

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Pengertian Hidrologi

Secara umum Hidrologi adalah ilmu yang mempelajari masalah keberadaan air di bumi (siklus air) dan hidrologi memberikan alternatif bagi pengembangan sumber daya air bagi pertanian dan industri.

Menurut *Federal Council for science and technollogy* USA 1959, Hidrologi merupakan ilmu yang mempelajari proses terjadi, peredaran dan distribusi, sifat alam dan kimia air di bumi serta reaksinya terhadap lingkungan dan hubungannya dengan kehidupan

2.2 Siklus Hidrologi

Secara keseluruhan jumlah air di planet ini relatif tetap dari masa ke masa. Air di bumi mengalami suatu siklus melalui serangkaian peristiwa yang berlangsung terus – menerus, di mana kita tidak tahu kapan dan dari mana berawalanya dan kapan pula akan berakhir. Serangkaian peristiwa tersebut dinamakan siklus hidrologi (*hydrologic cycle*).



Gambar 2.1 Siklus Hidrologi

Air menguap dari permukaan samudera akibat energi panas matahari. Laju dan jumlah penguapan bervariasi, terbesar terjadi di dekat equator, dimana radiasi matahari lebih kuat. Uap air adalah murni, karena pada waktu dibawa naik ke atmosfer kandungan garam ditinggalkan. Uap air yang dihasilkan dibawa udara yang bergerak. Dalam kondisi yang memungkinkan, uap tersebut mengalami kondensasi dan membentuk butir – butir air yang akan jatuh kembali sebagai presipitasi berupa hujan dan / salju. Presipitasi ada yang jatuh di samudera, di darat, dan sebagian langsung menguap kembali sebelum mencapai ke permukaan bumi.

Presipitasi yang jatuh di permukaan bumi menyebar ke berbagai arah dengan beberapa cara. Sebagian akan tertahan sementara di permukaan bumi sebagai es atau salju, atau genangan air, yang dikenal dengan simpanan depresi. Sebagian air hujan atau lelehan salju akan mengalir ke saluran atau sungai. Hal ini disebut aliran / limpasan permukaan. Jika permukaan tanah *porous*, maka sebagian air akan meresap ke dalam tanah melalui peristiwa yang disebut infiltrasi. Sebagian lagi akan kembali ke atmosfer melalui penguapan dan transpirasi oleh tanaman (evapotranspirasi).

Di bawah permukaan tanah, pori – pori tanah berisi air dan udara. Daerah ini dikenal sebagai zona kapiler (*vadoze zone*) atau zona aerasi. Air yang tersimpan di zona ini disebut kelengasan tanah (*soil moisture*), atau air kapiler. Pada kondisi tertentu air dapat mengalir secara lateral pada zona kapiler, proses ini disebut *interflow*. Uap air dalam zona kapiler dapat juga kembali ke permukaan tanah, kemudian menguap.

Kelebihan kelengasan tanah akan ditarik masuk oleh gravitasi dan proses ini disebut drainase gravitasi. Pada kedalaman tertentu, pori – pori tanah atau batuan akan jenuh air. Batas atas zona jenuh air disebut muka air tanah (*water table*). Air yang tersimpan dalam zona jenuh air disebut air tanah. Air tanah ini bergerak sebagai aliran air tanah melalui batuan atau lapisan tanah sampai akhirnya keluar

ke permukaan sebagai sumber air (*spring*) atau sebagai rembesan ke danau, waduk, sungai, atau laut. (Sumber: Suripin, Dr. Ir., M. Eng, 2004; halaman : 20)

2.3 Pengertian Drainase

Drainase merupakan salah satu fasilitas dasar yang dirancang sebagai sistem guna memenuhi kebutuhan masyarakat dan merupakan komponen penting dalam perencanaan kota (perencanaan infrastruktur khususnya).

Menurut Suripin (2004:7) “Drainase mempunyai arti mengalirkan, menguras, membuang, atau mengalihkan air. Secara umum, drainase didefinisikan sebagai serangkaian bangunan air yang berfungsi untuk mengurangi dan/atau membuang kelebihan air dari suatu kawasan atau lahan, sehingga lahan dapat difungsikan secara optimal. Drainase juga diartikan sebagai usaha untuk mengontrol kualitas air tanah dalam kaitannya dengan sanitasi.”

Drainase juga diartikan sebagai usaha untuk mengontrol kualitas air tanah dalam kaitannya dengan salinitas, dimana drainase merupakan suatu cara pembuangan kelebihan air yang tidak diinginkan pada suatu daerah, serta cara-cara penanggulangan akibat yang ditimbulkan oleh kelebihan air tersebut.

(Sumber : *metoda pelaksanaan secara umum pembuatan drainase di bengkel pencucian alat berat di PT PUSRI oleh M. Ilyas, dkk*).

Dari sudut pandang yang lain, drainase adalah salah satu unsur dari prasarana umum yang dibutuhkan masyarakat kota dalam rangka menuju kehidupan kota yang aman, nyaman, bersih, dan sehat. Pembuatan drainase disini berfungsi untuk mengalirkan air permukaan ke badan air (sumber air permukaan dan bawah permukaan tanah) dan atau bangunan resapan. Selain itu juga berfungsi sebagai pengendali kebutuhan air permukaan dengan tindakan untuk memperbaiki daerah becek, genangan air dan banjir. Kegunaan dengan adanya saluran drainase ini antara lain :

1. Mengeringkan daerah becek dan genangan air sehingga tidak ada akumulasi air tanah.
2. Menurunkan permukaan air tanah pada tingkat yang ideal.
3. Mengendalikan erosi tanah, kerusakan jalan dan bangunan yang ada.

4. Mengendalikan air hujan yang berlebihan sehingga tidak terjadi bencana banjir. Air yang dibuang ke luar daerah yang akan dikeringkan antara lain :

1. Air hujan
2. Air kotor / air buangan rumah tangga
3. Air dari lingkungan sekitar
4. Air limbah dari pabrik / industri
5. Air pembilasan (penggelontor)

Pembuangan air atau drainase merupakan usaha preventif (pencegahan) terhadap terjadinya banjir atau genangan air serta timbulnya penyakit. Prinsip dasar pembuangan air (drainase) adalah bahwa air harus secepat mungkin dibuang dan secara terus menerus serta dilakukan seekonomis mungkin

2.4 Tujuan Pekerjaan Drainase

2.4.1 Untuk Pengeringan

Adakalanya pada perumahan penduduk terdapat rawa-rawa atau lapangan yang digenangi air. Keadaan lingkungan seperti ini dapat mendatangkan wabah penyakit bagi penduduk yang tinggal pada daerah tersebut. Hal ini disebabkan rawa-rawa ini mengandung banyak bibit penyakit. Untuk menghindari itu, semua diperlukan sistem pengeringan yang baik, agar penduduk yang tinggal disana bisa hidup sehat, aman, dan sejahtera.

2.4.2 Untuk Pencegahan Banjir

Daerah-daerah tertentu mempunyai curah hujan yang cukup tinggi. Hal ini bisa menyebabkan malapetaka banjir bagi penduduk daerah tersebut. Lebih parah lagi kalau di daerah itu tidak ada saluran-saluran pembuang, walaupun ada yang tidak berfungsi sebagaimana mestinya. Untuk pencegahan banjir yang diakibatkan oleh curah hujan dapat dibuat suatu sistem saluran pembuang yang memenuhi syarat. yaitu sesuai dengan debit air yang akan mengalir ke saluran tersebut dan

kemiringan merupakan suatu kesatuan. Jadi untuk itu memang perlu suatu sistem pencegah banjir dengan ruang lingkup sebagai berikut:

1. Pembuatan saluran yang baik pada kanan kiri badan jalan begitu juga saluran pembuang dari rumah penduduk.
2. Pada saluran itu, untuk pemisah sampah dan pengendap lumpur dibangun bak – bak kontrol (bak inspeksi).
3. Saluran – saluran pelimpah dibuat bila dirasa perlu

2.4.3 Untuk Pembuang Air Kotor

Air buangan industri adalah penyebab tercemarnya lingkungan, karena air buangan ini mengandung berbagai jenis bahan kimia, sampah pabrik, dan lain sebagainya. Untuk mencegah agar air di lingkungan tempat tinggal penduduk jangan tercemar, maka air buangan dari industri dialirkan secara khusus, atau saluran yang terpisah dan di buang ke, misalnya : Bak sementara untuk dinetralkan atau dibersihkan lalu dialirkan ke tempat pembuangan terakhir (Sungai atau Laut) atau *Septictank* dan dialirkan ke peresapan yang baik sarungannya. (Sumber : http://www.pipeflow.co.uk/public/control.php?_path=/497/595)

2.5 Jenis-jenis dan Pola-Pola Drainase

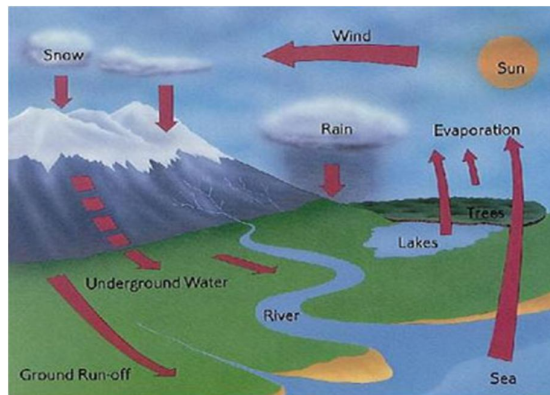
2.51 Jenis - Jenis Drainase

Drainase dibedakan menjadi beberapa bagian yaitu :

a. Menurut Sejarah Bentuknya :

1. Drainase Alamiah (*Natural Drainage*)

Drainase alamiah adalah sistem drainase yang terbentuk secara alami akibat gerusan air sesuai dengan kontur tanah. Umumnya drainase alamiah berupa sungai beserta anak-anak sungainya yang membentuk suatu jaringan alur sungai.



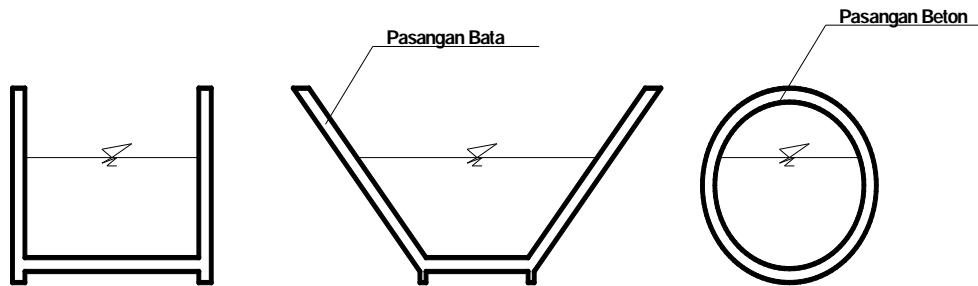
Gambar 2.2 Terbentuknya drainase alami



Gambar 2.3 Drainase alami

2. Drainase Buatan (*Artificial Drainage*)

Drainase buatan adalah sistem drainase yang dibentuk berdasarkan analisis ilmu drainase, untuk menentukan debit akibat hujan, dan dimensi saluran. (Sumber : <https://tsipilunikom.files.wordpress.com/2012/03/sal-buatan.png>)



Gambar 2.4 Drainase Buatan

b. Menurut Letak Bangunannya :

1. Drainase Permukaan Tanah (*Surface Drainage*)

Drainase permukaan tanah adalah saluran drainase yang berada di atas permukaan tanah yang berfungsi mengalirkan air limpasan permukaan. Analisa alirannya merupakan analisa *open channel flow*.

2. Drainase di Bawah Permukaan Tanah (*Sub surface Drainage*)

Drainase di bawah permukaan tanah adalah saluran drainase yang bertujuan mengalirkan air limpasan permukaan melalui media di bawah permukaan tanah (pipa-pipa), dikarenakan alasan-alasan tertentu. Alasan tersebut antara lain tuntutan artistik, tuntutan fungsi permukaan tanah yang tidak membolehkan adanya saluran di permukaan tanah seperti lapangan sepak bola, lapangan terbang, taman, dan lain-lain.

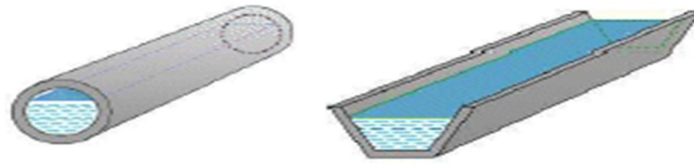
c. Menurut Fungsinya :

1. *Single Purpose Single* adalah saluran yang berfungsi mengalirkan satu jenis air buangan saja.
2. *Multi Purpose* adalah saluran yang berfungsi mengalirkan beberapa jenis buangan, baik secara bercampur maupun bergantian.

d. Menurut Kontruksinya :

1. Saluran Terbuka

Saluran terbuka merupakan saluran yang mengalirkan air dengan suatu permukaan bebas, umumnya sistem saluran direncanakan hanya untuk menampung dan mengalirkan air hujan (sistem terpisah), namun kebanyakan sistem saluran ini berfungsi sebagai saluran campuran. Pada pinggiran kota, saluran terbuka ini biasanya tidak diberi *lining* (lapisan pelindung). Akan tetapi saluran terbuka di dalam kota harus diberi *lining* dengan beton, pasangan batu (*masonry*) ataupun dengan pasangan bata. (Sumber http://www.pipeflow.co.uk/public/control.php?_path=/497/595)



Gambar 2.5 Saluran Terbuka

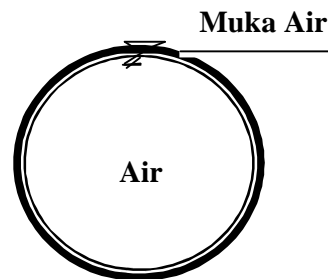
Menurut asalnya, saluran terbuka dibedakan menjadi :

- a) Saluran Alam (*natural*), meliputi selokan kecil, kali, sungai kecil dan sungai besar sampai saluran terbuka alamiah.
- b) Saluran Buatan (*artificial*), seperti saluran pelayaran, irigasi, parit pembuangan, dan lain-lain. Saluran terbuka buatan mempunyai istilah yang berbeda-beda antara lain :
 - 1) **Saluran (*canal*)** : biasanya panjang dan merupakan selokan landai yang dibuat di tanah, dapat dilapisi pasangan batu/tidak atau beton, semen, kayu maupu aspal.
 - 2) **Talang (*flume*)** : merupakan selokan dari kayu, logam, beton/pasangan batu, biasanya disangga/terletak di atas permukaan tanah, untuk mengalirkan air berdasarkan perbedaan tinggi tekan.
 - 3) **Got miring (*chute*)** : selokan yang curam.

- 4) **Terjunan (*drop*)** : seperti got miring dimana perubahan tinggi air terjadi dalam jangka pendek.
- 5) **Gorong-gorong (*culvert*)** : saluran tertutup (pendek) yang mengalirkan air melewati jalan raya, jalan kereta api, atau timbunan lainnya.
- 6) **Terowongan Air Terbuka (*open-flow tunnel*)** : selokan tertutup yang cukup panjang, dipakai untuk mengalirkan air menembus bukit/gundukan tanah.

2. Saluran Tertutup

Saluran tertutup adalah saluran untuk air kotor yang mengganggu kesehatan lingkungan. Sistem ini cukup bagus digunakan di daerah perkotaan terutama dengan tingkat kepadatan penduduk yang tinggi seperti kota Metropolitan dan kota-kota besar lainnya.



Gambar 2.6 Saluran tertutup

3. Saluran Air Kombinasi

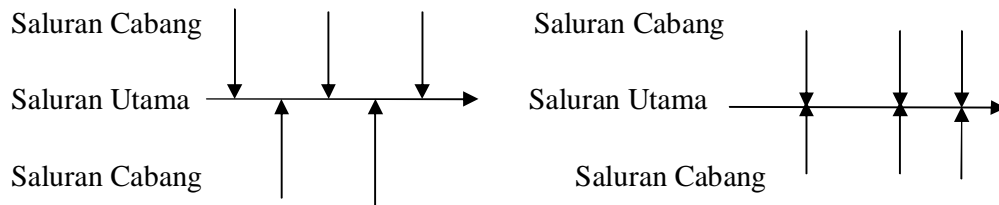
Saluran Air Kombinasi merupakan limpasan air terbuka yang dikumpulkan pada saluran drainase permukaan, sementara limpasan dari daerah yang diperkeras dikumpulkan pada saluran drainase tertutup.

2.5.1.1 Pola-Pola Drainase

Saluran drainase dibuat sesuai dengan kondisi lahan dan lingkungan sekitar perumahan tersebut, oleh karena itu dalam perencanaan drainase dikenal ada beberapa pola jaringan drainase, antara lain:

a. Siku

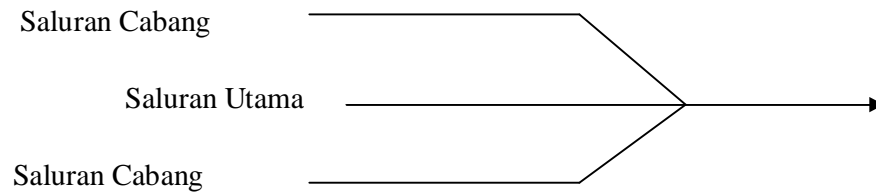
Pola drainase ini saluran pembuangannya tidak mengikuti arah jalan raya jadi sangat cocok untuk daerah yang topografinya tinggi, pola ini juga sungai sebagai saluran utama berada di tengah kota. Kelemahannya adalah tidak cocok bila digunakan pada daerah yang topografinya lebih rendah dari sungai.



Gambar 2.7 Pola Siku

b. Paralel

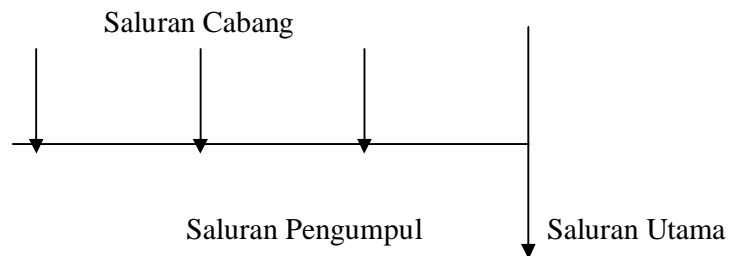
Saluran utama terletak sejajar dengan saluran cabang. Kelebihan dari pola paralel ini apabila terjadi perkembangan kota, saluran-saluran akan dapat menyesuaikan diri dan dengan saluran-saluran pendek, mempermudah penyesuaian dengan perkembangan. Kelemahan dari pola ini adalah pola ini hanya dijumpai pada daerah dengan topografi yang cenderung datar dan terletak jauh dari sungai dan danau. (sumber : <http://html.itb.ac.id/wordpress/wpcontent/uploads/2011/03/Microsoft-PowerPoint-Drainase-4.pdf>)



Gambar 2.8 Pola Paralel

c. Grid Iron

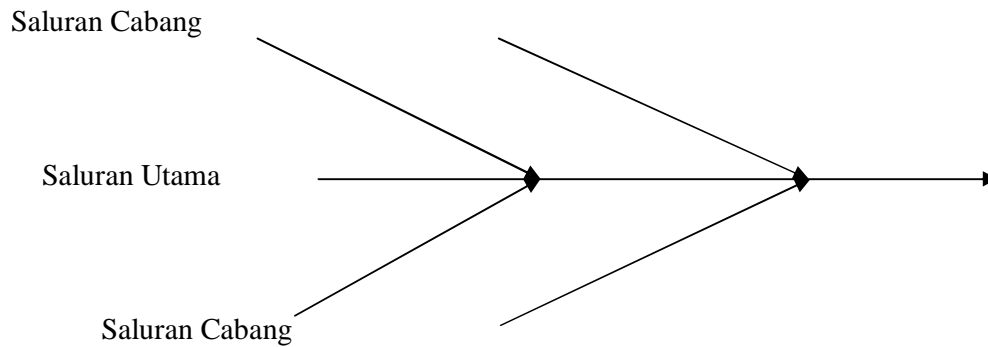
Pola ini untuk daerah dimana sungainya terletak di pinggir kota, sehingga saluran cabang dikumpulkan dulu pada saluran pengumpul. Maka drainase yang akan direncanakan menggunakan pola *grid iron* karena karakteristik daerahnya mirip dengan pola *grid iron* dimana sungai terletak dipinggir kota sehingga saluran cabang dikumpulkan dulu ke saluran pengumpul yaitu drainase yang terletak di pinggir jalan lalu kemudian diteruskan ke saluran utama (sungai).



Gambar 2.9 Pola Grid Iron

d. Alamiah

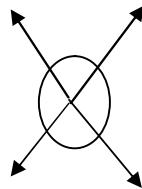
Pola ini sama seperti pola siku, baik dari segi kelemahan dan kelebihan, hanya saja beban sungai pada pola ini lebih besar, karena pada saluran ini baik saluran pengumpul maupun saluran utama adalah saluran alami.



Gambar 2.10 Pola Alamiah

e. Radial

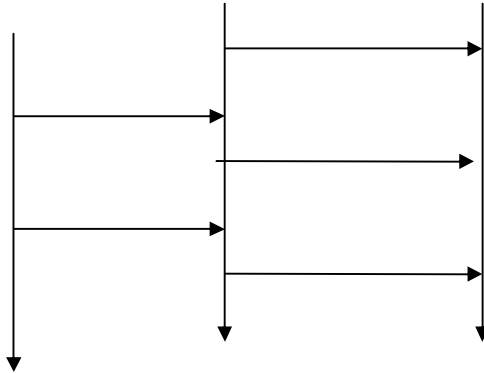
Kelebihan pola ini pada daerah berbukit dimana pola saluran memencar ke segala arah, drainase dari puncak yang menyebar keseluruh daerah sekitarnya. Kelemahannya daerah aliran sungai dengan pola radial mempunyai banjir yang besar di dekat titik pertemuan anak-anak sungai. (sumber : <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/25035/4/Chapter%20II.pdf>)



Gambar 2.11 Pola Radial

f. Jaring-Jaring

Pola ini mempunyai saluran-saluran pembuang yang mengikuti arah jalan raya dan cocok untuk daerah dengan topografi rendah. Kelebihan pola ini adalah untuk digunakan agar satu blok lokasi tidak mempengaruhi blok lain. Kelemahan dari pola ini adalah pola ini kurang cocok diterapkan untuk daerah yang bertopografi tinggi.



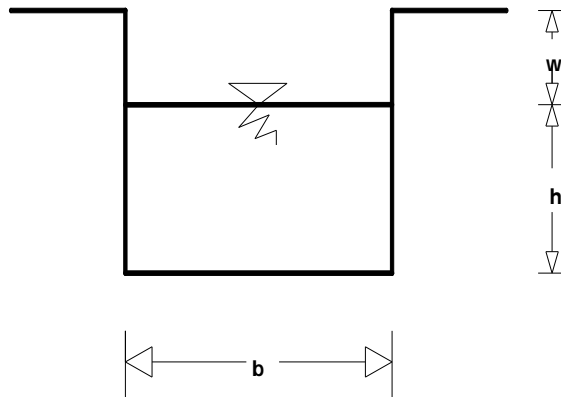
Gambar 2.12 Pola Jaringan – Jaringan

2.5.2 Bentuk Saluran

Bentuk-bentuk saluran untuk drainase tidak jauh berbeda dengan saluran irigasi pada umumnya. Dalam perancangan dimensi saluran harus diusahakan dapat membentuk dimensi yang ekonomis. Dimensi saluran yang terlalu besar berarti kurang ekonomis, sebaliknya dimensi yang terlalu kecil akan menimbulkan permasalahan karena daya tampung yang tidak memadai. Adapun bentuk saluran antara lain :

a. Penampang Persegi

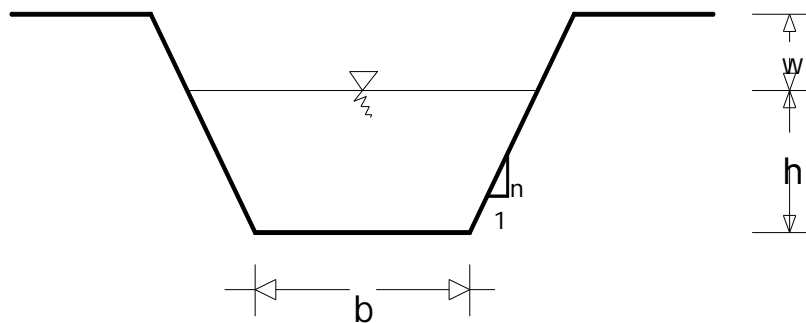
Bentuk penampang persegi empat merupakan penyederhanaan dari bentuk trapesium yang biasanya digunakan untuk saluran-saluran drainase yang melalui lahan-lahan yang sempit. Dalam drainase perkotaan sebaiknya digunakan dimensi penampang dan bentuk penampang yang efektif seperti persegi, dengan pertimbangan luas lahan yang terbatas dan pembebasan lahan yang mahal. (Sumber : http://eprints.undip.ac.id/34008/7/1887_CHAPTER_III.pdf)



Gambar 2.13 Penampang persegi

b. Penampang Trapesium

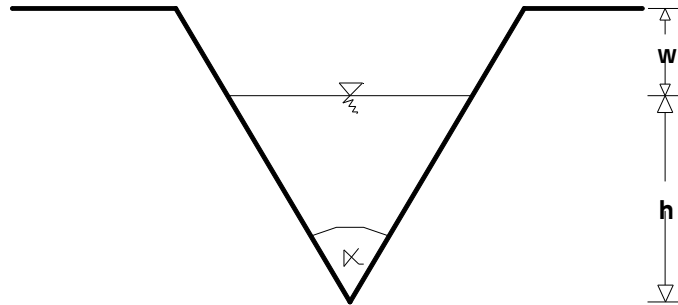
Bentuk penampang trapesium bentuk yang biasa digunakan untuk saluran-saluran irigasi atau saluran-saluran drainase karena menyerupai bentuk saluran alam, dimana kemiringan tebingnya menyesuaikan dengan sudut lereng alam dari tanah yang digunakan untuk saluran tersebut.



Gambar 2.14 Penampang Trapesium

c. Penampang Segitiga

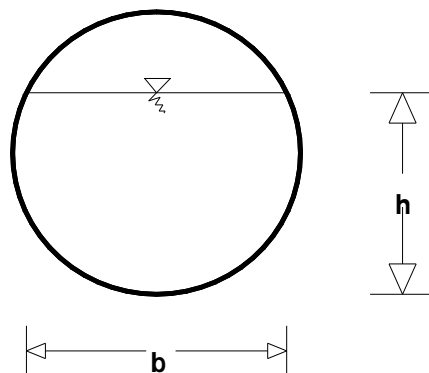
Bentuk penampang segitiga merupakan penyederhanaan dari bentuk trapesium yang biasanya digunakan untuk saluran-saluran drainase yang melalui lahan-lahan yang sempit.



Gambar 2.15 Penampang Segitiga

d. Penampang Lingkaran

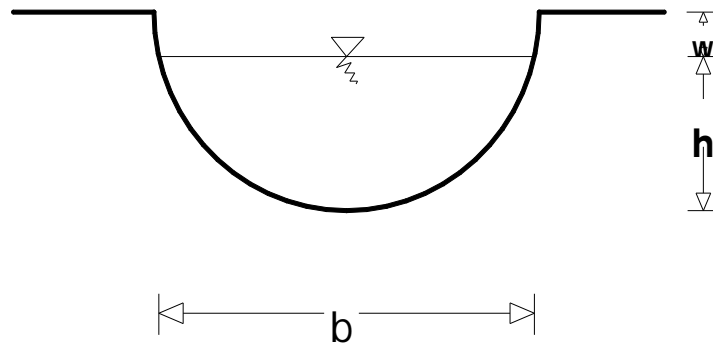
Bentuk penampang lingkaran biasanya digunakan pada perlintasan dengan jalan, saluran ini disebut gorong-gorong. Dengan bentuk saluran yang bulat memudahkan pengangkutan bahan endapan atau limbah.



Gambar 2.16 Penampang lingkaran

e. Penampang Setengah Lingkaran

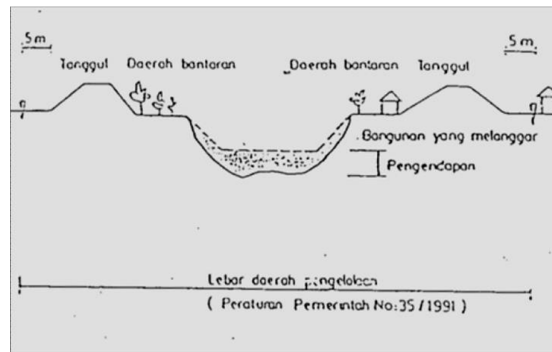
Berfungsi untuk menyalurkan limbah air hujan untuk debit yang kecil. Bentuk saluran ini umum digunakan untuk saluran-saluran rumah penduduk dan pada sisi jalan perumahan padat. Sama halnya dengan penampang lingkaran, bentuk dasar saluran yang bulat memudahkan pengangkutan bahan endapan atau limbah. (Sumber : http://elearning.gunadarma.ac.id/docmodul/drainase_perkotaan/bab5_langkah_perancangan.pdf)



Gambar 2.17 Penampang Setengah Lingkaran

f. Penampang Alami

Terbentuk secara alami akibat aktivitas – aktivitas alam.



Gambar 2.18 Penampang Alami

2.5.2 Rancangan Sistem Jaringan Drainase

Sistem jaringan drainase umumnya dibagi atas 2 bagian, yaitu:

2.5.2.1 Sistem Drainase Mayor

Sistem drainase mayor yaitu sistem saluran / badan air yang menampung dan mengalirkan air dari suatu daerah tangkapan air hujan (*Catchment Area*). Pada umumnya sistem drainase mayor ini disebut juga sebagai sistem saluran pembuangan utama (*major system*) atau drainase primer. Sistem jaringan ini menampung aliran yang berskala besar dan luas seperti saluran drainase primer,

kanal-kanal atau sungai-sungai. Perencanaan drainase makro ini umumnya dipakai dengan periode ulang antara 5 sampai 10 tahun dan pengukuran topografi yang detail mutlak diperlukan dalam perencanaan sistem drainase ini.

2.5.2.2 Sistem Drainase Mikro

Sistem drainase mikro yaitu sistem saluran dan bangunan pelengkap drainase yang menampung dan mengalirkan air dari daerah tangkapan hujan. Secara keseluruhan yang termasuk dalam sistem drainase mikro adalah saluran di sepanjang sisi jalan, saluran/ selokan air hujan di sekitar bangunan, gorong-gorong, saluran drainase kota dan lain sebagainya dimana debit air yang dapat ditampungnya tidak terlalu besar.

Pada umumnya drainase mikro ini direncanakan untuk hujan dengan masa ulang 2, 5 atau 10 tahun tergantung pada tata guna lahan yang ada. Sistem drainase untuk lingkungan permukiman lebih cenderung sebagai sistem drainase mikro.

2.6 Analisis Hidrologi

Untuk melakukan perencanaan drainase diperlukan penggunaan metode yang tepat. Ketidaksihesuaian dalam penggunaan metode dapat mengakibatkan hasil perhitungan tidak dapat diterapkan pada kondisi yang sebenarnya. Analisis hidrologi merupakan faktor yang paling berpengaruh untuk merencanakan besarnya sarana penampungan dan pengaliran. Hal ini diperlukan untuk dapat mengatasi aliran permukaan yang terjadi agar tidak mengakibatkan terjadinya genangan. Beberapa aspek yang perlu ditinjau antara lain :

2.6.1 Analisis Frekuensi

Sistem hidrologi kadang- kadang dipengaruhi oleh peristiwa- peristiwa yang luar biasa (ekstrim), seperti hujan lebat, banjir, dan kekeringan. Besaran peristiwa ekstrim berbanding terbalik dengan frekuensi kejadiannya, peristiwa yang luar biasa ekstrim kejadiannya sangat langka.

Tujuan Analisis frekuensi data hidrologi adalah berkaitan dengan besaran peristiwa- peristiwa ekstrim yang berkaitan dengan frekuensi kejadiannya melalui penerapan distribusi kemungkinan. Data hidrologi yang dianalisis diasumsikan tidak bergantung (*independent*) dan terdistribusi secara acak dan bersifat stokastik. (Sumber: Suripin, Dr. Ir., M. Eng, 2004; halaman : 32)

Dalam statistik dikenal beberapa parameter yang berkaitan dengan analisis data yang meliputi rata- rata, simpangan baku, koefisien variasi, dan koefisien *skewness* (kecondongan atau kemencengan)

Tabel 2.1 Parameter statistik yang penting

Parameter	Sampel	Populasi
Rata- rata	$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{x}_i$	$\mu = E(X) = \int_{-\infty}^{\infty} x f(x) dx$
Simpangan Baku	$S = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$	$\sigma = \{E[(x - \mu)^2]\}^{\frac{1}{2}}$
Koefisien variasi	$CV = \frac{s}{\bar{x}}$	$CV = \frac{\sigma}{\mu}$
Koefisien <i>skewness</i>	$G = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)s^3}$	$\gamma = \frac{E[(x - \mu)^3]}{\sigma^3}$

(Sumber: Suripin, Dr. Ir., M. Eng, 2004; halaman : 34)

Tabel 2.2 Reduced variate, Y_{Tr} sebagai fungsi kala ulang

Periode ulang, T_r (tahun)	Reduced variate, Y_{Tr}	Periode ulang, T_r (tahun)	Reduced variate, Y_{Tr}
2	0,3668	100	4,6012
5	1,5004	200	5,2969
10	2,2510	250	5,5206
20	2,9709	500	6,2149
25	3,1993	1000	6,9087
50	3,9028	5000	8,5188
75	4,3117	10000	9,2121

(Sumber: Suripin, Dr. Ir., M. Eng, 2004; halaman : 52)

Tabel 2.3 Reduced Standar Deviation, Sn

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,9496	0,9676	0,9833	0,9971	1,0095	1,0206	1,0316	1,0411	1,0493	1,0565
20	1,0628	1,0696	1,0754	1,0811	1,0864	1,0915	1,0961	1,1004	1,1047	1,1080
30	1,1124	1,1159	1,1193	1,1226	1,1255	1,1285	1,1313	1,1339	1,1363	1,1388
40	1,1413	1,1436	1,1458	1,1480	1,1499	1,1519	1,1538	1,1557	1,1574	1,1590
50	1,1607	1,1623	1,1638	1,1658	1,1667	1,1681	1,1696	1,1708	1,1721	1,1734
60	1,1747	1,1759	1,1770	1,1782	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844
70	1,1854	1,1863	1,1873	1,1881	1,1890	1,1898	1,1906	1,1915	1,1923	1,1930
80	1,1938	1,1945	1,1953	1,1959	1,1967	1,1973	1,1980	1,1987	1,1994	1,2001
90	1,2007	1,2013	1,2020	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2049	1,2055	1,2060
100	1,2065	1,2069	1,2073	1,2077	1,2081	1,2084	1,2087	1,2090	1,2093	1,2096

(Sumber: Suripin, Dr. Ir., M. Eng, 2004; halaman : 52)

Tabel 2.4 Reduced Mean , Yn

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,5070	0,5100	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,5220
20	0,5236	0,5252	0,5268	0,5283	0,5296	0,5309	0,5320	0,5332	0,5343	0,5353
30	0,5362	0,5371	0,5380	0,5388	0,8396	0,5403	0,5410	0,5418	0,5424	0,5436
40	0,5436	0,5442	0,5448	0,5453	0,5458	0,5463	0,5468	0,5473	0,5477	0,5481
50	0,5485	0,5489	0,5493	0,5497	0,5501	0,5504	0,5508	0,5511	0,5515	0,5518
60	0,5521	0,5524	0,5527	0,5530	0,5533	0,5535	0,5538	0,5540	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,5550	0,5552	0,5555	0,5557	0,5559	0,5561	0,5563	0,5565	0,5567
80	0,5569	0,5570	0,5572	0,5574	0,5576	0,5578	0,5580	0,5581	0,5583	0,5585
90	0,5586	0,5587	0,5589	0,5591	0,5591	0,5593	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599
100	0,5600	0,5602	0,5603	0,5604	0,5604	0,5607	0,5608	0,5609	0,5610	0,5611

(Sumber: Suripin, Dr. Ir., M. Eng, 2004; halaman 51-52)

2.6.2 Distribusi Metode Gumbel

Analisis frekuensi untuk curah hujan rancangan (x) dengan metode Gumbel, yaitu :

$$Xt = \bar{x} + \frac{Yt - Yn}{Sn} \sigma n \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan :

X_t = curah hujan rancangan dengan kala ulang T tahun

\bar{x} = nilai rata – rata aritmatik hujan kumulatif

Y_t = *reduced variate*, merupakan fungsi dari probabilitas atau dengan rumus

$$Y_t = -\ln\left[\ln\left(\frac{T_r}{T_r-1}\right)\right] \dots\dots\dots(2.2)$$

Y_n = *reduced variate mean*, rata – rata Y_t , merupakan fungsi dari pengamatan (Tabel Gumbel)

S_n = *Reduced variate standard deviation*, merupak koreksi dari penyimpangan (fungsi dari pengamatan, tabel gumbel)

σ_n = Simpangan baku (standar deviasi) = sd

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \dots\dots\dots(2.3)$$

Syarat Distribusi Gumbel :

1. Koefisien kemencengan (*Skewness*) = $C_s = 1,14$
2. Koefisien puncak (*Kurtosis*) = $C_k = 5,4$

Rumus koefisien kemencengan (C_s) dan koefisien puncak (C_k) :

$$C_s = \frac{n \sum(x - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)S^3} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$C_k = \frac{n^2 \sum(x - \bar{x})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dengan :

C_s = *Skewness* / kemencengan

C_k = *Kurtosis* / koefisien puncak

S = Simpangan baku

n = Jumlah data

(Sumber : Limantara, Lily Montaraih, Dr. Ir., M.Sc, 2010; halaman : 57)

2.6.3 Curah Hujan Regional / Wilayah

Jika di dalam suatu areal terdapat beberapa alat penakar atau pencatat curah hujan, maka dapat diambil nilai rata – rata untuk mendapatkan nilai curah hujan areal. (Soemarto, C.D, 1995; halaman : 10)

Ada 3 macam cara yang berbeda dalam menentukan tinggi curah hujan rata-rata pada areal tertentu dari angka-angka curah hujan di beberapa titik pos penakar atau pencatat. (Soemarto, C.D, 1995; halaman : 10)

1. Metode Rerata Aljabar

Tinggi rata – rata curah hujan didapatkan dengan mengambil nilai rata – rata hitung pengukuran hujan di stasiun curah hujan didalam *catchment area* tersebut.

$$d = \frac{1}{n} \times (d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_n) \dots\dots\dots (2.6)$$

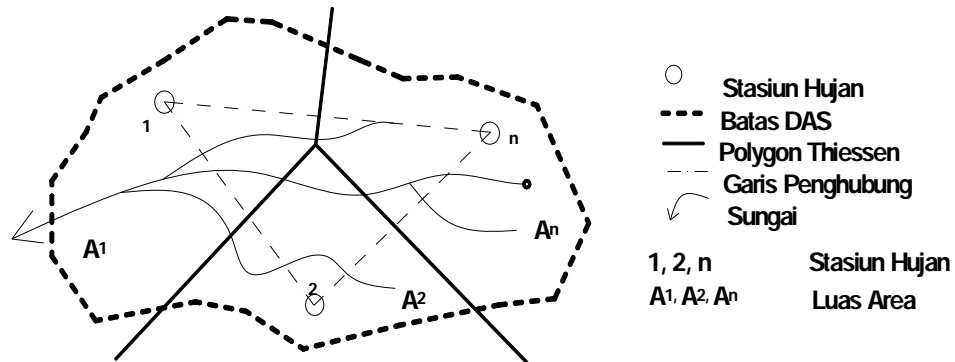
Dengan :

- d = tinggi curah hujan rata-rata
- d_1, d_2, \dots, d_n = tinggi curah hujan pada pos penakar 1,2,.....,n
- n = banyaknya pos penakar

(Soemarto C.D,1995; halaman : 10)

2. Cara Poligon Thiessen

Cara ini berdasarkan rata-rata timbang (*weighted average*). Masing-masing penakar mempunyai daerah pengaruh yang dibentuk dengan menggambarkan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung di antara dua buah pos penakar.



Gambar 2.19 Polygon Thiessen

$$R = \frac{A_1 d_1 + A_2 d_2 + A_3 d_3 + \dots + A_n d_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dengan :

A = luas areal

d = tinggi curah hujan rata-rata areal

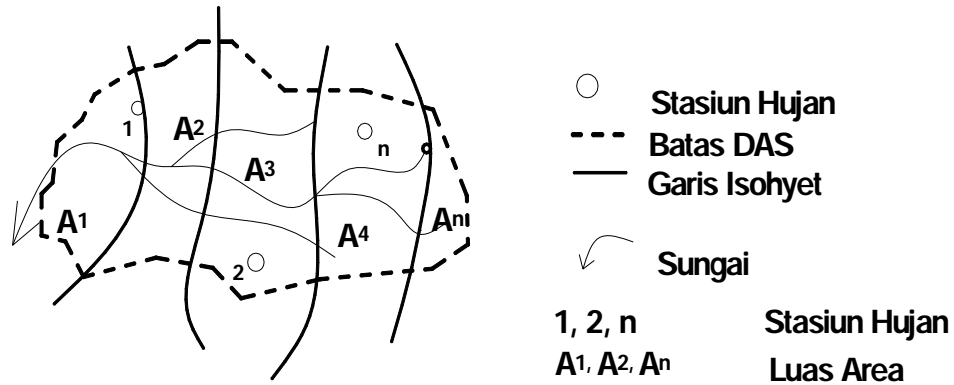
d_1, d_2, \dots, d_n = tinggi curah hujan di pos 1, 2, ..., n

A_1, A_2, \dots, A_n = luas daerah pengaruh pos 1, 2, ..., n

(Soemarto C.D, 1995; halaman : 10 - 11)

3. Cara isohyet

Dengan cara ini, kita harus menggambar dulu kontur tinggi hujan yang sama (isohyet).



Gambar 2.20 Isohyet

$$d = \frac{\left[\frac{d_0+d_1}{2}\right]A_1 + \left[\frac{d_1+d_2}{2}\right]A_2 + \dots + \left[\frac{d_{n-1}+d_n}{2}\right]A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dengan :

- A = luas areal
- d = tinggi curah hujan rata-rata areal
- d_0, d_1, \dots, d_n = tinggi curah hujan di pos 1, 2, ..., n
- A_1, A_2, \dots, A_n = luas daerah pengaruh pos 1, 2, ..., n

(Soemarto C.D, 1995; halaman : 11)

2.6.4 Analisa Intensitas Curah Hujan

Intensitas curah hujan adalah ketinggian curah hujan yang terjadi pada kurun waktu dimana air tersebut berkonsentrasi. Dalam menentukan debit banjir rencana (*flood design*), perlu didapatkan harga sesuatu intensitas curah hujan terutama bila dipergunakan metode ratio. Intensitas curah hujan dinotasikan dengan huruf I dengan satuan (mm/Jam), yang artinya tinggi curah hujan yang terjadi sekian mm dalam kurun waktu per jam. Intensitas curah hujan dapat dihitung dengan menggunakan rumus, seperti :

1. Rumus Mononobe

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{T_c}\right)^{2/3} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana :

I = Intensitas hujan (mm/jam)

R_{24} = Curah hujan harian maksimum (mm)

t_c = Waktu Konsentrasi (jam)

$t_c = t_1 + t_2$

$t_1 = \left(\frac{2}{3} \times 3,28 \times L_o \frac{nd}{\sqrt{s}} \right)^{0,167}$

$t_2 = \frac{L}{60V}$

Keterangan :

t_1 = waktu *inlet* (menit)

t_2 = waktu aliran (menit)

L_o = jarak dari titik terjauh ke fasilitas drainase (m)

L = panjang saluran (m)

nd = koefisien hambatan

s = kemiringan daerah pengaliran

v = kecepatan air rata – rata disaluran (m/det)

(Sumber : SK SNI M-18-1989-F)

2.6.5 Debit Air Hujan / Limpasan

Debit air hujan atau debit limpasan adalah apabila intensitas hujan yang jatuh di suatu Daerah Aliran Sungai melebihi kapasitas infiltrasi, setelah laju infiltrasi terpenuhi air akan mengisi cekungan – cekungan pada permukaan tanah. Setelah cekungan – cekungan tersebut penuh, selanjutnya air akan mengalir diatas

permukaan tanah. Debit air hujan ini dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

Rumus Debit Limpasan :

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana :

Q = Debit aliran air limpasan (m³/detik)

C = Koefisien *run off* (berdasarkan standar baku)

I = Intensitas hujan (mm/jam)

A = Luas daerah pengaliran (ha)

(Sumber <http://spk2009.hostoi.com>):

Tabel 2.5 Koefisien aliran (C)

NO	Dekripsi lahan / kondisi permukaan	Koefisien aliran (C)
1	BISNIS	
	Pekotaan	0,70 - 0,95
	Pinggiran	0,50 - 0,70
2	PERUMAHAN	
	Rumah tinggal	0,30 - 0,50
	Multi unit,terpisah	0,40 - 0,60
	Pekampungan	0,25 - 0,40
	Apartemen	0,50 - 0,70

NO	Dekripsi lahan / kondisi permukaan	Koefisien aliran (C)
3	INDUSTRI	
	Ringan	0,50 - 0,80
	Berat	0,60 - 0,90
4	PERKERASAN	
	Aspal dan beton	0,70 - 0,95
	Batu bata	0,50 - 0,70
	Atap	0,75 - 0,95
5	TANAH	
	Datar 2%	0,05 - 0,10
	Rata rata 2% - 7%	0,10 - 0,15
	Curam 7%	0,15 - 0,20
6	HUTAN	
	Datar 0% - 2%	0,10 - 0,40
	Bergelombang 5% - 10%	0,25 - 0,50
	Berbukit 10% - 30%	0,30 - 0,60

(Sumber :Dewan standarisasi nasional, 1994)

2.7 Air Limbah

2.7.1 Pengertian Air Limbah

Air limbah (*wastewater*) adalah kotoran dari masyarakat dan rumah tangga dan juga yang berasal dari industri, air tanah, air permukaan serta buangan lainnya. Dengan demikian air buangan ini merupakan hal yang bersifat kotoran

umum. Definisi dari limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) berdasarkan BAPEDAL (1995) ialah setiap bahan sisa (limbah) suatu kegiatan proses produksi yang mengandung bahan berbahaya dan beracun (B3) karena sifat (*toxicity, flammability, reactivity, dan corrosivity*) serta konsentrasi atau jumlahnya yang baik secara langsung maupun tidak langsung dapat merusak, mencemarkan lingkungan, atau membahayakan kesehatan manusia

2.7.2 Air Limbah Rumah Tangga

Sumber utama air limbah rumah tangga dari masyarakat adalah berasal dari perumahan dan daerah perdagangan. Adapun sumber lainnya yang tidak kalah penting ialah daerah perkantoran atau lembaga serta daerah fasilitas rekreasi. Untuk daerah tertentu banyaknya air limbah dapat diukur secara langsung.

a. Daerah Perumahan

Untuk daerah perumahan yang kecil aliran air limbah biasanya diperhitungkan melalui kepadatan penduduk dan rata – rata per orang dalam membuang air limbah.

b. Daerah Perdagangan

Aliran air limbah yang berasal dari daerah perdagangan secara umum dihitung dalam meter kubik per hektar/hari dan berdasarkan pada data perbandingan. Data aliran ini dapat bervariasi dari 4 – 1500 liter/hari.

c. Daerah Kelembagaan

Seperti halnya sumber air limbah lainnya, maka daerah yang terdiri dari lembaga - lembaga pemerintah juga mempunyai variasi aliran.

(Sumber : Sugiharto, *Dasar – Dasar Pengelolaan Air Limbah*; halaman : 10 – 12)

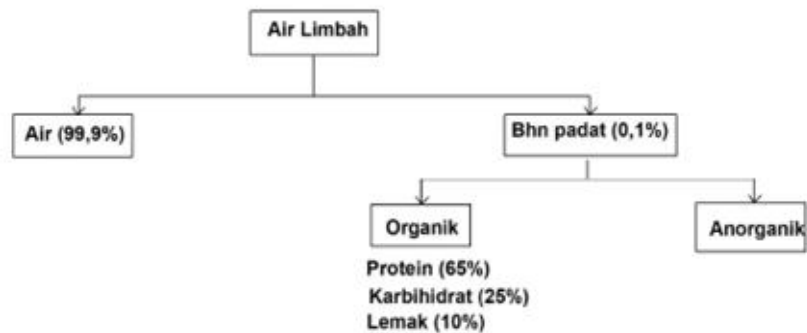
2.7.3 Air Limbah Industri

Jumlah aliran air limbah yang berasal dari industri sangat bervariasi tergantung dari jenis dan besar kecilnya industri. Untuk jumlah air limbah yang dihasilkan oleh industri diperkirakan sekitar $50 \text{ m}^3 / \text{ha} / \text{hari}$. Sebagai patokan dapat dipergunakan pertimbangan bahwa 85 – 95 % dari jumlah air yang

dipergunakan adalah berupa air limbah apabila industri tersebut tidak menggunakan kembali air limbahnya. Tetapi bila industri tersebut menggunakan kembali air limbahnya, maka jumlahnya akan lebih kecil lagi. Banyaknya pemakaian air dari suatu industri seperti terlihat pada table dibawah ini. Dengan demikian jumlah air limbahnya adalah sebanyak jumlah tersebut dan dikalikan 85 – 95 % . (Sumber : Sugiharto, *Dasar – Dasar Pengelolaan Air Limbah*; halaman : 13)

2.7.4 Kuantitas dan Komposisi Air Limbah

Sesuai dengan sumber asalnya, maka air limbah mempunyai komposisi yang sangat bervariasi dari setiap tempat dan setiap saat. Akan tetapi, secara garis besar zat – zat yang terdapat di dalam air limbah dapat dikelompokkan menjadi seperti pada skema berikut ini (Sumber : Sugiharto, *Dasar – Dasar Pengelolaan Air Limbah*; halaman : 16)



Gambar 2.21 Skema Komposisi Air Limbah

Debit air limbah rumah tangga didapat dari 60% - 75% supply air bersih setiap orang, diambil debit air limbah rumah tangga 70% dan sisanya dipakai pada proses *industry*, penyiraman kebun dan lain – lain, dengan rumus :

$$Q_{\text{air limbah}} = \text{Jumlah orang} \times \text{Supply air bersih} \times 70\%$$

(Ir. Djoko Sasongko M.Sc. dkk : 1989; halaman : 244)

Tabel 2.6 Rata rata Debit Air Limbah buangan

No	Sumber	Unit	Jumlah Aliran 1/unit/hari	
			Antara	Rata-rata
1.	Rumah <i>flat</i> , tempat istirahat	Orang	200-280	220
2.	Pondok, tempat istirahat	Orang	130-190	160
3.	Kantin	Pengunjung	4-10	6
		Pekerja	30-50	40
4.	Perkemahan	Orang	80-150	120
5.	Penjual minuman buah	Tempat duduk	50-100	75
6.	<i>Buffet (Coffe Shop)</i>	Pengunjung	15-30	20
		Pekerja	30-50	40
7.	Perkemahaan Anak- anak	Orang	250-500	400
8.	Tempat perkumpulan	Peserta	40-60	50
		Pekerja	40-60	50
9.	Ruang makan	Pengunjung	15-40	30
10.	Asrama	Orang	75-175	150
11.	Hotel, tempat istirahat	Orang	150-240	200
12.	Tempat cuci otomatis	Mesin	1.800-	2.200
13.	Toko	Pengunjung	2.600	10
		Pekerja	5-20	40
14.	Kolam Renang	Pengunjung	30-50	40
		Pekerja	20-50	40
15.	Gedung Bioskop	Tempat duduk	30-50	10
16.	Pusat keramaian	Pengunjung	10-15	20
			15-30	

(Sumber : Sugiharto, Dasar – Dasar Pengelolaan Air Limbah; halaman :14)

Tabel 2.7 Rata rata Debit Air Limbah buangan

Peruntukan Bangunan	Pemakaian Air Bersih	Satuan
Rumah Mewah	250	Liter / penghuni / hari
Rumah Biasa	150	Liter / penghuni / hari
<i>Apartment</i>	250	Liter / penghuni / hari
Rumah Susun	100	Liter / penghuni / hari
Asrama	120	Liter / penghuni / hari
Klinik / Puskesmas	3	Liter / pengunjung / hari
Rumah sakit Mewah	1000	Liter / tempat tidur pasien / hari
Rumah Sakit Menengah	750	Liter / tempat tidur pasien / hari
Rumah Sakit Umum	425	Liter / tempat tidur pasien / hari
Sekolah Dasar	40	Liter / siswa / hari
SLTP	50	Liter / siswa / hari
SLTA	80	Liter / siswa / hari
Perguruan Tinggi	80	Liter / siswa / hari
Rumah Toko / Rumah Kantor	100	Liter / penghuni & pegawai / hari
Gedung Kantor	50	Liter / pegawai / hari
Toserba (Toko serba ada, mall, <i>department store</i>)	5	Liter / m ² luas lantai / hari
Pabrik / Industri	50	Liter / pegawai / hari
Stasiun / Terminal	3	Liter / penumpang tiba dan pergi / hari
Bandara Udara	3	Liter / penumpang tiba dan pergi / hari
Restoran	15	Liter / kursi / hari
Gedung Pertunjukan	10	Liter / kursi / hari
Gedung Bioskop	10	Liter / kursi / hari
Hotel Melati s/d Bintang 2	150	Liter / tempat tidur / hari
Hotel Bintang 3 ke atas	250	Liter / tempat tidur / hari
Gedung Peribadatan	5	Liter / orang / hari
Perpustakaan	25	Liter / pengunjung / hari
Bar	30	Liter / pengunjung / hari
Perkumpulan Sosial	30	Liter / pengunjung / hari
Klab Malam	235	Liter / kursi / hari
Gedung Pertemuan	25	Liter / kursi / hari
Laboratorium	150	Liter / staf / hari
Pasar Tradisional / Modern	40	liter / kios / hari

(Sumber: Pergub DKI Jakarta No:122/2005 dalam <http://www.penguin.co.id/info/tank-capacity>)

2.7.5 Faktor Jam Puncak

Jam puncak merupakan jam dimana terjadi pemakaian air terbesar dalam 24 jam. Faktor jam puncak (fp) mempunyai nilai yang terbalik dengan jumlah penduduk. Semakin tinggi jumlah penduduk maka besarnya faktor jam puncak akan semakin kecil. Hal ini terjadi karena dengan bertambahnya jumlah penduduk maka aktifitas penduduk tersebut juga akan semakin beragam sehingga fluktuasi pemakaian akan semakin kecil. Nilai faktor hari maksimum dan faktor jam puncak telah ditetapkan oleh Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Cipta Karya. Nilai – nilai tersebut seperti terdapat pada tabel 2.8 berikut ini :

Tabel 2.8 Nilai Faktor Hari Maksimum dan Faktor Jam Puncak

NO	Katagori	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Faktor Hari Maksimum	Faktor Jam Puncak
1	Metropolitan	>1.000.000	1,1	1,5
2	Kota Besar	500.000 – 1.000.000	1,1	1,5
3	Kota Sedang	100.000 – 500.000	1,1	1,5
4	Kota Kecil	25.000 – 100.000	1,1	1,5
5	Ibukota Kecamatan	10.000 – 25.000	1,1	1,5
6	Pedesaan	<10.000	1,1	1,5

(Sumber : Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Cipta Karya, 1998)

2.8 Desain Saluran

Analisis hidrolika bertujuan untuk mengetahui kemampuan penampang dalam menampung debit rencana. Salah satu penyebab banjir adalah karena ketidakmampuan penampang dalam menampung debit banjir yang terjadi.

(Sumber: eprints.undip.ac.id/34021/8/1892_CHAPTER_V.pdf)

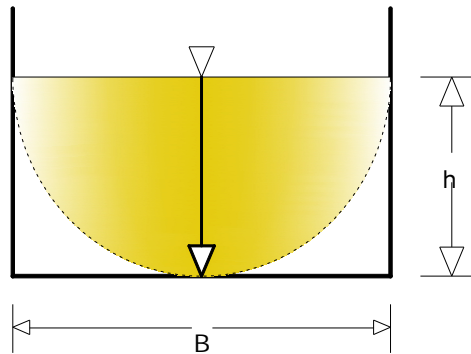
2.9 Dimensi Saluran

Pada penampang melintang saluran berbentuk persegi dengan lebar dasar B dan kedalaman air h, luas penampang basah, A, dan keliling basah, P, dapat dituliskan sebagai berikut:

$$A = Bh \dots\dots\dots(2.11)$$

Atau

$$B = \frac{A}{h} \dots\dots\dots(2.12)$$



Gambar 2.22 Penampang persegi panjang

$$P = B + 2h \dots\dots\dots(2.13)$$

Substitusi persamaan (2.12) ke dalam persamaan (2.13), maka diperoleh persamaan:

$$P = \frac{A}{h} + 2h \dots\dots\dots(2.14)$$

Dengan asumsi luas penampang, A, adalah konstan, maka persamaan (2.13) dapat dideferensialkan terhadap h dan dibuat sama dengan nol untuk memperoleh harga P minimum.

$$\frac{dP}{dh} = -\frac{A}{h^2} + 2 = 0$$

$$A = 2h^2 = Bh$$

Atau

$$B=2h \text{ atau } H = \frac{B}{2} \dots\dots\dots(2.15)$$

Jari- jari Hidraulik

$$R = \frac{A}{P} = \frac{Bh}{B+2h}$$

$$R = \frac{2h^2}{2h+2h} = \frac{h}{2} \dots\dots\dots (2.16)$$

Perhatikan, bentuk penampang melintang persegi yang paling ekonomis adalah jika kedalaman air setengah dari lebar dasar saluran, atau jari- jari hidrauliknya setengah dari kedalaman air. (*Sumber: Suripin, Dr. Ir., M. Eng, 2004; halaman : 147-148*)

2.9.1 Penampang Basah Saluran Drainase dan Gorong- gorong

Luas penampang basah saluran drainase dan gorong – gorong dihitung berdasarkan:

1. Penampang basah ekonomis untuk menampung debit maksimum (A_e) yaitu:

Saluran berbentuk segi empat

$$A_e = b h \dots\dots\dots (2.17)$$

$$R = \frac{A_e}{P} \dots\dots\dots (2.18)$$

$$P = b + 2h \dots\dots\dots (2.19)$$

Keterangan :

b = lebar saluran (m)

h = dalamnya saluran yang tergenang air (m)

R = Jari – jari hidrolis (m)

P = Keliling basah saluran (m)

A_e = Luas penampang basah (m^2)

2. Penampang basah berdasarkan debit air dan kecepatan (V) rumus:

$$A_d = \frac{Q}{V} \dots\dots\dots (2.20)$$

Keterangan :

A_d = Luas Penampang (m^2)

Q = Debit air (m^3/dtk)

3. Selanjutnya dimensi saluran ditentukan atas dasar :

$$A_e = A_d$$

Keterangan :

A_e = Luas penampang ekonomis (m^2)

A_d = Luas penampang berdasarkan debit air yang ada (m^2)

4. Untuk gorong- gorong yang berbentuk metal gelombang, hanya diperhitungkan debit air dan penentuan penampang basah disesuaikan dengan spesifikasi yang telah ditentukan. (Sumber: <http://www.scribd.com/...../d/39578850/10-Penampang-Basah-Saluran-Drainase-dan-Gorong-gorong>)

2.9.2 Kemiringan Saluran

Lapisan dasar saluran dan dindingnya terbuat dari beton, pasangan batu kali, pasangan batu bata, aspal, kayu, besi cor, baja plastik, atau dari tanah saja.

Tabel 2.9 Hubungan Kemiringan Berdasarkan Jenis Material

Jenis Material	Kemiringan Saluran I (%)
Tanah Asli	0 – 5
Kerikil	5 – 7.5
Pasangan	7.5

(Sumber : Tata Cara Perencanaan Drainase Permukaan Jalan, SNI 03-3424-1994)

Kemiringan saluran adalah kemiringan dasar saluran dan kemiringan dinding saluran. Kemiringan dasar saluran maksimum yang diizinkan adalah 0,005 – 0,0075, tergantung pada beban yang digunakan. Sedangkan kemiringan dasar minimum yang diperbolehkan adalah 0,001 kemiringan yang lebih curam dari 0,005 untuk tanah padat akan menyebabkan erosi (penggerusan)

Untuk menghitung kemiringan saluran samping dan gorong- gorong pembuang air digunakan rumus:

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \quad I = \left(\frac{V \cdot n}{R^{\frac{2}{3}}} \right)^2 \dots\dots (2.21)$$

Keterangan

V = Kecepatan aliran (m/det)

n = Koefisien kekasaran manning

R = A/P = jari- jari hidrolis (m)

A = Luas Penampang basah (m^2)

P = Keliling basah (m)

I = Kemiringan saluran

(Sumber : <http://www.scribd.com/...../d/39578850/10-Penampang-Basah-Saluran-Drainase-dan-Gorong-gorong>)

2.10 Manning (1889)

Seorang insinyur Irlandia bernama Robert Manning (1889) mengemukakan sebuah rumus yang akhirnya diperbaiki menjadi rumus yang sangat terkenal sebagai berikut:

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2.22)$$

Dimana n dikenal sebagai koefisien kekasaran Manning. Perlu dicatat bahwa n bukan bilangan nondimensional, tetapi berdimensi $TL^{-1/3}$. (Sumber: Suripin, Dr. Ir., M. Eng, 2004; halaman : 144).

Tabel 2.10 Tipikal harga koefisien kekasaran Manning, n , yang sering digunakan

No	Tipe Saluran dan Jenis Bahan	Harga n		
		Minimum	Normal	Maksimum
1	Beton			
	a. Gorong - gorong lurus dan bebas dari kotoran	0,010	0,011	0,013
	b. Gorong - gorong dengan lengkungan dan sedikit kotoran/ gangguan	0,011	0,013	0,014
	c. Beton dipoles	0,011	0,012	0,014
d. Saluran pembuang dengan bak kontrol	0,013	0,015	0,017	
2	Tanah lurus dan seragam			
	a. Bersih baru	0,016	0,018	0,020
	b. Bersih telah melapuk	0,018	0,022	0,025
	c. Berkerikil	0,022	0,025	0,030
d. Berumput pendek, sedikit tanaman pengganggu	0,022	0,027	0,033	
3	Saluran alam			
	a. Bersih lurus	0,025	0,030	0,033
	b. Bersih, berkelok - kelok	0,033	0,040	0,045
	c. Banyak tanaman pengganggu	0,050	0,070	0,08
	d. Dataran banjir berumput pendek – tinggi	0,025	0,030	0,035
e. Saluran di belukar	0,035	0,050	0,07	

(Sumber: Suripin, Dr. Ir., M. Eng, 2004; halaman : 145)

Tabel 2.11 Nilai Koefisien Hambatan (nd)

Kondisi Lapisan Permukaan	Nd
Lapisan Semen dan Aspal Beton	0,013
Permukaan Licin dan Kedap Air	0,020
Permukaan Licin dan Kokoh	0,1
Tanah dengan Rumput Tipis dan Gundul dengan Permukaan Sedikit Kasar	0,2
Padang Rumput	0,4
Hutan Gundul	0,6
Hutan Rimbum dan Hutan Gundul Rapat dengan Hambaran Rumput Jarang sampai Padat	0,8

(Sumber : Modul Ajar Drainase dalam Intensitas Hujan oleh Drs. Arfan Hasan)

Tabel 2.12 Kecepatan izin berdasarkan material saluran

NO	Jenis bahan	V izin (m/detik)
1	Pasir halus	0,45
2	Lempung kepasiran	0,50
3	Lempung alluvial	0,60
4	Kerikil halus	0,75
5	Lempung kokoh	0,75
6	Lempung padat	1,10
7	Kerikil kasar	1,20
8	Batu batu besar	1,50
9	Pasangan batu	1,50
10	Beton	1,50
11	Beton bertulang	1,50

(Sumber: Dewan Standarisasi Nasional: 1994)

2.11. Tinggi Jagaan

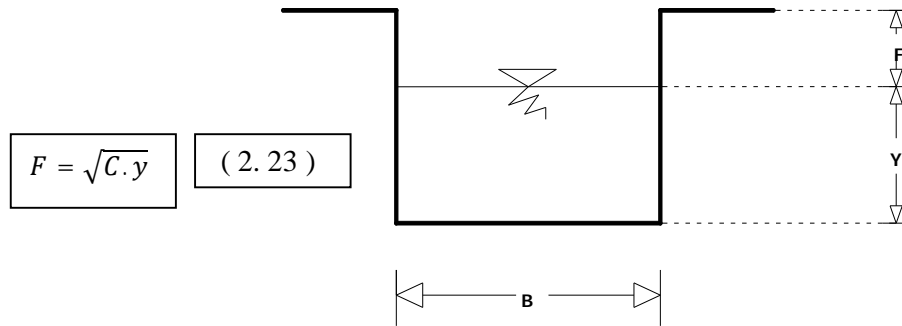
Jagaan (*freeboard*) suatu saluran ialah jarak vertikal dari puncak saluran ke permukaan air pada kondisi rancang. Jarak ini harus cukup untuk mencegah gelombang atau kenaikan muka air yang melimpah ke tepi. Faktor ini sangat penting terutama dalam perencanaan talang air yang dipertinggi, sebab bagian bawah talang dapat terancam oleh limpasan air.

Belum ada peraturan yang dapat diterima untuk menentukan besarnya jagaan ini, karena gerakan gelombang atau kenaikan muka air di saluran dapat

diakibatkan oleh berbagai hal yang tidak dapat diduga sebelumnya. Gelombang sebelumnya dan kenaikan muka air biasanya diperkirakan pada saluran yang kecepataannya sangat besar dan kemiringannya sangat terjal. Sehingga aliran menjadi sangat tidak stabil, atau pada tikungan dengan kecepatan yang besar dan sudut tikungan yang besar dapat mengakibatkan kenaikan muka air yang besar pada bagian yang cembung dari tikungan tersebut, atau pada saluran dimana kecepataannya mendekati keadaan kritis, saat air mengalir pada kedalaman selang-seling sehingga melompat dari taraf air rendah ke taraf air tinggi meskipun hambatan yang terjadi sangat kecil. Penyebab alamiah lainnya seperti gerakan angin dan pasang surut dapat pula mengakibatkan gelombang tinggi dan memerlukan pertimbangan khusus dalam perancangan.

Besarnya jagaan yang umum dipakai dalam perancangan, berkisar antara lebih kecil dari 5% sampai lebih besar dari 30% kedalam aliran. Untuk talang melengkung yang terbuat dari baja halus, dengan kecepatan aliran tidak lebih dari 80% kecepatan kritis dengan nilai maksimum 8 kaki per detik, dari pengalaman diketahui bahwa sebaiknya dipakai jagaan sebesar 6% dari diameter talang. Pada talang di tikungan yang kecepataannya besar dapat terjadi gaya gelombang, maka jagaan harus diperbesar untuk mencegah air melimpas ke luar.

Jagaan untuk saluran tanpa perlapisan biasanya dibuat dengan mempertimbangkan ukuran saluran dan lokasinya, aliran air masuk akibat badai, sifat-sifat tanah, gradien perlokasi, pemanfaatan jalan, dan tersedianya bahan galian. Menurut *U.S. Bureau of Reclamation* interval jagaan yang sering dipakai lebih dari 1 kaki untuk saluran primer yang airnya dangkal sampai 4 kaki bagi saluran berkapasitas 3000 kaki kubik per detik atau bagi kedalaman air yang relatif lebih besar dengan kapasitas yang lebih besar pula. Badan tersebut menyarankan suatu taksiran awal bagi jagaan yang diperlukan pada keadaan biasa, dapat dilakukan dengan rumus berikut:



Gambar 2.23 Tinggi Jagaan, F (dalam satuan kaki)

Dimana :

- F = jagaan (kaki)
- y = kedalaman air di saluran (kaki)
- C = Koefisien

C merupakan koefisien yang bervariasi dari 1,5 bagi saluran berkapasitas 20 kaki kubik perdetik sampai 2,5 bagi saluran berkapasitas 3000 kaki kubik per detik atau lebih. Penaksiran ini dibuat berdasarkan pengalaman Badan tersebut, namun tidak berlaku untuk setiap keadaan. (Sumber: Ven Te Chow, 1992; halaman : 145)

2.11.1 Bangunan pelengkap (gorong – gorong)

Gorong – gorong adalah saluran tertutup (pendek) yang mengalirkan air melewati jalan raya, jalan kereta api, atau timbunan lainnya. Gorong – gorong biasanya dibuat dari beton, aluminium gelombang, baja gelombang, dan kadang – kadang lastik gelombang. Bentuk penampang melintang gorong – gorong bermacam – macam, ada yang bulat, persegi, oval, tapal kuda, dan segitiga.

Berdasarkan lokasi, dikenal ada dua macam pengontrol yang dapat digunakan pada gorong – gorong, yaitu pengontrol depan (*inlet*) dan pengontrol belakang (*outlet*). Kontrol di depan terjadi jika kapasitas gorong – gorong lebih besar dari pada kapasitas pemasukan, dan kontrol di belakang terjadi jika kapasitas gorong – gorong lebih kecil dari pada kapasitas pemasukan. (Dr. Ir. Suripin, M.Eng : 200; halaman : 196)

$$A = \frac{D^2}{8}(\alpha - \sin \alpha) \quad \alpha \text{ dalam radian (2.21)}$$

Dimana :

A : Luas Penampang (m²)

D : Diameter pipa (m)

(*Lucio Canonica, MSc.CE.ETHZ : 1991*)

2.12 Pengelolaan Proyek

2.12.1 Uraian Rencana Kerja (*Network Planning*)

a. Sejarah *Network Planning*

Network Planning adalah sebuah cara atau teknik yang sangat membantu dalam sebuah perencanaan, penjadwalan dan pengawasan sebuah pekerjaan proyek yang terdiri dari beberapa pekerjaan yang saling berhubungan. Semenjak tahun 1950, *network planning* ini telah mulai dikembangkan di Amerika Serikat (US). Ketika itu ada dua metode yang dikenal dalam *network planning*, yaitu:

- a) *Program Evaluation And Review Technique (PERT)*
- b) *Critical Path Method (CPM)*

Pengelolaan sebuah proyek mencakup banyak manajemen dan koordinasi berbagai macam bentuk kegiatan. Ketika beberapa tugas yang harus diselesaikan sudah berada di atas meja kerja, maka hal ini menjadi suatu tantangan untuk menjaga semua aspek proyek agar semuanya tetap berjalan dengan lancar. Dalam sebuah pelaksanaan proyek konstruksi ataupun lainnya, haruslah direncanakan dengan matang sebuah rancangan kegiatan kerja.

Proyek, secara sederhana adalah sebagai suatu urutan peristiwa yang dirancang dengan baik dengan suatu permulaan dan suatu akhir yang diarahkan untuk mencapai tujuan yang jelas dan dipimpin oleh orang, dengan beberapa parameter seperti waktu, biaya dan kualitas.

Network adalah sebuah jaringan kerja yang dimaksudkan pada sebuah proyek kerja konstruksi. Untuk memudahkan pelaksanaan sebuah proyek konstruksi,

maka diperlukan adanya sebuah perencanaan yang baik agar seluruh kegiatan dapat berjalan dengan lancar. Perencanaan jaringan kerja pada sebuah proyek lebih dikenal dengan istilah *network planning* (NWP). Sebuah *network planning* adalah gambaran kejadian-kejadian dan kegiatan yang diharapkan akan terjadi dan dibuat secara kronologis serta dengan kaitan yang logis dan berhubungan antara sebuah kejadian atau kegiatan dengan yang lainnya. Ini juga merupakan teknik dalam perencanaan kegiatan atau proyek yang dapat menjawab pertanyaan bagaimana mengelola suatu proyek dan dasar yang kokoh bagi seorang pimpinan proyek untuk menentukan kebijakan di dalam suatu proyek konstruksi. Agar dapat berjalan dengan sesuai yang telah direncanakan, sebuah *network planning* merupakan alat bagi seorang pimpinan proyek untuk dapat melaksanakan penjadwalan dan pengendalian yang cermat dalam pelaksanaan suatu kegiatan proyek konstruksi. (Sumber: <http://ilmu-tekniksipil.blogspot.com/2011/01/network-planning-pada-pekerjaan.html>)

b. Langkah-langkah dalam Menyusun *Network Planning*

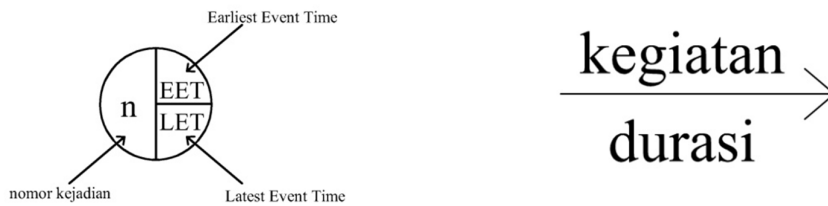
Sistematika lengkap dan proses penyusunan jaringan kerja menurut Jay Heizr dan Barry Render (2003 ; 509) adalah sebagai berikut :

1. Menginventarisasi kegiatan – kegiatan, pada langkah ini dilakukan pengkajian dan pengidentifikasian lingkup proyek menyesuaikan memecahkannya menjadi kegiatan – kegiatan atau kelompok – kelompok kejadian yang merupakan komponen proyek.
2. Menyusun hubungan antar kerja, pada langkah ini disusun kembali komponen – komponen pada langkah pertama sesuai dengan logika ketergantungan.

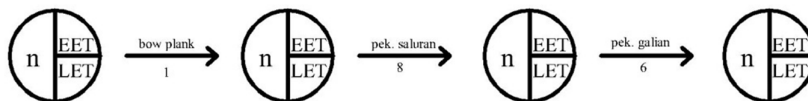
Tabel 2.13 Contoh Penyusunan *Network Planning*

NO	Pekerjaan	Harga pekerjaan	durasi	bobot (%)	hari						grafik
					1	2	3	4	5	6	
1	Persiapan	Rp 100,000.00	6	9.09	1.52	1.52	1.52	1.52	1.52	1.52	100
2	Galian tanah	Rp 150,000.00	2	13.64		6.82	6.82				80
3	Lantai kerja	Rp 200,000.00	2	18.18		9.09	9.09				60
4	Urugan pasir	Rp 150,000.00	1	13.64			13.64				40
5	Pasangan batu kali	Rp 400,000.00	3	36.36			12.12	12.12	12.12		20
6	Urugan kembali	Rp 100,000.00	1	9.09					9.09		0
Jumlah		Rp1,100,000.00		100.00	1.52	17.42	43.18	13.64	22.73	1.52	
jumlah akumulatif					1.52	18.94	62.12	75.76	98.48	100.00	

3. Menyusun *network* diagram, pada langkah ini hubungan antara kegiatan yang telah disusun pada langkah kedua, disusun menjadi masa rantai dengan urutan yang sesuai dengan logika ketergantungan. Langkah ini mendeskripsikan proses produksi secara keseluruhan.

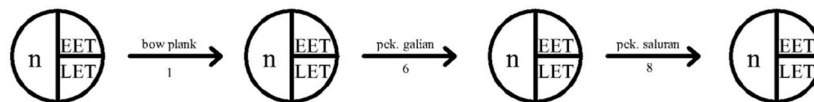


Gambar 2.24 Critical Path Method



Gambar 2.25 Contoh CPM yang salah

Gambar diatas salah karena pekerjaan saluran tidak dapat dilakukan sebelum pekerjaan galian dimulai.



Gambar 2.26 Contoh CPM yang benar

Gambar diatas benar karena urutan pekerjaan sesuai dengan logika ketergantungan.

1. Menentukan waktu untuk setiap kegiatan. Memberi kurun waktu pada setiap kegiatan yang dihasilkan, menyesuaikan lingkup proyek.

Perhitungan kuantitas hari kerja

$$\text{Kurun Waktu} = \frac{\text{volume pekerjaan}}{\text{PKA}} \quad (2.24)$$

Contoh perhitungan:

Pekerjaan pembersihan dengan volume pekerjaan 125.103,7 m²

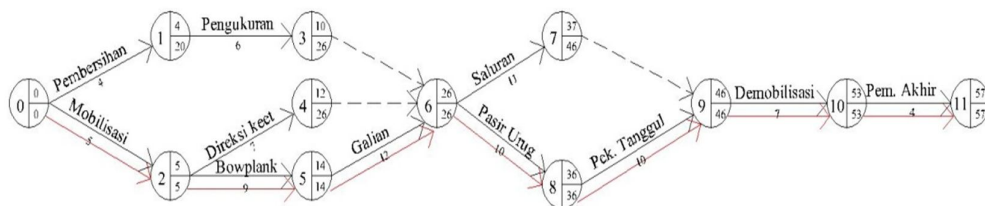
Produktivitas kerja untuk 1 m² pekerjaan pembersihan adalah:

$$\frac{1}{0,01} = 100 \text{ m}^2/\text{pekerja/hari}$$

Untuk 125.103,7 m² pekerjaan pembersihan dikerjakan 30 pekerja

$$\frac{125.103,7 \text{ m}^2}{30 \text{ pekerja} \times 100 \text{ m}^2/\text{pekerja/hari}} = 41,7 \text{ hari} \sim 42 \text{ hari}$$

2. Mengidentifikasi jalur kritis (*critical path*) pada network diagram dilakukan perhitungan maju dan perhitungan mundur, dari perhitungan tersebut dihitung *float* dan identifikasi jalur kritisnya.



Ket : → (Jalur kritis)

Gambar 2.26 Jalur Kritis

3. Melakukan analisa waktu, biaya dan sumber daya. Setelah melakukan langkah tersebut diatas, maka dilanjutkan dengan melakukan analisa waktu, biaya, dan sumber daya yang meliputi :
 - a. Menentukan kurun waktu proyek yang paling optimal dilihat dari segi biaya, ditunjukan untuk memilih berbagai alternatif, kurun waktu proyek dilihat dari segi biaya.
 - b. Meminimalkan fluktuasi sumber daya, meningkatkan efisiensi pengelolaan proyek dengan cara mencegah terjadinya naik turun yang terlalu tajam dalam waktu relatif terhadap keperluan sumber daya. (*Sumber: <http://www.scribd.com/>*)

2.12.2 Kurva S dan Barchart

A. Kurva S

Kurva S merupakan salah satu metode perencanaan pengendalian biaya yang sangat lazim digunakan pada suatu proyek. Kurva S merupakan gambaran diagram *percent* kumulatif biaya yang diplot pada suatu sumbu koordinat dimana sumbu absis (X) menyatakan waktu sepanjang masa proyek dan sumbu Y menyatakan nilai percent kumulatif biaya selama masa proyek tersebut. Pada Diagram Kurva S, dapat diketahui pengeluaran biaya yang dikeluarkan persatuan waktu, pengeluaran biaya kumulatif per satuan waktu dan *progress* pekerjaan yang didasarkan pada volume yang dihasilkan dilapangan.

Tujuan penggunaan kurva S adalah :

1. Bagi Kontraktor, sebagai dasar untuk membuat tagihan pembayaran ke pemilik proyek
2. Bagi *Owner* / pemilik Proyek, sebagai dasar memantau progress pekerjaan fisik dilapangan yang selanjutnya sebagai dasar pembayaran ke kontraktor

Tabel 2.14 Contoh Kurva S

KURVA S PEKERJAAN PONDASI											
ILMUSIPIL.COM											
NO	Pekerjaan	Harga pekerjaan	durasi	bobot (%)	hari						grafik
					1	2	3	4	5	6	
1	Persiapan	Rp 100,000.00	6	9.09	1.52	1.52	1.52	1.52	1.52	1.52	100
2	Galian tanah	Rp 150,000.00	2	13.64		6.82	6.82				80
3	Lantai kerja	Rp 200,000.00	2	18.18		9.09	9.09				60
4	Urugan pasir	Rp 150,000.00	1	13.64			13.64				40
5	Pasangan batu kali	Rp 400,000.00	3	36.36			12.12	12.12	12.12		20
6	Urugan kembali	Rp 100,000.00	1	9.09					9.09		0
Jumlah		Rp1,100,000.00		100.00	1.52	17.42	43.18	13.64	22.73	1.52	
jumlah akumulatif					1.52	18.94	62.12	75.76	98.48	100.00	

(Sumber : <http://www.ilmusipil.com/cara-membuat-bar-chart-proyek>)

Untuk menggambarkan Kurva S dapat diasumsikan biaya setiap item terdistribusi secara merata selama durasinya. Kondisi ini tidak selamanya benar, karena dimungkinkan suatu item pekerjaan dengan biaya pembelian material yang besar (menyerap lebih dari 50 % dari total harga pekerjaan tersebut) akan diserap di awal pekerjaan tersebut dan sisa durasi dilakukan untuk biaya pemasangannya. Namun hal ini tidak sepenuhnya dapat dijadikan dasar untuk pembuatan tagihan kontraktor dikarenakan *progress* fisik pengerjaannya belum terlaksana.

Cara membuat kurva S rencana adalah sebagai berikut :

1. Membuat *bar chart* (yang benar adalah membuat CPM dulu kemudian dibuat *bar chart*)
2. Melakukan pembobotan pada setiap item pekerjaan.
3. Bobot item pekerjaan itu dihitung berdasarkan biaya item pekerjaan dibagi biaya total pekerjaan dikalikan 100
4. Setelah bobot masing-masing item dihitung pada masing-masing didistribusikan bobot pekerjaan selama durasi masing-masing aktivitas.

5. Setelah itu jumlah bobot dari aktivitas tiap periode waktu tertentu, dijumlah secara kumulatif.
6. Angka kumulatif pada setiap periode ini di plot pada sumbu Y (ordinat) dalam grafik dan waktu pada absis.
7. Dengan menghubungkan semua titik-titik didapat kurva S

Cara membuat kurva S aktual adalah kurva S aktual di plot pada kurva S rencana, dengan cara pembuatan sama dengan pembuatan kurva S rencana. Perbedaan adalah dalam perhitungan biaya pekerjaan per satuan waktu dihitung berdasarkan volume fisik yang dihasilkan dikalikan dengan harga satuan pekerjaan tersebut (volume yang dihasilkan didarakan dari opname pekerjaan yang dilakukan oleh *owner* / pemilik atau yang mewakili dan hasil opname ini di dokumentasikan dalam bentuk format-format laporan yang sah dan dapat dipertanggungjawabkan.

B. Barchart

Barchart merupakan bagan yang memuat suatu daftar kegiatan yang akan dilaksanakan, disusun secara berbaris ke bawah dimana masing- masing kegiatan memiliki waktu pelaksanaan yang diperlukan (durasi) yang ditunjukkan dalam bentuk garis berskala waktu (umumnya garis dipertebal sehingga menyerupai balok).

Panjang setiap garis/ balok menunjukkan lamanya waktu yang diperlukan untuk masing-masing kegiatan serta saat untuk memulai dan mengakhiri kegiatan tersebut (Soerharto, 1999). Sedangkan satuan waktu dapat berupa hari, minggu, bulan atau interval waktu tertentu.

Selanjutnya pengendalian waktu pelaksanaan dilaksanakan dengan menghitung prestasi kegiatan yang dicapai atau yangtelah dilaksanakan dalam waktu tertentu/*actual*. Untuk selanjutnya dibandingkan dengan rencana waktu yang ditunjukkan dalam bagan *Barchart*.

Untuk menghitung persentase kegiatan yang telah dicapai atau yang telah dilaksanakan dapat dilakukan melalui pendekatan volume atau melalui bobot terhadap biaya dari masing- masing jenis pekerjaan. Dalam hal perhitungan melalui bobot masing- masing jenis kegiatan maka *Barchart* dapat dilengkapi dengan suatu kurva yang dikenal dengan kurva “S”, yang merupakan fungsi waktu dan persentase bobot pekerjaan.

Tabel 2.15 Contoh *Barchart*

No	Kegiatan	Waktu (minggu)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.	Penggalian Tanah	■	■	■									
2.	Pondasi Bt. Kali		■	■	■	■	■						
3.	Sloof Beton				■	■	■						
4.	Kolom						■	■	■	■	■		
5.	Pasangan Bt. Bata									■	■	■	■

(Sumber : <http://irikaw.wordpress.com/2011/02/18/barchart/>)

Untuk memperhitungkan *persentase* bobot masing- masing jenis kegiatan haruslah diketahui baik biaya masing- masing kegiatan maupun jumlah biaya keseluruhan pekerjaan. Perhitungan *persentase* bobot masing- masing jenis kegiatan adalah sebagai berikut:

$$\text{Bobot Kegiatan} = \frac{\text{Biaya Kegiatan}}{\text{Biaya total keseluruhan pekerjaan}} \times 100\% \quad (2.25)$$

(Sumber: ejournal.unud.ac.id/abstrask/7%20ok%20wiranata%20_174-182_.pdf)