

TENTANG PENULIS



Dr. Eng. Ir. Liany Amelia Hendratta, M. Si

Lahir pada tanggal 20 Maret 1966 di Manado, Sulawesi Utara. Menyelesaikan pendidikan sarjana Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi pada tahun 1989, magister sains Perencanaan dan Pengembangan Wilayah pada tahun 1998 di Universitas Sam Ratulangi, dan doctor Teknik Sipil bidang minat *Hydraulic Engineering* pada tahun 2013 di Kumamoto University, Jepang. Berkarir dibidang pendidikan sebagai seorang dosen di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi, Manado mulai pada tahun 1991 sampai sekarang. Mata kuliah yang diampu adalah Mekanika Fluida, Hidraulika, Irigasi dan Bagunan Air, Rekayasa Sumber Daya Air, Drainase dan Pengendalian Banjir, Rekayasa Sungai dan Aliran Air Tanah. Aktif dalam mengikuti berbagai pertemuan ilmiah dan telah mempublikasikan kurang lebih 48 artikel pada jurnal nasional dan internasional bereputasi. Selain itu, bekerjasama dalam kegiatan profesi seperti yang diselenggarakan oleh Lembaga Pengembangan Jasa Konstruksi Sulawesi Utara.

Ir. Hanny Tangkudung, MT



Lahir pada tanggal 2 April 1958 di Manado, Sulawesi Utara. Menyelesaikan pendidikan sarjana Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi pada tahun 1988, magister sains Teknik Sipil pada tahun 2010 di Universitas Sam Ratulangi, Berkarir dibidang pendidikan sebagai seorang dosen di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi, Manado mulai pada tahun 1989 sampai sekarang. Bekerja sama dengan instansi pemerintah maupun swasta dalam kegiatan penelitian dan pengabdian kepada masyarakat.

Liany Amelia Hendratta & Hanny Tangkudung

REKAYASA SUMBER DAYA AIR

Dr.Eng. Ir. Liany Amelia Hendratta, MSi
Ir. Hanny Tangkudung, MT

REKAYASA SUMBER DAYA AIR



ISBN 978-623-6626-64-1



Penerbit
**CV. PATRA MEDIA GRAFINDO
BANDUNG**

Jl. Sekeloa Selatan 1 No. 11 Bandung
40132 Bandung, Jawa Barat, Indonesia
Telp: (022) 2400333 Fax: (022) 2400333
Email: patramedia@pmg.co.id
Website: www.patramedia.co.id



Penerbit
**CV. PATRA MEDIA GRAFINDO
BANDUNG**



Penerbit
**CV. PATRA MEDIA GRAFINDO
BANDUNG**

REKAYASA SUMBER DAYA AIR

Penyusun:

Dr.Eng. Ir. Liany Amelia Hendratta, MSi

Ir. Hanny Tangkudung, MT

PATRA MEDIKA

KATA PENGANTAR

Penulis sebagai pengajar mata kuliah Rekayasa Sumber Daya Air di Jurusan Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi menyusun bahan kuliah yang semula hanya berbentuk catatan kuliah. Dari waktu ke waktu materi tersebut selalu disempurnakan sesuai kebutuhan dan akhirnya disusunlah buku ajar.

Penulisan buku ajar ini dimaksudkan untuk membantu mahasiswa program S1 dalam mempelajari mata kuliah Rekayasa Sumber Daya Air. Untuk mempermudah pemahaman teori yang diberikan, materi yang dibahas dilengkapi dengan contoh soal dan penyelesaiannya. Dengan adanya buku ini diharapkan mahasiswa akan dapat mempelajari lebih teratur dan mendalam materi yang diberikan dalam kuliah. Selain untuk mahasiswa S1, buku ini juga dapat digunakan oleh praktisi dalam melakukan analisis terkait Rekayasa Sumber Daya Air.

Materi yang terkandung dalam buku ini merupakan rangkuman dari beberapa buku referensi seperti yang tercantum dalam daftar pustaka serta pengalaman dalam melaksanakan beberapa penelitian yang terkait dengan Rekayasa Sumber Daya Air.

Disadari bahwa isi buku ajar ini masih jauh dari sempurna, untuk itu penulis mengharapkan saran dan koreksi yang dapat digunakan sebagai masukan bagi penyempurnaan buku ini. Semoga buku ajar ini dapat bermanfaat.

Manado, Oktober 2021

Liany Amelia Hendratta

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
BAB I. PENDAHULUAN	1
1. 1. Pengertian Umum	1
1. 2. Sasaran Teknik Pengembangan Sumber Daya Air	1
1. 3. Pengembangan Sumber-Sumber Daya Air Pada Masa Mendatang	2
1. 4. Ekonomi Teknik Dalam Perancangan Sumber Daya Air	2
BAB II. PENGELOLAAN SUMBER DAYA AIR	4
2. 1. Sumber Air	4
2. 1. 1. Air Laut	6
2. 1. 2. Air Hujan	7
2. 1. 3. Air Permukaan	7
a. Air Sungai	7
b. Air Rawa/Danau	8
2. 1. 4. Air Tanah	8

a. Air Tanah Dangkal	10
b. Air Tanah Dalam	10
c. Mata Air	11
2. 2. Pengukuran Debit Mata Air	12
2. 2. 1. Pengukuran Langsung	13
a. <i>Volumetric Method</i>	13
b. Dengan Menggunakan Bangunan Pengukur	13
2. 2. 2. Pengukuran Tidak Langsung	13
a. Pengapung	13
b. <i>Current Meter</i>	14
2. 3. Kebutuhan Air Bersih	14
2. 3. 1. Jumlah Penduduk	17
a. Analisa Regresi Linier	18
b. Analisa Regresi Logaritma	18
c. Analisa Regresi Eksponensial	19
2. 3. 2. Kebutuhan Air Domestik	20
2. 3. 3. Kebutuhan Air Non Domestik	22
2. 3. 4. Kehilangan Air	23
2. 3. 5. Kebutuhan Air Harian Maksimum dan Jam Puncak	24
2. 3. 6. Kebutuhan Air Total	25

2. 4. Unit-Unit Sistem Penyediaan	
Air Bersih	25
2. 4. 1. Sistem Distribusi Air Bersih	25
a. Sistem Gravitasi	26
b. Sistem Pemompaan	27
c. Sistem Kombinasi	28
2. 4. 2. Jaringan Pipa	32
2. 4. 2. 1. Kehilangan Tenaga	33
2. 4. 3. Reservoir	37
2. 4. 4. Bangunan Penangkap Air	40
a. Tipe Intake Air Baku dari	
Permukaan	40
b. Tipe Intake Sungai	41
2. 4. 5. Hidran Umum	44
2. 4. 6. Unit Pengolahan	45
BAB III. AIR TANAH	50
3. 1. Pengertian Umum	50
3. 2. Infiltrasi dan Perkolasi	56
3. 3. Gradien Hidrolik	58
3. 4. Hukum Darcy	62
3. 5. Koefisien Rembesan	63
3. 6. Penentuan Koefisien Rembesan	

di Laboratorium	64
a. Pengujian Tinggi Energi Tetap	65
b. Pengujian Permeabilitas Dengan Cara Tinggi Energi Turun	67
c. Penentuan Koefisien Permeabilitas dari Pengujian Konsolidasi	71
3. 7. Pengelolaan Air Tanah	74
3. 7. 1. Parameter Fisik	74
a. Bau	75
b. Jumlah Zat Padat Terlarut	75
c. Kekeruhan	78
d. Rasa	81
e. Suhu	82
f. Warna	83
g. Daya Hantar Listrik	85
BAB IV. WADUK	88
4. 1. Perencanaan Waduk	88
4. 2. Karakteristik Fisik Suatu Waduk	90
4. 3. Menentukan Volume Waduk	92
4. 4. Sedimentasi Pada Waduk	96
4. 5. Routing	99
4. 6. Beberapa Aspek Dalam Masalah	

Waduk	108
4. 7. Kasus Perubahan Karakter Angkutan Sedimen	112
4. 8. Beberapa Contoh Permasalahan Pengelolaan Waduk	118
BAB V. TENAGA AIR	125
5. 1. Pendahuluan	125
5. 2. Sumber-Sumber Energi	125
5. 3. Tenaga Air	126
5. 4. Perkiraan Potensi Tenaga Air	127
5. 5. Tipe-Tipe Pembangkit Listrik Tenaga Air	132
a. Klasifikasi Berdasarkan Tujuan/Orientasi Ke-Tujuan	133
b. Klasifikasi Berdasarkan Keadaan Hidrolik	134
c. Klasifikasi Dasar Mengenai Lokasi dan Topografi	135
d. Klasifikasi Dasar Tentang Kapasitas PLTA	135
e. Klasifikasi Dasar Mengenai Berkaitan Dengan Ketinggian	

Tekanan Air	136
f. Klasifikasi Berdasarkan Bangunan	
Konstruksi Utama	137
5. 6. Survei Umum dan Khusus Yang	
Di Perlukan Untuk Proyek	
Pembangkit Listrik Tenaga Air	137
a. Survei Umum	137
b. Survei Khusus untuk Proyek	
Listrik Tenaga Air	142
DAFTAR PUSTAKA	144
BIODATA PENULIS	145

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kriteria/Standar Perencanaan Sistem Air Bersih Pedesaan	22
Tabel 2.2	Beberapa jenis pipa, keuntungan dan Kerugian secara sepintas	33
Tabel 2.3	Koefisien Kekasaran Pipa Menurut Hazen-Wiliams	35
Tabel 2.4	Fluktuasi Pemakaian Air	39
Tabel 2.5	Pedoman Perencanaan Sistem Penyediaan Air Bersih	49
Tabel 3.1	Harga-harga koefisien rembesan	64
Tabel 3.2	Tabel Ion	77
Table 4.1	Data Hidrograf Banjir	104
Table 4.2	Hasil Hitungan Routing	107

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Daur Hidrologi	6
Gambar 2.2	Air Tanah Dangkal Dan Air Tanah Dalam	9
Gambar 2.3	Mata Air	11
Gambar 2.4	Pendistribusian Air Dengan Sistem Gravitasi	27
Gambar 2.5	Pendistribusian Air Dengan Sistem Pompa	28
Gambar 2.6	Pendistribusian Air Dengan Sistem Kombinasi	29
Gambar 2.7	Pola Sistem Pendistribusian Air Bersih Bercabang	31
Gambar 2.8	Pola Sistem Pendistribusian Air Bersih Sistem Loop	31
Gambar 2.9	SIPAS Saringan Pipa Resapan (SPR)	45
Gambar 2.10	SIPAS Saringan Pasir Lambat (SPL)	46
Gambar 2.11	SIPAS Pelindung Mata Air (PMA)	46
Gambar 2.12	SARUT Saringan Batu Padas (SBP)	47
Gambar 2.13	SARUT Saringan Pasir Lambat (SPL)	47
Gambar 2.14	SARUT Penampung Air Hujan	

(PAH)	48
Gambar 3.1.a Formasi Air Di Bawah Muka Tanah	52
Gambar 3.1.b Batas Zone Aeration Dan Zone Saturation	56
Gambar 3.2.a Tekanan, Elevasi, Tinggi Energi Total untuk Aliran di Dalam Tanah	60
Gambar 3.2.b Variasi Kecepatan Aliran v Dengan Gradien Hidrolik i	62
Gambar 3.3 Pengujian Tinggi Energi Tetap	65
Gambar 3.4 Pengujian Cara Tinggi Energi Turun	67
Gambar 3.5 Contoh Soal Pengujian Cara Tinggi Energi Turun	70
Gambar 3.6 Pengujian Konsolidasi	72
Gambar 4.1 Zona-zona Volume Suatu Waduk	91
Gambar 4.2 Hubungan Antara Elevasi dan Volume Tampungan Serta Luas Muka Air	92
Gambar 4.3 Ilustrasi Grafis Terapan Teknik Rippl	94
Gambar 4.4 Kurva Masa Debit Untuk Periode Empat Tahun	94
Gambar 4.5 Ilustrasi Skematik Endapan Sedimen	

	Pada Suatu Waduk	98
Gambar 4.6	Grafik Ilustrasi Metoda Iterasi Newton Rapshon	100
Gambar 4.7	Muka Air Diatas Mercu Bangunan Pelimpah	102
Gambar 4.8	Lebar Bangunan Pelimpah	103
Gambar 5.1	Hubungan Antara % Waktu dan Debit/Tenaga	128

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Pengertian umum

Secara umum materi perkuliahan Rekayasa Sumber Daya Air mempelajari tentang berbagai sumber-sumber daya air untuk memenuhi segala kebutuhan manusia yang sangat luas. Pengembangan sumber daya air memerlukan adanya konsepsi, rancangan, rencana, konstruksi dan operasi dari sarana-sarana untuk pengendalian dan pemanfaatan air. Permasalahan sumber daya air juga terkait dengan bidang ekonomi, geologi serta beberapa ilmu sosial lainnya. Pada setiap proyek pengembangan sumber daya air selalu akan diperhadapkan dengan keadaan atau kondisi fisik aktual yang harus mampu diatasi secara khusus sehingga rencana-rencana baku / standar yang menuju pada penyelesaian yang sederhana dapat diatasi melalui penerapan secara terpadu dari pengetahuan dasar berbagai disiplin ilmu.

1.2. Sasaran teknik pengembangan sumber daya air

Air dikendalikan guna memenuhi berbagai tujuan luas seperti penyediaan air melalui waduk, irigasi, pengembangan tenaga hidroelektrik serta penyempurnaan alur pelayaran sungai. Potensi usaha-usaha teknis dan nonteknis seperti pengamanan

banjir serta pelestarian keindahan alam juga merupakan unsur-unsur yang perlu mendapat perhatian dan usul saran alternatif harus ditinjau berdasarkan telaah ekonomi.

1.3. Pengembangan sumber-sumber daya air pada masa mendatang

Sejalan dengan penambahan penduduk maka tekanan akan kebutuhan air menjadi semakin meningkat sehingga memicu adanya pengembangan proyek-proyek marginal yang barangkali belum diperhitungkan pada masa sebelumnya. Metode hidrologi yang terkini harus digunakan untuk menghitung ketersediaan air menggunakan metode terbaru. Seiring dengan bertumbuhnya jumlah penduduk yang merupakan pola-pola pertumbuhan ekologis maka perencanaan pengelolaan air haruslah meliputi penilaian cara-cara untuk menekan akibat-akibat ekologis yang tidak diinginkan. Dengan kata lain, peranan pelestarian lingkungan hidup akan semakin penting dalam perancangan pengelolaan air dimasa mendatang.

1.4. Ekonomi teknik dalam perancangan sumber daya air.

Dalam perencanaan pengembangan sumber-sumber daya air, telaah ekonomi teknik merupakan salah satu prasyarat utama.

Dalam bagian ini, materi yang diberikan diharapkan mahasiswa dapat menghitung biaya pengerjaan serta biaya pengembalian modal secara sederhana. Dibutuhkan keahlian yang mendalam untuk dapat memperkirakan secara ekonomi dalam hal perancangan proyek keairan yang multi fungsi serta dibutuhkan sinergisitas dari berbagai ilmu terkait.

BAB II

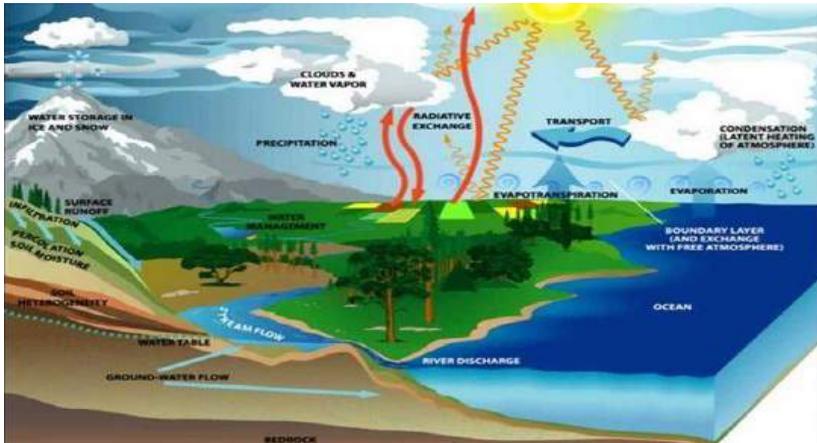
PENGELOLAAN SUMBER DAYA AIR

2.1 Sumber Air

Sumber-sumber air yang ada merupakan bagian yang berasal dari Siklus Hidrologi. Sumber air yang berasal siklus hidrologi dimana dengan matahari sebagai sumber tenaga alam, maka dengan adanya tenaga ini diseluruh bumi akan terjadi penguapan baik dari muka tanah, permukaan pohon-pohon, permukaan air (*waterbody*). Penguapan yang terjadi dari permukaan air dikenal dengan penguapan *free water evaporation*, sedangkan penguapan yang terjadi dari permukaan pohon-pohon dikenal dengan transpirasi (*transpiration*). Sebagai akibat terjadinya penguapan maka akan dapat terbentuk awan yang apabila dalam klimatologi memungkinkan awan dapat terbawa ke darat dan terbentuk menjadi awan pembawa hujan (*rain cloud*). Hujan baru akan terjadi apabila butir-butir air hujan tersebut telah lebih besar dari gaya tekan udara ke atas. Dalam keadaan klimatologis tertentu maka air hujan yang masih melayang tersebut dapat teruap kembali menjadi awan. Air hujan yang sampai ke permukaan tanah disebut hujan dan dapat di ukur. Hujan yang terjadi tersebut sebagian juga akan tertahan oleh mahkota

pepohonan, bangunan dan selanjutnya akan diuapkan kembali. Bagian air ini tidak dapat diukur dan merupakan bagian yang hilang (*interception*). Air yang jatuh dipermukaan tanah terpisah menjadi dua bagian yaitu, bagian yang mengalir dipermukaan dan selanjutnya menjadi aliran limpasan (*overland flow*) yang selanjutnya dapat menjadi limpasan (*run-off*) yang seterusnya merupakan aliran sungai menuju ke laut. Bagian lainnya masuk kedalam tanah melalui proses filtrasi (*infiltration*) tergantung dari struktur geologisnya dapat terjadi aliran mendatar yang disebut aliran antara (*interflow, sub surface*). Bagian air ini juga mencapai sungai dan/atau ke laut. Bagian ini dari air yang terinfiltrasi dapat diteruskan sebagai air perkolasi yang mencapai akuifer (*aquifer, ground water stroge*). Air ini selanjutnya juga mengalir sebagai aliran tanah mencapai sungai dan laut.

Skema daur hidrologi dilihat pada gambar sebagai berikut :



Gambar 2.1 Daur Hidrologi

Sumber – sumber air yang dapat di golongan sebagai berikut:

- 1) Air laut
- 2) Air hujan (Air atmosfer, air meteorologi)
- 3) Air permukaan
- 4) Air tanah

2.1.1. Air Laut

Air laut mempunyai sifat asin, karena mengandung NaCl. Kadar garam dalam air laut 3%. Dengan keadaan ini; maka air laut tak memenuhi syarat air minum

2.1.2. Air Hujan (Air atmosfer, air meteorologi)

Air hujan (Air atmosfer, air meteorologi) merupakan air yang menguap karena panas dan kemudian mengembun di udara. Pada waktu mengembun tersebut, uap air bercampur dan melarutkan gas-gas oksigen, nitrogen, debu dan senyawa lain yang terdapat dalam udara. Jadi, kualitas air hujan akan banyak dipengaruhi oleh keadaan lingkungannya. Dari segi kuantitas, air hujan tergantung pada besar kecilnya curah hujan. Sehingga air hujan tidak mencukupi untuk persediaan umum karena jumlahnya berfluktuasi. Sedangkan dari segi kontinuitasnya, air hujan tidak dapat diambil secara terus menerus karena tergantung pada musim.

2.1.3. Air Permukaan

Air permukaan merupakan air yang mengalir di permukaan bumi. Pada umumnya air permukaan ini akan mendapatkan pengotoran selama pengaliran, misalnya lumpur, batang-batang kayu, daun-daun, kotoran industri kota dan sebagainya. Jenis pengotoran tergantung pada daerah pengaliran jenis pengotorannya berupa fisik, kimia dan bakteriologi.

Air permukaan ada dua macam yakni :

a. Air Sungai

Sungai adalah saluran drainase alamiah, merupakan penampung dan penyalur alamiah aliran air dan material yang dibawahnya dari bagian hulu ke bagian hilir suatu daerah pengaliran ketempat yang lebih rendah dan akhirnya bermuara kelaut. Dalam pegunaan sebagai air minum, haruslah melalui suatu proses pengolahan yang sempurna, mengingat bahwa air sungai umumnya mempunyai derajat pengotoran yang tinggi sekali. Debit yang tersedia dalam memenuhi kebutuhan air minum dapat mencukupi.

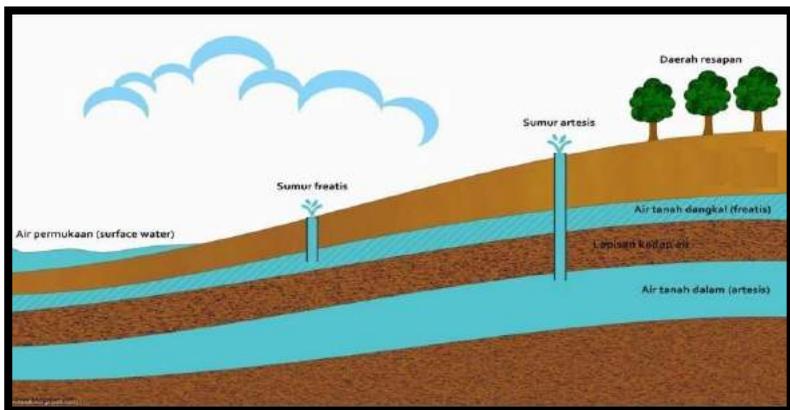
b. Air Rawa/Danau

Air rawa/danau adalah suatu cekungan yang terbentuk secara alamiah permukaan bumi yang merupakan daerah tampungan air yang mengalir dari sungai ataupun mata air. Air rawa/danau kebanyakan berwarna hal ini disebabkan oleh adanya zat-zat organis yang telah membusuk, misalnya asam humus yang larut dalam air yang menyebabkan air berwarna.

2.1.4 Air Tanah

Yang di maksud dengan air tanah adalah air yang menempati rongga-rongga dalam lapisan geologi. Lapisan tanah yang terletak dipermukaan tanah dinamakan daerah jenuh (*saturated zone*), sedangkan daerah tidak jenuh biasanya terletak diatas daerah jenuh sampai permukaan tanah, dimana

rongga-rongga berisi air dan udara, karena air tersebut meliputi kelembaban tanah (*soil moisture*) dalam daerah akar (*root zone*), Maka mempunyai arti yang sangat penting bagi daerah pertanian, botani dan ilmu tanah. Antara daerah yang jenuh tidak ada garis batas yang tegas, karena keduanya mempunyai batas *independen*, dimana air dari kedua daerah tersebut dapat bergerak ke daerah yang lain atau sebaliknya. Dari segi kualitas air tanah memiliki kualitas baik sedangkan dari segi kuantitas, apabila air tanah di gunakan sebagai sumber air baku air bersih adalah cukup. Tetapi bila dilihat dari segi kontinuitasnya maka pengambilan air tanah harus dibatasi, karena dikuatirkan dengan pengambilan air tanah secara terus menerus maka akan terjadi penurunan muka air tanah.



Gambar 2.2. Air tanah dangkal dan air tanah dalam
(sumber : http://rinesaa.blogspot.co.id/p/blog-page_64.html)

Air tanah terbagi atas :

a. Air Tanah Dangkal

Air tanah dangkal terjadi karena daya proses peresapan air dari permukaan tanah. Lumpur akan tertahan, kemudian pula sebagian bakteri, sehingga air tanah akan jernih tetapi lebih banyak mengandung zat kimia (garam-garam terlarut) karena melalui lapisan tanah yang mempunyai unsur-unsur kimia tertentu untuk masing-masing lapisan tanah. Lapisan tanah disini berfungsi sebagai penyaring. Disamping sebagai penyaring, pengotoran juga masih terus berlangsung, terutama pada muka air yang dekat dengan muka tanah, setelah memenuhi lapisan rapat air, air akan terkumpul merupakan air tanah dangkal dimana air tanah ini dimanfaatkan untuk sumber air minum melalui sumur-sumur dangkal.

Air tanah dangkal ini dapat pada kedalaman $\pm 15,00$ m. Air tanah dangkal dari segi kualitas agak baik sedangkan dari kuantitas kurang cukup dan tergantung pada musim.

b. Air Tanah Dalam

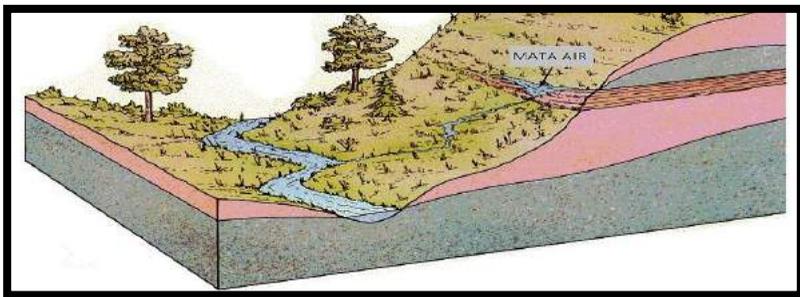
Air tanah dalam terdapat setelah lapisan rapat air yang pertama. Pengambilan air tanah dalam, tak semudah pada air dangkal. Dalam hal ini harus digunakan bor dan memasukan pipa kedalaman (biasanya antara 100-300m) akan didapatkan suatu lapisan. Pada umumnya kualitas air tanah dalam lebih baik dari

air tanah dangkal, karena penyaringannya lebih sempurna dan bebas dari bakteri.

c. Mata Air

Mata air adalah air tanah yang keluar dengan sendirinya ke permukaan tanah. Mata air yang berasal dari tanah dalam , hampir tidak dipengaruhi oleh musim dan kualitas/kualitasnya sama dengan keadaan air tanah dalam. Berdasarkan kemunculannya kepermukaan tanah, mata air di bagi atas:

- Rembesan, dimana air tanah keluar dari lereng-lereng
- Umbul, dimana air keluar dari permukaan pada suatu daratan.



Gambar 2.3. Mata air

(Sumber:http://geophysics.ou.edu/geol1114/notes/groundwater/perched_table.gif)

Bila pada permukaan tanah atau suatu akuifer artesis memotong permukaan tanah, maka air akan dilepaskan

sebagai aliran permukaan. Bila kecepatan pelepasannya rendah, maka aliran tersebut akan tersebar pada daerah yang luas, dan yang akan terjadi adalah rembesan air yang menyebar hingga air akan sedikit membasahi tanah dan kemudian akan menguap. Walaupun demikian, rembesan yang tersebar disepanjang tebing sungai atau danau dapat berkumpul dalam volume yang besar dan seringkali menjadi sumber utama bagi aliran sungai pada musim kemarau. Aliran yang besar dari suatu akuifer yang terpusat dalam daerah yang kecil disebut mata air atau air tanah yang keluar dengan sendirinya kepermukaan tanah.

Mata air yang besar biasanya berkaitan dengan adanya celah atau gua didalam batuan, mata air yang berasal dari akifer yang besar yang agak atau kedap air biasanya mengalir dengan kecepatan yang relatif kecil memiliki debit yang sangat berfluktuasi dan kadang-kadang kering pada musim kemarau.

2.2. Pengukuran Debit Mata Air

Pengukuran debit dilakukan dengan berbagai cara dengan tingkat ketelitian tertentu makin banyak pengukuran dilakukan, makin tinggi tingkat ketelitian yang diperoleh. Cara pengukuran debit antara lain :

2.2.1 Pengukuran Langsung (*direct measurement*), antara lain:

a) *Volumetric Method*

Pengukuran ini dilakukan pada aliran-aliran kecil dengan menggunakan bejana dengan volume tertentu, kemudian mengukur waktu yang diperlukan untuk mengisi penuh bejana tersebut. Dari hasil pengukuran dapat di hitung debit sama dengan volume air di bagi dengan waktu yang diperlukan untuk mengisi bejana.

b) Dengan Menggunakan Bangunan pengukur

Bagunan ukur di buat sedemikian rupa sehingga ada hubungan antara debit dan tinggi air yang melewati bangunan tersebut. Bangunan ukur ini biasanya di buat agar pengolahan air akan menjadi lebih efektif.

2.2.2 Pengukuran Tidak Langsung (*Indirect Measurement*)

a) Pengapung (*float*)

Cara ini hanya dipakai untuk menaksir kecepatan secara kasar, karena alat yang diamati dipermukaan air. Untuk dibutuhkan alat pencatat waktu (*stop watch*), pelampung dan pengukur jarak dua titik yang akan di tempuh oleh pelampung. Dari hasil pengukuran dapat di hitung kecepatan dan debit, dimana kecepatan aliran di dapat dari jarak yang di lalui dalam

meter di bagi dengan waktu dalam detik. Selanjutnya di hitung debit di mana debit adalah kecepatan di kalikan dengan luas penampang

b) *Current Meter*

Current Meter merupakan alat pengukur kecepatan yang paling banyak di gunakan karena memberikan ketelitian yang cukup tinggi. Kecepatan aliran yang di ukur adalah kecepatan aliran titik dalam satu penampang aliran tertentu. Prinsipnya yang di gunakan adalah adanya kaitan antara kecepatan aliran dengan kecepatan putaran baling-baling dari *current meter*

Ada beberapa jenis *current meter* yang di pakai saat ini, yaitu

1. *current meter* dengan sumbu mendatar, misalnya OTT'S *current meter*
2. *current meter* dengan sumbu vertikal misalnya PRINCE'S *current meter*

2.3. Kebutuhan Air Bersih

Besarnya kebutuhan air di suatu daerah sangat tergantung pada cara hidup masyarakat dan pembangunan di daerah tersebut serta tingkat pertumbuhan penduduknya. Kebutuhan air dihitung berdasarkan Standar Perencanaan Sistem Air Bersih Pedesaan. Besarnya kebutuhan air di suatu

daerah tergantung pada pertumbuhan penduduk. Untuk sistem pelayanan air bersih, sangatlah dibutuhkan suatu informasi tentang banyak air yang dibutuhkan. Menurut Triatmodjo (2008) hal-hal tersebut meliputi pengumpulan informasi-informasi tentang besarnya jumlah penduduk yang dilayani, pemakaian air perkapita termasuk faktor-faktor yang mempengaruhi konsumsi air antara lain adalah sebagai berikut:

- Taraf hidup masyarakat serta kebiasaan hidup sangat mempengaruhi pemakaian air di daerah tersebut, makin tinggi taraf hidup maka pemakaian air makin besar.
- Iklim. untuk daerah beriklim panas, pemakaian air rata-rata perorangan perhari lebih banyak di bandingkan daerah yang dingin.
- Kualitas air. Makin baik kualitas air maka makin meningkat pemakaiannya dibandingkan dengan air kualitas jelek
- Tekanan air. Tekanan air yang rendah pada rumah-rumah akan mengakibatkan pemakaian air perkapita menjadi rendah.
- Harga air. Dengan meningkatnya harga air maka masyarakat akan semakin hemat dalam pemakaiannya.
- Jumlah pemakaian air, semakin banyak jumlah penduduk yang menggunakan air bersih maka jumlah kebutuhan air di

daerah tersebut semakin meningkat.

- Keberadaan industri. Jika di suatu daerah merupakan daerah industri, maka kebutuhan air di masyarakat akan meningkat.

Selain itu kebutuhan air meliputi :

1. Air Untuk Perumahan.

Dalam hal ini termasuk kebutuhan untuk perumahan, penginapan, dan lain-lain. Disini air digunakan mandi, cuci dan kebutuhan sehari-hari lainnya.

2. Air Untuk Industri Dan Komersial

Adalah air yang digunakan oleh badan-badan komersial dan industri antaralain : kantor, toko, hotel, terminal. Biasanya kebutuhan air tergantung pada tipe industri dan luas areal industri.

3. Air Untuk Keperluan Umum

Adalah air yang dibutuhkan untuk pemakaian tempat-tempat umum, biasanya rumah sakit, sekolah, terminal, dan lain-lainnya.

4. Air Untuk Pemadaman Kebakaran

Air untuk pemadaman kebakaran hanya dibutuhkan pada saat-saat tertentu saja, tetapi dalam jumlah cukup besar. Sehingga biasanya tidak diambil dari suatu jaringan penyediaan

air untuk kota tetapi dibuatkan sendiri. Penetapan besar aliran yang dibutuhkan tergantung pada ukuran, konstruksi bangunan, kepadatan penduduk dan tinggi bangunan yang ada. Dalam suatu kota biasanya hidran untuk kebakaran dibuat jalur pipa yang di perlukan untuk pemadaman kebakaran.

5. Kehilangan Air

Adalah jumlah air yang bocor dari sistem yang bersangkutan, kesalahan meteran, sambungan-sambungan yang tidak sah dan lain-lain. Akan tetapi hal yang paling berpengaruh adalah kebocoran pada sistem jaringan perpipaan yang ada

2.3.1 Jumlah Penduduk

Untuk merencanakan besarnya pemakaian air di suatu daerah, kita harus mengetahui proyeksi jumlah penduduk. Pemerintah menyatakan bahwa untuk merencanakan suatu sistem penyediaan air bersih di daerah pedesaan, harus di rencanakan sekurang-kurangnya 10 tahun. Maka untuk itu diperlukan proyeksi jumlah penduduk yang mendekati keadaan sebenarnya. Hal tersebut dapat di hitung menggunakan analisa regresi. Analisa regresi ini menghitung berdasarkan pola/*trend* kecenderungan pertumbuhan penduduk di masa lalu. Beberapa metode umum antara lain:

a. Analisis regresi linier

Rumus :

$$Y = (a + b \cdot X) \quad (2.1)$$

$$a = \frac{\sum y - b \sum X}{n} \quad (2.2)$$

$$b = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (2.3)$$

$$r = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \cdot \sqrt{n \sum Y^2 - (\sum Y)^2}} \quad (2.4)$$

Dimana :

Y = Jumlah penduduk

X = Jumlah tahun

a,b = koefisien regresi

n = jumlah data

r = koefisien korelasi

r^2 = koefisien determinasi

b. Analisis regresi logaritma

Rumus:

$$Y = (a + b \ln X) \quad (2.5)$$

$$a = \frac{\sum y - b \sum \ln X}{n} \quad (2.6)$$

$$b = \frac{n \sum y \cdot \ln x - (\sum \ln x) \sum y}{n \sum \ln x^2 - (\sum \ln x)^2} \quad (2.7)$$

$$r = \frac{n \sum y \cdot \ln x - (\sum \ln x) \sum Y}{\sqrt{n \sum \ln x^2 - (\sum \ln x)^2} \cdot \sqrt{n \sum y^2 - (\sum y)^2}} \quad (2.8)$$

Dimana : Y = Jumlah penduduk
 X = Jumlah tahun
 a, b = koefisien regresi
 n = jumlah data
 r = koefisien korelasi
 r^2 = koefisien determinasi

c. Analisa regresi eksponensial

Rumus:

$$Y = a \cdot b^{bx} \quad (2.9)$$

$$a = \text{Exp} \frac{\sum \ln y - b \sum x}{n} \quad (2.10)$$

$$b = \frac{n \sum \ln y - (\sum x) \cdot (\sum \ln y)}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (2.11)$$

$$r = \frac{n \sum x \cdot \ln y - \sum \ln y \cdot \sum x}{\sqrt{n \sum X^2 - (\sum x)^2} \cdot \sqrt{n \sum \ln y^2 - (\sum \ln y)^2}} \quad (2.12)$$

Dimana : Y = Proyeksi Jumlah penduduk
 X = Tahun
 a, b = Koefisien Regresi
 n = Jumlah data
 r = Koefisien Korelasi
 r^2 = Koefisien determinasi

Dalam memilih *trend* mana yang paling cocok untuk pertumbuhan jumlah penduduk yang dianalisis maka diambil nilai r^2 (koefisien determinasi) yang paling mendekati 1, atau

yang memiliki *standard error* (Se) yang paling kecil.

$$Se = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n \approx} (Y_i - Y')^2}{n-2}} \quad (2.13)$$

Dimana : Se = *Standart error*

Y_i = Jumlah penduduk pada tahun ke i

Y' = Jumlah penduduk awal

n = Jumlah data

Data penduduk dapat diambil berdasarkan hasil sensus penduduk oleh lembaga yang terpercaya. Apabila data yang dibutuhkan di suatu desa tidak didapatkan, maka data tersebut dapat diambil di tingkat kecamatan atau kabupaten.

2.3.2 Kebutuhan air domestik

Kebutuhan air domestik adalah kebutuhan air bersih bagi para penduduk untuk kepentingan kehidupan sehari-hari. Yang termasuk dalam kebutuhan air domestik yaitu kebutuhan air untuk keperluan rumah tangga seperti mandi, minum, mencuci serta kebutuhan sehari-hari.

Besarnya kebutuhan air domestik dihitung berdasarkan besarnya pertumbuhan penduduk dan konsumsi air berdasarkan kriteria/standar perencanaan sistem air bersih pedesaan (Ltr/Org/Hari)

$$Q_d = Y_n \cdot \Gamma_k \quad (2.14)$$

Dengan:

- Q_d = Kebutuhan air domestik (Ltr/Hari)
- Y_n = Proyeksi pertumbuhan penduduk tahun ke-n (Jiwa)
- r_k = Angka konsumsi air bersih berdasarkan kriteria/standar perencanaan sistem air bersih pedesaan (Ltr/Org/Hari)

Tabel 2.1 Kriteria/Standar Perencanaan Sistem Air Bersih
Pedesaan

No	Uraian	Kriteria
1	Hidran umum (hu)/Kran umum (ku)	30 l/orang/hari
2	Sambungan rumah (sr)	90 l/orang/hari
3	Lingkup pelayanan	60-100%
4	Perbandingan hu/ku-sr	20:80 - 50:50
5	Kebutuhan non domestik	5%
6	Kehilangan air akibat kebocoran	15%
7	Faktor puncak untuk harian maksimum	1,5 x sr
8	Pelayanan hu/ku	100 orang/unit
9	Pelayanan sr	10 orang/unit
10	Jumlah operasi	12 jam/hari
11	Aliran max hu/ku	3000 jam/hari
12	Aliran max sr	900 l/hari
13	Periode perencanaan	10 Tahun

Sumber : Pedoman teknik air bersih IKK pedesaan, 1990

2.3.3 Kebutuhan air non domestik

Kebutuhan air non domestik adalah kebutuhan air bersih untuk kepentingan sosial/umum seperti untuk rumah sakit, pendidikan, tempat ibadah, dll, dan juga untuk keperluan industri, pariwisata, pelabuhan, perhubungan, dll.

Untuk kebutuhan air Non domestik diambil 5% berdasarkan Pedoman teknik air bersih IKK pedesaan , 1990

Kebutuhan air non domestik dihitung berdasarkan besarnya kebutuhan air domestik dikalikan dengan besarnya persentase kebutuhan air non domestik.

$$Q_n = Q_d \cdot r_n \quad (2.15)$$

Dengan : Q_n = Kebutuhan air non Domestik (ltr/dtk)

Q_d = Kebutuhan air domestik (ltr/dtk)

r_n = Angka persentase non domestik (%)

2.3.4 Kehilangan air

Kehilangan air pada umumnya disebabkan karena adanya kebocoran air pada pipa transmisi dan distribusi serta kesalahan dalam pembacaan meter. Penentuan kebocoran/kehilangan sebesar 15% berdasarkan Pedoman teknik air bersih IKK pedesaan , 1990. Kehilangan air dapat dihitung berdasarkan besarnya kebutuhan domestik dan non domestik, dikalikan dengan persentase kehilangan air.

$$Q_a = (Q_d + Q_n) \cdot r_a \quad (2.16)$$

Dengan : Q_a = kehilangan air (ltr/dtk)

Q_d = kebutuhan air domestik (ltr/dtk)

Q_n = kebutuhan air non-domestik (ltr/dtk)

r_a = angka presentase kehilangan air (%)

2.3.5 Kebutuhan air harian maksimum dan jam puncak

Kebutuhan air harian maksimum dan jam puncak telah ditentukan oleh Departemen Pekerjaan Umum Dirjen Cipta Karya. Kebutuhan air harian maksimum adalah kebutuhan air pada hari –hari tertentu dimana kebutuhan airnya maksimum. Untuk menghitung kebutuhan air harian maksimum dimana faktor pengali 1,15-1,25 dikalikan dengan kebutuhan air total

$$Q_m = 1,25 \times Q_t \quad (2.17)$$

Dengan : Q_m = debit kebutuhan air harian maksimum
(liter/detik)

$$Q_t = \text{debit kebutuhan air total (liter/detik)}$$

Kapasitas sumber air untuk perencanaan haruslah memenuhi kebutuhan air harian maksimum ini.

Kebutuhan air jam puncak adalah kebutuhan air pada jam-jam tertentu dalam suatu hari dimana kebutuhan airnya akan memuncak. Kebutuhan air jam puncak dihitung berdasarkan faktor pengali 1,65-2,00 dikali kebutuhan air total.

$$Q_p = 1,75 \times Q_t \quad (2.18)$$

Dengan : Q_p = debit kebutuhan air jam puncak
(liter/detik)

$$Q_t = \text{debit kebutuhan air total (liter/detik)}$$

Untuk keperluan desain jaringan perpipaan, jaringan perpipaan harus dapat melayani saat kebutuhan air jam puncak.

2.3.6 Kebutuhan air total

Kebutuhan air total adalah total kebutuhan air baik domestik, non domestic ditambah kehilangan air.

$$Q_t = Q_d + Q_n + Q_a \quad (2.18)$$

Dengan :

Q_t = kebutuhan air total (ltr/det)

Q_d = kebutuhan air domestik (ltr/det)

Q_n = kebutuhan air non-domestik (ltr/det)

Q_a = kehilangan air (ltr/det)

2.4 Unit-unit sistem penyediaan air bersih

2.4.1. Sistem distribusi air bersih

Sistem distribusi air bersih adalah pendistribusian atau pembagian air melalui sistem perpipaan dari bangunan pengolahan (reservoir) ke daerah pelayanan (konsumen)

Untuk menghasilkan tekanan yang diinginkan atau dapat memenuhi kebutuhan tersebut diatas tergantung pada metode pendistribusiannya. Sistem distribusi air diklasifikasikan sebagai berikut :

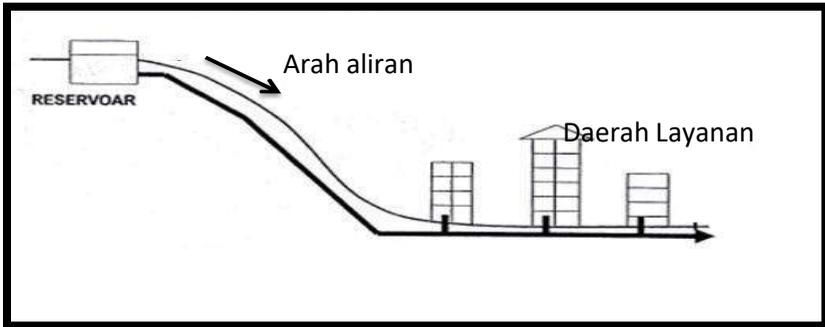
1. Sistem gravitasi (*gravity system*)
2. Sistem pemompaan (*pumping system*)
3. Sistem kombinasi (gravitasi dan pemompaan) atau *dual system*

a. Sistem Gravitasi (*gravity system*)

Keadaan tempat dari sumber air yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah pendistribusiannya adalah sangat cocok untuk sistem ini. Kelebihan sistem distribusi ini adalah tekanan didalam pipa tetap terjaga. Sistem ini dapat diterapkan jika sumber air yang didistribusikan berupa danau, sungai (di daerah pegunungan) atau bak penampungan yang cukup tinggi, disini air mengalir karena gravitasi.

Pada sistem ini tidak terlalu sering melakukan pemompaan. Jika sumber berupa danau yang terletak didaerah perbukitan. Mungkin dibutuhkan pompa dengan daya angkat rendah untuk menaikkan air ke unit *water treatment*. Dari bak penampung air akan mengalir ke daerah distribusi dengan gravitasi juga.

Model sistem distribusi ini membutuhkan head yang kecil agar air sampai ke konsumen. Besarnya *head* ini hanya disebabkan oleh adanya *loses* atau rugi akibat adanya gesekan-gesekan.



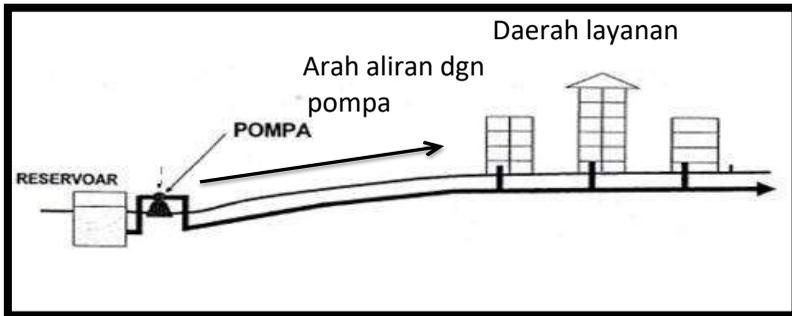
Gambar 2.4. Pendistribusian air dengan sistem gravitasi

b. Sistem pemompaan (*Pumping System*)

Pada sistem ini, air dari bak penampung dipompakan langsung ke pipa distribusi. Karena pompa harus bekerja dengan kecepatan yang berubah-ubah dalam sehari, maka biaya perawatan pun bertambah. Hal ini karena jumlah pompa yang dibutuhkan dan waktu kerja pompa yang bervariasi.

Pompa yang daya angkatnya tinggi sangat dibutuhkan dalam sistem ini, dan operasinya juga tidak boleh berhenti atau mati. Jika sumber tenaganya mati, maka suplai air pun berhenti. Oleh sebab itu harus disediakan pompa cadangan yang selalu siap untuk digunakan. Selama pendistribusian, air dapat dipompa sesuai dengan kebutuhan oleh pompa cadangan tersebut. Tetapi sistem ini tidak terlalu disukai dibandingkan dengan sistem-

sistem yang karena biaya operasional terlalu tinggi.



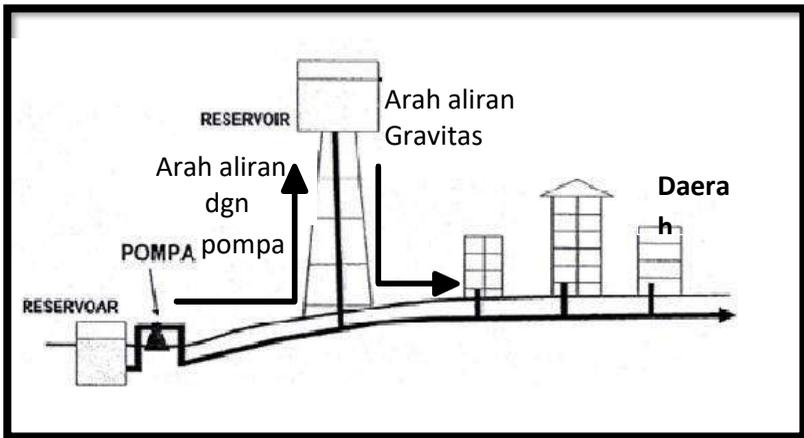
Gambar 2.5. Pendistribusian air dengan sistem pemompaan

c. Sistem kombinasi (*dual System*)

Pompa dihubungkan langsung ke pipa-pipa saluran air dan juga ke bak penampungan yang tinggi. Ketika kebutuhan air sedikit, air disimpan atau mengalir ke bak penampungan, tetapi ketika kebutuhan bertambah sehingga memerlukan tambahan kecepatan pemompaan, aliran di dalam sistem distribusi ini di suplai dari pompa dan juga bak penampung.

Pada sistem-sistem ini air disuplai dari dua sumber, pertama dari pemompa dan kedua dari bak penampungan itu sendiri dengan memanfaatkan ketinggian tempatnya (dengan gravitasi), sehingga sistem ini disebut dengan *dual system*. Sistem ini sangat diandalkan dan ekonomis, kerana membutuhkan kecepatan pemompaan yang stabil walaupun kebutuhan air bervariasi. Air di bak penampungan dapat memenuhi

kebutuhan selama pemompaan di hentikan.



Gambar 2.6. Pendistribusian air dengan sistem kombinasi

Dalam perencanaan sistem distribusi air bersih, beberapa faktor yang harus di perhatikan antara lain :

1. Daerah layanan dan jumlah penduduk yang akan dilayani daerah ini meliputi wilayah IKK (ibukota kecamatan) atau wilayah kabupaten/kota madya. Penduduk yang dilayani yang tergantung pada : kebutuhan, kemauan/minat, kemampuan atau tingkat social ekonomi.
2. Letak topografi daerah layanan, yang akan menentukan sistem jaringan dan pola aliran yang sesuai.
3. Jenis sambungan sistem

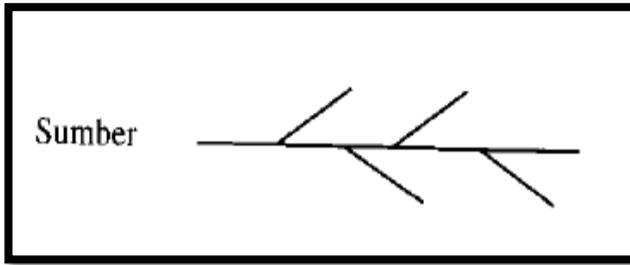
Jenis sambungan dalam sistem distribusi air bersih di bedakan meliputi :

- a) Sambungan halaman yaitu sambungan pipa distribusi dari pipa induk/pipa utama ke tiap-tiap rumah atau halaman.
- b) Sambungan rumah yaitu sambungan pipa distribusi dari pipa induk/pipa utama ke masing-masing utilitas rumah tangga.
- c) Hidran umum merupakan pelayanan air bersih yang digunakan secara komunal pada suatu daerah tertentu untuk melayani 100 orang dalam setiap hidran umum.
- d) Terminal air adalah distribusi air melalui pengiriman tangki – tangki air yang diberikan pada daerah-daerah kumuh, daerah terpencil atau daerah yang rawan air bersih.
- e) Kran umum merupakan pelayanan air bersih yang di gunakan secara komunal pada kelompok masyarakat tertentu, yang mempunyai minat tapi kurang mampu dalam membiayai penyambungan pipa ke masing-masing rumah. Biasanya 1 (satu) kran umum untuk melayani kurang lebih 20 orang.

Dalam Perencanaan sistem penyediaan air bersih dalam buku rekayasa lingkungan penerbit Gunadarma di bahas pola sistem penyediaan air bersih di bagi menjadi :

1. Sistem bercabang

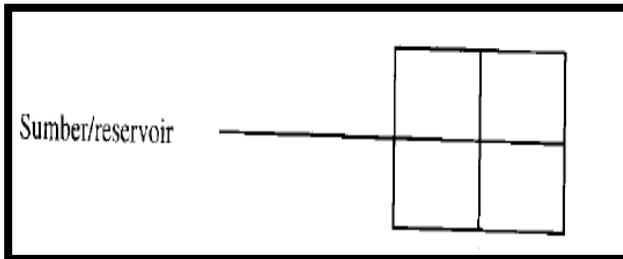
Sistem bercabang adalah sistem pendistribusi air bersih yang bersifat terputus membentuk cabang-cabang sesuai dengan daerah pelayanan.



Gambar 2.7. Pola sistem pendistribusian air bersih bercabang

2. Sistem loop

Sistem Loop adalah sistem perpipaan melingkar dimana ujung pipa yang satu beretemu kembali dengan ujung pipa yang lain.



Gambar 2.8. Pola sistem pendistribusian air bersih sistem Loop

2.4.2 Jaringan pipa

Jaringan pipa yang dimaksud dalam bagian ini adalah perpipaan transmisi dan distribusi. Jaringan pipa transmisi merupakan jaringan pipa dimana air yang di distribusikan dimulai dari unit pengolahan sampai reservoir pembagi. Jaringan pipa distribusi merupakan jaringan dimana air yang di distribusikan dimulai dari reservoir pembagi ke konsumen

Perencanaan jalur pipa harus memenuhi ketentuan teknis sebagai berikut :

- Jalur pipa harus sependek mungkin dan pemilihan bahan pipa harus memenuhi persyaratan
- Menghindari jalur yang mengakibatkan kontruksi sulit dan mahal
- Tinggi hidrolis pipa minimum 5 meter diatas pipa, sehingga cukup menjamin operasi katup udara (air valve)
- Menghindari perbedaan elevasi yang terlalu besar, sehingga tidak ada perbedaan kelas pipa
- Pipa harus direncanakan untuk mengalirkan debit maksimum harian.
- Kehilangan tekanan dalam pipa tidak lebih dari 30% dari total tekanan statis pada sistem transmisi. Untuk sistem gravitasi, kehilangan tekanan maksimum 5/1000 m atau sesuai dengan spesifikasi teknis pipa

Beberapa jenis pipa berikut dengan keuntungannya dan kerugiannya secara umum.

Tabel 2.2 Beberapa jenis pipa, keuntungan dan kerugian secara sepintas

No	Jenis Pipa	Keuntungan	Kerugian
1.	Besi Tuang	Pipa ini murah, mudah disambung, tahan karat	Berat, transportasi
2.	PVC	Ringan, mudah diangkut dipasang, tidak bereaksi dengan air	
3.	HDPE	Ringan, mudah diangkut dan dipasang, tidak bereaksi dengan air, mencapai 100 m tanpa sambungan untuk diameter kecil	
4.	Besi Galvanis	Tekanan tinggi	Berat , transportasi Dan instalasi lebih mahal

2.4.2.1. Kehilangan tenaga

Pada fluida nyata (riil) aliran yang terjadi akan mengalami gesekan dengan dinding pipa, sehingga akan mengalami kehilangan tenaga. Kehilangan tenaga dapat dibedakan menjadi:

1. **Mayor losses.** Kehilangan tenaga primer (h_f) adalah kehilangan tenaga karena gesekan dengan dinding

batas/pipa.

2. **Minor losses.** Kehilangan tenaga sekunder (h_e) adalah kehilangan tenaga karena perubahan tampang lintang aliran. Pada pipa yang sangat panjang kehilangan energi primer jauh lebih besar daripada kehilangan tenaga sekunder, sehingga kehilangan tenaga sekunder bisa diabaikan. Jadi persamaan Bernoulli untuk fluida nyata dapat dituliskan sebagai berikut :

$$z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma_w} = z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma_w} + \sum h_f + \sum h_e \quad (2.20)$$

Untuk perhitungan kehilangan tenaga primer, kecepatan rata-rata, diameter pipa salah satu persamaan yang populer dipakai adalah persamaan Hazen-Wiliams.

$$v = 0,3545 C_{HW} D^{0,63} S^{0,54} \quad (2.21)$$

Besarnya kehilangan tenaga primer akibat gesekan pada pipa dapat ditentukan sebagai berikut:

$$H_f = \frac{10,67 \times Q^{1,85}}{C_{HW}^{1,85} \times D^{4,87}} \times L \quad (2.22)$$

Dimana:

D = diameter pipa (m)

L = Panjang Pipa (m)

v = kecepatan rata-rata (m/det)

C_{HW} = Koefisien Hazen-Wiliams

S = Gradien Hidrolik ($S = H/L$)

Q = Debit (m^3/det)

Nilai C_{HW} tergantung pada kekasaran dan diberikan pada tabel berikut ini:

Tabel 2.3. Koefisien Kekasaran Pipa Menurut Hazen-Williams

Material Pipa	C
Pipa Asbes	140
Kuningan	130 – 140
Cast Iron	95 – 130
Pipa Berlapis Semen	120 – 140
Tembaga	130 – 140
Pipa Besi Digalvanis	120
Timah	130 – 140
Plastik (PVC)	140 – 150
Baja (Steel)	140 – 150

Kehilangan energi sekunder dapat diakibatkan karena adanya perubahan penampang pipa, belokan pipa, katup, dan lain-lain. Besarnya kehilangan energi sekunder dirumuskan sebagai berikut:

$$h_e = k \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad (2.23)$$

Di mana :

h_e = kehilangan energi sekunder (m)

- v = kecepatan aliran (m/det)
 g = percepatan gravitasi (m/det²)
 k = koefisien kehilangan energi sekunder

Ada beberapa kriteria dari pipa Transmisi, antara lain:

1. Untuk kecepatan aliran air dalam pipa :
 - a.) Kecepatan minimum (V_{min}): 0,3 – 0,6 m/det
 - b.) Kecepatan maksimum:
 - Pipa PVC (V_{max}) : 3,0 – 4,5 m/det
 - Pipa DCIP (V_{max}) : 6,0 m/det
2. Untuk tekanan air dalam pipa :
 - a.) Tekanan minimum (H_{min}): 1 atm
 - b.) Tekanan maksimum (H_{maks}) :
 - Pipa PVC : 6 – 8 atm
 - Pipa DCIP : 10 atm
 - Pipa PE 100 : 12,4 Mpa
 - Pipa PE 80 : 9,0 Mpa

Ada beberapa kriteria dari pipa Distribusi, antara lain :

1. Untuk kecepatan aliran air dalam pipa :
 - a.) Kecepatan minimum (V_{min}) : 0,3 – 0,6 m/det
 - b.) Kecepatan maksimum (V_{maks}) :
 - Pipa PVC atau ACP : 3,0 – 4,5 m/det

- Pipa baja atau DCIP : 6,0 m/det

2. Untuk tekanan air dalam pipa :

a.) Tekanan minimum (H_{min}) : (0,5 – 1,0) atm,
pada titik jangkauan pelayanan terjauh.

b.) Tekanan maksimum (H_{maks}) :

- Pipa PVC atau ACP : 6 – 8 atm

- Pipa baja atau DCIP : 10 atm

- Pipa PE 100 : 12,4 MPa

- Pipa PE 80 : 9,0 MPa

2.4.3 Reservoir

Reservoir merupakan bangunan penampungan air bersih sebelum dilakukan pendistribusian ke pelanggan atau masyarakat, yang dapat ditempatkan dibawah tanah atau di atas tanah dalam bentuk menara atau tower. Bangunan reservoir umumnya diletakan di dekat jaringan distribusi pada ketinggian yang cukup untuk mengalirkan air secara baik dan merata ke seluruh daerah konsumen.

Fungsi keberadaan reservoir adalah :

1. Penampungan terakhir kali air yang telah diolah dan memenuhi syaratkualitas air minum.
2. Sebagai sarana vital penyaluran air ke masyarakat dan cadangan air.

3. Sebagai tempat penyimpanan kelebihan air agar dapat tercapai keseimbangan antara kebutuhan dan suplai.
4. Keperluan instalasi, seperti pencucian filter, pembubuhan.
5. Tempat penyimpanan air saat desifektan.
6. Sebagai pengaman untuk gelombang tekanan balik.

Apabila dari segi topografi dan masyarakat tidak memberikan hasil yang ekonomis untuk reservoir menara, maka reservoir di tanah (*ground reservoir*) dapat menyiapkan penampungan yang memadai. Jika di dalam sistem distribusi terdapat beberapa zona tekanan, maka reservoir di tanah dan pompa booster biasanya terletak di dekat daerah zona distribusi tersebut. Air dari zona tekanan yang rendah akan dialirkan ke reservoir dan selanjutnya di pompa ke daerah yang lebih tinggi.

Apabila daerah topografi daerah layanan cenderung datar maka konstruksi menara bisa mengatasi hal tersebut. Dengan konstruksi yang tinggi menjulang di atas tanah maka untuk pemeliharaan operator harus turun naik. Reservoir menara bisa mengurangi besar/diameter pipa distribusi. Apabila ada suatu daerah pelayanan yang terjauh dari reservoir dan tekanannya tidak mencukupi karena *headloss* di sistem, maka pipa distribusi utamanya perlu diperbesar untuk memberikan tekanan yang cukup. Dengan adanya reservoir menara hal tersebut bisa di kurangi.

Berdasarkan grafik fluktuasi kebutuhan air bersih dari DPU Ditjen Cipta Karya Direktorat Air Bersih didapatkan nilai *load factor* pada tabel berikut

Tabel 2.4 Fluktuasi Pemakaian Air

Jam		Load Factor	Rekapitulasi Presentasi Pemakaian Air (%)
0:00	- 1:00	0.3	1.2510
1:00	- 2:00	0.37	1.5430
2:00	- 3:00	0.45	1.8766
3:00	- 4:00	0.64	2.6689
4:00	- 5:00	1.15	4.7957
5:00	- 6:00	1.4	5.8382
6:00	- 7:00	1.53	6.3803
7:00	- 8:00	1.56	6.5054
8:00	- 9:00	1.41	5.8799
9:00	- 10:00	1.38	5.7548
10:00	- 11:00	1.27	5.2961
11:00	- 12:00	1.2	5.0042
12:00	- 13:00	1.14	4.7540
13:00	- 14:00	1.17	4.8791
14:00	- 15:00	1.18	4.9208
15:00	- 16:00	1.22	5.0876
16:00	- 17:00	1.31	5.4629
17:00	- 18:00	1.38	5.7548
18:00	- 19:00	1.25	5.2127
19:00	- 20:00	0.98	4.0867
20:00	- 21:00	0.62	2.5855
21:00	- 22:00	0.45	1.8766
22:00	- 23:00	0.37	1.5430
23:00	- 0:00	0.25	1.0425
		23.98	100

Sumber :DPU Ditjen Cipta Karya Direktorat Air Bersih

2.4.4 Bangunan Penangkap Air (intake)

Bangunan pengambil air baku untuk penyediaan air disebut dengan bangunan penangkap air atau intake. Kapasitas intake ini dibuat sesuai dengan debit yang di perlukan. Fungsi utama dari bangunan intake adalah menangkap air dari sumber air untuk diolah dalam instalasi pengolahan air bersih.

a. Tipe Intake Air baku dari Permukaan

1. River intake

Intake untuk menyadap air baku yang berasal dari sungai atau danau.

2. Direct intake

Dipakai bila muka air dan air baku sangat dalam. Bentuk ini lebih mahal biayanya bila dibandingkan dengan tipe lainnya.

Tipe intake ini dapat dipakai dalam kondisi :

- Sumber air dalam. Misalnya sungai dan danau
- Tanggul sangat resisten terhadap erosi dan sedimentasi

3. Canal intake

Dipakai bila air baku disadap dari kanal. Suatu bak memiliki bukaan dibangun pada satu sisi dari tanggul kanal, yang dilengkapi saringan kasar. Dari bak air dialirkan melali pipa yang memiliki ujung berbentuk *bell mouth* yang tertutup saringan berbentuk parabola.

4. Reservoir intake (dam)

Digunakan untuk air baku yang diambil dari danau, baik yang alamiah atau buatan (beton). Bangunan ini dilengkapi dengan beberapa inlet dengan ketinggian yang bervariasi untuk mengatasi adanya fluktuasi muka air. Dapat juga dibuat menara intake yang terpisah dengan dam pada bagian upstream. Jika air di reservoir dapat mengalir secara gravitasi ke pengolahan, maka tidak diperlukan pemompaan dari menara.

b. Tipe Intake Sungai

Menurut Tri joko, 2010 secara garis besar tipe pengambilan pada sumber air sungai di bagi menjadi 5 kelompok yaitu :

1. Intake Bebas
2. Intake dengan bendung
3. Intake ponton
4. Intake jembatan
5. Infiltration Galleries

1. Intake bebas

a.) Kelengkapan Intake Bebas:

- Saringan Sampah
- Inlet
- Bangunan pengendap

- Bangunan sumur /pemompaam
- Pintu sorong

b.) Pertimbangan Pemilihan intake bebas

- Fluktuasi muka air tidak terlalu besar
- Ketebalan air cukup untuk dapat masuk inlet
- Harus di tempatkan pada bagian sungai lurus
- Aliran tidak berubah – ubah
- Kestabilan lereng sungai cukup mantap

2. Intake Dengan Bendung

a.) Kelengkapan Intake dengan Bendung :

- Saringan Sampah
- Inlet
- Bendung konvensional/bendung tyroll
- Pintu bilas

b.) Pertimbangan intake dengan bendung

- Ketebalan air tidak terlalu besar untuk intake besar
- Sungai tidak di gunakan untuk sarana transportasi
- Lembah sungai tidak terlalu besar

3. Intake Ponton

a.) Kelengkapan intake ponton adalah

- Pelampung ponton
- Ruang pompa
- Pengaman benturan

- Penambatan
- Tali penambat
- Pipa fleksibel
- Saringan/strainer

b.) Pertimbangan pemilihan intake ponton

- Sungai mempunyai bantaran yang cukup lebar
- Fluktuasi muka air yang cukup besar
- Alur sungai yang berubah – ubah
- Tebal air cukup untuk penambatan pompa

4. Intake jembatan

a.) Kelengkapan intake jembatan adalah

- Jembatan penambat
- Saringan sampah
- Ruang pompa

b.) Pertimbangan pemilihan intake jembatan

- Fluktuasi muka air tidak terlalu besar
- Hanyutnya sampah tidak terlalu banyak
- Bantaran tidak lebar

5. Infiltration Galleries (Saluran Resapan).

a.) Kelengkapan saluran resapan adalah

- Media filtrasi
- Pipa pengumpul /pipa perforated
- Sumuran

b.) Pertimbangan pemilihan saluran resapan

- Ketebalan air sungai tipis
- Aliran air bawah tanah cukup untuk di manfaatkan sedimentasi dalam bentuk lumpur sedikit
- Muka air tanah terletak maksimum 2 meter dari dasar sungai

2.4.5 Hidran Umum

Hidran umum merupakan pelayanan air bersih yang digunakan secara komunal pada suatu daerah tertentu untuk melayani 100 orang dalam setiap hidran umum.

- Kebutuhan hidran umum

Kebutuhan keran umum atau hidran umum dihitung berdasarkan jumlah penduduk hasil proyeksi dibagikan dengan kapasitas pelayanan dari keran umum itu sendiri.

Persamaan kebutuhan hidran umum dapat ditulis sebagai berikut :

$$HU = \frac{\text{jumlah penduduk}}{\text{jumlah jiwa per hidran}} \quad (2.24)$$

Dan persamaan untuk menghitung kebutuhan air di setiap hidran dapat di tulis sebagai berikut :

$$Q_{HU} = \frac{Q_p}{\text{jumlah hidran umum}} \quad (2.25)$$

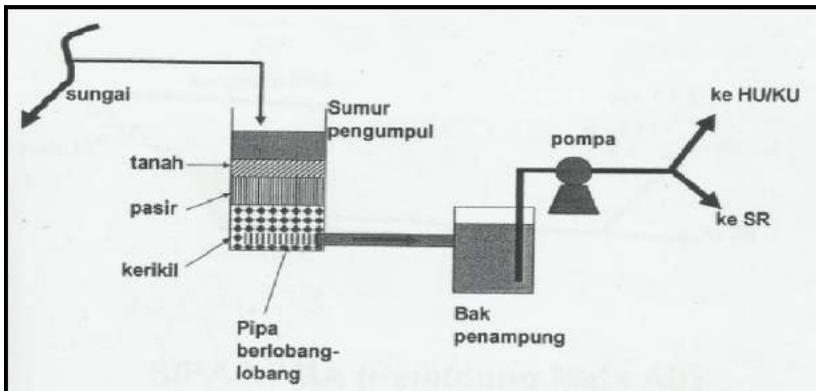
Dimana:

Q_{HU} = kebutuhan air di setiap hidran umum (ltr/det)

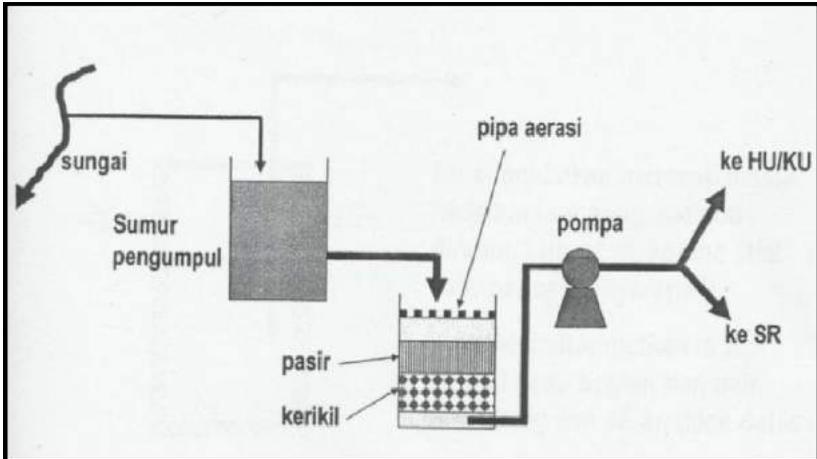
Q_p = kebutuhan air pada jam puncak (ltr/det)

2.4.6 Unit Pengolahan

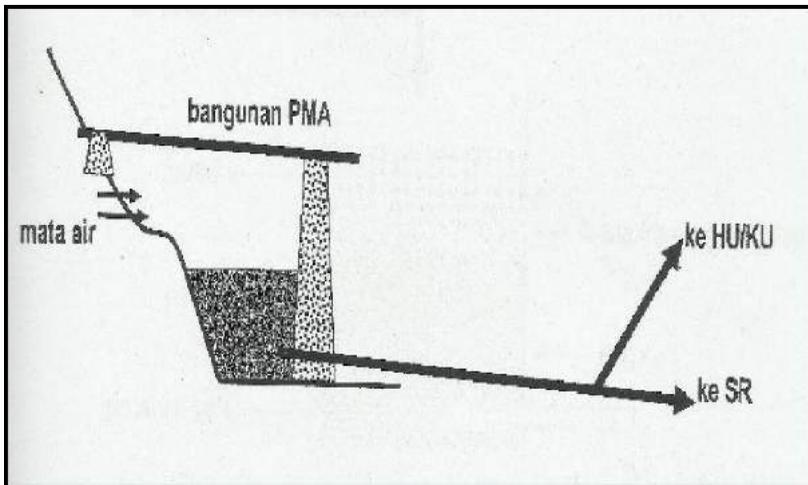
Berdasarkan persyaratan kualitatif dalam penyediaan air bersih, air sungai atau air baku harus diolah terlebih dahulu, agar dapat memenuhi mutu dan kualitas air bersih. Sistem pengolahan air sederhana (SIPAS) dan saringan air rumah tangga (SARUT) merupakan beberapa unit pengolahan dari air baku menjadi air bersih. Berikut ini gambar dari beberapa unit pengolahan air sederhana :



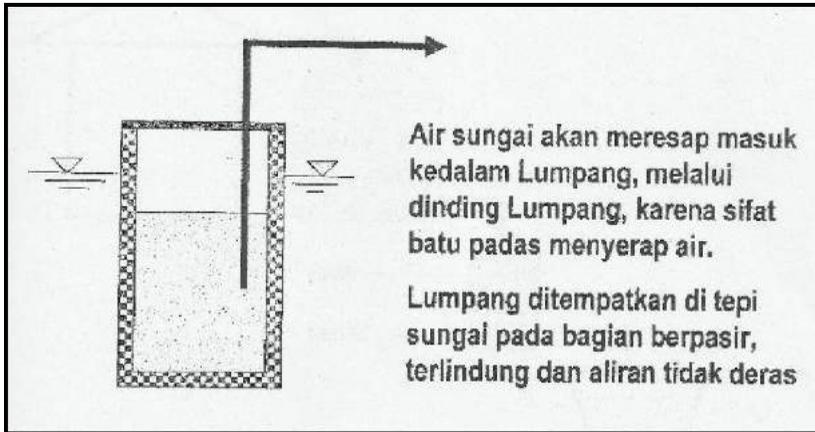
Gambar 2.9 SIPAS Saringan Pipa Resapan (SPR)



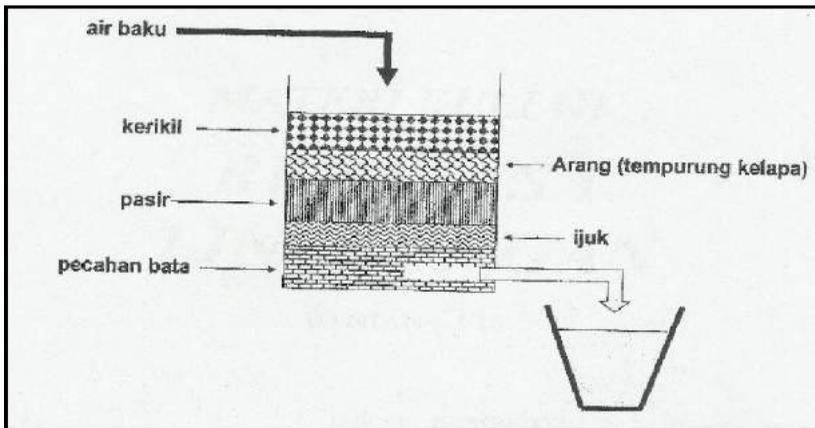
Gambar 2.10 SIPAS Saringan Pasir Lambat (SPL)



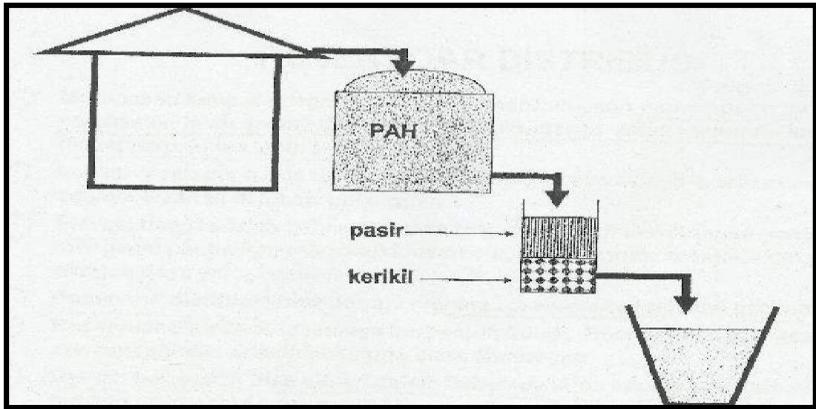
Gambar 2.11 SIPAS Pelindung Mata Air (PMA)



Gambar 2.12 SARUT Saringan Batu Padas (SBP)



Gambar 2.13 SARUT Saringan Pasir Lambat (SPL)



Gambar 2.14 SARUT Penampung Air Hujan (PAH)

Tabel 2.5.Pedoman Perencanaan Sistem Penyediaan Air Bersih

No	Uraian	Kategori Kota Berdasarkan Jumlah Penduduknya		
		Kota Sedang 100.000 – 500.000	Kota Kecil 20.000 – 100.000	Perdesaan 3.000 –20.000
1	Konsumsi unit Sambungan Rumah (SR) l/org/hari	100-150	100-150	90-100
2	Persentase konsumsi unit non domestik terhadap konsumsi domestik	25-30	20-25	10-20
3	Persentase kehilangan (%)	15-20	15-20	15-20
4	Faktor Hari Maksimum	1,1	1,1	1,1-1,25
5	Faktor jam puncak	1,5-2,0	1,5-2,0	1,5-2,0
6	Jumlah jiwa per SR	6	5	4-5
7	Jumlah jiwa per Hidrant Umum (HU)	100	100-200	100-200
8	Sisa tekan minimum di titik kritis jaringan distribusi (meter kolom air)	10	10	10
9	Volume reservoir (%)	20-25	15-20	12-15
10	Jam operasi	24	24	24
11	SR/HU (dalam % jiwa)	80-20	70-30	70-30

Sumber: Pedoman/Petunjuk Teknik dan Manual Bagian 6, NSPM

Kimpraswil, 2002

BAB III

AIR TANAH

3. 1. Pengertian umum

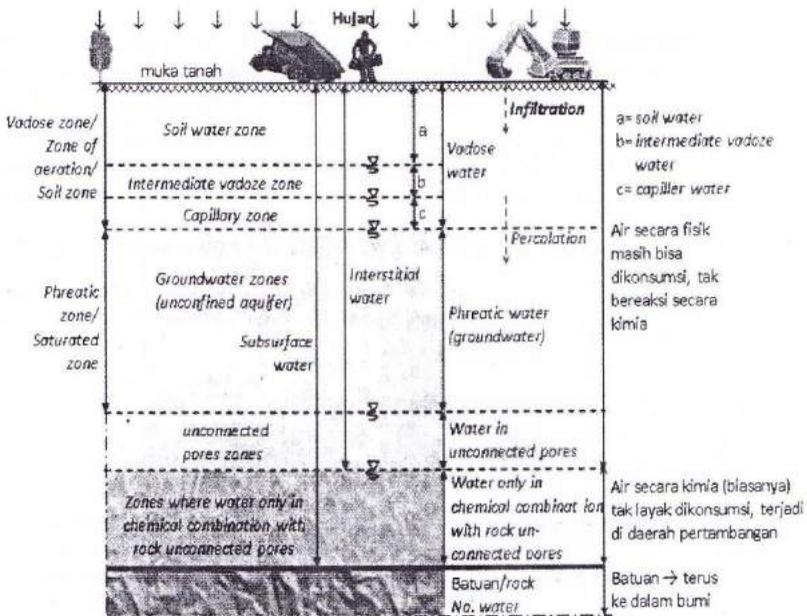
Tanah adalah susunan butiran padat dan pori-pori yang saling berhubungan satu sama lain sehingga air dapat mengalir dari satu titik yang mempunyai energi lebih tinggi ke titik yang mempunyai energi lebih rendah.

Secara umum fenomena keberadaan air tanah dibagi dalam dua tipe, yaitu air pada *vadose zone* dan air pada *phreatic zone*. Pada *vadose zone*, dibagi menjadi tiga tipe air yaitu air tanah (*soil water*), *intermediate vadose water* dan air kapiler. Pada *phreatic zone* atau *saturated zone* (zona jenuh air) terdapat air tanah (*groundwater*). Pembagian zona ini dapat dilihat pada gambar 3.1.a yang menunjukkan potongan irisan bumi keberadaan air tanah baik *groundwater* maupun *soil water*.

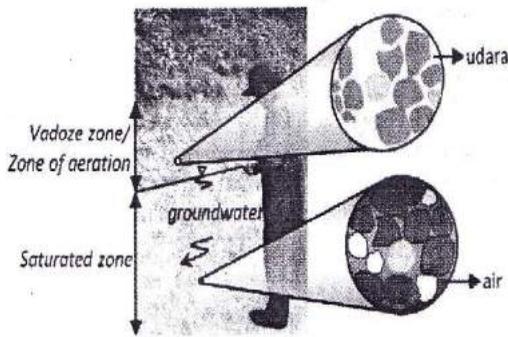
Daerah air tanah (*soil water*) sebagian besar digunakan untuk keperluan pertanian. Daerah ini juga merupakan sumber air untuk tanaman. Air akan hilang dari zona ini karena adanya transpirasi dari tanaman, evaporasi, dan perkolasi ketika air terlalu jenuh. Kedalaman air tanah antara 1-10 meter, tergantung tipe tanah dan vegetasinya.

Pada zona ini air terjadi karena adanya gerakan antara molekul- molekul, daya kapilaritas yang melawan gaya gravitasi. Gerakan molekul cenderung mengisi air tanah pada lapisan permukaan dari masing-masing partikel tanah. Daya kapilaritas mengisi air pada ruang-ruang kecil diantara partikel-partikel tanah. Ketika kapasitas air tanah karena adanya kapilaritas sudah penuh, maka air mulai mengalami perkolasi karena adanya gaya gravitasi.

Zona dibawah zona soil water adalah zona tengah (*intermediate vadose water*). Meskipun sebagian besar pada zona ini bergerak ke bawah, namun sebagian ada yang tertahan tetapi tidak dapat diambil. Pada daerah lembah (daerah basah), zona ini sangat sedikit atau bahkan tidak ada. Kemungkinan kecil air mengalir semuanya melewati zona tengah pada daerah kering dan sebagian kecil air mencapai muka air tanah (*groundwater*) karena perkolasi aliran dari soil water.



a. Formasi air bawah permukaan daerah CAT



b. Contoh air bawah permukaan daerah CAT

Gambar 3.1.a Formasi air di bawah muka tanah

Pipa kapiler berada pada bagian bawah zona tengah, dimana air tanah naik ke atas karena gaya kapiler. Besarnya

pipa kapiler tergantung dari rata-rata ukuran butir material dari zona ini. Kapilaritas tidak efektif pada sedimen kasar, tetapi air dapat naik sampai kurang lebih 3 meter. Sedimen halus mengalami kejenuhan sampai pada zona kapiler dan gaya fisik cairan sama dengan muka air dibawahnya.

Muka air tanah (*water table*) merupakan pemisah antara zona air tanah atau phreatic water dengan pipa kapiler. Muka air tanah secara teoritis merupakan perkiraan elevasi air permukaan pada sumur yang hanya merembes pada jarak pendek ke zona jenuh air. Jika air tanah mengalir horisontal, elevasi muka air pada sumur sangat berhubungan dengan muka air tanah. Dengan adanya sumur akan mengubah bentuk aliran dan elevasi muka air pada sumur.

Secara umum dapat dikatakan bahwa air tanah (*groundwater*) merupakan air dibawah muka air tanah dan berada pada zona jenuh air dan didefinisikan sebagai air yang masuk secara bebas kedalam sumur, baik dalam keadaan bebas (*unconfined*) maupun tertekan (*confined*). Bagian air dari zona air tanah hampir tidak mungkin digambarkan. Air pada bukaan ini tidak dapat mengalir ke sumur karena masing-masing pori tidak berhubungan.

Selanjutnya aliran air tanah didefinisikan sebagai bagian dari aliran sungai yang sudah meresap (infiltrasi) ke dalam

tanah (*ground*) dan masuk pada zona jenuh air atau *phreatic zone* dan sudah dialirkan (*discharged*) kedalam sungai (*stream channel*) melalui pancaran air (*springs*) atau rembesan air (*seepage water*).

Studi mengenai aliran air melalui pori-pori tanah diperlukan karena hal ini sangat berguna dalam :

- memperkirakan jumlah rembesan air dalam tanah
- menyelidiki masalah-masalah yang menyangkut pemompaan air untuk konstruksi di bawah tanah
- menganalisis kestabilan suatu bendungan tanah dan konstruksi dinding penahan tanah yang terkena gaya rembesan.

Air tanah merupakan mata rantai dari siklus hidrologi dan air ini sudah sejak jaman dahulu sudah digunakan untuk kehidupan manusia, khususnya kebutuhan rumah tangga.

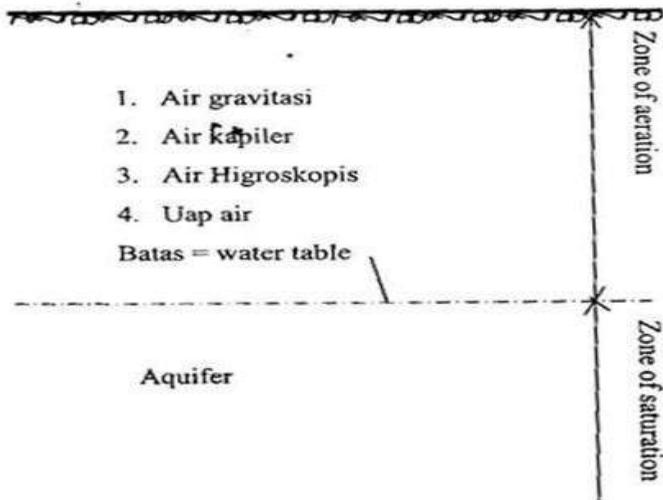
Untuk memenuhi kebutuhan air tanah, sumur digali dengan diameter sedemikian sehingga dapat diperoleh kuantitas air tanah sesuai kebutuhan walaupun kedalaman sumur ini terbatas. Dalam musim kemarau ada juga daerah-daerah tertentu yang memanfaatkan air tanah untuk irigasi tanaman. Untuk keperluan ini, air di bor dan dialirkan keatas dengan menggunakan pompa untuk memenuhi kebutuhan pertanian.

Sebagai bagian dari mata rantai siklus hidrologi, air tanah adalah bagian dari proses infiltrasi air ke dalam tanah dan dari air infiltrasi ini ada yang mengalir meluas (air perkolasi). Tanah terdiri dari butiran-butiran campuran mineral, yang satu sama lain terpisah oleh ruang kosong yang dikenal dengan liang-liang renik.

Air mengalir melalui liang-liang renik, dibawah pengaruh gaya tarik bumi, kebawah meresap mencapai daerah yang telah jenuh air atau gravitasi ini mencapai daerah jenuh air (zone of saturation). Zone jenuh air ini dapat dinamakan zone pengandung air atau akuifer. Apabila ruang antara butiran tanahterlalu kecil, maka aliran air karena gravitasi akan terhenti dan akan terjadi aliran yang berlawanan dengan gaya tarik bumi, aliran ini dikenal dengan aliran kapiler dan airnya disebut air kapiler.

Daerah dimana terjadi aliran gravitasi dan aliran kapiler disebut daerah aeration, dan dalam daerah ini terdapat pula uap air dan air yang terikat dalam butiran –butiran tanah, akibat kohesi, ialah air higroskopis.

Batas antara zone aeration dan zone saturation ialah permukaan air tanah (water table atau muka piezometris) seperti gambar 3.1.b berikut:



Gambar 3.1.b Batas zone aeration dan zone saturation

Tebalnya zone aeration bisa nol tergantung pada kondisi tanahnya. Kecepatan peresapan tergantung pada struktur dan tekstur tanah. Pada umumnya butiran-butiran tanah kasar memiliki kecepatan lebih besar dari pada tanah berbutiran halus.

3.2. Infiltrasi dan Perkolasi

Infiltrasi adalah meresapkannya air permukaan ke dalam tanah. Kecepatan infiltrasi yang tinggi terjadi pada waktu tanah belum jenuh air (*saturated*), terutama setelah musim kemarau yang panjang. Penutup lahan yang berupa vegetasi akan

menghambat aliran permukaan sehingga memungkinkan air untuk berinfiltrasi dan juga sistem akar tanaman membuat air lebih mudah meresap ke dalam tanah. Kecepatan infiltrasi cenderung menurun secara eksponensial pada saat hujan meningkat, yaitu apabila hujan melebihi kapasitas infiltrasinya.

Kecepatan infiltrasi yang terjadi dipengaruhi beberapa faktor yaitu :

- jenis tanaman, kondisi permukaan tanah, temperatur
- intensitas hujan, kualitas air
- volume tampungan di bawah tanah (*soil storage capacity*)
- kelembaban tanah dan udara yang terdapat didalam tanah
- sifat- sifat fisik tanah atau struktur tanah yang meliputi permeabilitas tanah atau *hydraulic conductivity* dan porositas tanah (yang terpenting adalah porositas non - kapiler karena infiltrasi cenderung naik sebanding dengan porositasnya).

Pada proses terjadinya infiltrasi pada dasarnya terdapat tiga hal yang terjadi pada air, yaitu :

- Air yang meresap tertarik kembali ke permukaan oleh gaya kapilaritas pori tanah kemudian mengalami penguapan,
- Air yang meresap dihisap oleh akar tanaman dalam tanah untuk proses pertumbuhan kemudian menguap ke atmosfer

akibat evapotranspirasi

- Air yang merecap dalam dan cukup, mengalami gaya tarik gravitasi menuju zone of saturation yang kemudian mengisi *groundwater reservoirs (aquifer)*

Perhitungan infiltrasi dengan Metode Horton

Metode ini tidak menganalisis secara fisik bagaimana infiltrasi itu terjadi, bentuk kurva tergantung pada sifat tanahnya (tanah kering → infiltrasi besar)

$$f = K + (f_0 - K)e^{-kt} \quad (3.1)$$

dimana :

f = kapasitas infiltrasi

k = konstanta

K = permeabilitas / hydraulic conductivity

f₀ = kapasitas infiltrasi awal

t = waktu

Kumulatif infiltrasi adalah:

$$w = Kt + 1/k (f_0 - K)(1 - e^{-kt}) \quad (3.2)$$

3.3. Gradien Hidrolik

Menurut persamaan Bernoulli, tinggi energi total pada suatu titik di dalam air yang mengalir dapat dinyatakan sebagai penjumlahan dari tinggi tekan, tinggi kecepatan, dan tinggi

elevasi, yaitu :

$$h = \frac{\rho}{\gamma_w} + \frac{v^2}{2g} + Z \quad (3.3)$$

dimana :

h = tinggi energi total

p = tekanan

v = kecepatan

g = percepatan disebabkan oleh gravitasi

γ_w = berat volume air

Apabila persamaan Bernoulli tersebut dipakai untuk air yang mengalir melalui pori-pori tanah, bagian persamaan yang mengandung tinggi kecepatan dapat diabaikan.

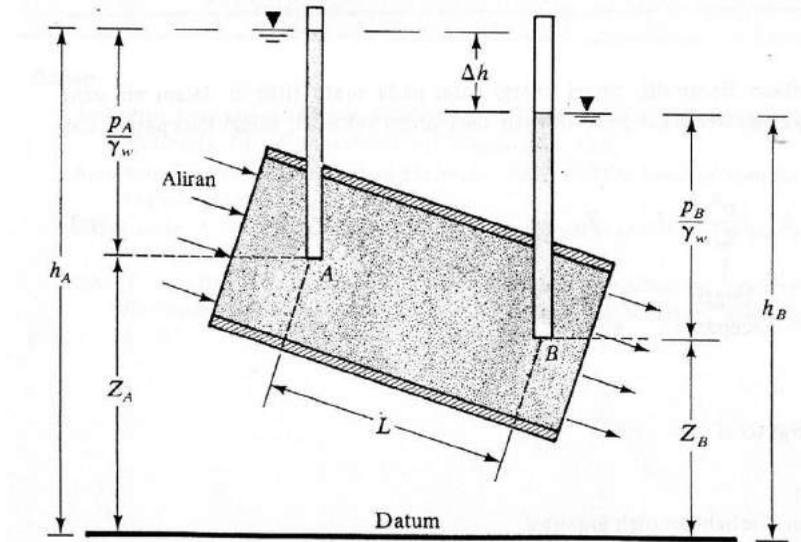
Hal ini disebabkan karena kecepatan rembesan air di dalam tanah adalah sangat kecil. Sehingga tinggi energi total pada suatu titik dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$h = \frac{p}{\gamma_w} + Z \quad (3.4)$$

Gambar 3.2.a menunjukkan hubungan antara tekanan, elevasi, dan tinggi energi total dari suatu aliran air dalam tanah.

Tabung piezometer dipasang pada titik A dan titik B. Ketinggian air di dalam tabung piezometer A dan B disebut sebagai muka piezometer dari titik A dan tabung piezometer pada titik tersebut. Tinggi elevasi dari suatu titik merupakan jarak vertikal yang diukur dari suatu bidang datum yang

diambil sembarang ke titik yang bersangkutan.



Gambar 3.2.a Tekanan, elevasi, tinggi energi total untuk aliran di dalam tanah

Kehilangan energi antara dua titik A dan B, dapat ditulis dengan persamaan dibawah ini:

$$\Delta h = h_A - h_B = \left(\frac{P_A}{\gamma_w} + Z_A \right) - \left(\frac{P_B}{\gamma_w} + Z_B \right) \quad (3.5)$$

Kehilangan energi h tersebut dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan tanpadimensi seperti di bawah ini :

$$i = \frac{\Delta h}{L} \quad (3.6)$$

dimana :

i = gradien hidrolik

L = jarak titik A dan B; panjang aliran air dimana kehilangan tekanan terjadi

Pada umumnya, variasi kecepatan v dengan gradien hidrolik i dapat dijalankan seperti dalam gambar 3.2.b.

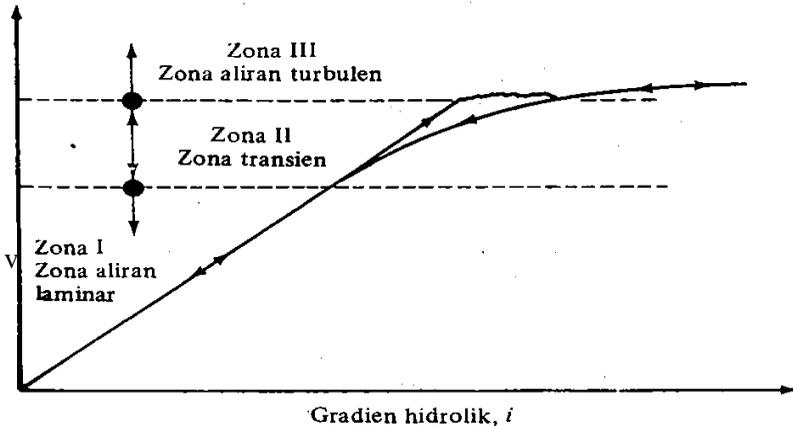
Gambar ini membagi grafik dalam ketiga zone :

- a. Zona aliran laminar (zona I)
- b. Zona transisi (zona II) dan
- c. Zona aliran turbulen (zona III)

Bilamana gradien hidrolik bertambah besar secara perlahan-lahan, aliran di zona I akan tetap laminar, dan kecepatan v akan mempunyai gradien hidrolik. Pada gradien hidrolik yang lebih tinggi, aliran menjadi turbulen (zona III). Bilamana gradien hidrolik berkurang, keadaan aliran laminar akan terjadi di zona I saja. Pada kebanyakan tanah, aliran air melalui ruang pori dapat dianggap sebagai aliran laminar sehingga :

$$V \approx i \quad (3.7)$$

Di dalam batuan, kerikil dan pasir yang sangat kasar, keadaan aliran turbulen mungkin terjadi. Dalam hal ini mungkin persamaan di atas tidak berlaku.



Gambar 3. 2.b Variasi kecepatan aliran v dengan gradien hidrolis i

3.4. Hukum Darcy

Pada tahun 1856, Darcy memperkenalkan suatu persamaan sederhana yang digunakan untuk menghitung kecepatan aliran air yang mengalir dalam tanah jenuh, dinyatakan sebagai berikut :

$$v = ki \tag{3.8}$$

dimana :

v = kecepatan aliran,

k = koefisien rembesan

i = gradien hidrolis

3.5. Koefisien Rembesan

Koefisien rembesan (*coefficient of permeability*) tergantung pada beberapa faktor yaitu kekentalan cairan, distribusi ukuran butir pori, distribusi ukuran butir, angka pori, kekasaran permukaan butiran tanah, dan derajat kejenuhan tanah. Pada tanah berlempung struktur tanah memegang peranan penting dalam menentukan koefisien rembesan. Faktor-faktor lain yang mempengaruhi sifat rembesan tanah lempung adalah konsentrasi ion dan ketebalan lapisan air yang menempel pada butiran lempung.

Selanjutnya, debit rembesan (q) dapat ditulis dengan :

$$q = kiA \quad (3.9)$$

dengan A = luas penampang tanah

Koefisien permeabilitas/koefisien rembesan, (k) mempunyai satuan yang sama dengan satuan kecepatan yaitu cm/detik atau mm/det, dan menunjukkan ukuran tahanan tanah terhadap aliran air.

Bila pengaruh sifat-sifat air dimasukkan, maka :

$$k \text{ (cm/det)} = \frac{K\rho_w g}{\mu} \quad (3.10)$$

dengan :

K = koefisien absolut (cm^2), tergantung dari sifat butirannya.

ρ_w = kerapatan air (gr/cm^3)

μ = koefisien kekentalan air ($\text{gr}/\text{cm det}$)

Karena air hanya dapat mengalir lewat ruang pori, maka kecepatan nyata rembesan lewat tanah (v_s) adalah, sbb :

$$v_s = \frac{v}{n} \text{ atau } v_s = \frac{ki}{n} \quad (3.11)$$

dengan n = porositas tanah

Beberapa nilai koefisien permeabilitas (k) dari berbagai jenis tanah diperlihatkan pada tabel berikut, dimana nilai k tersebut biasanya dinyatakan pada temperatur 20°C .

Tabel 3.1 Harga-harga koefisien rembesan

Jenis tanah	k	
	(cm/detik)	(ft/menit)
Kerikil bersih	1,0-100	2,0-200
Pasir kasar	1,0-0,01	2,0-0,02
Pasir halus	0,01-0,001	0,02-0,002
Lanau	0,001-0,00001	0,002-0,00002
Lempung	kurang dari 0,000001	kurang dari 0,000002

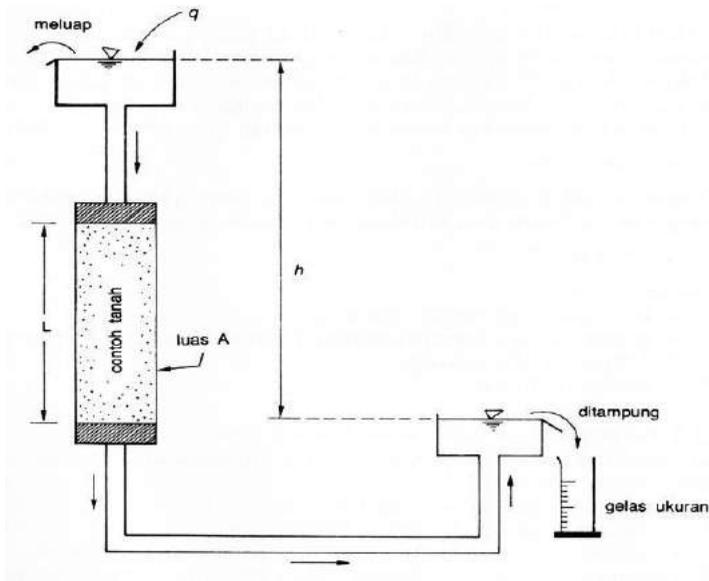
3.6. Penentuan Koefisien Rembesan di Laboratorium

Terdapa tempat macam cara pengujian untuk menentukan koefisien permeabilitas di laboratorium, yaitu :

- Pengujian tinggi energi tetap (Constan-head).
- Pengujian tinggi energi turun (falling-head).
- Penentuan secara tidak langsung dari pengujian konsolidasi.
- Penentuan secara tidak langsung dari pengujian kapiler horizontal.

a. Pengujian tinggi energi tetap (Constan-head)

Pengujian constant-head ini cocok untuk jenis tanah granular (berbutir).



Gambar 3. 3. Pengujian Tinggi Energi Tetap

Prinsip pengujiannya, tanah benda uji diletakkan di dalam

silinder. Pemberian air dari pipa masuk dijaga sedemikian rupa sehingga perbedaan tinggi air pada pipa masuk dan pipa keluar (h) selalu konstan selama percobaan. Pada kedudukan ini tinggi energi hilang adalah h .

Setelah kecepatan aliran air yang melalui contoh tanah menjadi konstan, banyaknya air yang keluar ditampung dalam gelas ukur (Q) dan waktu pengumpulan air dicatat (t).

Volume air yang terkumpul adalah

$$Q = qt = k i A t \quad (3.12)$$

Dengan A adalah luas penampang benda uji, dan L adalah panjangnya. Karena $i = h/L$, maka :

$$Q = k (h/L) i A t \quad (3.13)$$

sehingga :

$$k = \frac{QL}{hAt} \quad (3.14)$$

Contoh Soal:

Hitung besarnya koefisien permeabilitas suatu contoh tanah berbentuk silinder mempunyai \emptyset 7,3 cm dan panjang 16,8 cm akan ditentukan permeabilitasnya dengan alat pengujian permeabilitas constant-head.

Tinggi tekanan konstan sebesar 75 cm di kontrol selama masa pengujiannya. Setelah 1 menit pengujian berjalan, air yang

tumpah pada gelas ukur ditimbang, beratnya 940 gram.

Temperatur pada waktu pengujian 20 °C.

Penyelesaian :

Luas penampang benda uji (A)= $\frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{1}{4} \pi 7,32 = 41,9 \text{ cm}^2$.

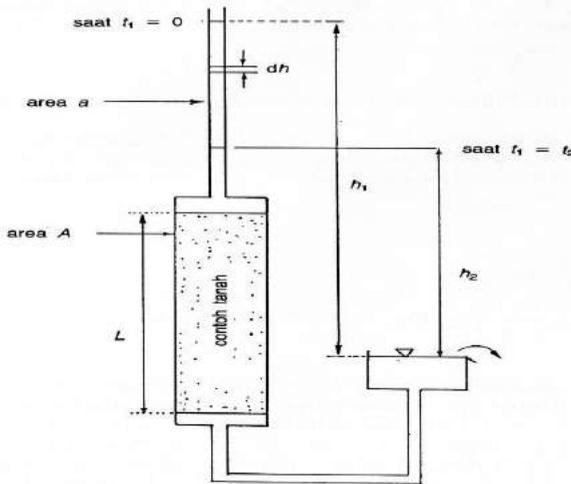
Volume air pada gelas ukur = 940 cm³, karena $\gamma_w = 1 \text{ gr/cm}^3$.

Koefisien permeabilitas :

$$k = \frac{QL}{hAt} = \frac{940 \times 16,8}{75 \times 41,9 \times 1 \times 60} = 0,08 \text{ cm/det}$$

b. Pengujian Permeabilitas dengan Cara Tinggi Energi Turun (Falling-head)

Pengujian falling-head ini cocok untuk jenis tanah berbutir halus.



Gambar 3. 4. Pengujian Cara Tinggi Energi Turun

Prinsip pengujiannya, tanah benda uji diletakkan di dalam silinder.

Pipa pengukur didirikan di atas benda uji kemudian air dituangkan kedalamnya dan air dibiarkan mengalir melewati benda uji.

Perbedaan tinggi air pada awal pengujian ($t_1 = 0$) adalah h_1 .

Kemudian air dibiarkan mengalir melewati benda uji sampai waktu tertentu (t_2) dengan perbedaan tinggi muka air adalah h_2 .

Debit air yang mengalir melalui benda uji pada waktu t adalah sbb :

$$q = kiA = k \frac{h}{L} A = -\frac{dv}{dt} = -a \frac{dh}{dt} \quad (3.15)$$

Sehingga :

$$dt = \frac{aL}{Ak} = \left(-\frac{dh}{h} \right) \quad (3.16)$$

Dimana :

h = perbedaan tinggi muka air pada sembarang waktu

A = luas penampang contoh tanah

a = luas penampang pipa pengukur

L = panjang contoh tanah

Contoh Soal :

Pada pengujian permeabilitas falling-head diperoleh data sbb :

Luas penampang benda uji $A = 20 \text{ cm}^2$;

Luas pipa pengukur $a = 2 \text{ cm}^2$;

Sebelum contoh tanah diuji, tahanan saringan alat pengujian falling-head diuji terlebih dahulu. Hasilnya, waktu yang dibutuhkan untuk menurunkan air di pipa bagian atas dari 100 cm menjadi 15 cm adalah 5 detik.

Kemudian contoh tanah tebal 5 cm dimasukkan ke dalam tabung silinder untuk diuji.

Waktu yang diperlukan untuk penurunan muka air dari 100 cm menjadi 15 cm adalah 2,5 menit.

Hitunglah koefisien permeabilitas tanah ini dengan cara pengujian falling-head.

Solusi :

Dianggap bahwa air mengalir vertikal ke bawah, melewati dua lapis tanah dengan luas penampang yang sama, tetapi dengan nilai k yang berbeda.

Debit air yang lewat adalah sama pada masing-masing potongan tanahnya. Dimana debit = luas x kecepatan.

Oleh karena kedua tanah terletak pada luas tabung yang sama, maka kecepatan pada masing-masing tanah juga sama.

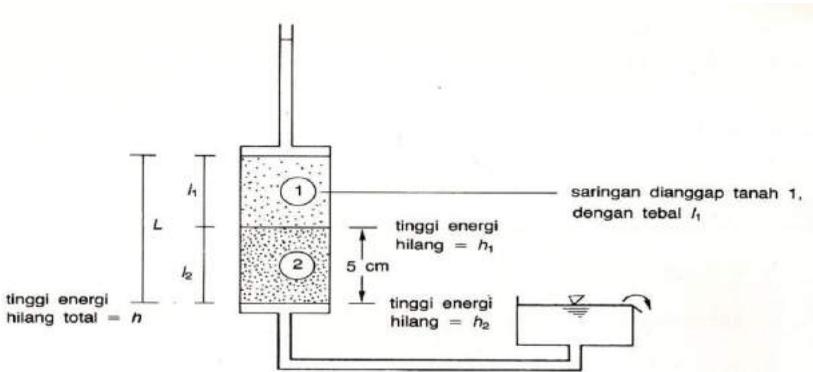
Berdasarkan hukum Darcy : $v = k i$

Untuk Tanah 1:

$$v = k_1 \frac{h_1}{l_1} \quad \frac{h_1}{v} = \frac{l_1}{k_1}$$

Untuk Tanah 2:

$$v = k_2 \frac{h_2}{l_2} \quad \frac{h_2}{v} = \frac{l_2}{k_2}$$



Gambar 3. 5. Contoh Soal Pengujian Cara Tinggi Energi Turun

Jika k_z adalah koefisien permeabilitas rata-rata untuk kedua lapisan, maka :

$$v = k_z \left(\frac{h_1 + h_2}{l_1 + l_2} \right) = k_z \frac{h}{L}$$

$$\frac{h}{v} = \frac{L}{k_z} \dots\dots\dots(1)$$

$$\frac{h_1}{v} + \frac{h_2}{v} = \frac{l_1}{k_1} + \frac{l_2}{k_2}$$

$$\frac{1}{v} (h_1 + h_2) = \frac{l_1}{k_1} + \frac{l_2}{k_2}$$

$$\frac{h}{v} = \frac{l_1}{k_1} + \frac{l_2}{k_2} \dots\dots\dots(2)$$

Substitusi pers (1) ke pers (2) :

$$\frac{L}{k_z} = \frac{l_1}{k_1} + \frac{l_2}{k_2} \dots\dots\dots(4)$$

Dari persamaan koefisien permeabilitas untuk falling head :

$$k = 2,303 \frac{aL}{At} \log \frac{h_1}{h_2}$$

Untuk aliran hanya lewat tanah 1 (pengukuran tahanan saringan) :

$$k_1 = 2,303 \frac{2 \times l_1}{20 \times 5} \log \left(\frac{100}{15} \right) \qquad \frac{l_1}{k_1} = 26,35$$

Untuk aliran lewat kedua lapisan tanah, t = 2,5 menit = 150 detik

$$k_2 = 2,303 \frac{2}{20} \times \frac{L}{150} \log \left(\frac{100}{15} \right) \qquad \frac{L}{k_1} = 790,53$$

Dari persamaan (4)

$$\begin{aligned} \frac{L}{k_z} &= \frac{l_1}{k_1} + \frac{l_2}{k_2} \\ 790,53 &= 26,35 + \frac{5}{k_2} \end{aligned}$$

Jadi, $k_2 = 6,5 \times 10^{-3}$ cm/det

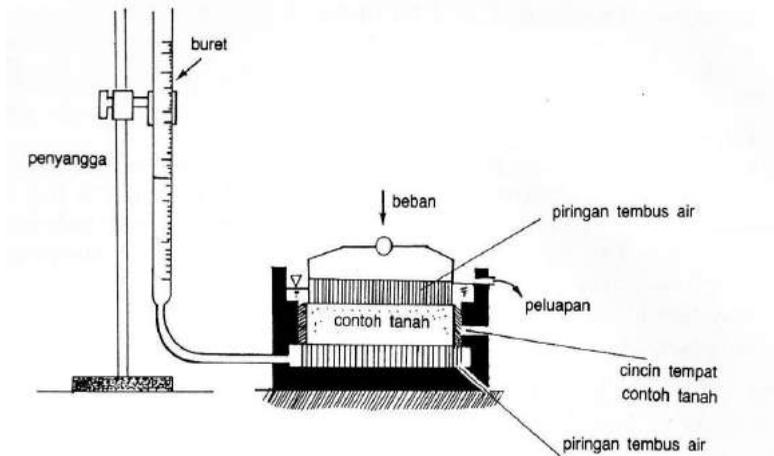
c. Penentuan Koefisien Permeabilitas dari Pengujian Konsolidasi

Koefisien permeabilitas tanah (lempung) dari 10-6 sampai 10-9 cm/det dapat ditentukan dalam sebuah *falling head*

permeameter yang direncanakan khusus dari percobaan konsolidasi.

Pada alat ini, luas benda uji dibuat besar.

Panjang lintasan air L dibuat kecil dan tinggi h dibuat besar.



Gambar 3. 6. Pengujian Konsolidasi

Untuk menghindari penggunaan pipa yang tinggi, tinggi tekanan dapat dibuat dengan jalan pemberian tekanan udara.

Penentuan koefisien permeabilitas diperoleh dari persamaan konsolidasi sebagai berikut :

$$T_v = \frac{C_v t}{H^2} \quad (3.17)$$

dengan :

T_v = factor waktu

C_v = koefisien konsolidasi

H = panjang rata-rata lintasan drainase

T = waktu pengaliran

Persamaan koefisien konsolidasi, adalah :

$$C_v = \frac{k}{\gamma_w m_v} \quad (3.18)$$

$$m_v = \frac{\Delta e}{\Delta \sigma (1+e)} \quad (3.19)$$

dengan :

γ_w = berat jenis air

m_v = koefisien kompresibilitas volume

e = perubahan angka pori pada perubahan bebannya

$\Delta \sigma$ = tambahan tekanan yang diterapkan

Substitusi dari ketiga persamaan tersebut, menghasilkan :

$$k = \frac{T_v \gamma_w \Delta e H^2}{t \Delta \sigma (1+e)} \quad (3.20)$$

Untuk 50% konsolidasi, $T_v = 0,198$, maka :

$$k = \frac{0,198 \gamma_w \Delta e H^2}{t_{50} \Delta \sigma (1+e)} \quad (3.21)$$

Contoh Soal :

Benda uji setebal 2,74 cm diletakkan diantara batu tembus air alat konsolidasi meter.

Dari percobaan dihasilkan waktu untuk mencapai derajat

penurunan konsolidasi 50% (t_{50}) = 12 menit.

Hitung koefisien konsolidasi dari benda uji.

Dianggap bahwa benda uji pada tekanan $p_1 = 1,473 \text{ kg/cm}^2$ mempunyai angka pori $e_1 = 0,585$.

Pada akhir pengujian tekanan $p_2 = 2,946 \text{ kg/cm}^2$, angka pori $e_2 = 0,499$.

Penyelesaian :

Pada pengujian ini, nilai e rata-rata $= (0,585 + 0,499) / 2 = 0,542$

$$\frac{\Delta e}{\Delta \sigma} = \frac{0,585 - 0,499}{2946 - 1473} = 5,84 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 / \text{gr}$$

$T_{50} = 12 \text{ menit} = 720 \text{ detik}$

Karena kondisi drainase dari contoh benda uji adalah drainase atas dan bawah, maka $H = 2,74 / 2 \text{ cm}$.

Koefisien permeabilitas selama pengujian ini :

$$k = \frac{0,198 \gamma_w \Delta e H^2}{t_{50} \Delta \sigma (1 + e)} = \frac{0,198 \times 1 \times (5,84 \times 10^{-5}) (2,74 / 2)^2}{720 (1 + 0,542)} = 1,95 \times 10^{-8} \text{ cm/dt}$$

3.7. Pengelolaan Air Tanah

Parameter Sifat Fisik, Kimia, Dan Bakteriologi Air Tanah

Yang Diuji

3.7.1 Parameter Fisik

Berikut ini adalah penjelasan tentang beberapa parameter fisik yang digunakan untuk menentukan kualitas air meliputi

suhu, kekeruhan, warna, Daya hantar listrik, jumlah zat padat terlarut, rasa, bau.

a. Bau

Air minum yang berbau dapat memberikan petunjuk terhadap kualitas air, misalnya bau amis dapat disebabkan oleh adanya algae dalam air tersebut. Berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan RI Nomor 907/MENKES/SK/VII/2002, diketahui bahwa syarat air minum yang dapat dikonsumsi manusia adalah tidak berbau.

b. Jumlah Zat Padat Terlarut

Zat padat merupakan materi residu setelah pemanasan dan pengeringan pada suhu 103°C – 105°C . Residu atau zat padat yang tertinggal selama proses pemanasan pada temperatur tersebut adalah materi yang ada dalam contoh air dan tidak hilang atau menguap pada 105°C . Dimensi zat padat dinyatakan dalam mg/l atau g/l, % berat (kg zat padat/kg larutan), atau % volume (dm^3 Zat padat/liter larutan). Dalam air alam, ditemui dua kelompok zat yaitu zat terlarut (seperti garam dan molekul organis) serta zat padat tersuspensi dan koloidal (seperti tanah liat dan kwarts). Perbedaan pokok antara kedua kelompok zat ini ditentukan melalui ukuran/diameter partikel-partikelnya. Analisa zat padat dalam air digunakan untuk menentukan komponen-komponen air

secara lengkap, proses perencanaan, serta pengawasan terhadap proses pengolahan air minum maupun air buangan. Karena bervariasinya materi organik dan anorganik dalam analisa zat padat, tes yang dilakukan secara empiris tergantung pada karakteristik materi tersebut. Metode Gravimetry digunakan hampir pada semua kasus. Jumlah dan sumber materi terlarut dan tidak terlarut yang terdapat dalam air sangat bervariasi. Pada air minum, kebanyakan merupakan materi terlarut yang terdiri dari garam anorganik, sedikit materi organik, dan gas terlarut. Total zat padat terlarut dalam air minum berada pada kisaran 20 – 1000 mg/L. Padatan terlarut total (*Total Dissolved Solid* atau TDS) merupakan bahan-bahan terlarut (diameter <10⁻⁶ mm) dan koloid (diameter 10⁻⁶ mm – 10⁻³ mm) yang berupa senyawa-senyawa kimia dan bahan-bahan lain, yang tidak tersaring pada kertas saring berdiameter 0,45 µm (Rao, 1992 dalam Effendi, 2003). Materi ini merupakan residu zat padat setelah penguapan pada suhu 105°C. TDS terdapat di dalam air sebagai hasil reaksi dari zat padat, cair, dan gas di dalam air yang dapat berupa senyawa organik maupun anorganik. Substansi anorganik berasal dari mineral, logam, dan gas yang terbawa masuk ke dalam air setelah kontak dengan materi pada permukaan dan tanah. Materi organik dapat berasal dari hasil penguraian vegetasi,

senyawa organik, dan gas-gas anorganik yang terlarut. TDS biasanya disebabkan oleh bahan anorganik berupa ion-ion yang terdapat di perairan. Ion-ion yang biasa terdapat di perairan ditunjukkan dalam Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Tabel Ion

Ion Utama (Major Ion) (1,0 – 1000 mg/liter)		Ion Sekunder (Secondary Ion) (0,01 – 10 mg/liter)	
1.	Sodium (Na)	1.	Besi
2.	Kalsium (Ca)	2.	Strontium (Sr)
3.	Magnesium (Mg)	3.	Kalium (K)
4.	Bikarbonat (HCO ₃)	4.	Karbonat (CO ₃)
5.	Sulfat (SO ₄)	5.	Nitrat (NO ₃)
6.	Klorida (Cl)	6.	Fluorida (F)
		7.	Boron (B)
		8.	Silika (SiO ₂)

Sumber : Todd, 1970 dalam Effendi, 2003.

TDS tidak diinginkan dalam badan air karena dapat menimbulkan warna, rasa, dan bau yang tidak sedap. Beberapa senyawa kimia pembentuk TDS bersifat racun dan merupakan senyawa organik bersifat karsinogenik. Akan tetapi, beberapa zat dapat memberi rasa segar pada air minum. Kekeruhan akan bertambah seiring dengan semakin banyaknya TDS. Analisis TDS biasanya dilakukan dengan penentuan Daya Hantar Listrik (DHL) air. TDS terdiri dari ion-ion sehingga kadar TDS sebanding dengan kadar DHL air. Penentuan jumlah materi terlarut dan tidak terlarut juga dapat dilakukan dengan membandingkan jumlah yang terfiltrasi dengan yang tidak. Analisa TDS dapat digunakan untuk menentukan derajat

keasinan dan faktor koreksi, misal untuk diagram kekeruhan Caldwell – Lawrence.

c. Kekeruhan

Kekeruhan menggambarkan sifat optik air yang ditentukan berdasarkan banyaknya cahaya yang diserap dan dipancarkan oleh bahan-bahan yang terdapat di dalam air. Kekeruhan disebabkan adanya bahan organik dan anorganik yang tersuspensi dan terlarut (misalnya lumpur dan pasir halus), maupun bahan anorganik dan organik yang berupa plankton dan mikroorganisme lain (APHA, 1976; Davis dan Cornwell, 1991 dalam Effendi 2003). Zat anorganik yang menyebabkan kekeruhan dapat berasal dari pelapukan batuan dan logam sedangkan zat organik berasal dari lapukan hewan dan tumbuhan.

Bakteri dapat dikategorikan sebagai materi organik tersuspensi yang menambah kekeruhan air. Padatan tersuspensi berkorelasi positif dengan kekeruhan. Semakin tinggi nilai padatan tersuspensi, semakin tinggi nilai kekeruhan. Akan tetapi, tingginya padatan terlarut tidak selalu diikuti dengan tingginya kekeruhan. Tingginya nilai kekeruhan dapat mempersulit usaha penyaringan dan mengurangi efektivitas desinfeksi pada proses penjernihan air. Secara optis, kekeruhan merupakan suatu kondisi yang mengakibatkan

cahaya dalam air didispersikan atau diserap dalam suatu contoh air. Beberapa metode pengukuran kekeruhan antara lain (Santika, 1987) .

- Metode Jackson Candler Turbidimetry

Metode ini dilakukan berdasarkan transmisi cahaya yang terjadi. Pengukuran kekeruhan menggunakan metode ini bersifat visual dan dilakukan dengan cara membandingkan contoh air dengan air standar. Pada awalnya metode standar yang digunakan untuk menentukan kekeruhan adalah metode Turbidimeter Jackson Candler yang dikalibrasi menggunakan silika. Namun, tingkat kekeruhan terendah yang dapat diukur dengan alat ini adalah 25 unit. Satu unit turbiditas Jackson Candler Turbidimeter dinyatakan dengan satuan 1 JTU.

- Metode Nephelometric

Nephelometertidak dipengaruhi oleh perubahan kecil pada desain parameter. Satuan kekeruhan dalam pengukuran nephelometer dinyatakan dalam NTU (Nephelometric Turbidity Unit).

Nephelometric Method disarankan untuk metode visual karena ketepatan, sensitifitas, dan dapat digunakan dalam rentang turbiditas yang besar. Prinsip kerja dari metode ini

adalah membandingkan cahaya yang didispersikan oleh contoh air pada kondisi yang sama dengan intensitas cahaya yang didispersikan oleh larutan suspensi standar (polymer formazin). Semakin tinggi intensitas yang didispersikan, semakin tinggi pula turbiditasnya. Penentuan turbiditas sebaiknya dilakukan pada saat pengambilan contoh air. Bila tidak, disimpan pada tempat yang gelap, paling lama 24 jam. Penyimpanan yang terlalu lama dapat menyebabkan kekeruhan.

- Metode Visual

Metode ini merupakan cara kuno yang lebih sesuai digunakan untuk contoh air dengan tingkat kekeruhan yang tinggi. Dalam sistem penyediaan air minum, kekeruhan merupakan salah satu faktor penting karena beberapa alasan sebagai berikut (Sawyer, 4th edition) :

Faktor estetika

Konsumen menghendaki air yang bebas dari kekeruhan. Kekeruhan pada air minum dihubungkan dengan kemungkinan terjadinya polusi limbah cair dan bahaya kesehatan yang mengancam.

Filterability

Filtrasi air akan lebih sulit dilakukan dan akan membutuhkan biaya yang besar apabila kekeruhannya tinggi.

Desinfeksi

Pada air yang keruh, banyak terkandung organisme berbahaya yang tersembunyi pada proses desinfeksi. Satuan kekeruhan yang biasa digunakan sebagai berikut :

- mg/l SiO₂(satuan standar) = 1 unit turbiditas.
- NTU (Nephelometric Turbidity Unit). Batas maksimal yang diperbolehkan oleh US Environmental Protection Agency adalah 0,5 – 1 unit kekeruhan (NTU). Dalam batas ini, air boleh digunakan sebagai air minum.
- JTU (Jackson Candle Turbidity Unit). 40 NTU = 40 JTU (Sawyer dan Mc Carthy : 1978).
- FTU (Formazin Turbidity Unit)

d. Rasa

Air minum biasanya tidak memberikan rasa (tawar). Air yang berasa menunjukkan kehadiran berbagai zat yang dapat membahayakan kesehatan. Efek yang dapat ditimbulkan terhadap kesehatan manusia tergantung pada penyebab timbulnya rasa. Berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan RI Nomor 907/MENKES/SK/VII/2002, diketahui bahwa syarat air minum yang dapat dikonsumsi manusia adalah tidak berasa.

e. Suhu

Suhu air sebaiknya sejuk atau tidak panas, agar tidak terjadi pelarutan zat kimia pada saluran/pipa yang dapat membahayakan kesehatan, menghambat reaksi-reaksi biokimia di dalam saluran/pipa, mikroorganisme patogen tidak mudah berkembang biak, dan bila diminum dapat menghilangkan dahaga. Suhu suatu badan air dipengaruhi oleh musim, lintang (latitude), ketinggian dari permukaan laut (altitude), waktu, sirkulasi udara, penutupan awan, aliran, serta kedalaman. Perubahan suhu mempengaruhi proses fisika, kimia, dan biologi badan air. Suhu berperan dalam mengendalikan kondisi ekosistem perairan. Peningkatan suhu mengakibatkan peningkatan viskositas, reaksi kimia, evaporasi, volatilisasi, serta menyebabkan penurunan kelarutan gas dalam air (gas O₂, CO₂, N₂, CH₄, dan sebagainya) (Haslam, 1995 dalam Effendi, 2003). Peningkatan suhu juga menyebabkan terjadinya peningkatan dekomposisi bahan organik oleh mikroba. Kisaran suhu optimum bagi pertumbuhan fitoplankton di perairan adalah 20°C – 30°C. Pada umumnya, suhu dinyatakan dengan satuan derajat Celcius (°C) atau derajat Fahrenheit (°F). Berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan RI Nomor 907/MENKES/SK/VII/2002, diketahui bahwa temperatur maksimum yang diperbolehkan dalam air minum sebesar $\pm 3^{\circ}\text{C}$. Pengukuran suhu pada contoh air air dapat dilakukan menggunakan termometer.

f. Warna

Air minum sebaiknya tidak berwarna untuk alasan estetika dan untuk mencegah keracunan dari berbagai zat kimia maupun mikroorganisme yang berwarna. Warna dapat menghambat penetrasi cahaya ke dalam air. Warna pada air disebabkan oleh adanya partikel hasil pembusukan bahan organik, ion-ion metal alam (besi dan mangan), plankton, humus, buangan industri, dan tanaman air. Adanya oksida besi menyebabkan air berwarna kemerahan, sedangkan oksida mangan menyebabkan air berwarna kecoklatan atau kehitaman. Kadar besi sebanyak 0,3 mg/l dan kadar mangan sebanyak 0,05 mg/l sudah cukup dapat menimbulkan warna pada perairan (peavy et al.,1985 dalam Effendi, 2003). Kalsium karbonat yang berasal dari daerah berkapur menimbulkan warna kehijauan pada perairan. Bahan-bahan organik, misalnya tanin, lignin, dan asam humus yang berasal dari dekomposisi tumbuhan yang telah mati menimbulkan warna kecoklatan. Dalam penyediaan air minum, warna sangat dikaitkan dengan segi estetika. Warna air dapat dijadikan sebagai petunjuk jenis pengolahan yang sesuai. Berdasarkan zat penyebabnya, warnaair dapat dibedakan menjadi :

- Warna Sejati (true color)

Warna sejati disebabkan adanya zat-zat organik dalam

bentuk koloid. Warna ini tidak akan berubah walaupun mengalami penyaringan dan sentrifugasi. Pada penentuan warna sejati, bahan-bahan tersuspensi yang dapat menyebabkan kekeruhan dipisahkan terlebih dahulu.

Filtrasi (penyaringan) bertujuan menghilangkan materi tersuspensi dalam air tanpa mengurangi keaslian warna air. Sentrifugasi mencegah interaksi warna dengan material penyaring. Warna sejati tidak dipengaruhi oleh kekeruhan. Contoh dari warna sejati antara lain : warna air teh, warna air buangan industri tekstil, serta warna akibat adanya asam humus, plankton, atau akibat tanaman air yang mati.

- Warna Semu (apparent color)

Warna semu disebabkan oleh adanya partikel-partikel tersuspensi dalam air. Warna ini akan mengalami perubahan setelah disaring atau disentrifugasi serta dapat mengalami pengendapan. Warna semu akan semakin pekat bila kekeruhan air meningkat. Warna dapat diamati secara visual (langsung) ataupun diukur berdasarkan skala platinum kobalt (dinyatakan dengan satuan PtCo) dengan cara membandingkan warna contoh air dengan warna standar. Air yang memiliki nilai kekeruhan rendah biasanya memiliki warna yang sama dengan warna standar (APHA, 1976; Davis dan Cornwell, 1991 dalam Effendi, 2003). Intensitas warna cenderung meningkat dengan

meningkatnya nilai pH (Sawyer dan McCarty, 1978).

Visual Comparison Method dapat diaplikasikan hampir pada seluruh contoh air yang dapat diminum. Prinsip dari metode ini adalah membandingkan warna contoh air dengan warna larutan standar yang sudah diketahui konsentrasinya. Larutan standar diletakkan dalam tabung Nessler dan harus terlindung dari debu serta penguapan. Tabung Nessler yang digunakan harus memiliki warna, ketebalan, ketinggian cairan, dan diameter tabung yang sama. Untuk segi estetika, warna air sebaiknya tidak melebihi 15 PtCo. Sumber air untuk kepentingan air minum sebaiknya memiliki nilai warna antara 5–50 PtCo. Contoh air dengan warna kurang dari 70 unit diteliti dengan cara perbandingan langsung menggunakan larutan standard. Bila kandungan warna contoh air lebih tinggi daripada warna standar yang tersedia, dilakukan pengenceran terhadap contoh air menggunakan aquadest. Batas waktu maksimum pengukuran adalah 48 jam dengan cara didinginkan pada suhu 4°C untuk pengawetan.

g. Daya Hantar Listrik (DHL)

Daya hantar listrik (DHL) merupakan kemampuan suatu cairan untuk menghantarkan arus listrik (disebut juga konduktivitas). DHL pada air merupakan ekspresi numerik

yang menunjukkan kemampuan suatu larutan untuk menghantarkan arus listrik. Oleh karena itu, semakin banyak garam-garam terlarut yang dapat terionisasi, semakin tinggi pula nilai DHL. Besarnya nilai DHL bergantung kepada kehadiran ion-ion anorganik, valensi, suhu, serta konsentrasi total maupun relatifnya

Pengukuran daya hantar listrik bertujuan mengukur kemampuan ion-ion dalam air untuk menghantarkan listrik serta memprediksi kandungan mineral dalam air. Pengukuran yang dilakukan berdasarkan kemampuan kation dan anion untuk menghantarkan arus listrik yang dialirkan dalam contoh air dapat dijadikan indikator, dimana semakin besar nilai daya hantar listrik yang ditunjukkan pada konduktivimeter berarti semakin besar kemampuan kation dan anion yang terdapat dalam contoh air untuk menghantarkan arus listrik. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin banyak mineral yang terkandung dalam air.

Konduktivitas dinyatakan dengan satuan $\mu\text{mhos/cm}$ atau $\mu\text{Siemens/cm}$. Dalam analisa air, satuan yang biasa digunakan adalah $\mu\text{mhos/cm}$. Air suling (aquades) memiliki nilai DHL sekitar $1 \mu\text{mhos/cm}$, sedangkan perairan alami sekitar $20 - 1500 \mu\text{mhos/cm}$ (Boyd, 1988 dalam Effendi, 2003).

Besarnya daya hantar listrik bergantung pada kandungan

ion anorganik (TDS) yang disebut juga materi tersuspensi. Hubungan antara TDS dan DHL dinyatakan dalam persamaan (2.1) (Metcalf & Eddy : 1991 dalam Effendi, 2003).

$$\text{TDS (mg/L)} = \text{DHL (mmhos/cm atau ds/m)} \times 640$$

Nilai TDS biasanya lebih kecil daripada nilai DHL. Pada penentuan nilai TDS, bahan- bahan yang mudah menguap (volatile) tidak terukur karena melibatkan proses pemanasan. Pengukuran DHL dilakukan menggunakan konduktivimeter dengan satuan $\mu\text{mhos/cm}$. Prinsip kerja alat ini adalah banyaknya ion yang terlarut dalam contoh air berbanding lurus dengan daya hantar listrik. Batas waktu maksimum pengukuran yang direkomendasikan adalah 28 hari. Menurut APHA, AWWA (1992) dalam Effendi (2003) diketahui bahwa pengukuran DHL berguna dalam hal sebagai berikut :

- Menetapkan tingkat mineralisasi dan derajat disosiasi dari air destilasi.
- Memperkirakan efek total dari konsentrasi ion.
- Mengevaluasi pengolahan yang cocok dengan kondisi mineral air.
- Memperkirakan jumlah zat padat terlarut dalam air.
- Menentukan air layak dikonsumsi atau tidak.

BAB IV

WADUK

Fungsi waduk secara prinsip ialah menampung air saat-saat debit tinggi untuk digunakan saat-saat debit sangat rendah. Hal ini berarti bahwa waduk mempunyai tugas membuat modifikasi dari distribusi air menurut alam dan menciptakan distribusi air buatan.

Seperti juga konstruksi-konstruksi teknik sipil lainnya, persoalan waduk menyangkut aspek perencanaan, operasi, dan pemeliharaan.

4.1. Perencanaan Waduk

Dalam proses perencanaan waduk diperlukan berbagai jenis data, baik data sekunder maupun data primer. Data sekunder di dapat dari instansi- instansi dan data primer di dapat dengan melakukan percobaan lapangan, pengukuran, sampling, serta analisa laboratorium. Kelayakan (feasibility) pembuatan waduk salalu ditinjau dari berbagai aspek, baik kelayakan teknik, kelayakan ekonomi, maupun kelayakan social.

Kelayakan teknik terutama sekali menyangkut lokasi bendung untuk meciptakan waduk, sedapat mungkin dengan

bendungan pendek didapatkan volume tampungan yang besar. Kelayakan kekuatan konstruksi bendungan termasuk juga kelayakan teknik, menyangkut bahan bendungan dan kondisi geologi maupun mekanika tanah dari lokasi tempat bendungan dalam kaitannya dengan kekuatan daya dukung tanah. Kelayakan teknik lain yang penting misalnya kelayakan hidrologis tentang ketersediaan air di sungai yang dibendung, kelayakan sedimentasi agar waduk tidak penuh pasir dan lumpur dalam waktu singkat dan sebagainya.

Bahan konstruksi bangunan dapat berupa beton, timbunan batu, urugan tanah, dan lain-lain. Bahan konstruksi yang tersedia untuk dibuat stabil, kuat, awet, dan tidak rembes. Kekuatan dukung tanah dari pandangan geologis dan mekanika tanah merupakan pertimbangan pemilihan bahan konstruksi. Misalnya, tanah yang secara geologis tidak kuat untuk bendungan dari beton akan menentukan bahan konstruksi bendungan bukan beton. Disamping pertimbangan geologis dan mekanika tanah, persoalan ketersediaan material setempat untuk bahan konstruksi bendungan sangat berpengaruh, hal ini terutama menyangkut segi biaya konstruksi. Karena bendungan pada umumnya merupakan konstruksi besar (bervolume besar) maka perlu diingat tentang bahan bendungan lokal yang tersedia apakah dalam volume

yang cukup, sebelum menentukan pemilihan perihal bahan konstruksi bendungan yang ingin digunakan.

Persoalan stabilitas konstruksi bendungan, rembesan, pada berbagai jenis konstruksi, dan tipe-tipe bendungan dapat dilihat pada buku acuan mekanika tanah dan bangunan air.

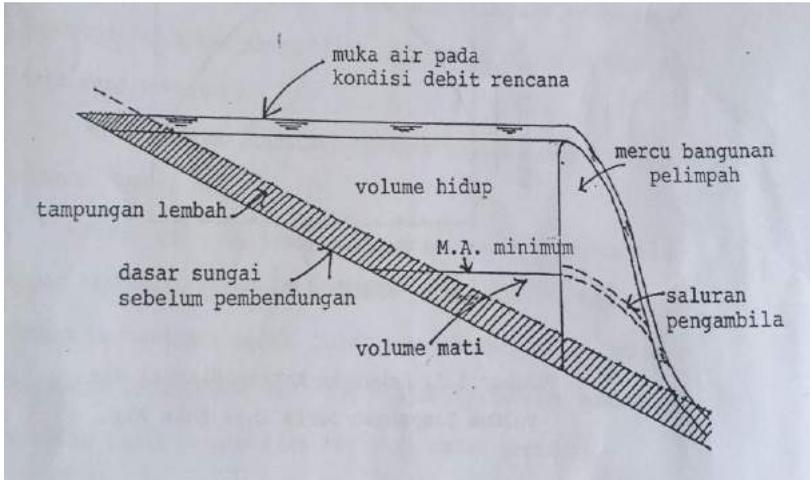
Ditinjau dari segi penggunaan waduk, ada waduk eka guna (single purpose) dan waduk serba guna (multi purpose). Waduk eka guna misalnya waduk khusus untuk irigasi, waduk khusus untuk pembangkit tenaga listrik, waduk khusus untuk pengendalian banjir dan sebagainya. Sedangkan waduk serba guna misalnya satu waduk sekaligus untuk empat keperluan seperti:

1. Irigasi
2. Pembangkit tenaga listrik
3. Pengendalian banjir
4. Pengembangan turisme (tempat rekreasi)

4.2. Karakter Fisik Suatu Waduk

Bagian-bagian pokok sebagai karakter fisik suatu waduk yaitu volume hidup, volume mati, tinggi muka air minimum, tinggi mercu bangunan pelimpah dan tinggi muka air maksimum berdasarkan debit rencana. Meninjau volume suatu reservoir, umumnya diadakan zonasi volume, menjadi

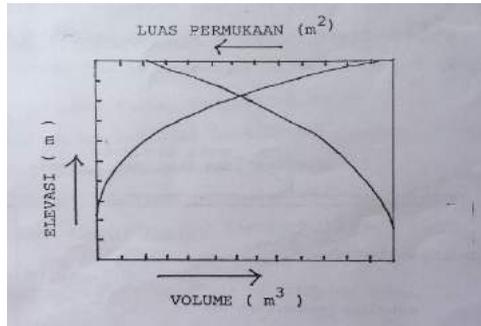
beberapa zona. Gambar 4.1. menunjukkan zona-zona volume suatu waduk.



Gambar 4.1. Zona-zona Volume Suatu Waduk

Untuk keperluan perencanaan maupun pengoperasian waduk banyak informasi tentang karakteristik fisik yang diperlukan. Satu informasi yang sangat penting dalam hal ini adalah hubungan antara elevasi dan volume tampungan, serta luas permukaan genangan. Berdasarkan peta topografi dengan garis countour cukup teliti, dapat dibuat curve yang menggambarkan hubungan antara elevasi muka air, luar permukaan air, dan volume tampungan. Elevasi yang digunakan dapat didasarkan pada referensi muka air laut rerata maupun referensi lokal yang ditentukan. Satu contoh kurva yang menunjukkan hubungan antara elevasi , luas muka air, dan

volume tampungan ditunjukkan dengan Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Hubungan Antara Elevasi dan Volume Tampungan Serta LuasMuka Air

Kurva seperti ditunjukkan pada Gambar 4.2. tersebut sangat penting untuk perencanaan, karena misalnya dikehendaki untuk membangun waduk dengan volume tertentu, maka elevasi mercu bangunan pelimpah, dan elevasi kepala bendungan dapat ditentukan. Pada masalah penentuan ukuran-ukuran bangunan pelimpah, kurva tersebut di atas digunakan untuk membuat hitungan penyelusuran banjir melewati waduk (routing banjir lewat waduk). Demikian pula pada usaha penilaian ketersediaan air waduk untuk melayani kebutuhan musim kering, kurva tersebut diatas amat diperlukan.

4.3. Menentukan Volume Waduk

Rippl (1883) mengusulkan suatu metoda sebagai cara

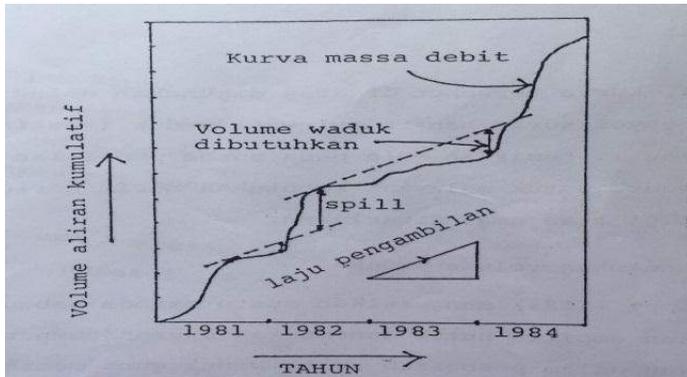
yang bukan empiris untuk menentukan ukuran tampungan yang diperlukan dalam pembuatan suatu waduk guna memenuhi suatu rencana pengambilan. Pada teknik Rippl dianggap bahwa waduk akan berada pada kondisi penuh saat permulaan musim kering, atau periode kering. Rippl menghitung kapasitas waduk untuk memenuhi kebutuhan pengambilan pada musim kering, berdasarkan data yang tercatat.

Grafik untuk ilustrasi terapan teknik Rippl disajikan pada Gambar 4.3. Suatu hal yang juga tidak jarang terjadi adalah penempatan kapasitas tampungan waduk berdasarkan kondisi topografi tempat pembangunan waduk.

Dalam situasi ini, yaitu kapasitas waduk sudah tertentu, yang menjadi persoalan adalah menetapkan hasil pengambilan air dari waduk tersebut.

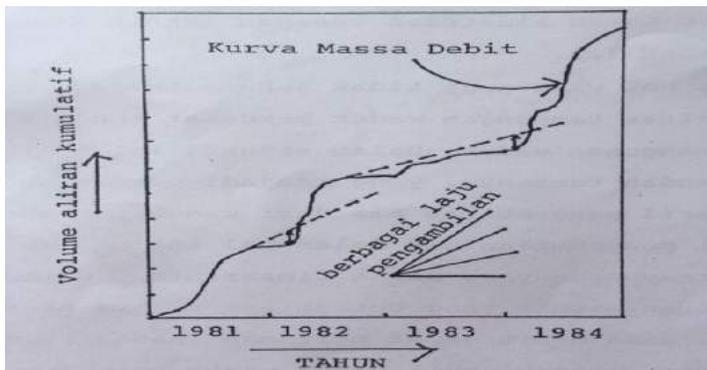
Hasil pengambilan air dalam hal ini adalah jumlah dari volume tampungan yang dapat dimanfaatkan ditambah dengan inflow (aliran masuk) yang bermanfaat selama periode kritis.

Kurva masa debit dapat berfungsi sebagai grafik yang menggambarkan catatan debit dalam usaha melakukan usaha evaluasi hasil pengambilan air yang dapat dilakukan.



Gambar 4.3. Ilustrasi Grafis Terapan Teknik Rippl

Kurva masa debit sering juga disebut sebagai diagram Rippl adalah plot kumulatif dari inflow ke waduk. Gambar 4.4. merupakan kurva masa debit untuk periode 4 tahun.



Gambar 4.4. Kurva Masa Debit Untuk Periode Empat Tahun

Dalam perkembangan lebih lanjut semenjak Rippl mengusulkan metodanya, banyak cara lain dikembangkan

untuk menentukan kapasitas tampungan waduk maupun cara untuk menilai laju pengambilan air dari waduk berdasarkan kapasitas yang telah ditetapkan.

Dengan tersedianya alat hitung berupa computer, penentuan kapasitas waduk dengan cara simulasi dapat dilakukan dengan mudah dan murah.

Sebagai contoh adalah simulasi dengan peramaan tampungan yang berdasarkan data *inflow*, rencana pengambilan, dan kapasitas waduk yang ditentukan dalam model, nilai keandalan rencana pengambilan dan jumlah spill (limpasan lewat bangunan pelimpah) dapat diperiksa karakternya.

Dengan beberapa kali mengganti nilai kapasitas waduk dalam model simulasi, maka sifat keandalan terhadap suatu rencana pengambilan dan sifat spill-nya berkaitan dengan suatu nilai kapasitas yang ditetapkan dapat dipelajari. Dalam hal ini didapat hubungan diantara berbagai kapasitas waduk dengan sifat-sifat keandalan rencana pengambilan dan spill. Lebih lanjut, kapasitas yang dipandang sesuai dapat dipilih untuk ditetapkan sebagai kapasitas yang mendasari perencanaan konstruksi waduk.

Salah satu bentuk persamaan tampungan yang sering digunakan untuk simulasi operasi waduk irigasi dengan periode

bulanan adalah:

$$S_j = s_j - 1 + Q_j + R_j(A) - I_j - E_j(A) - o_j - Sp_j(A) \quad (4.1)$$

Dengan:

S_j = tampungan waduk pada akhir bulan ke-j

S_{j-1} = tampungan waduk pada akhir bulan sebelumnya

Q_j = debit masukan ke waduk pada bulan ke-j

$R_j(A)$ = hujan yang jatuh ke waduk pada bulan ke-j sebagai fungsi luas permukaan air di waduk

I_j = pengambilan air dari waduk pada bulan ke-j

$E_j(A)$ = penguapan dari waduk pada bulan ke-j sebagai fungsi luas permukaan air di waduk

O_j = spill sebagai “outflow” melewati bangunan pelimpah, bulan ke-j

$Sp_j(A)$ = rembesan keluar dari waduk dalam bulan ke-j sebagai fungsi luas permukaan air diwaduk.

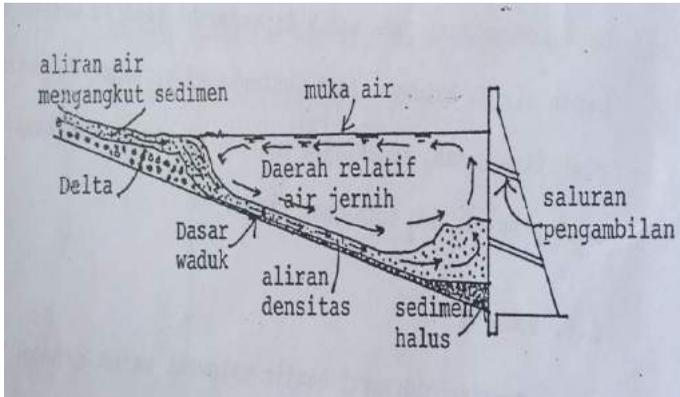
4.4. Sedimentasi Pada Waduk

Setiap sungai, baik sedikit ataupun banyak akan mengangkut bahan sedimen. Bahan sedimen yang diangkut sungai dapat berupa lumpur tersuspensi (suspended sediment) maupun butir-butir tanah, pasir, kerikil atau benda padat lain sebagai benda terangkut sepanjang dasar sungai (bed load).

Benda padat yang terangkut aliran di sungai banyak yang

memiliki berat jenis butiran di atas 2.0, misalnya berat jenis butir tanah adalah 2,65. Pada air mengalir dengan kecepatan tertentu, bahan-bahan sedimen dapat terangkut. Daya angkut aliran memang sangat dipengaruhi oleh kecepatan aliran. Pada saat air yang membawa sedimen mencapai waduk, kecepatan air dan turbulensi aliran menjadi sangat berkurang. Akibat pengurangan kecepatan dan turbulensi, bahan-bahan sedimen yang diangkut aliran air mengendap pada dasar waduk. Pengendapan bahan sedimen pada dasar waduk. Pengendapan bahan sedimen pada dasar waduk terdistribusi menurut jenis sedimen dan pola gerakan air setelah memasuki waduk.

Butir-butir sedimen yang besar pada umumnya terendapkan pada bagian hulu waduk, butir-butir kecil masih tersuspensi dan terendapkan pada bagian hilir waduk. Bahkan butir-butir yang sangat kecil melintasi waduk dan keluar dari waduk beserta aliran air yang memasuki sungai bagian hilir waduk. Gambar skematik endapan pada waduk disajikan pada gambar 4.5.



Gambar 4.5. Ilustrasi Skematik Endapan Sedimen Pada Suatu Waduk

Dislipin ilmu angkutan sedimen memberikan rumus-rumus hasil penelitian yang dapat digunakan untuk pedoman pengumpulan data dan melakukan hitungan perkiraan laju sedimentasi pada waduk. Karena endapan sedimen secara akumulatif makin lama makin banyak, waduk yang dibuat manusia akhirnya dapat penuh dengan endapan sedimen, akumulasi sedimen pada suatu saat telah menyebabkan waduk tidak berfungsi secara memadai. Pada keadaan ini sering dikatakan waduk telah mati.

Dalam perencanaan waduk, tinjauan usia fungsional waduk dari segi tinjauan laju sedimentasi harus dianalisa. Analisa ini akan membuat perkiraan dan menyimpulkan usia fungsional waduk sebagai landasan analisis ekonomi

pembuatan waduk, atau landasan evaluasi waduk-waduk yang telah dibangun.

Untuk penyelesaian masalah sedimentasi pada waduk, hal yang umum dilaksanakan adalah menyediakan sebagian dari volume tampungan waduk untuk tampungan endapan sedimen. Laju sedimentasi pada waduk dipengaruhi kondisi daerah tangkapan air di hulunya. Laju sedimentasi tersebut dipengaruhi oleh tipe tanah, kemiringan daerah, penutupan vegetasi, karakter hujan, dan tata guna tanah.

4.5. Routing

Routing hidrograf banjir melewati waduk dengan keluaran air dari waduk berupa buangan air melalui bangunan pelimpah adalah salah satu aspek hidrologi dan hidrolika yang penting.

Rumus dasar yang digunakan adalah rumu kontinuitas yang mengatakan bahwa perubahan volume air tampungan pada waduk sama dengan selisih antara inflow (masukan) dan outflow (keluaran).

Formulasi untuk hitungan sering ditulis dengan notasi:

$$\bar{I}Dt - \bar{O}Dt = DS \quad (4.2)$$

Dengan:

\bar{I} = inflow rerata pada periode Dt

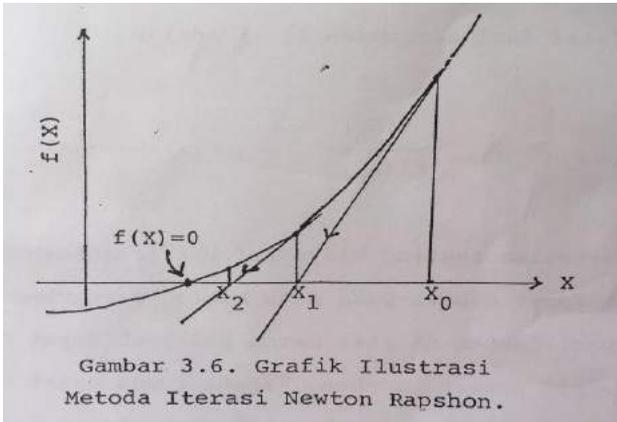
\bar{O} = outflow rerata pada periode Dt

Dt = periode (waktu) sebagai interval untuk diskritisasi hitungan

DS = perubahan tampungan selama periode Dt yang sedang ditinjau

Dengan tersedianya kalkulator yang dapat memuat program komputer sederhana, hitungan routing hidrograf banjir melalui bangunan pelimpah biasanya dilakukan dengan sesuatu prosedur yang menggunakan iterasi cara Newton Rapshon.

Prinsip dasar iterasi Newton Rapsho tercermin dari uraian dengan grafik pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6. Grafik Ilustrasi Metoda Iterasi Newton Rapshon
Apabila suatu persamaan tidak linier $f(x)$ sama dengan nol, akar persamaan yang memenuhi syarat $f(x) = 0$ dapat didekati dengan iterasi. Semula dapat dicoba nilai X_0 , lalu dihitung

percobaan berikutnya X_1 , lalu X_2 , dan seterusnya sampai didapat nilai $f(X_n)$ sangat dekat dengan nol. Maka X_n merupakan akar persamaan dari $f(x) = 0$.

Pada saat dicoba nilai X_0 , maka nilai $f(X_0)$ dapat dicari, demikian pula $f'(X_0)$. Padahal dari gambar 4.6. jelas tampak bahwa:

$$f' = (X_0) = \frac{f(X_0)}{x_0 - x_1} \quad (4.3)$$

$$X_0 - X_1 = \frac{f(X_0)}{f'(x_0)}$$

$$X_1 = X_0 - \frac{f(X_0)}{f'(x_0)} \quad (4.4)$$

Generalisasi dari persamaan (4.4) adalah:

$$X_{n+1} = X_n - \frac{f(X_n)}{f'(x_n)} \quad (4.5)$$

Persoalan routing hidrograf banjir melewati bangunan pelimpah dapat dibawa pada satu bentuk persamaan yang pencarian tinggi luapan di atas mercu pelimpah dapat dicari dengan iterasi Newton Raphson. Karena rumus debit melewati mercu bangunan pelimpah diketahui, maka debit keluaran lewat bangunan pelimpah pada suatu saat dapat dihitung berdasarkan rumus yang diketahui tersebut dengan tinggi luapan di atas mercu sebagai variabel. Penjelasan cara hitungan

tersebut diatas dapat diikuti dengan memahami contoh soal dan penyelesaian di bawah.

Diketahui bahwa volume tampungan air pada suatu contoh waduk di soal ini adalah:

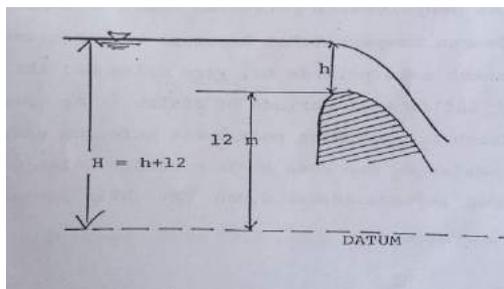
$$V = 2 \times 10^6 \times H^{1.1} \text{ m}^3 \quad (4.6)$$

Dengan:

V = volume tampungan air pada waduk (m^3) sebagai fungsi H

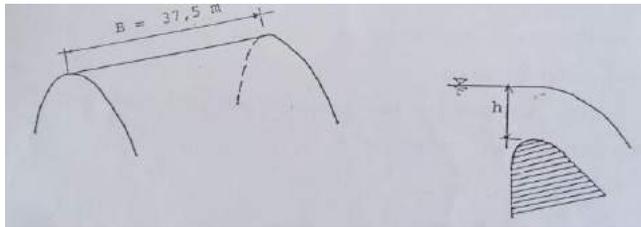
H = elevasi muka air di atas mercu bangunan pelimpah dari datum

Dalam soal ini ditentukan $H = 12 + h$, dengan h adalah tinggi muka air di atas mercu bangunan pelimpah .



Gambar 4.7. Muka Air diatas Mercu Bangunan Pelimpah

Selanjutnya diketahui bahwa lebar bangunan pelimpah adalah $B = 37.5$ m. Rumus debit outflow melalui bangunan pelimpah adalah:



Gambar 4.8. Lebar bangunan pelimpah

$$O = 2.2 \times B \cdot h^{3/2} \quad (4.7)$$

Untuk melakukan hitungan routing hidrograf banjir pada umumnya dianggap bahwa pada saat awal hidrograf banjir, tinggi muka air pada waduk tepat pada tinggi mercu bangunan pelimpah.

Sebagai contoh, hidrograf banjir yang akan dihitung keluarannya lewat bangunan pelimpah disajikan pada tabel berikut ini.

Bagaimanakah gambaran debit keluaran lewat bangunan pelimpah? Dalam hal ini penyelesaian persoalan debit keluaran dapat dilakukan dengan memperhatikan beberapa hal. Pertama adalah tinjauan untuk suatu periode Dt , yang dalam hal ini $Dt = 3$ jam. Debit inflow awal periode Dt adalah I_1 dan padaakhir periode adalah I_2 . Demikian pula debit keluaran pada awal periode Dt adalah O_1 dan pada akhir periode adalah O_2 . Tampungannya pada awal periode adalah S_1 dan pada akhir periode adalah S_2 .

Table 4.1. Data Hidrograf Banjir

Jam ke -	Debit (Inflow = I) (m ³ /det)
0	40
3	90
6	140
9	190
12	240
15	200
18	160
21	120
24	80
27	40
30	40

Menggunakan rumus kontinuitas yang diutarakan sebelumnya (rumus 4.3), digunakan asumsi :

$$\tilde{I} = \frac{I_1 + I_2}{2} \quad (4.8)$$

$$\tilde{O} = \frac{O_1 + O_2}{2} \quad (4.9)$$

$$DS = S_2 - S_1 \quad (4.10)$$

Selanjutnya rumus (4.3) dapat dikembangkan menjadi :

$$\tilde{I}Dt - \tilde{O}Dt = DS$$

$$\frac{I_1 + I_2}{2}Dt - \frac{O_1 + O_2}{2}Dt = S_2 - S_1$$

$$\frac{I_1 + I_2}{2} \cdot 3\text{jam} - \frac{O_1}{2}Dt = 3\text{jam} + S_2 - S_1 = 0$$

$$\frac{I_1 + I_2}{2} \cdot 3 \times 60 \times 60 - \frac{O_1}{2} \cdot 3 \times 60 \times 60 + S_1 - \frac{O_1}{2} \cdot 3 \times 60 \times 60 - S_2 = 0 \quad (4.11)$$

Karena data tinggi muka air di atas mercu pelimpah pada awal Dt diketahui (sebut : h_1) maka persamaan (4.11) merupakan persamaan dengan satu variable h_2 (tinggi muka air di atas mercu pelimpah pada akhir periode Dt) yang perlu di cari nilainya. Dalam hal ini I_1 , I_2 diketahui dari data hidrograf banjir sebagai inflow, dan O_1 serta S_1 diketahui karena h_1 diketahui :

$$O_1 = 2,2 \times B \times h_1^{3/2} = 3,3 \times 25 \times h_1^{3/2}$$

$$S = 2 \times 10^6 \times (12 + h_1)^{1,1}$$

Dari persamaan (4.11) kemudian di dapat persamaan (4.12)

$$5400(I_1 + I_2) - 5400 \times 3,3 \times 25 \times h_1^{3/2} + 2 \times 10^6 \times (12 + h_1)^{1,1} -$$

$$5400 \times 3,3 \times 25 \times h_2^{3/2} - 2 \times 10^6 \times (12 + h_2)^{1,1} = 0$$

$$(I_1 + I_2) - 82,5 \times h_1^{3/2} + 370,37(12 + h_1)^{1,1} - 82,5 \times h_2^{3/2} -$$

$$370,37(12 + h_2)^{1,1} = 0 \quad (4.12)$$

Karena I_1 , I_2 , h_1 suatu besaran tetap maka :

$$f'(h_2) = -123,75h_2^{1/2} - 407,407(12 + h_2)^{0,1}$$

Periode Dt yang pertama dalam soal ini dimulai dengan $h_1 = 0$ (muka air tepat pada elevasi kepala mercu bangunan

pelimpah). Iterasi Newton Rapshon untuk h_2 menghasilkan $h_2 = 0,231$ dengan syarat $f(h_2) < 1$. Untuk $h_2 = 0,231\text{m}$ didapatkan keluaran $9,17 \text{ m}^3/\text{det}$ ($O_2 = 3,3 \times 25 \times h_2^{3/2}$).

Untuk periode Dt berikutnya, h_2 yang didapat sebelumnya menjadi h_1 , dan h_2 dicari lagi dengan iterasi.

Hasil hitungan dalam bentuk table disajikan dibawah. Table tersebut memuat hasil iterasi untuk mencari nilai h_2 periode demi periode. Setelah didapatkan nilai h_2 maka debit outflow pada elevasi h_2 di atas mercu dapat dihitung.

Table 4.2. Hasil Hitungan Routing

Periode ke- (Dt = 3 jam)	Inflow (m ³ /det)	I ₁ + I ₂ (m ³ /det)	h ₁ (m)	h ₂ (m)	O (m ³ /det)
	40				
1	90	130	0*)	0,232	9,239
2	140	230	0,232	0,584	36,781
3	190	330	0,584	0,988	80,980
4	240	430	0,988	1,393	135,668
5	200	440	1,393	1,641	173,366
6	160	360	1,641	1,660	176,380
7	120	280	1,660	1,554	159,767
8	80	200	1,554	1,378	133,384
9	40	120	1,378	1,158	102,819
10	40	80	1,158	0,966	78,333
	40				

*) diasumsikan pada permulaan kedatangan hidrograf banjir=0

Catatan : ketelitian adalah $f(h_2) < 1.0$

4.6. Beberapa aspek dalam masalah waduk

Aspek gelombang di permukaan air waduk yang timbul akibat tiupan angin perlu dipertimbangkan dalam membuat hitungan stabilitas perlindungan tebing di tepi waduk.

Akibat pengaruh angin dapat pula menyebabkan muka air suatu waduk miring (tidak horizontal) dan hal ini juga penting sebagai bahan pertimbangan hitungan stabilitas bendung.

Setelah suatu bendungan untuk waduk selesai dibangun, sebelum diadakan pengisian, tampungan perlu diadakan pembersihan waduk. Yang dimaksud dengan pembersihan dalam hal ini adalah penebangan dan pengambilan pohon-pohon serta semak-semak di daerah genangan. Secara ekonomi, pekerjaan pembersihan ini termasuk cukup mahal dan tidak boleh diabaikan.

Apabila vegetasi di tempat genangan ditinggalkan, akan dapat timbul beberapa kesulitan diantaranya :

- (1) Pohon-pohon pada suatu saat terapung, mengotori waduk,
- (2) Daun-daun dan kayu yang membusuk menimbulkan bau tidak sedap,
- (3) Pohon-pohon terapung mengganggu kenyamanan rekreasi di waduk.

Aspek selanjutnya yang kadang-kadang amat penting yaitu rembesan dan bocoran dari waduk. Pada keadaan-

keadaan tertentu, selain rembesan dan bocoran yang merugikan akibat kehilangan air tampungan, bocoran dapat merusak kestabilan beberapa konstruksi bangunan sekitar waduk.

Didalam memilih lokasi waduk, jarang sekali didapatkan keadaan yang secara lengkap memenuhi persyaratan karakteristik tempat yang ideal untuk waduk.

Suatu pegangan umum secara garis besar untuk pemilihan lokasi waduk adalah :

- 1) Tempat yang cocok harus ada dan kerap kali tergantung pada faktor-faktor ekonomi, sosial dan politik (pemerataan pembangunan)
- 2) Biaya pemindahan penduduk, pemindahan jalan, jalan kereta api, dan sebagainya haruslah tidak teramat mahal
- 3) Kapasitas waduk harus memenuhi suatu sasaran yang akan dicapai
- 4) Waduk yang dalam lebih disukai dari pada yang dangkal dan luas, sehingga biaya pembebasan tanah murah
- 5) Sedapat mungkin tidak memilih tempat yang memiliki laju tinggi dalam sedimentasi
- 6) Kualitas air, harus memenuhi kriteria yang ditentukan

Di luar pegangan umum, karena pertimbangan-pertimbangan khusus pembangunan suatu waduk dapat

dibenarkan asal berlandaskan pada pertimbangan yang memenuhi azas-azas perencanaan.

Seringkali dampak lingkungan yang negatif akibat pembangunan suatu waduk dapat terjadi. Beberapa butir sebagai segi-segi yang tidak menguntungkan akibat pembangunan waduk-waduk besar pernah diidentifikasi dalam diskusi panel peningkatan efisiensi pemanfaatan air pada tingkat usaha tani (UGM-DPU, 1983).

Butir-butir yang diidentifikasi adalah persoalan pembangunan waduk- waduk besar :

1. Pembuatan waduk besar memerlukan lahan luas di hulu, baik untuk bangunan waduknya sendiri beserta jaringan saluran induknya, maupun kawasan lindungnya.
2. Berkaitan dengan butir pertama itu maka tataguna lahan daerah hulu terpaksa harus diubah atau disesuaikan, yang tidak selalu mungkin, dan tidak jarang terjadi suatu keharusan pemindahan penduduk secara besar-besaran. Masalah pemindahan penduduk ini memiliki persoalannya sendiri yang tidak ringan, dan barangkali mengandung kompleksitas rumit karena menyangkut langsung manusia dengan berbagai liku-liku kepentingan dan selera pribadi.
3. Korban yang diberikan oleh penduduk di hulu menghasilkan manfaat terutama kepada penduduk di daerah

hilir. Waduk menghasilkan air irigasi untuk daerah hilir dan mengurangi beban banjir untuk daerah hilir. Waduk menghasilkan listrik yang pada umumnya banyak dimanfaatkan di daerah hilir. Hal ini secara tidak langsung berpengaruh pada timbulnya ketimpangan antara daerah hulu dan hilir.

4. Waduk merupakan danau buatan yang luas, yang memberikan dampak yang dapat merugikan lingkungan hidup. Kenyataan yang telah menjadi pengetahuan umum ialah peranan waduk sebagai tempat berpijak (*breeding-ground*) berbagai penyakit dan parasit penyebab penyakit pada manusia maupun ternak.
5. Pembuatan waduk telah menghadirkan kenyataan bahwa terjadi penghilangan sebagian hutan di daerah hulu. Tentu saja muncul suatu pertanyaan tentang menakah yang lebih baik untuk mengembangkan sumber air? Membiarkan hutan untuk menaikkan cadangan air tanah dan melembabkan cuaca, ataukah menghilangkan hutan untuk membuat penampung air pada lahan hutan?

Memang yang benar membuat suatu waduk harus disertai dengan ANDAL (Analisa Dampak Lingkungan). ANDAL yang lengkap meliputi kegiatan-kegiatan inventarisasi lingkungan (*Environmental Impact Assessment*, EIA) dan

pernyataan dampak lingkungan (*Environmental Impact Statement*, EIS).

EIS merupakan masukan amat penting untuk membuat keputusan dan untuk acuan menetapkan apakah suatu kegiatan dapat diterima untuk dilaksanakan.

4.7 Kasus perubahan karakter angkutan sedimen

Untuk daerah-daerah di Indonesia terutama Jawa, sedimentasi pada waduk merupakan masalah penting. Perkiraan laju sedimentasi perlu didasarkan pada data yang terkumpul dan menggunakan cara analisa yang sesuai. Salah sangkah dalam perkiraan angkutan sedimen punya akibat salah sangka pada interpretasi nilai ekonomi suatu waduk akibat kesalahan masa berfungsi suatu waduk.

Pertama, perlu diketahui bahwa analisis tentang sungaisungai di Jawa menghadapi berbagai persoalan yang kerap kali spesifik dan tidak dijumpai contoh analisisnya di dalam pustaka berasal dari negara maju. Dasar ilmu untuk analisis memang tersedia, namun kecermatan untuk sintesis metoda sangat diperlukan, suatu pandangan interdisiplin adalah suatu keharusan.

Secara sederhana, dapat dibayangkan bahwa sungai akam di lerengbukit akan memberikan aliran deras pada waktu hujan

lebat. Makin ke hilir, kederasan aliran secara umum berkurang. Hal ini mempunyai hubungan erat dengan kemiringan dasar sungai, yaitu dasar sungai di lereng bukit lebih miring dari dasar sungai di hilir.

Dari pengetahuan angkutan bahan oleh air kita tahu bahwa air yang mengalir lebih cepat lebih mampu mengangkut pasir, atau kerikil, bahkan batu-batu, dibandingkan dengan air yang mengalir lebih lambat. Dengan pengertian ini, apakah telah dapat diketahui tentang suatu kemungkinan salah sangka dalam analisa angkutan sedimen? Jawabnya belum, dan perjalanan penghayatan pada gejala alam perlu dilanjutkan.

Air, mengangkut bahan hasil erosi dapat berupa angkutan dasar, dan dapat berupa angkutan dasar, dan dapat berupa angkutan bahan tersuspensi. Karena perubahan kecepatan aliran bahan yang semula bergerak di dasar sungai dapat berubah menjadi bahan suspensi. Demikian pula, bahan yang semula tersuspensi dapat berubah menjadi bahan angkutan dasar akibat adanya perubahan kecepatan aliran.

Pengukuran bahan angkutan besar lebih sukar dari pengukuran bahan tersuspensi. Memang pengalaman di negara maju telah menunjukkan hubungan antara angkutan suspensi dan angkutan dasar, namun variasi angkutan bahan tersuspensi dan bahan bergerak di dasar sungai di Indonesia belum

diketahui dengan baik.

Dengan kata lain, kecepatan aliran air sungai mempengaruhi laju pengangkutan bahan tersuspensi. Sebenarnya apabila alur-alur sungai tidak mengalami perubahan sifat hidraulik yang berarti, pola hubungan antara kedalaman air, luas tampang melintang, dan kecepatan aliran berpola mantap. Alur sungai yang mempunyai pola mantap dalam hal hubungan antara kedalaman air, luas tampang dan kecepatan dapat menyetujui ekstrapolasi statistik yang biasa pada hasil hitungan data angkutan sedimen

Kenyataan di Jawa menunjukkan bahwa sungai - sungai telah diubah sifat hidrauliknya oleh kita semua dan yang paling nampak nyata adalah dengan pembuatan bendung-bendung. Sesudah dibangun bendung-bendung sepanjang sungai-sungai kecil di Jawa, maka kelakuan pengaliran air dalam jaringan sungai berubah.

Apabila direnungkan dengan cermat, dapat dikenal paling tidak terdapat 3 (tiga) fenomena menonjol, tentang perubahan kondisi jaringan sungai di Jawa yang berpengaruh kepada sifat hidraulika sistem sungai tersebut.

Pertama, seperti yang telah diutarakan di atas, pada anak-anak sungai banyak dibangun bendung. Suatu rangkaian bendung akan membuat alur sungai memiliki kemiringan dasar

yang berubah, dari kemiringan lurus, menjadi bentuk seperti tangga (lihat gambar 3.8). Dengan perubahan kemiringan dasar sungai, maka kemiringan rata-rata alur sungai menjadi lebih kecil. Akibat kemiringan lebih kecil, pola kecepatan aliran untuk debit yang sama berubah. Perubahan pola kecepatan ini menimbulkan pola perubahan pola distribusi angkutan bahan sedimen antara angkutan dasar dan angkutan suspensi. Untuk hal ini, pemahaman watak aliran sebagai alat angkut bahan hasilerosi perlu dipahami. Perubahan pola bahan suspensi dapat berasal dari masalah penutupan vegetasi di DAS, namun dapat pula akibat perubahan sifat hidrolika aliran. Keduanya, merupakan hal yang sama pentingnya untuk diperhatikan. Sebelum menelusur sampai ke DAS, perubahan pola suspensi dalam aliran perlu diteropong secara lokal, secara setempat, yaitu dari teropong hidraulika aliran di tempat pengukuran.

Kedua, watak umum hidrolika sungai-sungai di Jawa mengalami perubahan besar, akibat adanya pembangunan pesat di bidang saluran drainase, saluran alam maupun saluran buatan. Dahulu, sebelum PELITA, banyak parit-parit alam meluapkan air pada waktu hujan deras. Demikian pula, beberapa sungai kecil meluapkan air, membuat banjir kecil sebagai akibat dari hujan deras. Akibat luapan tersebut, terjadilah genangan air di sawah-sawah. Sawah luas, dengan

genangan air tidak terlalu dalam tetap dapat dibayangkan bagaikan waduk tampungan air, yang memperlambat perjalanan air hujan lebat menjadi aliran di sungai besar dan memperkecil laju angkutan sedimen. Genangan di sawah-sawah itu tidak disenangi petani, karena mengganggu produksi sawah. Petani sulit mengatasi persoalan genangan, maka sejak PELITA, pemerintah membantu memperbaiki sungai-sungai kecil misalnya dengan pembuatan tanggul-tanggul. Akibat adanya tanggul-tanggul sungai kecil, luapan ke sawah-sawah sangat berkurang dan perjalanan air hujan deras ke sungai besar kurang mendapat hambatan. Dapat di bayangkan kini, akibat alur-alur sungai kecil yang menjadi baik, air hujan deras bagaikan ditumpahkan cepat ke dalam sungai besar secara cepat, dan merubah penomena aliran, yang berarti pula merubah laju angkutan sedimen. Selain erosi permukaan (erosi di DAS), terjadi juga erosi tebing sungai, dan aliran deras dapat mengangkat bahan angkutan dasar menjadi angkutan tersuspensi. Sampai analisa kualitatif ini, setidaknya dua sebab utama perubahan pola aliran yang memaksa terjadinya pola perubahan angkutan bahan tersuspensi telah difahami.

Ketiga, sebagai satu contoh spesifik adalah Bengawan Solo. Muara Bengawan Solo menjulur ke laut Jawa, dan Bengawan Solo bertambah panjang. Padahal, perbedaan tinggi

antara mata air Bengawan Solo dan muka air laut di ujung muara tetap. Akibatnya? Kemiringan sungai menjadi berkurang karena beda tinggi tetap, namun sungainya bertambah panjang. Akibat berkurangnya kemiringan, sekali lagi merubah sifat hidraulik angkutan bahan sedimen di sungai.

Tiga faktor spesifik telah diidentifikasi, namun masih ada faktor-faktor lain yang berperan pada pola angkutan sedimen tersuspensi, dalam aliran air lewat sungai-sungai di Jawa, misalnya intensitas hujan, distribusi ruang hujan dan sebagainya.

Negara kita dalam proses membangun, memiliki kompleksitas faktor- faktor yang mewarnai suatu proses alami, karena adanya perubahan cepat oleh usaha manusia. Kekhawatiran kita adalah tinjauan yang tidak komprehensif dapat menimbulkan salah sangka. Orang dapat membuat hitungan berdasar data, namun cara analisis data yang tidak jitu dapat menimbulkan kesimpulan salah. Untuk menghindari salah sangka tentang laju angkutan sedimen berdasar ekstrapolasi statistik dari data masa lalu, perlu diingatkan tentang pentingnya memasukkan pertimbangan proses fisik bertalian dengan data setiap kurunwaktu.

4.8. Beberapa contoh permasalahan pengelolaan waduk

Untuk mendapatkan gambaran tentang sebagian persoalan pengelolaan waduk, diungkapkan di sini 2 (dua) contoh masalah-masalah yaitu masalah waduk Darma dan waduk Cacaban pada tahun 1978.

Waduk Darma terletak di Kabupaten Cirebon dekat kota Kuningan. Bendungan waduk Darma merupakan bendungan batu yang disambung dengan tanah, pada aliran sungai Cisanggarung.

Daerah pengaliran adalah 28 km^2 dengan volume tampungan 40 juta m^3 dan tampungan efektif (tampungan hidup) sebesar 36 juta m^3 . Luas daerah tergenang 4 km^2 , tinggi bendungan 36 m. Elevasi puncak bendungan EL.+714,09 dan tinggi muka air normal EL.+711,00 m.

Rencana pembangunan waduk Darma timbul tahun 1924 dari permintaan pabrik gula yang didukung oleh bagian Irigasi Cimanuk (jaman itu). Penyelidikan-penyelidikan dilakukan, rencana alternatif dibuat, akhirnya baru pada tahun 1958, rencana oleh P.T. GATENI adalah rencana final untuk dilaksanakan. Rencana final berupa bendungan batu pada bagian tengah dan disambung dengan bendungan tanah pada sisi-sisinya. Seluruh bangunan selesai dikerjakan tahun 1962, dan pada tahun itu juga dilakukan pengisian air pada waduk

Darma.

Lapisan kedap air dari bendungan dibuat dengan membrane yang terdiri dari blok-blok beton berukuran 40 x 40 x 20 cm. Blok-blok beton ini disatukan satu dengan yang lain memakai siar yang diisi dengan adukan semen pasir dan kapur serta ditempatkan pada bagian muka dari bendungan.

Pada permukaan bendungan tanah dipasang rip-rap batu yang telah rusak di beberapa tempat. Sejak waduk diisi pada tahun 1962 telah terlihat adanya gejala-gejala bocoran yang dikhawatirkan akan mengganggu stabilitas bendungan dan menumbulkan kesulitan dalam eksploitasinya.

Berdasar penelitian, pada tahun 1969 dilakukan usaha pengurangan dengan memperbaiki siar lapis membrane. Pada waktu pengisian kembali kebocoran menurun sampai nilai rendah (35 l/dt).

Tahun 1972 dilakukan penyelidikan mekanika tanah dan geologi. Berdasar penelitian tersebut, kemungkinan-kemungkinan perbaikan untuk menekan kebocoran diusulkan :

1. Memperbaiki siar sambungan blok-blok beton
2. Pemasangan lapisan kedap air pada lereng bendungan
3. Penanggulangan bocoran lewat fondasi bendungan dan mencegah erosi tanah dasar bendungan untuk hal ini mungkin dapat dilakukan grouting beton, atau pemasangan

“blanket” kedap air pada tanah dasar kolam waduk.

Pada akhirnya, setelah beberapa kali diskusi perbaikan kebocoran waduk Darma dilakukan tahun 1973 dan tahun 1974 dengan melakukan pengeringan air waduk secara total.

Perbaikan pada lapisan kedap air tubuh bendungan dilaksanakan dengan melapisi lapisan kedap air tersebut dengan lempengan-lempengan baja setebal 8 mm. Lempengan-lempengan tersebut diangkerkan pada blok-blok beton lapisan kedap air sehingga sifat kedap air dan fleksibilitas lapisan menjadi terjamin.

Untuk perbaikan kebocoran pada fondasi bendungan dan erosi tanah dasar di bawah bendungan telah dilakukan penggalian kembali tanah urugan di depan dan sepanjang bendungan sampai kedalaman sisi bawah dari membrane kedap air. Setelah diadakan perbaikan pada lapis membrane tubuh bendungan maupun rip-rap pada tubuh bendungan bagian bawah, galian diisi kembali dengan material yang kualitasnya diperbaiki dengan pemadatan mengikuti persyaratan tertentu. Untuk meningkatkan kedekatan bagian urugan ini maka seluruh permukaan urugan dilapisi oleh blanket dengan bahan dari luar daerah waduk dan diletakkan di atas lapisan urugan dengan pemadatan. Panjang blanket ke arah upstream sekitar 150 meter dengan ketebalan antara 1,0 sampai

1,5 meter.

Sampai tiga tahun setelah pelaksanaan perbaikan jumlah rembesan masih tetap kecil dan usaha perbaikan tersebut dapat dikatakan cukup berhasil.

Contoh kasus kedua adalah waduk Cacaban. Waduk Cacaban terletak sebelah tenggara kota Tegal dan membendung K.Cacaban Wetan. Dari kota Tegal, letaknya berjarak kira-kira 20 km. Pelaksanaan pembuatan waduk Cacaban dimulai tahun 1952 dan selesai tahun 1958, sedan peresmian pemakaian dimulai tahun 1959.

Bendungan terdiri dari timbunan tanah (earth fill) dengan panjang 180 m. Tinggi bendungan 38,0 m, lebar puncak 6 m dan lebar dasar 227,50 m. Elevasi dasar bedungan EL.+80,50 m. Luas DAS tampung sebesar 6000 ha dan isi maksimum waduk 90 juta m^3 .

Pada tahun 1972, waduk Cacaban memunculkan masalah yaitu sedimentasi dalam waduk pada pintu pengambilan (intake) telah mencapai ketebalan 11m. Untuk menghindarkan kesulitan pengoperasian waduk, pada tahun 1972 itu diusulkan untuk menaikkan letak pintu pengambilan dari elevasi EL.+47,50m ke EL.+59,20 m.

Selanjutnya pengukuran hydrographic tahun 1974 memberikan hasil ukuran yang menunjukkan bahwa volume

waduk tinggal 61 juta m^3 . Hal ini berarti bahwa dalam jangka 15 tahun (1959-1974) endapan sedimen telah sebanyak 29 juta m^3 .

Untuk mengurangi laju sedimentasi yang tinggi tersebut, diusulkan untuk mengadakan tindakan-tindakan sebagai berikut :

1. Dilakukan penggelontoran dan pengeringan waduk tiap tahun selama beberapa hari
2. Dilakukan tindakan pencegahan erosi didaerah hulu antara lain dengan penghijauan dan penghutanan kembali
3. Meningkatkan teknik pengolahan tanah oleh petani yang bermaksud mengurangi erosi, pengaturan drainase, dan menghindari longsoran- longsoran tebing sungai dengan membuat perkuatan tebing
4. Pembuatan kantong-kantong penangkap sedimen di DAS pada lokasi yang tepat

Penelitian lebih lanjut pada persoalan sedimen ini dilakukan tahun 1974-1975 oleh Direktorat Jendral Pengairan.

Selanjutnya diperkirakan, bahwa tingkat erosi yang sangat tinggi pada DAS disebabkan :

1. Hujan rerata DAS yang tinggi, yaitu 2000-5000 mm/tahun dan jatuh pada permukaan tanah yang curam dengan komposisi tanah tidak kuat.

2. Tanah tegalan cukup luas dan tanpa penutupan vegetasi yang memadai untuk menahan erosi.

Dengan pengalaman yang diutarakan pada kasus 2 waduk di atas (Darma dan Cacaban), terasa sekali adanya kekurangan dalam mempersiapkan pembangunan bendungan.

Di Indonesia, sekarang banyak waduk, baik ekaguna maupun serbaguna. Kekurangan-keurangan selalu di jumpai, sehingga tiap waduk sebenarnya memerlukan pemeliharaan dan pengoperasian jitu. Penanganan pembuatan waduk, pemeliharaan dan operasi, membutuhkan keahlian, teknologi, modal dan menejemen. Sampai saat ini, masalah pemeliharaan dan pengoperasian wadduk yang menyangkut berbagai aspek merupakan tantangan, yang dari lokasi ke lokasi waduk, diperlukan kejituan setempat yang sesuai.

Kekurangan-kekurangan yang dijumpai berkaitan dengan masalah waduk di Indonesia perlu ditangani dengan benar untuk melestarikan fungsi bendungan seperti yang direncanakan semula. Konservasi daerah sekitar waduk, terutama bagian hulunya perlu selalu diperhatikan.

Apabila dikaitkan dengan masalah kebutuhan air, karena penduduk meningkat cukup cepat, masalah kebutuhan air menjadi semakin kompleks. Kompleksitas yang terjadi, selalu menuntut modifikasi cara operasi yang ada secara

dinamik, untuk disesuaikan dengan kebutuhan yang berkembang.

BAB V

TENAGA AIR

5.1 Pendahuluan

Tenaga air adalah terutama untuk pembangkit tenaga listrik. Tenaga air yang dimaksudkan ini diperoleh dari tinggi jatuh air pada lokasi yang ditinjau secara keseluruhan, bahwa tenaga air ini menghasilkan sumber daya listrik pada ketinggian tertentu.

5.2 Sumber-sumber Energi

Sumber-sumber energy yang diciptakan untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia adalah :

- a. Pasang surut lautan
- b. Panas matahari
- c. Energi angin
- d. Panas bumi

Ket : sumber-sumber energi di atas sampai saat ini masih belum dimanfaatkan secara maksimal.

Pembangkit tenaga yang dikembangkan secara umum adalah sebagai berikut :

- a. Tenaga uap
- b. Tenaga Air

c. Tenaga Nuklir

Sebagai gambaran bahwa negara yang paling besar menggunakan tenaga air adalah Amerika Serikat dan Uni Soviet.

5.3 Tenaga Air

Tenaga air merupakan sumber daya terpenting setelah tenaga uap. Berdasarkan data yang tersedia maka hampir 30% kebutuhan tenaga di dunia dipenuhi oleh Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Misalnya :

1. PLTU memerlukan biaya transportasi untuk mengadakan batu bara sedangkan PLTA sudah ada dalam alur air.
2. Turbin-turbin pada PLTA dapat dioperasikan dan di hentikan setiap saat. Pada PLTU dan PLTN tidak bisa demikian, harus melalui proses penghentian peralatan running.
3. PLTA mudah dioperasikan dan sistemnya lebih handal dibandingkan sumber-sumber daya yang lain.
4. Masa manfaat peralatan PLTA dapat mencapai ≥ 50 tahun dibandingkan dengan PLTN hanya mencapai 30 tahun.
5. PLTA dapat menghasilkan tenaga dengan efisiensi yang tinggi meskipun frekuensi beban cukup besar.
6. Pengembangan PLTA dengan memanfaatkan arus sungai dapat juga digunakan daerah pariwisata, untuk pengairan,

untuk perikanan transportasi dan lain-lain, jadi multi guna. Selain keuntungan PLTA tersebut di atas maka ada juga kekurangannya yaitu sebagai berikut :

1. PLTA merupakan proyek padat modal dan laju perkembangan pengembalian modal lambat/rendah.
2. Masa persiapan untuk membangun suatu PLTA pada umumnya lama dibandingkan dengan perencanaan PLTU. Mulai dari perencanaan sampai pengoprasian PLTA lebih lama dibandingkan dengan PLTU.
3. PLTA sangat bergantung dari aliran air sungai secara alamiah, air sungai sangat bervariasi mengakibatkan tenaga yang dihasilkan juga bervariasi.

5.4 Perkiraan Potensi Tenaga Air

Untuk perkiraan ketersediaan tenaga air perlu diperhatikan debit aliran(debit sungai) dan tinggi jatuh air (tinggi energy) yang tersedia dilokasi.

Jika P_p = Tenaga potensial (m kg/detik)

H_m = Tinggi energy (tinggi jatuh) dalam m

Q = Debit (m^3 /detik)

Maka tenaga potensial teoritis dapat dihitung sebagai berikut :

$$P_p = WQH \text{ (m kg/detik)} \quad (5.1)$$

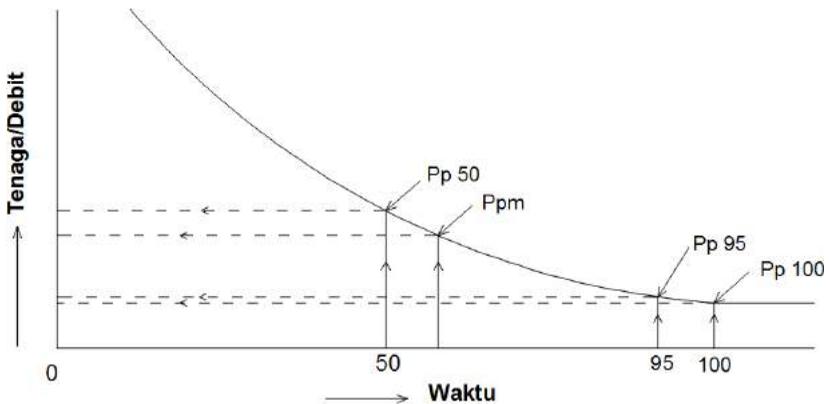
Dimana $W = \text{Berat Jenis Air} = 1000 \text{ kg/m}^3$

Rumus (III.1) dapat ditulis dengan satuan hp atau Kw sebagai berikut :

$$P_p = 1000 Qh/75 = 13,33 Q.H \text{ (hp)} \quad (5.2)$$

$$\text{Atau : } P_p = 0,736 (13,33) QH = 9,8 Q.H \text{ (Kw)} \quad (5.3)$$

Berdasarkan rumusan tersebut diatas ternyata besarnya tenaga air tergantung dari debit aliran sungai sehingga ketersediaan tenaga tidak efektif sepanjang waktu, karena debit-debit yang besarnya terjadi dalam waktu yang relative singkat. Hubungan antara % waktu dan debit/tenaga dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 5.1 Hubungan antara % waktu dan debit/tenaga

Dari lengkung hubungan antara persentase waktu dan tenaga (debit) dapatdicatat bahwa :

1. Tenaga potensial minimum dihitung dari aliran minimum

yang tersedia untuk 100% waktu (365 hari atau 8760 jam) =
Pp 100

2. Tenaga potensial kecil dihitung dari aliran yang tersedia untuk 95% waktu (aliran yang tersedia Selama 8322 jam) =
Pp 95
3. Tenaga potensial rata-rata dihitung dari aliran yang tersedia untuk 50% (aliran yang tersedia selama 6 bulan atau 4380 jam)
4. Tenaga potensial dihitung dari rata-rata aliran tahunan, rata-rata selama masa pengamatan (10-30) tahun s/d (sama dengan) = Tegangan Potensial (kotor) sungai = Ppm = rata-rata selama pengamatan 10-30 tahun.

Ternyata untuk mengevaluasi aliran rata-rata sangat rumit. Untuk mendapatkan besaran yang sebenarnya harus ada data pengamatan yang cukup panjang (maksimal data 10 tahun). Oleh sebab itu untuk perencanaan bangunan tenaga air dan menghitung tenaga potensial biasanya dilakukan penyederhanaan asumsi-asumsi yang ditentukan.

Mosonyi menyebutkan = arti ekonomi dari suatu sumber daya potensial untuk satu lokasi adalah fungsi dari bermacam-macam factor seperti : keadaan topografi; geologi;geografi dan lain-lain.

- Harga perbandingan antara Pp 50/Pp 95 menunjukkan

besarnya keragaman yang ada, makin kecil harga perbandingan tersebut, makin menunjukkan keadaan hidrologi yang lebih dikehendaki.

- Selanjutnya apabila efisiensi pada saluran pembawa diperhitungkan sebesar 70% dan efisiensi keseluruhan system pembangkit sebesar 80% maka factor pengali akan sebesar 0,56, digunakan untuk perhitungkan Pp 50 sehingga tenaga tersedia secara teknis (Pa) sebesar :

$$Pa = 0,56. Pp 50 \quad (5.4)$$

- Koefisien 2,5 dapat digunakan untuk memperkirakan besarnya tenaga air potensial rata-rata dan tenaga potensial 95% sebagai berikut:

$$\text{Tenaga potensial } Pp 50 = 2,5 . Pp 95 \quad (5.5)$$

- Sumber daya juga dapat digambarkan melalui besar energy tahunan potensial di sungai dalam besaran kallowatt-jam yaitu :

$$E_{95}; E_{50}; \text{ dan } E_m, \text{ dan sebagainya}$$

- Energi potensial maksimal suatu sungai (E maks) sebagai berikut :

$$E \text{ maks} = P_m \times 8760 \text{ Kwh} \quad 5.6$$

Koefisien 0,75 atau 0,8 dapat digunakan untuk mengantisipasi kehilangan energi dalam pengoperasian system jaringan sehingga persamaan :

$P_p = 9,8 QH$ (Kw) menjadi sebagai berikut :

$$P_m \text{ netto} = (7,4 \text{ s/d } 8) Q_m H \cdot \text{Kw} \quad (5.7)$$

Dimana : Q_m = debit rata-rata (aritmatik)

Energi potensial sebagai max sebesar :

$$E \text{ maks (netto)} = 8760 P_m \text{ netto KwH} \quad (5.8)$$

Tenaga potensial maupun energi dari suatu aliran sungai untuk perencanaan selalu diasumsikan berdasarkan data yang tersedia.

Contoh Soal 1 :

Dik : Debit yang tersedia dari suatu sungai mencapai 95% dari waktu (Q_{95}) adalah sebesar $20 \text{ m}^3/\text{det}$. tinggi energi yang dapat dimanfaatkan sebesar 25m.

Hit : $P_p.95 = \dots?$

$$P_m \text{ (netto)} = \quad ?$$

$$E = \quad ?$$

$$\begin{aligned} \text{Penyelesaian : } P_p.95 &= 9,8 Q \cdot h = 9,8 \times 25 \times 20 \\ &= 4900 \text{ Kw} \end{aligned}$$

$$P_m \text{ (netto)} = (7,4 - 8) Q_m \cdot H$$

$$P_m = 7,4 \times 25 \times 20 \text{ Kw} = 3700 \text{ Kw}$$

$$\text{Atau } P_m = 8 \times 25 \times 20 \text{ Kw} = 4000 \text{ Kw}$$

$$\begin{aligned} E \text{ maks} \longrightarrow E \text{ tot} &= 8760 \times P_p.95 = 8760 \times 4900 \text{ Kw} \\ &= 42.924.000 \text{ Kwj} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_a &= 0,56 \cdot P_p 50 \longrightarrow P_p 50 = 2,5 P_p 95 \\
 &= 25 \times 4900 \text{ Kw} \\
 &= 12.250 \text{ Kw}
 \end{aligned}$$

$$P_a = 0,56 \times 12.250$$

Contoh soal 2 :

- Dik : - Debit aliran yang tersedia disuatu sungai sebesar 30 m³/det dengan tinggijatuh tersedia efektif 20 m.
 - Debit tersebut di atas hanya dapat dimanfaatkan (Q manfaat) sebesar 80%.

Hit : Peff =

$$P_m = \dots$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jawab : Peff (P80)} &= 9,8 (80\% Q) \times 20 \text{ m} \\
 &= 9,8 (0,8 \times 30) \times 20 \text{ Kw} \\
 &= 9,8 \times 24 \times 20 \text{ Kw} = 4704 \text{ Kw}
 \end{aligned}$$

$$P_{\text{eff}} = 4704 \text{ Kw}$$

$$P_m = 8 \times 24 \times 20 \longrightarrow 80\% Q = 0,8 \times 30$$

$$P_m = 3840 \text{ Kw} \qquad = 24$$

$$\begin{aligned}
 P_m &= (7,4 \sim 8) Q_m.H \\
 &(7,4 ; 7,5 ; 7,6 \dots\dots 8)
 \end{aligned}$$

5.5 Tipe-tipe Pembangkit Listrik Tenaga Air

Pembangkit Listrik Tenaga Air dapat diklasifikasikan sebagai

berikut :

1. Atas dasar lokasi
2. Keadaan topografi
3. Tingkatan pengoperasian tinggi jatuh air
4. Keadaan hidrolis pembangkitnya sendiri.

Untuk memudahkan pembahasan tentang pembangkit listrik tenaga air tersebut perlu ada klasifikasi mengenai pembangkit dalam group-group yang berbeda.

Klasifikasinya sebagai berikut :

- a. Klasifikasi berdasarkan tujuan/Orientasi ke-tujuan

Pembahasan Proyek pembangkit listrik tenaga air dalam berbagai hal tidak semudah mengadakan pembahasan proyek yang bertujuan tunggal memproduksi tenaga listrik karena secara normal biasanya proyek direncanakan mempunyai tujuan bermacam-macam jadi satu proyek pembangkit listrik tenaga air boleh dipertimbangkan mempunyai fungsi yang berbeda-beda, misalnya : untuk suply air, irigasi pengontrol banjir dan lain-lain, disamping produksi utamanya adalah tenaga listrik, misalnya proyek tenaga air seperti waduk Jatiluhur selain untuk kebutuhan pengairan, perikanan, juga untuk pembangkit listrik. Proyek dengan tujuan bermacam-macam ini merupakan ciri-ciri

khusus dalam perencanaan proyek tersebut.

b. Klasifikasi berdasarkan keadaan hidraulik

Suatu dasar klasifikasi pada pembangkit listrik tenaga air adalah memperhatikan pengaruh prinsip dasar hidraulik saat perencanaannya. Pembangkit listrik tenaga air yang menggunakan prinsip dasar hidraulik ada 4 jenis yaitu :

1. Pembangkit listrik tenaga air konvensional

Pembangkit listrik ini menggunakan kekuatan air dan sungai. Dengan demikian dapat disebut sebagai pembangkit listrik tenaga air tradisional (mini & makro hidro)

2. Pembangkit listrik dengan pemompaan kembali air ke dalam kolam penampungan

Pembangkit jenis ini mempergunakan konsep perputaran kembali air yang sama dengan mempergunakan pompa dan dibangun di atas tanah yang luas dan biaya tinggi. Pembangkit listrik jenis ini hanya ada di negara-negara besar seperti Amerika, Prancis, dan Jerman.

3. Pembangkit listrik tenaga air pasang surut

Pembangkit listrik jenis ini juga padat modal dan hanya sedikit pembangkit jenis ini di dunia misalnya *La Rance* di Prancis.

4. Pembangkit listrik tenaga air yang ditekan

Klasifikasi pembangkit jenis ini juga sangat sulit dan sangat mahal sehingga jarang ditemukan.

c. Klasifikasi Dasar mengenai Lokasi dan Topografi

Instalasi pembangkit listrik tenaga air dapat berlokasi di daerah pegunungan atau dataran. Biasanya pembangkit listrik di daerah pegunungan bangunan utamanya merupakan bendungan, sedangkan di daerah yang datar bangunan utamanya berupa tanggul pembangkit yang lokasinya jauh di pedalaman akan sangat mahal biaya pengiriman tenaga listriknya. Jadi sangat dibutuhkan pengetahuan yang matang tentang tempat dan topografi untuk pembangkit listrik tipe ini.

d. Klasifikasi Dasar Tentang kapasitas PLTA.

Masonyi mengklasifikasikan kapasitas PLTA sebagai berikut :

1. Pembangkit listrik yang paling kecil kapasitasnya sampai dengan -100 Kw.
2. Kapasitas PLTA yang terendah daya yang di hasilkan sampai dengan 1000 Kw.
3. Kapasitas menengah PLTA daya yang dihasilkan

sampai dengan 10.000 Kw.

4. Kapasitas tertinggi > 10.000 Kw.

Klasifikasi dasar ini dikapasitas PLTA juga dapat di klasifikasikan untuk kekuatan yang lebih besar yaitu sebagai berikut :

1. Pembangkit listrik terkecil dengan daya < 5 MW

2. Pembangkit listrik kapasitas menengah (5-100) MW

3. Pembangkit listrik kapasitas tinggi (101-1000) MW

4. Pembangkit listrik kapasitas tertinggi > 1000 MW

Pembangkit listrik dengan kapasitas yang tinggi paling banyak di temukan di Uni Soviet, Amerika Serikat dan India. Pembangkit listrik dengan kapasitas kecil misalnya PLTA yang memanfaatkan terjunan air.

e. Klasifikasi Dasar mengenai berkaitan dengan ketinggian tekanan air.

Klasifikasi atas dasar ketinggian tekanan air terdiri dari

1. PLTA ketinggian tekanan air rendah < 15 m

2. PLTA ketinggian tekanan air sedang (15-70) m

3. PLTA ketinggian tekanan air tinggi (71-250) m

4. PLTA ketinggian tekanan air sangat tinggi >250 m

f. Klasifikasi berdasarkan bangunan Konstruksi utama
Klasifikasi Pembangkit Listrik atas dasar lokasi bangunan pembangkit terbagi sebagai berikut:

1. Pembangkit listrik pada aliran sungai

Dimana topografi tanah memungkinkan misalnya sebuah air terjun alam di sungai. Di Sulut contoh PLTA Tanggari I dan II.

5.6. Survei Umum dan Khusus yang di perlukan untuk Proyek Pembangkit Listrik Tenaga Air

Untuk membangun proyek Pembangkit Listrik Tenaga Air di Perlukan Survei yang terdiri dari Survei Umum dan Survei Khusus sebagaimana yang akan dijelaskan pada penjelasan dibawah ini.

a. Survei Umum terdiri dari :

- a. Survei Topografi
- b. Penyelidikan geologis dan fondasi
- c. Kajian meteorologis dan hidrolis
- d. Penyelidikan material bangunan
- e. Komunikasi
- f. Pertimbangan Lingkungan

Keterangan :

Ad a. Survei Topografi

Untuk Survei topografis hal-hal yang harus dilaksanakan adalah :

- Rencana Survei topografis kawasan bendungan termasuk luas bendungan, pelimpah, saluran keluar, pengalihan aliran dan sebagainya. Rencana ini harus mencakup sekurang-kurangnya luas 200 m u/s dan 400 d/s diluar kawasan bendungan dan beban air. Penyelidikan dari udara akan sangat bermanfaat.
- Rencana penyelaman dalam waduk.
- Rencana Survey topografis kawasan bendungan termasuk luas bendungan, pelimpah, saluran keluar, pengalihan aliran dan sebagainya. Rencana ini harus mencakup sekurang-kurangnya luas 200 m u/s dan 400 d/s di luar kawasan bendungan dan bebas air. Penyelidikan dari udara akan sangat bermanfaat.
- Rencana penyelaman dalam waduk.
- Peta survey yang rinci meliputi kawasan tempat pekerjaan keseluruhan serta peralatan proyek.
- Survey terhadap sungai yang panjangnya kira-kira 10 km u/s dan 10 km d/s mengenai bangunan pengalih aliran.
- Untuk lokasi stasiun tenaga, rencana survey harus

meliputi areal yang cukup, termasuk pilihan untuk tata letak stasiun, dan harus menjelaskan garis-garis batas dengan jarak tiap 5 m.

- Penampang L saluran tenaga, batang pipa dan saluran aliran hilir harus disiapkan.
- Untuk terowongan, penampang bujur sepanjang terowongan dan garis- garis batasnya dengan jarak tiap 50 m, meliputi jajaran tanah 100 m pada tiap sisi.
- Untuk tangki surge, rencana garis batas dengan jarak tiap 5 m.
- Untuk bangunan pembangkit tenaga bawah tanah rencana garis batas yang menunjukkan jarak tiap 15 m, meliputi lokasi terowongan masukan, terowongan aliran hilir dan peralatan parkir.

Ad b. Penyelidikan geologis dan fondasi, meliputi :

- Iktisar mengenai geologi regional guna mengetahui dan menafsirkan kondisi bahwa tanah dan permukaan tanah.
- Kondisi seismic setempat.
- Penyelidikan geologis untuk menentukan keketatan air pada waduk yang direncanakan, lubang depresi, deposit mineral yang berharga, daerah-daerah geseran yang ada dan potensial dan sebagainya.

- Penyelidikan pondasi untuk bendungan tanah dan bendungan isi batu- batuan, bendungan semen dan beton, system pengatur air, stasiun tenaga, saluran tenaga menurut prosedur baku.

Ad c. Kajian meteorologis dan hidrologis mencakup :

- Gambaran orografis yang jelas
- Isohiet tahunan yang normal
- Lokasi stasion meteran hujan di dalam dan sekitarnya
- Data hidro meteorologis hujan, penguapan dan perembesan
- Penyelidikan iklim garis lintang dan garis bujur rata-rata, tinggi rata- rata, suhu bulanan rata-rata, kecepatan angin, kelembaban relative, persentasi liputan awan
- Air permukaan aliran rendah, aliran normal genangan maksimum, genangan yang direncanakan, musim kering, dan kualitas
- Air tanah pasokan air dalam tanah, isian lagi, kualitas air
- Penyelidikan mengenai endapan
- Kajian hubungan jatuhnya hujan dan keredaannya
- Perkiraan hasil tahunan
- Pola keredaan air untuk proyek aliran sungai

- Hasil yang diperkirakan untuk 90% keandalan
- Hidrosaf sungai

Ad d. Penyelidikan material bangunan meliputi :

- Peta yang menunjukkan lokasi sumber-sumber material yang diperlukan batu karang, batu-batuan yang kasar dan halus, tanggul, tanah untuk bendungan tanah dan tanggul.
- Uji standar terhadap material yang sesuai untuk :
 - + Bendungan beton dan bendungan batu
 - + Bendungan tanah dan isian batu karang

Ad e. Komunikasi Meliputi :

- Jalan-jalan yang ada dan direncanakan
- Air dan jalur rel
- Sambungan telepon dan telegraf
- Sumber-sumber untuk memperoleh tenaga dengan jalur-jalur transmisi

Ad f. Pertimbangan lingkungan sebagai berikut :

Pengaruh dan perencanaan pembangunan dan pengoperasian proyek pembangkit listrik tenaga air pada:

- Navigasi
- Perikanan
- Satwa liar
- Aspek rekreasi

- Ekologi daerah yang bersangkutan

b. Survey khusus untuk Proyek Listrik Tenaga Air

Survey mengenai proyek listrik tenaga air hendaknya mencakup :

- a. Survey Beban
- b. Survey resistivitas
- c. Studi tata letak

Keterangan :

Ad. a. Survey beban terdiri dari :

- Posisi sekarang mengenai suplai tenaga air di daerah itu, sistem beban, factor beban, kwh yang dibangkitkan per kw terpasang.
- Tingkat tenaga yang tersedia dari skema dan juga dari jaringan setelah proyek itu bekerja, dan tingkat tenaga tambahan.

Rincian beban yang dilayani, puncak beban nanti dan permintaan akan tenaga, faktor beban sistem yang diperkirakan.

Masalah tenaga : Permintaan akan beban dan distribusi. Antar hubungan dengan system tenaga lainnya.

Ad. b. Survey resistivitas meliputi :

- Penyelidikan sehubungan dengan resistivitas tanah, hubungannya dengan desain substasiun.
- Rencana survei hendaknya meliputi kawasan yang cukup, termasuk pelataran parkir dan alternatif tata letak proyek, dan disertai garis-garis batas dengan jarak tiap 5 m.
- Tingkat air rendah, tingkat genangan maksimum yang diselidiki, batu-batu karang yang muncul kepermukaan tanah, pasir dangkal.
- Suhu bulanan maksimum dalam suhu harian untuk tiap bulan harus dicatat.

Ad. c. Studi tata letak meliputi :

- Jenis proyek pembangkit tenaga aliran sungai waduk dan waduk pemompaan hendaknya dipertimbangkan
- Komponen struktural bendungan, saluran, terowongan, batang pipa, teluk, bangunan pembangkit tenaga dan aliran hilir hendaknya ditempatkan sebagaimana mestinya.

DAFTAR PUSTAKA

- Chow Ven The., 1985. *Open Channel Hydraulics*. John Wiley & Sons, Inc., New York
- Bambang Triadmodjo. 1982, *Hidrolika I*. Gajah Mada, Yogyakarta.
- Linsley, 1984, *Teknik Sumber Daya Air*, Mc. Graw-Hill
- Streeter, Cs., 1988. *Mekanika Fluida dan Hidraulika*, Jilid 1 dan 2. Erlangga, Indonesia
- Wyle. 1981. *Fluid Mechanics And Hydraulics*. McGraw Hill.

BIODATA PENULIS



Dr. Eng. Ir. Liany Amelia Hendratta, M. Si

Lahir pada tanggal 20 Maret 1966 di Manado, Sulawesi Utara. Menyelesaikan pendidikan sarjana Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi pada tahun 1989, magister sains Perencanaan dan Pengembangan Wilayah pada tahun 1998 di Universitas Sam Ratulangi, dan doctor Teknik Sipil bidang minat *Hydraulic Engineering* pada tahun 2013 di Kumamoto University, Jepang. Berkarir dibidang pendidikan sebagai seorang dosen di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi, Manado mulai pada tahun 1991 sampai sekarang. Mata kuliah yang diampu adalah Mekanika Fluida, Hidraulika, Irigasi dan Bagunan Air, Rekayasa Sumber Daya Air, Drainase dan Pengendalian Banjir, Rekayasa Sungai dan Aliran Air Tanah. Aktif dalam mengikuti berbagai pertemuan ilmiah dan telah mempublikasikan kurang lebih 48 artikel pada jurnal nasional dan internasional bereputasi. Selain itu, bekerjasama dalam kegiatan profesi seperti yang diselenggarakan oleh Lembaga Pengembangan Jasa Konstruksi Sulawesi Utara.

Ir. Hanny Tangkudung, MT



Lahir pada tanggal 2 April 1958 di Manado, Sulawesi Utara. Menyelesaikan pendidikan sarjana Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi pada tahun 1988, magister sains Teknik Sipil pada tahun 2010 di Universitas Sam Ratulangi, Berkarir dibidang pendidikan sebagai seorang dosen di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi, Manado mulai pada tahun 1989 sampai sekarang. Bekerja sama dengan instansi pemerintah maupun swasta dalm kegiatan penelitian dan pengabdian kepada masyarakat.