batuan di daerah sekelilingnya.

Berat butir dalam air adalah,

$(P_s - P) \dots\dots\dots (8.65)$

p_s: berat jenis butir

p : berat jenis air ($p = 1$ pada 4°C)

Seperti telah diperlihatkan di atas, mengingat kesalahan 5% dalam pengukuran berat jenis butir itu menjadi 2 kali jika berada dalam air, maka berat jenis itu harus ditentukan dengan teliti. Tabel 8-20 memperlihatkan berat jenis batu-batuan yang terdiri dari mineral-mineral.

Tabel 6.1 Berat jenis komponen-komponen tanah.

| Komponen | Berat jenis | Komponen | Berat jenis |
|-----------------|-------------|----------------------|-------------|
| Plaster | 2,32 | Dolomite | 2,87 |
| Montmorillonite | 2,4* | Aragonite | 2,94 |
| Orthoclase | 2,56 | Biotite | 3,0–3,1 |
| Kaolinite | 2,6 | Pyroxene | 3,2–3,4 |
| Illite | 2,6* | Amphibole | 3,2–3,5 |
| Chlorite | 2,6–3,0 | Limonite | 3,8 |
| Quartz | 2,66 | Hematite | 4,3 ± |
| | | (including Hydrogen) | |
| Steatite | 2,7 | Magnetite | 5,17 |
| Calcite | 2,72 | Hematite | 5,2 |
| White mica | 2,8-2,9 | | |

*Harga teoritis yang dihitung berdasarkan berat atom yang membentuk.

(3) Corak dari pasir dan kerikil

Hal ini menunjukkan secara kuantitatif bagaimana bentuk dari pasir dan kerikil itu berubah jika dibandingkan dengan sebuah bola. Semakin banyak perubahannya, semakin lambat kecepatan sedimentasi dalam air. Hal-hal ini merupakan juga faktor-faktor yang mempengaruhi erosi dan sedimentasi.

Corak itu dinyatakan oleh laju bentuk bola (*sphericity rate*).

$$\text{Sphericity rate} = \frac{(\text{luas permukaan butir})}{(\text{luas permukaan bola yang mempunyai volume yang sama dengan butir itu})} \dots (8.66)$$

6.2 Gaya seret (*tractive force*)

Gaya seret adalah,

$$= w.h.L \dots (8.67)$$

: gaya seret

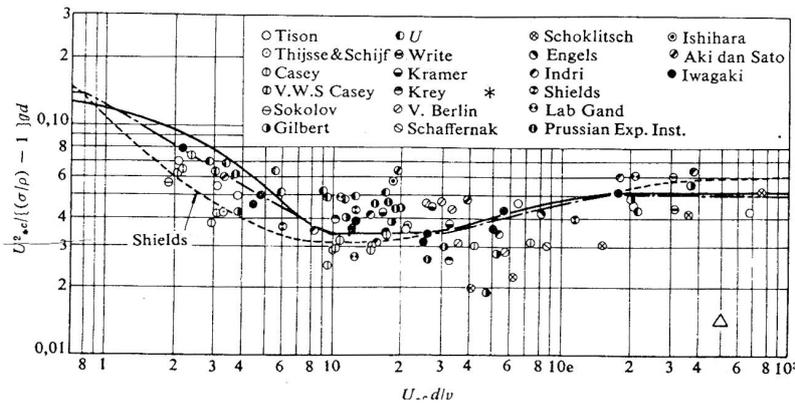
w: berat air (1.000 kg/m³)

h: dalamnya air

I: gradien hidrolis dari sungai

Dengan dalam 1 m dan gradien hidrolis 1/500,

$$= 100 \text{ kg/m}^3 \times 1 \text{ m} \times \frac{1}{500} = 2 \text{ kg/m}^2 = 0,2 \text{ g/cm}^2 \dots\dots\dots (8.68)$$



Gambar. 6.1 Hubungan bilangan tak-berdimensi Shield.

6.3 Angka tak berdimensi Shield

Dalam tahun 1936 Dr. Shield menyatakan hubungan antara gaya seret dan diameter butir dengan dua buah angka tak berdimensi seperti yang diperlihatkan dalam Gbr. 8-46 untuk menjelaskan peristiwa gerakan pasir dan kerikil, dan

$$\frac{U_* d}{\nu} \text{ dan } \frac{U_*^2}{(p_s / p - 1)gd} \dots\dots\dots (8.69)$$

U_* : kecepatan geseran = \sqrt{ghI}

g: kecepatan gaya berat

h: dalamnya air

I: gradien hidrolis

d: diameter butir pasir dan kerikil

p_s : berat jenis pasir dan kerikil.

p: berat jenis air.

ν : koefisien kekentalan kinematis.

Rumus eksperimental yang menyatakan hubungan antara gaya seret kritis ini dan ukuran butir adalah rumus Iwagaki.

Menurut rumus ini, jika

$$P_s/p = 2,65$$

$$v = 0,01 \text{ cm}^2/\text{detik} \text{ (pada } 20,3^\circ\text{C temperatur air).}$$

$$g = 980 \text{ cm}^2/\text{detik}.$$

maka didapat hasil-hasil sebagai berikut, (d dalam cm).

$$d \geq 0,303 U_*^2 c = 80,9d$$

$$0,118 \leq d \leq 0,303 U_*^2 c = 134,6d^{31/22}$$

$$0,0565 \leq d \leq 0,118 U_*^2 c = 55d$$

$$0,0065 \geq d \leq 0,0565 U_*^2 c = 8,41d^{11/32}$$

$$d \leq 0,0565 U_*^2 c = 226d$$

U_*c : kecepatan geseran kritis yakni kecepatan geseran pada waktu butir-butir mulai bergerak (dimensinya adalah dalam satuan kecepatan, jadi disebut kecepatan).

Umpamanya dalamnya air 0,5 m, gradien hidrolis 1/2.000 dan bahan dasar sungai itu terdiri dari kerikil diameter 1 mm dengan berat jenis 2,65, maka,

$$U_*^2 c = ghI = 9,8 \text{ m/detik}^2 \times 1/2.000 = 0,00245 \text{ m}^2/\text{detik}^2$$

$$\text{Kecepatan geseran } U_* = \sqrt{0,00245} = 0,0495 \text{ m/detik}$$

$$\frac{U_*^2 d}{v} = \frac{0,0495 \text{ m/detik} \times 0,001 \text{ m}}{0,000001 \text{ m}^2/\text{detik}} = 49,5 = 50$$

$$(v = 0,01 \text{ cm}^2/\text{detik} = 0,000001 \text{ m}^2/\text{detik})$$

$$\frac{U_*^2 d}{(p_s p - 1)gd} = \frac{0,00245 \text{ m}^2/\text{detik}^2}{(2,65 - 1) \times 9,8 \text{ m/detik}^2 \times 0,005 \text{ m}}$$

Jadi pada titik yang terletak dengan tanda *, bahan-bahannya digerakkan.

Jika $d = 1 \text{ cm} = 10 \text{ mm}$

$$\frac{U_* d}{\tau} = 500$$

$$\frac{U_*^2 d}{(p_s p - 1)gd} = 0,015$$

Bahan-bahan pada titik yang terletak dengan tanda A tidak bergerak. Gradien yang mengakibatkan pasir dengan diameter 5 mm itu bergerak, adalah sebagai berikut; Mengingat $d = 5 \text{ mm} > 0,303 \text{ cm}$ dalam rumus Iwagaki,

$$U_*^2 c = 80,9 d = 80,9 \times 0,5 = 40,45 \text{ cm}^2/\text{detik}^2.$$

Umpamanya dalamnya air 0,5 m, maka kecepatan geseran adalah;

$$U^2 = ghI = 980 \text{ cm/detik}^2 \times 50 \text{ cm} \times I = 40,45 \text{ cm}^2/\text{detik}^2.$$

$$I = \frac{40,45}{980 \times 50} = 0,000826 = \frac{1}{1.200}$$

Kesimpulan

Air sangat dibutuhkan oleh makhluk hidup di dunia ini. Keberadaan air sangat tergantung dari sumber air baik itu air hujan, air sungai, air danau dan air laut. Air sangat penting dalam suatu proses baik fisik, kimia, dan biologi, karena air mempunyai kemampuan dalam suatu proses kimia fisik dan biologi tergantung di mana air berada. Air kalau tidak dikelola dengan benar akan mengakibatkan krisis air atau banjir, bahkan pencemaran yang akan mengakibatkan kerugian yang sangat besar bagi makhluk hidup. Pengelolaan air bertujuan untuk menggunakan air secara efisien sesuai dengan kebutuhan, sehingga perlu pemantauan, identifikasi dan pemantauan yang terus menerus.

LITERATUR/ REFERENSI/

- 1, Sayono, Sastrodarsono & Takeda Kensaku, 1993. Hidrologi untuk pengairan. Jakarta: Pradnya Paramitha. Surbakah, Iman. 1980. Perencanaan untuk bangunan air. Bandung: Penerbit Idea Dharma.
- Stasiun Klimatologi Semarang. 2009 Prakiraan Musim hujan. Desember 2009
 - Lakitan, 1994. Dasar-dasar Klimatologi. Jakarta: Persada Raja Grafindo.
 - Steinberg, D, dan Phillip C. 2005. CART_Clasification Regression Trees. CA: San Diego.
 - Sujono, Sastrodarsono dan Kensaku Takeda hidrologi untuk pengairan PT Pradnya paramita Jakarta 1978
 - EF Schulz in Applied Hydrology Water Resource Publication Fort Collins, Colorado USA 1973
 - A Bonier "statistical and probability analysis of hydrological data Government of the Indonesia Ministry of Public Works, Direktorat General of Water Resource Development – SCET International Bandung Februari 1980
 - Efendi, H. 2003. *Kualitas air bagi pengelolaan sumber daya perairan*. PT Kanisius Yogyakarta.
 - Fairchild, G.I., D.A.J. Barry, M.J. Goss, A.S. Hamill, P. Lafrance, P.H. Milburn, R.R. Simard., and B.J. Zebarth. 2000. *Groundwater Quality*. In *The Health of Our Water Toward Sustainable Agriculture in Canada*. Ed. Coote, D.R. and Gregorich, L.J. Research Branch Agriculture and Agri-Food Canada. Publ. 2020/E.
 - Gegner, L. 2002. *Organic Alternatives to Treated Lumber*. NCAT/ATTRA, Fayetteville, AR.
 - Harker, D.B., P.A. Chambers, A.S. Crowe, G.L. Fairchild, and E. Kienholz. 2000. *Understanding Water Quality*. In *The Health of Our Water Toward Sustainable Agriculture and Agri-Food Canada*. Publ. 2020/E.

- Hendricky, C., R. Lambert, X. Sauvenier and A. Peeters, 2005. *Sustainable nitrogen management in agriculture : An action programme towards protecting water resources in Alwoon Religon (Belgium)*. Paper presented on OECD Workshop on Agriculture and Water : Sustainability, Markets and Policies. Australia.
- Heider J. And R, Rabus. 2008. *Genomic Insights in The Anerabic Biodegradation of Organic Pollutans*. Microbial Degradaton. Genomic and Molecular Biologuy. Caister Academic Press.