

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Air adalah semua air yang terdapat pada, di atas ataupun di bawah permukaan tanah, termasuk dalam pengertian ini air permukaan, air tanah, air hujan, dan air laut yang berada di darat (UU No 17 Th. 2019). Air juga merupakan senyawa kimia yang paling berlimpah di alam, namun demikian sejalan dengan meningkatnya taraf hidup manusia, maka kebutuhan air pun meningkat pula (Susana, 2003). Selain dikonsumsi sebagai air minum, mandi, masak, air juga digunakan untuk keperluan dalam bidang pertanian, perikanan, industri, transportasi dan lain sebagainya (Endokpayi et al, 2018), sehingga sebagai sumber daya alam maka kegiatan pengelolaan sumber daya air menjadi penting, sehingga semua yang membutuhkan air mendapatkan akses yang sama baik dalam memenuhi kebutuhan pokoknya untuk air minum dan sanitasi, maupun untuk memenuhi kebutuhan lainnya (Purwanto & Susanto, 2015).

Air minum adalah air yang melalui pengolahan atau tanpa pengolahan yang memenuhi syarat kesehatan dan dapat langsung diminum (UU No 17 Th. 2019), dan merupakan sumber penting untuk asupan elemen ke dalam tubuh manusia, sehingga kualitas air minum memiliki dampak besar pada kesehatan masyarakat (Lu dan Yuan, 2017). Air minum yang baik adalah air minum yang memenuhi syarat-syarat tidak berasa, tidak berbau, tidak berwarna, tidak mengandung mikroorganisme yang berbahaya, dan tidak mengandung logam berat (Keputusan Menteri Kesehatan Nomor 907 Tahun 2002).

Pada era SDGs (*Sustainable Development Goals*) saat ini, yang merupakan kelanjutan MDGs (*Millenium Development Goals*), ketersediaan air bersih dan sanitasi yang berkelanjutan bagi masyarakat merupakan salah satu tujuan yang harus dicapai untuk menjaga keseimbangan pembangunan berkelanjutan, karena pentingnya ketersediaan air bersih bagi kehidupan masyarakat dapat memberikan pengaruh penting bagi kesehatan masyarakat (Anggraini, 2020).

Untuk mendukung tercapainya tujuan pembangunan berkelanjutan, di bidang sanitasi dan air bersih, pemerintah melalui Dinas Cipta Karya, Kementerian Pekerjaan Umum membuat suatu program Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) Ibukota Kecamatan (IKK), yakni yang merupakan salah satu cara yang dilakukan untuk memenuhi kebutuhan air penduduk dimana keberadaan sistem ini untuk memenuhi kebutuhan air minum masyarakat dalam satu kecamatan, sehingga dengan demikian, penduduk yang bermukim jauh di pedalaman yang sebelumnya sulit dijangkau oleh jaringan pendistribusian air dapat dipenuhi kebutuhan air bersihnya (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2007a).

2.2. Kerangka Teoritis

Air bersih merupakan bagian terpenting dari kebutuhan dasar makhluk hidup terutama bagi manusia, karena air digunakan untuk macam-macam keperluan pokok. Dalam suatu wilayah, air sangat mempengaruhi berbagai aspek baik kesehatan, ekonomi dan sosial (Langi, 2015). Pada era SDGs (Sustainable Development Goals) saat ini air bersih dan sanitasi yang cukup adalah kebutuhan dasar bagi manusia.

Mengingat pentingnya air bersih bagi kebutuhan manusia untuk saat ini maupun di masa yang akan datang, oleh karena itu perlu diadakan sebuah penelitian di sungai Medang Pulang Kecamatan Hulu Gurung. Kecamatan Hulu Gurung merupakan salah satu wilayah administrasi Kabupaten Kapuas Hulu. Pada saat ini penduduk yang tinggal di wilayah tersebut sebanyak 13.902 jiwa, seiring berjalannya waktu dan pesatnya pertumbuhan penduduk seakan-akan menjadi beban baru bagi ketersediaan air bersih di wilayah tersebut.

Selama ini warga kecamatan Hulu Gurung sendiri memiliki sumber air baku sebagai sumber air bersih yaitu sungai Embau. Namun untuk saat ini air di sungai Embau tidak bisa diandalkan lagi sebagai sumber air bersih dikarenakan adanya aktivitas Penambangan Emas Tanpa Ijin (PETI) di pesisir sungai tersebut sehingga terjadinya pencemaran air di sungai tersebut.

Di wilayah Hulu Gurung sendiri memiliki banyak sumber air baku yang bisa dimanfaatkan sebagai sumber air bersih salah satunya Sungai Medang Pulang. Namun untuk saat ini sungai tersebut belum diketahui apakah bisa dimanfaatkan baik dalam segi kualitas, kuantitas dan kontinuitas.

Dengan melihat letak posisi dan potensi dari sungai Medang Pulang tersebut maka perlu diadakan penelitian untuk melihat apakah sungai Medang Pulang dapat digunakan sebagai sumber air baku untuk pelayanan air bersih bagi penduduk di Kecamatan Hulu Gurung.

Dengan diadakan penelitian ini tentu banyak manfaat yang didapatkan terutama sumber air baku untuk pelayanan air bersih, sumber air baku untuk irigasi, sumber air baku untuk usaha pertanian dan perkebunan, serta untuk kebutuhan sehari-hari lainnya.

2.3. Sistem Penyediaan Air Minum Ibu Kota Kecamatan (SPAM IKK)

Sistem penyedia air minum ibu kota kecamatan merupakan sistem yang bertujuan membangun, memperluas, meningkatkan sistem fisik atau teknik dan non fisik berupa kelembagaan, manajemen, keuangan, peran masyarakat dan hukum dalam menyediakan air minum bagi masyarakat yang berada di kota kecil atau kota kecamatan.

Pembangunan prasarana dan sarana Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) pada dekade ini semakin meningkat khususnya dalam era desentralisasi dan otonomi daerah. Penyelenggaraan pembangunan dan pengembangan SPAM dalam semangat reformasi menuntut sikap yang transparan dan akuntabel dalam setiap tahapan siklus proyek sampai pada pengelolaan (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2007a)

SPAM dapat dilakukan melalui sistem jaringan perpipaan dan/atau bukan jaringan perpipaan. SPAM dengan jaringan perpipaan dapat meliputi : unit air baku, unit produksi, unit distribusi, unit pelayanan, dan unit pengelolaan (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2007b). SPAM bukan jaringan perpipaan dapat

meliputi: sumur dangkal, sumur pompa tangan, bak penampungan air hujan, terminal air, mobil tangki air, instalasi air kemasan, atau bangunan perlindungan mata air. SPAM terdiri dari beberapa bagian (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2007a), yaitu;

1) Unit air baku

Unit air baku merupakan sarana pengambilan dan/atau penyedia air baku. Air baku adalah air yang dapat berasal dari sumber air permukaan, cekungan air tanah dan/atau air hujan yang memenuhi baku mutu tertentu sebagai air baku untuk air minum.

Baku mutu air baku untuk air minum diklasifikasi menjadi 4 (empat) kelas (PP No. 22 Tahun 2021);

- Kelas satu, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
- Kelas dua, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan , air untuk mengairi pertanaman, dan atau peruntukkan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
- Kelas tiga, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan air yang sama dengan kegunaan tersebut.
- Kelas empat, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi,pertanaman dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Unit air baku dapat terdiri dari :

- bangunan pengambilan / penyadapan,
- alat pengukuran dan peralatan pemantauan,

- sistem pemompaan, dan/atau bangunan sarana pembawa (jaringan transmisi), serta perlengkapannya
- bangunan penampungan air (air baku)

2) Unit produksi

Unit produksi merupakan prasarana dan sarana yang dapat digunakan untuk mengolah air baku menjadi air minum melalui proses fisik, kimiawi, dan/atau biologi. Unit produksi dapat terdiri dari:

- bangunan pengolahan dan perlengkapannya,
- perangkat operasional,
- alat pengukuran dan peralatan pemantauan, serta
- bangunan penampungan air minum (air hasil produksi)

3) Unit distribusi

Unit distribusi merupakan prasarana dan sarana yang digunakan untuk memberikan kepastian kuantitas, kualitas air, dan kontinuitas pengaliran (memberikan jaminan pengaliran 24 jam per hari). Unit distribusi terdiri dari;

- sistem perpompaan,
- jaringan distribusi,
- bangunan penampungan,
- alat ukur dan peralatan pemantauan.

Air minum yang dihasilkan dari SPAM yang digunakan oleh masyarakat pengguna/pelanggan harus memenuhi syarat kesehatan baku mutu air minum (Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 22 tahun 2021)

4) Unit pelayanan

Unit pelayanan terdiri dari :

- sambungan rumah,

- hidran umum, dan
- hidran kebakaran.

Untuk mengukur besaran pelayanan pada sambungan rumah dan hidran umum harus dipasang alat ukur berupa meter air.

Dalam penelitian ini, unit yang ditinjau adalah Unit Air Baku, khususnya perencanaan jaringan pipa transmisi dan distribusi utama (primer) sumber air baku. Pipa transmisi adalah salah satu jaringan yang berfungsi membawa air baku dari sumber ke lokasi pengolahan dan atau dari bangunan pengumpul ke titik awal distribusi (Kimpraswil, 2002).

2.4. Analisis Kebutuhan Air Penduduk

Besarnya kebutuhan air dihitung dengan melakukan proyeksi jumlah penduduk menggunakan metode berikut;

a) Metode *Arithmatik*

Proyeksi penduduk dengan metode *arithmatik* mengasumsikan bahwa jumlah penduduk pada masa depan akan bertambah dengan jumlah yang sama setiap tahun. Rumus yang digunakan pada metode proyeksi *arithmatik* dapat dilihat pada Persamaan (2.1.) berikut (Permen PU,2007);

$$P_n = P_0 + K_a(T_n - T_0) \text{ dengan } K_a = \left(\frac{P_a - P_1}{T_2 - T_1} \right) \dots\dots\dots (2.1.)$$

P_n : jumlah penduduk pada tahun ke-n (jiwa)

P_0 : jumlah penduduk pada tahun dasar (jiwa)

T_n : tahun ke n

T_0 : tahun dasar

K_a : Konstanta arithmatik

P_1 : Jumlah penduduk yang diketahui pada tahun pertama

P_2 : Jumlah penduduk yang diketahui pada tahun terakhir

T_1 : tahun ke I yang diketahui

T₂ : tahun ke II yang diketahui

b) Metode Geometrik

Proyeksi penduduk dengan metode geometrik menggunakan asumsi bahwa jumlah penduduk akan bertambah secara geometrik menggunakan dasar perhitungan bunga majemuk (Adioetomo & Samosir, 2010). Berdasarkan laju pertumbuhan penduduk (*rate of growth*) dianggap sama untuk setiap tahun. Berikut rumus yang digunakan pada metode geometrik dapat dilihat pada Persamaan (2.2.) berikut (Permen PU, 2007);

$$P_n = P_0(1 + r)^n \dots\dots\dots(2.2.)$$

P_n : jumlah penduduk pada tahun ke-n (jiwa)

P₀ : jumlah penduduk pada tahun dasar (jiwa)

r : laju pertumbuhan penduduk (%)

n : periode waktu antara tahun dasar dan tahun t (dalam tahun)

c) Metode Least Square

Metode ini menggambarkan pertambahan penduduk yang ditentukan dengan metode jumlah kuadrat terkecil (Adioetomo & Samosir, 2010). Dengan metode ini, nilai konstanta dan koefisien regresi pada persamaan regresi. Rumus yang digunakan pada metode least square dapat dilihat pada Persamaan (2.3.) berikut (Permen PU,2007);

$$Y = a + b.X \dots\dots\dots(2.3.)$$

Y : nilai variabel perkiraan jumlah penduduk (jiwa) a = b= konstanta

X : selisih tahun perkiraan dengan tahun dasar perhitungan

Adapun persamaan a dan b sebagai berikut:

$$a = \frac{\Sigma Y.\Sigma X^2 - \Sigma X.\Sigma Y^2}{n.\Sigma X^2 - (\Sigma Y)^2} \dots\dots\dots(2.4.)$$

$$b = \frac{n.\Sigma X.Y - \Sigma X.\Sigma Y}{n.\Sigma X^2 - (\Sigma X)^2} \dots\dots\dots (2.5.)$$

Apabila nilai koefisien b telah dihitung terlebih dahulu, maka konstanta a dapat ditentukan dengan persamaan lain, yaitu:

$$a = \bar{Y} - b.\bar{X} \dots\dots\dots (2.6.)$$

dimana \bar{Y} dan \bar{X} masing- masing adalah rata-rata untuk variabel Y dan X.

d) Penentuan Metode Proyeksi Penduduk

Untuk menentukan metode proyeksi penduduk yang akan datang harus memiliki ciri paling mendekati kebenaran dari hasil analisa menggunakan perhitungan standar deviasi. Standar deviasi atau simpangan baku merupakan akar dari variansi. Makin kecil harga deviasi ini, berarti makin kecil dispersi (penyebaran) angka pada data tersebut terhadap rata-ratanya (Saputra, 2016). Pemilihan rumus proyeksi yang akan digunakan dengan hasil perhitungan yang paling mendekati kebenaran harus dilakukan analisis dengan menghitung standar deviasi atau koefisien korelasi. Metode yang akan digunakan harus menghasilkan koefisien paling terkecil. Rumus yang digunakan untuk perhitungan standar deviasi dapat dilihat pada Persamaan 2.7. berikut (Permen PU,2007);

$$s = \sqrt{\frac{\Sigma(X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \text{ untuk } n > 20 \dots\dots\dots (2.7.)$$

$$s = \sqrt{\frac{\Sigma(X_i - \bar{X})^2}{n}} \text{ untuk } n = 20 \dots\dots\dots (2.8.)$$

- s : standar deviasi
- \bar{X} : rata-rata jumlah penduduk (jiwa)
- X_i : variabel jumlah penduduk
- n : banyaknya variabel pada data

2.4.1. Kebutuhan Air Bersih

Kebutuhan air bersih meliputi kebutuhan air domestik dan non domestik (Ditjen Cipta Karya, 2000).

1) Kebutuhan Air Domestik

Standar kebutuhan air domestik yaitu kebutuhan air yang digunakan pada tempat-tempat hunian pribadi untuk memenuhi keperluan sehari-hari seperti; memasak, minum, mencuci dan keperluan rumah tangga lainnya. Satuan yang dipakai adalah liter/orang/hari (Ditjen Cipta Karya, 2000).

Tabel 2.1. Standar Kebutuhan Air Domestik (Ditjen Cipta Karya, 2000)

No.	Uraian	Satuan	Kategori Kota Berdasarkan Jumlah Penduduk (Jiwa)				
			> 1000.000	500-1000	100.000 - 500.000	200 - 100.000	< 20.000
			Metro	Besar	Sedang	Kecil	Desa
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
1	Konsumsi unit Sambungan Rumah (SR)	liter/orang/ hari	>150	150-120	90-120	80-120	60-80
2	Konsumsi unit Hidran Umum (HU)	liter/orang/hari	20-40	20-40	20-40	20-40	20-40
3	Konsumsi unit Non Domestik						
	a. Niaga Kecil	liter/orang/hari	600-900	600-900	600-900	600-900	600-900
	b. Niaga Besar	liter/orang/hari	1000-5000	1000-5000	1000-5000	1000-5000	1000-5000
	c. Industri Besar	liter/orang/ha	0,2-0,8	0,2-0,8		0,2-0,8	
	d. Pariwisata	liter/orang/ha	0,1-0,3	0,1-0,3		0,1-0,3	
4	Kehilangan Air	%	20-30	20-30	20-30	20-30	20-30
5	Faktor <i>maximum</i> hari	koefisien	1,15-1,25	1,15-1,25	1,15-1,25	1,15-1,25	1,15-1,25
6	Faktor Jam Puncak	koefisien	1,75-2,0	1,75-2,0	1,75-2,0	1,75-2,0	1,75-2,0
7	Jumlah jiwa per SR	-	5	5	5	5	5
8	Jumlah jiwa Per HU	-	100	100	100	100	100
9	Sisa tekan di jaringan distribusi	m	10	10	10	10	10
10	Jam Operasi	jam	24	24	24	24	24
11	Volume <i>Reservoir</i>	% (<i>maks</i> hari wilayah)	15 - 25	15 - 25	15 - 25	15 - 25	15 - 25
12	SR : HU	-	50:50 s/d 80:20	50:50 s/d 80:20	8:20	7:30	7:30
13	Cakupan Pelayanan	%	90	90	90	90	90

2) Kebutuhan Air Non Domestik

Standar kebutuhan air non domestik ditentukan oleh banyaknya konsumen non domestik yang meliputi fasilitas seperti perkantoran, kesehatan, industri, komersial, umum dan sebagainya (Ditjen Cipta Karya, 2000).

Tabel 2.2. Kebutuhan Air Non Domestik Kategori Kota
(Ditjen Cipta Karya,2000)

No	Sektor	Nilai	Satuan
1	3	3	4
1	Sekolah	10	liter/murid/hari
2	Rumah Sakit	200	liter/bed/hari
3	Puskesmas	2000	liter/hari
4	Masjid	3000	liter/hari
5	Kantor	10	liter/pegawai/hari
6	Pasar	12000	liter/hektar/hari
7	Hotel	150	liter/bed/hari
8	Rumah Makan	100	liter/tempat duduk/hari
9	Kompleks Militer	60	liter/orang/hari
10	Kawasan Industri	0,2-0,8	liter/detik/hari
11	Kawasan Pariwisata	0,1-0,3	liter/detik/hari

Tabel 2.3. Kebutuhan Air Non Domestik Kategori Desa
(Ditjen Cipta Karya,2000)

No	Sektor	Nilai	Satuan
1	Sekolah	5	liter/murid/hari
2	Rumah Sakit	200	Liter/bed/hari
3	Puskesmas	1200	Liter/unit/hari
4	Masjid	3000	Liter/unit/hari
5	Mushola	2000	Liter/unit/hari
6	Pasar	12000	Liter/hektar/hari
7	Kawasan Industri	10	Liter/detik

2.5. Analisis Ketersediaan Air

Analisis ketersediaan air dalam penelitian ini menggunakan data curah hujan yang tercatat pada Stasiun observasi KPH-13 Tepuai, KPH-19 Jongkong serta data curah hujan satelit *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) yang telah divalidasi dalam penelitian yang pernah dilakukan di lokasi studi.

Analisis ketersediaan air dilakukan dengan mengalihragamkan data hujan menjadi debit menggunakan Model Mock. Dalam penggunaannya dilakukan kalibrasi terhadap parameter DAS yang ada dalam Model Mock yakni m (*exposed surface*), inf (koefisien infiltrasi), K (konstanta resesi), PF (*percentage factor*)

(Soeryamassoeka, 2020). Kalibrasi ini dilakukan dengan membandingkan hasil analisis besarnya debit bulanan dan data debit terukur yang pernah dilakukan dilokasi studi. Dalam penelitian ini data debit terukur menggunakan data Tahun 2005. Hasil kalibrasi dapat diterima apabila besarnya korelasi antara debit hasil analitis dan debit pengukuran adalah $\geq 0,6$ ($r \geq 0,6$), dan standar deviasi observasi (*observation standard deviations ratio*) atau $RSR \leq 0,70$ (Soeryamassoeka, 2020).

Adapun persamaan korelasi (r) yang digunakan sebagai berikut;

$$r = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{\{n(\sum X^2) - (\sum X)^2\} - \{n(\sum Y^2) - (\sum Y)^2\}}} \dots\dots\dots(2.9.)$$

dengan;

- r : nilai koefisien korelasi (terletak antara -1,0-1,0)
- X : variabel X, nilai curah hujan di pos pengamatan (mm)
- Y : variabel Y, nilai curah hujan estimasi (mm)
- n : banyaknya data

Dalam penelitian ini hanya digunakan persamaan regresi linear. Interpretasi dari nilai korelasi seperti tabel berikut (Asuero,2006);S

Table 2.4. Nilai korelasi

Nilai r	Interprestasi
0,9 - 1	Hubungan Sangat Kuat
0,7 - 0,89	Hubungan Kuat
0,5 - 0,69	Hubungan Sedang
0,3 - 0,49	Hubungan Rendah
0 - 0,29	Hubungan Sangat Rendah

Persamaan standar deviasi observasi (*observation standard deviations ratio*) yang digunakan adalah;

$$RSR = \frac{\sqrt{\sum_1^n |Q_{Obs} - Q_{Sim}|^2}}{\sqrt{\sum_1^n |Q_{Obs} - \bar{Q}_{Obs}|^2}} \dots\dots\dots(2.10.)$$

- RSR : standard deviasi observasi
- Qobs : Debit terukur (m³/s)
- Qsim : Debit hasil analisis (m³/s)

$\overline{Q_{Obs}}$: Rata-rata debit terukur (m^3/s)

Tabel 2.5. Interpretasi RSR

Peringkat Kinerja	RSR
Sangat baik	$0,0 \leq RSR \leq 0,50$
Baik	$0,50 < RSR \leq 0,60$
Memuaskan	$0,60 < RSR \leq 0,70$
Tidak memuaskan	$RSR \geq 0,70$

2.5.1. Model Mock

Model Mock dikembangkan untuk menghitung debit bulanan rata-rata. Data yang dibutuhkan dalam perhitungan debit dengan metode Mock ini adalah curah hujan, data klimatologi dan luas catchment area. Untuk mengetahui kuantitas air (debit andalan) di sumber air baku sungai Medang Pulang, digunakan model Mock sebagai metode pembandingan. Sebenarnya cukup banyak model yang bisa dipakai untuk menganalisis ketersediaan air, hanya saja untuk kondisi di Indonesia sebaiknya menggunakan model ini, seperti yang disarankan oleh Direktorat Jendral Pengairan dalam Pedoman Study Proyek-proyek Pengairan pada PSA 003 (1985), sampai didapat model yang paling sesuai untuk menganalisis ketersediaan air. Hal ini karena Dr. Mock menurunkan model ini setelah mengadakan penelitian di Indonesia, model ini menggunakan parameter yang cukup lengkap yang sesuai dengan kondisi yang ada di Indonesia. Adapun data- data yang dibutuhkan dalam perhitungan debit andalan dengan model Mock ini adalah;

1. Data Meteorologi

Dalam Metoda Mock, data-data meteorologi yang dipakai adalah data bulanan rata-rata untuk menghitung debit bulanan rata-rata dan data harian rata-rata untuk menghitung debit harian rata-rata. Tabel berikut adalah notasi dan satuan yang dipakai untuk data meteorolog;

Tabel 2.6. Notasi dan Satuan Parameter Meteorologi

Data Meteorologi	Notasi	Satuan
Presipitasi	P	Milimeter (mm)
Temperatur	T	Derajad celcius (°C)
Penyinaran matahari	S	Persen (%)
Kelembaban nisbi	H	Persen (%)
Kecepatan angin	W	Mile per hari (mile/hr)

2. Data Persipitasi

Persipitasi adalah nama lain dari uap yang mengkondensasi dan jatuh ketanah dalam rangkaian proses siklus hidrologi. Persipitasi yang ada di bumi ini antaranya berupa hujan, hujan es, salju dan embun. Salah satu bentuk persipitasi yang terpenting di Indonesia adalah hujan. Maka pembahasan mengenai persipitasi ini selanjutnya hanya dibatasi pada hujan saja. Sebagai input metode Mock, data hujan yang digunakan adalah rata-rata hujan bulanan dari sejumlah stasiun penangkar yang ada pada daerah kajian. Salah satu cara yang banyak digunakan adalah metode rata-rata aljabar. Dengan rumus sebagai berikut;

$$R = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_n}{n} \dots \dots \dots (2.11.)$$

Dimana :

R = curah hujan daerah

N = jumlah pos pengamatan

R₁, R₂, R_n = curah hujan di tiap titik pengamatan

3. Data Klimatologi

Data klimatologi ini berkaitan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi terjadinya evapotranspirasi. Peristiwa berubahnya air menjadi uap bergerak dari permukaan tanah dan permukaan air ke udara disebut evaporasi. Peristiwa penguapan tanaman disebut transpirasi. Jika kedua peristiwa tersebut berjalan bersamaan maka disebut evapotranspirasi.

Dengan kata lain evapotranspirasi bisa juga diartikan sebagai kehilangan air dari lahan dan permukaan air dari suatu daerah pengaliran sungai akibat proses evaporasi dan transpirasi. Evaporasi adalah pemindahan air dari keadaan cair ke kondisi menguap (menjadi uap).

4. Data Catchment Area

Pengaliran sungai (catchment area) dapat diartikan sebagai watershed dan basin. Umumnya untuk sub DPS kecil (bagian hulu DPS) dinyatakan sebagai stream watershed, sedangkan untuk DPS besar (yang langsung bermuara ke laut) dinyatakan sebagai river basin. Perhitungan debit andalan menggunakan metode Mock, dilakukan dengan cara sebagai berikut ;

- Perhitungan evapotranspirasi
- Perhitungan *water surplus*
- Perhitungan *Base flow, direct run off* dan *strom run off*.

Secara keseluruhan perhitungan debit dengan metode Mock ini mengacu pada water balance, dimana kondisi-kondisi yang menjadi syarat batas harus dipenuhi. Debit aliran sungai adalah jumlah air yang mengalir melalui suatu penampang melintang sungai tiap satu satuan waktu, yang biasanya dinyatakan dalam meter kubik per detik (m^3/s). Data pengukuran debit aliran sungai merupakan informasi penting yang diperlukan dalam perencanaan bangunan air dan pemanfaatan sumber daya air. Mengingat bahwa debit aliran sangat bervariasi dari waktu ke waktu, maka data pengamatan debit dalam waktu panjang. Sedangkan debit andalan (*dependable discharge*) adalah debit yang diandalkan akan terjadi sesuai probabilitas yang diinginkan.

Beberapa nilai probabilitas yang diandalkan dalam beberapa penelitian adalah sebagai berikut :

- | | | |
|----|--|-----------|
| a) | Untuk penyediaan air minum (PDAM) | = 99% |
| b) | Untuk pembangkit listrik tenaga air (PLTA) | = 85% |
| c) | Untuk penyediaan air industri | = 88%-95% |

d) Untuk penyediaan irigasi

- Daerah beriklim setengah lembab =70%
- Daerah beriklim terang = 80%-90%

Model Mock dikembangkan oleh Dr. F. J. Mock (Mock 1973) berdasarkan daur hidrologi atau siklus hidrologi yang digunakan untuk menghitung debit bulanan rata-rata. Dalam perhitungan model Mock, telah terangkum perhitungan *evapotranspirasi*, *water surplus* dan debit andalan yang mengacu pada *water balance*. Bentuk umum persamaan *Water Balance* adalah;

$$P = E_a + \Delta GS + TRO \dots \dots \dots (2.12.)$$

P : Presipitasi

E_a : Evapotranspirasi

ΔGS : Perubahan groundwater storage

TRO : Total Run Off

Dengan tetap memperhatikan kondisi-kondisi batas *water balance* diatas, maka prediksi debit dengan model Mock akan akurat. Perhitungan dengan model Mock sebagai berikut;

1) Evapotranspirasi Potensial

Besarnya evapotranspirasi potensial diformulasikan sebagai berikut;

$$E = \frac{\Delta H + 0.27D}{A + 0.27} \dots \dots \dots (2.13.)$$

dengan;

H : *Energy budget*

$$H : R (1-r) (0,18 + 0,55 S) - B (0,56 - 0,092 \sqrt{e_d}) (0,10 + 0,9 S) \dots \dots \dots (2.14.)$$

D : Panas yang diperlukan untuk evapotranspirasi

$$D : 0,35 (e_a - e_d) (k + 0,01 w) \dots \dots \dots (2.15.)$$

dimana;

A : *slope vapour pressure curve* pada temperatur rata-rata, dalam mmHg/°F

B : radiasi benda hitam pada temperatur rata-rata, dalam mmH₂O/hari.

D : Panas yang diperlukan untuk evapotranspirasi

ed : tekanan uap air jenuh (saturated vapour pressure) pada temperatur rata-rata, dalam mmHg.

Besarnya A, B dan ed tergantung pada temperatur dan hubungan temperatur rata-rata dengan parameter evapotranspirasi ini ditabelkan sebagai berikut;

Tabel 2.7. Hubungan Temperatur Rata-rata dengan Parameter Evapotranspirasi A, B dan e_a (Mock, 1973)

Temp(°C)	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
A	0.304	0.342	0.385	0.432	0.484	0.541	0.6	0.671	0.75	0.83	0.917	1.01
B	12.6	12.9	13.3	13.7	14.8	14.5	14.9	15.4	15.8	16.2	16.7	17.1
e_a	8.05	9.21	10.5	12	13.6	15.5	17.5	19.8	22.4	25.2	28.3	31.8

R = radiasi matahari, dalam mm/hari. Besarnya tergantung letak lintang. Besarnya radiasi matahari ini berubah-ubah menurut bulan, seperti ditabelkan berikut ini;

Tabel 2.8. Nilai Radiasi Matahari pada Permukaan Horizontal di Luar Atmosfir, dalam mm/hari (Mock, 1973)

Bulan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sept	Okt	Nop	Des
5° N Lat	13.7	14.5	15	15	14.5	14.1	14.2	14.6	14.9	14.6	13.9	13.4
0° N Lat	14.5	15	15.2	14.7	13.9	13.4	13.5	14.2	14.9	15	14.6	14.3
5° S Lat	15.2	15.4	15.2	14.3	13.2	12.5	12.7	13.6	14.7	15.2	15.2	15.1
10° S Lat	15.8	15.7	15.1	13.8	12.4	11.6	11.9	13	14.4	15.3	15.7	15.8

r = koefisien refleksi, yaitu perbandingan antara radiasi elektromagnetik (dalam sembarang rentang nilai panjang gelombang yang ditentukan) yang

dipantulkan oleh suatu benda dengan jumlah radiasi yang terjadi, dan dinyatakan dalam persentasi.

$$r = \frac{\text{Radiasi elektromagnetik yang dipantulkan}}{\text{Jumlah radiasi yang terjadi}} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.16.)$$

Koefisien Refleksi sangat berpengaruh pada evapotranspirasi. Berikut adalah nilai koefisien refleksi yang digunakan dalam Metoda Mock.

Tabel 2.9. Koefisien Refleksi, r (Mock, 1973)

Permukaan	Koefisien Refleksi (r)
Rata-rata permukaan bumi	40%
Cairan salju yang jatuh diakhir musim masih segar	40-85%
Spesies tumbuhan padang pasir dengan daun	30-40%
Rumput, tinggi dan kering	31-33%
Permukaan padang pasir	24-28%
Tumbuhan hijau yang membayangi seluruh tanah	24-27%
Tumbuhan muda yang membayangi sebagian tanah	15-24%
Hutan musiman	15-20%
Hutan yang menghasilkan buah	10-15%
Tanah gundul kering	12-16%
Tanah gundul lembab	10-12%
Tanah gundul basah	8-10%
Pasir, basah-kering	9-10%
Air bersih, elevasi matahari 45 ⁰	5%
Air bersih, elevasi matahari 20 ⁰	14%

S : rata-rata persentasi penyinaran matahari bulanan, dalam persen (%)

e_d : tekanan uap air sebenarnya (*actual vapour pressure*), dalam mmHg

: e_a x h

W : 0,35 (e_a-e_d) (k + 0,01 w).....(2.17.)

H : kelembaban relatif rata-rata bulanan, dalam persen (%)

k : koefisien kekasaran permukaan evaporasi (*evaporating surface*).

Untuk permukaan air nilai $k = 0,50$ dan untuk permukaan vegetasi nilai $k = 1,0$

W : kecepatan angin rata-rata bulanan, dalam mile/hari.

maka;

$$E = \frac{A(R(1-R)(0.18+0,55S) - B(0,56-0,092\sqrt{e_d})(0,1+0,9S)) + 0,27(0,35(e_a - e_d)(k+0,01w))}{A+0,27} \dots\dots\dots(2.18.)$$

Dalam bentuk lain;

$$E = \frac{A(0,18+0,55S)}{A+0,27} R(1-r) - \frac{AB(0,56-0,092\sqrt{e_d})}{A+0,27} (0,1+0,9S) \frac{0,27(0,35(e_a - e_d))}{A+0,27} (K + 0,01w) \dots\dots\dots(2.19.)$$

$$F_1 = f(T, S) = \frac{A(0,18+0,55S)}{A+0,7} \dots\dots\dots(2.20.)$$

$$F_2 = f(T, H) = \frac{AB(0,56-0,092\sqrt{e_d})}{A+0,27} \dots\dots\dots(2.21.)$$

$$F_3 = f(T, h) = \frac{0,27 \times 0,35(e_a + e_d)}{A+0,27} \dots\dots\dots(2.22.)$$

Maka;

$$F = F_1 x R(1-r) - F_2 x (0,1+0,9S) + F_3 x (k+0,01w) \dots\dots\dots(2.23.)$$

dan jika;

$$E_1 = F_1 x R(1-r) \dots\dots\dots(2.24.)$$

$$E_2 = F_2 x (0,1+0,9S) \dots\dots\dots(2.25.)$$

$$E_3 = F_3 x (k+0,01w) \dots\dots\dots(2.26.)$$

Maka bentuk yang sederhana dari persamaan evapotransporasi potensial menurut penman adalah;

$$E = E_1 - E_2 + E_3 \dots \dots \dots (2.27.)$$

Formulasi inilah yang dipakai dalam metoda Mock untuk menghitung besarnya evapotranspirasi potensial dari rata-rata klimatologi yang lengkap (temperatur, lama penyinaran matahari, kelembaban relatif, dan kecepatan angin). Besarnya evapotranspirasi potensial dalam satu (1) bulan maka kalikan dengan jumlah hari dalam bulan itu.

2) Evapotranspirasi Aktual

Evapotranspirasi aktual dipengaruhi oleh proporsi permukaan luar yang tidak tertutupi tumbuhan hijau (*exposed surface*) pada musim kemarau. Besarnya *exposed surface* (m) untuk tiap daerah berbeda-beda (Mock, 1973) mengklasifikasikan menjadi tiga daerah dengan masing-masing nilai *exposed surface*, seperti berikut;

Tabel 2.10. Nilai *Exposed Surface* (Mock, 1973)

m	Daerah
0	hutan primer sekunder
10 - 40 %	untuk daerah tererosi
30 - 50 %	untuk daerah ladang pertanian

Selain *exposed surface* evapotranspirasi terbatas juga dipengaruhi oleh jumlah hari hujan (n) dalam bulan yang bersangkutan. Menurut Mock rasio antara selisih evapotranspirasi potensial dan evapotranspirasi terbatas dengan evapotranspirasi potensial dipengaruhi oleh *exposed surface*.

$$\frac{\Delta E}{E_p} = \left(\frac{m}{20}\right)(18 - n) \dots \dots \dots (2.28.)$$

Sehingga;

$$\Delta E = E_p \left(\frac{m}{20}\right)(18 - n) \dots \dots \dots (2.29.)$$

Dari formulasi diatas dapat dianalisis bahwa evapotranspirasi potensial akan sama dengan evapotranspirasi terbatas (atau $\Delta E = 0$) jika;

- a. evapotranspirasi terjadi pada hutan primer dan hutan sekunder. Dimana daerah ini memiliki harga *exposed surface* (m) sama dengan nol.
- b. banyaknya hari hujan dalam bulan yang diamati pada daerah itu sama dengan 18 hari.

Jadi evapotranspirasi terbatas adalah evapotranspirasi potensial yang memperhitungkan faktor *exposed surface* dan jumlah hari hujan dalam bulan yang bersangkutan. Sehingga evapotranspirasi terbatas adalah evapotranspirasi yang sebenarnya terjadi atau actual evapotranspiration, dihitung sebagai berikut :

$$E_{\text{actual}} = E_{\text{pm}} - \Delta E \dots \dots \dots (2.30.)$$

3) Water Surplus

Dalam metoda Mock, water surplus merupakan bagian yang penting untuk memprediksi debit sungai. Alasannya adalah karena water surplus ini berpengaruh langsung pada infiltrasi dan total run off yang merupakan komponen debit. *Water surplus* didefinisikan sebagai air hujan (presipitasi) yang telah mengalami evapotranspirasi dan mengisi tampungan tanah (soil storage, disingkat SS). Persamaan water surplus (disingkat WS) adalah sebagai berikut:

$$WS = (P - E_a) + SS \dots \dots \dots (2.31.)$$

Tampungan kelembaban tanah (*soil moisture storage*, disingkat SMS) terdiri dari kapasitas kelembaban tanah (*soil moisture capacity*, disingkat SMC), zona infiltrasi, limpasan permukaan tanah dan tampungan tanah (soil storage, disingkat SS). Mock menetapkan bahwa besarnya kapasitas kelembaban tanah maksimum adalah 200 mm/bulan. Dalam metoda Mock, tampungan kelembaban tanah dihitung sebagai berikut :

$$SMS = ISMS + P - E_a \dots \dots \dots (2.32.)$$

ISMS : initial soil moisture storage (tampungan kelembaban tanah awal), merupakan *soil moisture capacity* (SMC) bulan sebelumnya

P- E_a : presipitasi yang telah mengalami evapotranspirasi.

Asumsi yang dipakai oleh Dr. F.J Mock adalah air akan memenuhi SMC terlebih dahulu sebelum water surplus tersedia untuk infiltrasi dan perkolasi yang lebih dalam atau melimpas langsung (*direct run off*). Ada dua keadaan menentukan SMC, yaitu;

- a. $SMC = 200 \text{ mm/bulan}$, jika $P - E_a \geq 0$.

Artinya soil moisture storage (tampungan tanah lembab) sudah mencapai kapasitas maksimumnya atau terlampaui sehingga air tidak disimpan dalam tanah lembab. Ini berarti soil storage (SS) sama dengan nol dan besarnya water surplus sama dengan $P - E_a$.

- b. $SMC = SMC \text{ bulan sebelumnya} + (P - E_a)$, jika $P - E_a < 0$.

Selanjutnya WS ini akan mengalami infiltrasi dan melimpas dipermukaan (*run off*). Besarnya infiltrasi tergantung pada koefisien infiltrasi. Bagian ini akan menjelaskan infiltrasi, *run off* dan tampungan air tanah (*groundwater storage*).

A. Perhitungan base flow, direct run off dan storm run off

Perhitungan *base flow*, *direct run off* dan *storm run off* dimulai dengan perhitungan terhadap berbagai komponen, yakni;

a) Infiltrasi

Infiltrasi adalah pergerakan air di atas permukaan tanah ke dalam permukaan tanah yang disebabkan oleh pengaruh gaya gravitasi dan kapilaritas. Air yang menginfiltrasi itu pertama-tama diserap untuk meningkatkan kelembaban tanah, selebihnya akan turun ke permukaan air tanah melalui proses perkolasi dan mengalir ke samping.

Laju infiltrasi adalah laju air menembus profil tanah persatuan waktu pada kondisi tertentu selama proses berlangsung. Kondisi-kondisi tersebut mencakup besarnya kelembaban tanah, persediaan air hujan dan permeabilitas tanah. Jumlah air maksimum yang dapat diserap ke dalam tanah pada suatu titik tertentu pada kondisi tersebut di atas dinamakan kapasitas infiltrasi (*infiltration capacity*).

Menurut Mock besarnya infiltrasi adalah water surplus (WS) dikalikan dengan koefisien infiltrasi (if), atau :

$$\text{Infiltrasi (i)} = \text{WS} \times \text{if} \dots \dots \dots (2.33.)$$

Koefisien infiltrasi ditentukan oleh kondisi porositas dan kemiringan daerah pengaliran. Lahan yang bersifat poros umumnya memiliki koefisien yang cenderung besar. Namun jika kemiringan tanahnya terjal dimana air tidak sempat mengalami infiltrasi dan perkolasi kedalam tanah, maka koefisien infiltrasinya bernilai kecil.

Infiltrasi terus terjadi sampai zona tampungan air tanah (*groundwater storage*) disingkat GS. Koefisien infiltrasi (if) ditentukan berdasarkan kondisi porositas tanah dan kemiringan daerah pengaliran. Lahan yang sifatnya porous, umumnya mempunyai koefisien yang cenderung besar. Namun jika kemiringan lahannya terjal dimana air tidak sempat mengalami proses infiltrasi kedalam tanah maka koefisien infiltrasinya bernilai kecil. Nilai maksimum koefisien infiltrasi adalah 1. Nilai ini bervariasi tiap bulan. Untuk jenis dan topografi tanah yang sama, bulan kering mempunyai infiltrasi yang relatif lebih besar dibanding bulan basah.

b) Ground Water Storage

Menurut Mock, besarnya *groundwater storage* (GS) dipengaruhi oleh :

- 1) Infiltrasi (i), semakin besar infiltrasi maka *groundwater Storage* semakin besar pula. Begitu pula sebaliknya.
- 2) Konstanta resesi aliran bulanan.

Konstanta resesi aliran bulanan (*monthly flow recession constan*) disimbolkan dengan K adalah proporsi dari air tanah bulan lalu yang masih ada bulan sekarang. Nilai K ini cenderung lebih besar pada bulan basah.

- 3) Groundwater Storage bulan sebelumnya (GSom)

Nilai ini diasumsikan sebagai konstanta awal, dengan anggapan bahwa *water balance* merupakan siklus tertutup yang ditinjau selama satu tahun. Dengan

demikian maka nilai asumsi awal ini harus dibuat sama dengan nilai akhir tahun.

Dari ketiga faktor diatas, Mock merumuskan sebagai berikut :

$$GS = (0,5x(1 + K)x i) + (Gsom).....(2.34.)$$

c) Base Flow

Perubahan groundwater storage ini penting bagi terbentuknya aliran dasar sungai (*base flow*, disingkat BF). Dalam hal ini *base flow* merupakan selisih antara Infiltrasi dengan perubahan *groundwater storage*, dalam bentuk persamaan di bawah ini;

$$BF = I - \Delta GS.....(2.35.)$$

Jika pada suatu bulan ΔGS bernilai negatif (terjadi karena GS bulan yang ditinjau lebih kecil dari bulan sebelumnya), maka *base flow* akan lebih besar dari nilai infiltrasinya. Seperti dijelaskan diatas, karena water balance merupakan siklus tertutup dengan perioda 1 tahun maka perubahan *groundwater storage* (ΔGS) selama 1 tahun adalah nol. Dari persamaan (3.29.) diatas maka dalam 1 tahun jumlah *base flow* akan sama dengan jumlah infiltrasi.

d) Direct Run Off

Selain *base flow*, komponen debit yang lain adalah *direct run off* (limpasan langsung) atau *surface run off* (limpasan permukaan). Limpasan permukaan berasal dari *water surplus* yang telah mengalami Infiltrasi. Jadi *direct run off* dihitung dengan persamaan;

$$DRO = WS - i.....(2.36.)$$

e) Storm Run Off

Setelah *base flow* dan *direct run off* komponen pembentuk debit yang lain adalah *storm run off*, yaitu limpasan langsung kesungai yang terjadi selama hujan deras. *Storm run off* ini hanya beberapa persen saja dari hujan *storm run off* hanya dimasukkan ke dalam total *run off*, bila presipitasi kurang dari 200 mm. Menurut

Mock storm run off dipengaruhi oleh percentage factor, disimbolkan dengan PF. *Percentage factor* adalah persen hujan yang menjadi limpasan. Besarnya PF oleh Mock disarankan 5% - 10%, namun tidak menutup kemungkinan untuk meningkat secara tidak beraturan hingga mencapai 37,3%. Nilai PF ini dipengaruhi oleh bulan basah dan bulan kering. Pada saat bulan basah atau musim penghujan nilai PF ini relatif lebih besar. Jadi untuk tiap bulan nilai PF berubah-ubah.

Dalam perhitungan debit ini, Mock menetapkan bahwa;

- 1) Jika presipitasi (P) ≥ 200 mm/bulan (sesuai dengan asumsi bahwa maksimum soil moisture capacity adalah 200 mm.bulan) maka nilai storm run off = 0.
- 2) Jika $P < 200$ mm/bulan maka storm run off adalah jumlah curah hujan dalam satu bulan yang bersangkutan dikali percentage factor.

$$SRO = P \times PF \dots\dots\dots(2.37.)$$

f) Total Run Off

Dengan demikian maka total *run off* (TRO) yang merupakan komponenkomponen pembentuk debit sungai (*stream flow*) adalah jumlah antara *base flow*, *direct run off* dan *storm run off*, atau;

$$TRO = BF + DRO + SRO \dots\dots\dots(2.38.)$$

Total *run off* ini dinyatakan dalam mm/bulan. Maka jika TRO ini dikalikan dengan luas *catchment area* (daerah tangkapan air) dalam km^2 dengan suatu angka konversi tertentu akan didapatkan besaran debit atau *stream flow* dalam m^3/det . Selanjutnya debit hasil perhitungan (*calculated discharge*, disimbolkan dengan CD) ini disebut debit sintesis.

B. Parameter-Parameter Mock

Secara umum, parameter-parameter yang akan dijelaskan ini mempengaruhi besarnya evapotranspirasi, infiltrasi, *groundwater storage* dan *storm run off* untuk tiap bulan, sebagian besar parameter-parameter ini berbeda-beda. Parameter-parameter ini adalah:

- a) **Koefisien refleksi (r)**, yaitu perbandingan antara jumlah radiasi matahari yang dipantulkan oleh suatu permukaan dengan jumlah radiasi yang terjadi, yang dinyatakan dalam persen. Koefisien refleksi ini berbeda-beda untuk tiap permukaan bumi. Menurut Mock, rata-rata permukaan ini mempunyai harga koefisien refleksi sebesar 40%. Mock telah mengklasifikasikan tiap permukaan bumi dengan nilai koefisien refleksinya masing-masing.
- b) ***Exposed Surface* (m)**, yaitu asumsi proporsi permukaan luar yang tidak tertutupi tumbuhan hijau pada musim kering dan dinyatakan dalam persen. Besarnya harga m ini tergantung daerah yang diamati. Mock mengklasifikasikan menjadi tiga bagian daerah, yaitu hutan primer atau sekunder, daerah tererosi dan daerah ladang pertanian. Besarnya harga *exposed surface* ini berkisar antara 0% sampai 50% dan sama untuk tiap bulan.
- c) **Koefisien Infiltrasi (if)**, adalah koefisien yang didasarkan pada kondisi porositas tanah dan kemiringan daerah pengaliran. Koefisien infiltrasi mempunyai nilai yang besar jika tanah bersifat porous, sifat bulan kering dan kemiringan lahannya tidak terjal. Karena dipengaruhi sifat bulan maka if ini bisa berbeda-beda. Harga koefisien infiltrasi maksimum yang dipakai adalah 1,00 dan harga minimum adalah 0,01. Harga minimum bisa dicapai karena kondisi lahan yang terjal dan air tidak sempat mengalami infiltrasi.
- d) **Konstanta Resesi Aliran (K)**, yaitu proporsi dari air tanah bulan lalu yang masih ada pada bulan sekarang. Dengan kata lain, air tanah (*groundwater*) tidak mengalir menuju *stream flow*. Pada bulan hujan nilai K cenderung lebih besar, ini berarti tiap bulan nilai K ini berbeda-beda. Harga koefisien resesi

aliran maksimum adalah 1,00 dan harga minimumnya adalah 0,01. Harga K suatu bulan relatif lebih besar jika bulan sebelumnya merupakan bulan basah.

- e) **Percentage Factor (PF)**, merupakan persentase hujan yang menjadi limpasan. Digunakan dalam perhitungan *storm run off* hanya dimasukkan ke dalam total *run off*, bila $P < 200$ mm/bulan. Besarnya PF oleh Mock disarankan berkisar antara 5%-10%, namun tidak menutup kemungkinan untuk meningkat secara tidak beraturan sampai harga 37,3%.

C. Kalibrasi Model Mock

Parameter yang dikalibrasi adalah m, if, K dan PF. Prinsip dasar kalibrasi seperti berikut ;

- a) Kalibrasi yang dilakukan dalam model Mock adalah menyesuaikan debit hasil perhitungan dengan debit hasil pengukuran di lapangan dengan mengubah-ubah kombinasi parameter sedemikian rupa sehingga debit hasil perhitungan sesuai dengan debit hasil pengukuran.
- b) Dari 5 parameter Mock diatas, ada 4 parameter yang dikalibrasi yaitu *exposed surface* (m), koefisien infiltrasi (if), konstanta resesi aliran (K), dan *percentage factor* (PF). Dalam proses kalibrasi, parameter Mock harus disesuaikan dengan kondisi besarnya curah hujan tiap bulan, yaitu apakah curah hujan pada bulan sebelumnya lebih kecil atau lebih besar dari bulan berikutnya (Soeryamassoeka, 2012). Karena kecenderungan nilai parameter-parameter Mock ini dibuat sama dengan perubahan musim yang terjadi, maka diasumsikan bahwa apabila curah hujan pada bulan sebelumnya lebih besar dari bulan yang ditinjau, maka dianggap bahwa bulan sebelumnya adalah bulan basah, dan bulan yang ditinjau adalah bulan kering, demikian juga sebaliknya.
- c) Untuk parameter *exposed surface* (m), besarnya diperkirakan berdasarkan kondisi bulan basah dan bulan kering berdasarkan asumsi di atas, yakni untuk bulan dimana bulan sebelumnya curah hujan nya kurang dari bulan yang

ditinjau (dianggap bulan sebelumnya bulan kering), maka nilai m bertambah 10% dari bulan bulan yang ditinjau.

- d) Untuk parameter if atau koefisien infiltrasi mempunyai nilai yang besar pada musim kering dan kecil pada musim basah. Dengan demikian kecenderungan naik turunnya (*trend*) parameter if ini berbanding terbalik dengan curah hujan. Sementara itu Parameter K mempunyai trend yang sama dengan curah hujan pada bulan sebelumnya. Apabila bulan sebelumnya curah hujan lebih dari curah hujan pada bulan yang ditinjau, maka bulan sebelumnya dianggap sebagai bulan basah, sehingga koefisien if akan lebih kecil dari konstanta resesi K ($if < K$). Dan apabila bulan sebelumnya curah hujan kurang dari bulan yang ditinjau (dianggap bulan kering), maka $if > K$.
- e) Untuk parameter Pf yang merupakan persentase hujan yang menjadi limpasan mempunyai trend yang sama dengan curah hujan pada bulan yang sama. Penentuan besarnya Pf juga didasarkan pada kondisi hujan. Nilai Pf akan cenderung besar apabila curah hujan pada bulan yang ditinjau lebih besar dari pada curah hujan bulan sebelumnya (dianggap bulan yang ditinjau merupakan bulan basah).
- f) Keempat parameter tersebut dikalibrasi tiap bulan perhitungan sesuai dengan perhitungan debit bulanan dengan metode Mock. Karena dipengaruhi oleh musim, maka tiap bulan ketiga parameter tersebut berbeda-beda.

Selanjutnya prinsip dasar kalibrasi seperti berikut;

- Menggunakan data jumlah curah hujan, evapotranspirasi (dari perhitungan menggunakan data klimatologi) dan data debit harian minimum dari pos duga ataupun data debit AWLR (*automatic water level recorder*) ataupun data debit pengukuran dalam rangkaian 1 tahun. Data yang digunakan haruslah data pada tahun yang sama. Apabila pada tahun yang akan ditinjau salah satu data tidak lengkap, maka kalibrasi tidak dapat dilakukan.

- Lakukan input data untuk perhitungan, yakni data jumlah hujan (mm) dan evapotranspirasi untuk tiap bulan dan data debit observasi (untuk proses kalibrasi).
- Perkirakan besarnya nilai m berdasarkan kondisi lahan berdasarkan bulan tanam. Untuk bulan dimana dimulai kegiatan perladangan, maka nilai m berkisar antara 35-50%, untuk bulan lainnya diambil nilai 30-35%.
- Perkirakan nilai I_f dan K berdasarkan bulan basah dan bulan kering. Asumsi bulan basah dan bulan kering yakni 6 (enam) bulan yang data hujannya tinggi dianggap bulan basah, sedangkan 6 (enam) bulan lainnya adalah bulan kering. Apabila bulan sebelumnya adalah bulan basah, maka nilai I_f akan lebih kecil dari nilai K ($I_f < K$), demikian sebaliknya apabila bulan sebelumnya adalah bulan kering, maka nilai I_f akan lebih besar dari nilai K ($I_f > K$). Nilai I_f dan K berkisar antara 0,01-1.
- Perkirakan nilai PF berdasarkan bulan basah dan bulan kering. Apabila bulan yang ditinjau adalah bulan basah, maka nilai PF akan besar dibandingkan PF pada bulan kering. Nilai PF berkisar 5%-10%, namun tidak menutup kemungkinan untuk meningkat secara tidak beraturan sampai harga 37,3%.
- Setelah nilai-nilai variabel bebas (data hujan, evapotranspirasi) dan variabel terikat (nilai debit), dan asumsi parameter Mock ditetapkan, mulailah proses kalibrasi.
- Dilakukan dengan trial and error dengan mengganti tiap nilai parameter Mock satu persatu, dalam tugas ini kalibrasi dilakukan dengan bantuan solver. Patokan perhitungan berakhir adalah apabila persentase kesalahan (percentage relative error) mendekati atau sama dengan nol. Proses perhitungan kalibrasi dilakukan untuk tiap bulan dalam 1 (satu) tahun.

2.6. Pipa

Pipa adalah bagian berbentuk tabung atau silinder berongga, biasanya berupa penampang lingkaran (tetapi tidak harus), yang digunakan terutama untuk

mengalirkan fluida/zat yang dapat mengalir seperti cairan dan gas yang memiliki tekanan (biasa lebih besar atau lebih kecil dari tekanan atmosfer) (Robbles & Daniel, 2013; Triatmodjo, 2008).

Apabila zat cair didalam pipa tidak penuh maka aliran termasuk dalam aliran saluran terbuka atau karena tekanan di dalam pipa sama dengan tekanan atmosfer (zat cair di dalam pipa tidak penuh), aliran termasuk dalam pengaliran terbuka. Karena mempunyai permukaan bebas, maka fluida yang dialirkan adalah zat cair. Tekanan dipermukaan zat cair disepanjang saluran terbuka adalah tekanan atmosfer (Triatmodjo, 2008).

1) Jaringan Perpipaan

Dalam perencanaan terdapat jaringan perpipaan yang pada bagian ini meliputi perpipaan transmisi yaitu jaringan perpipaan yang berfungsi untuk mengalirkan air bersih dari unit produksi ke titik awal jaringan distribusi, dan jaringan perpipaan distribusi merupakan rangkaian sistem perpipaan yang mendistribusikan air minum dari reservoir distribusi ke pelanggan. Perencanaan pipa memiliki kriteria desain yang harus memenuhi persyaratan teknis sebagai berikut (SNI 7509, 2011);

- Jalur pipa harus dirancang sependek mungkin.
- Menghindari jalur yang mengakibatkan konstruksi sulit dan mahal.
- Tinggi hidrolis pipa minimum 5 m di atas pipa, sehingga dapat menjamin operasi katup udara (*air valve*).

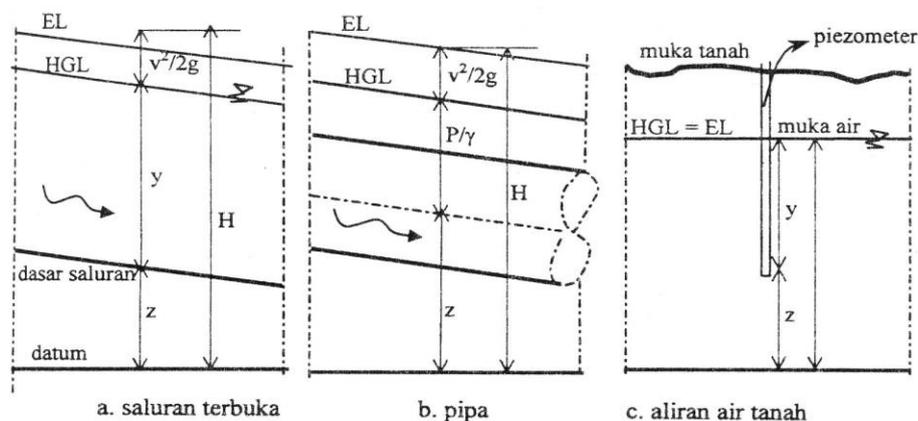
Penentuan dimensi pipa juga harus memenuhi ketentuan teknis sebagai berikut :

- Pipa harus direncanakan untuk mengalirkan debit maksimum harian.
- Kehilangan tekanan dalam pipa tidak boleh lebih dari 30% dari total tekanan statis pada sistem transmisi. Untuk sistem gravitasi, kehilangan tekanan maksimum 5 m/1000 m atau sesuai dengan spesifikasi teknis pipa sendiri.
- Pemilihan bahan pipa harus memenuhi persyaratan teknis.

2.6.1. Aliran dalam Pipa

Perbedaan mendasar antara aliran pada saluran terbuka dan aliran pada pipa adalah adanya permukaan yang bebas yang (hampir selalu) berupa udara pada saluran terbuka. Jadi seandainya pada pipa alirannya tidak penuh sehingga masih ada rongga yang berisi udara maka sifat dan karakteristik alirannya sama dengan aliran pada saluran terbuka (Kodoatie, 2009).

Perbedaan yang lainnya adalah saluran terbuka mempunyai kedalaman air (y), sedangkan pada pipa kedalam air tersebut ditransformasikan berupa (P/γ). Oleh karena itu konsep analisis aliran pada pipa harus dalam kondisi pipa terisi penuh dengan air (Kodoatie, 2009).



Gambar 2.1. Potongan Melintang Aliran pada Saluran Terbuka, Pipa dan Air Tanah (Kodoatie, 2009).

2.6.2. Sistem Perpipaan

Sistem perpipaan adalah suatu sistem yang digunakan untuk melakukan transportasi fluida kerja antar peralatan (*equipment*) dalam suatu pabrik (plant) atau dari suatu tempat ke tempat yang lain sehingga proses produksi berlangsung (Putranto, 2017; Fadhillah, 2018). Sistem perpipaan (*piping system*) dilengkapi dengan komponen-komponen seperti katup, flens, belokan (ellbow), percabangan, nozzle, reducer, tumpuan, isolasi dan lain-lain (Snoeyink et al, 2006; Fadhillah, 2018).

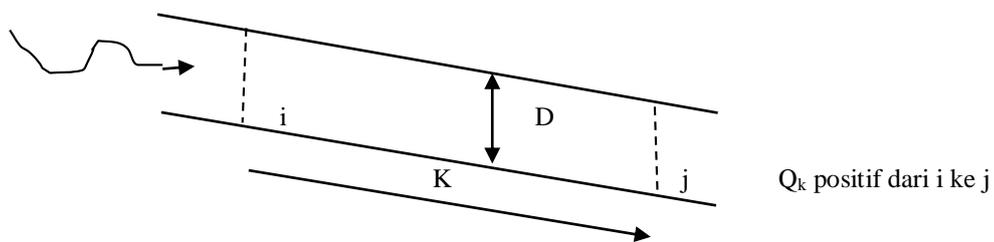
Jaringan perpipaan adalah sistem perpipaan yang menyediakan kualitas dan kuantitas air yang sesuai untuk masyarakat (Vishnoi, 2017). Dalam analisa perpipaan komponen-komponen yang penting dan persamaan yang dipakai adalah (Snoeyink et al, 2006; Kodoatie, 2009);

Pipa	:	Persamaan energi
Fitting	:	Persamaan energi dan kontinuitas
Valve (katup) dan meter	:	Persamaan energi
Tampungan / Reservoir	:	Persamaan kontinuitas
Pompa	:	Persamaan energi

Untuk analisis jaringan pipa secara menyeluruh dipakai gabungan persamaan kontinuitas dan persamaan energi.

1) Pipa

Untuk satu *Inflow* dan satu *Outflow* dengan memakai persamaan energi, bila dilihat dari seluruh sistem suatu jaringan pipa maka titik 1 dan titik 2 merupakan bagian pertemuan (*Node*) dari seluruh sistem (*Global System*). Sehingga secara umum untuk suatu pipa K yang menghubungkan *Node* i dan j seperti pada Gambar (2.2.) berikut.



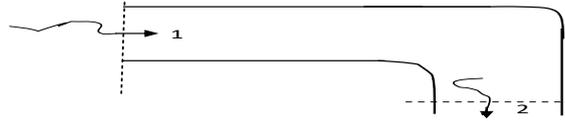
Gambar 2.2. Satu Potongan Aliran Dalam Pipa i - j Pada Satu Jaringan (Kodoatie, 2009)

Aliran adalah dari i ke j berarti debit Q_k adalah positif dari i ke j. Hal ini dimaksud karena pada jaringan pipa yang besar, arah aliran dan besarnya kehilangan energi harus jelas.

2) Fitting

Ada dua jenis *Fitting* yaitu: satu *Inflow* satu *Outflow* dan *Junction*

a. Satu *Inflow* satu *Outflow*



Gambar 2.3. Contoh Fitting Untuk Satu Inflow dan Satu Outflow

Persamaan energinya dapat ditulis sebagai berikut;

$$\frac{H_{L_f}}{v^2/2g} = f \left(\underbrace{\frac{vD}{V}, \frac{k'_s}{D}}_{K_f} \right) \dots\dots\dots(2.39.)$$

$$\text{atau: } H_{L_f} = \frac{K_f v^2}{2g} = \frac{K_f Q^2}{2gA^2} \dots\dots\dots(2.40.)$$

v : kecepatan rata-rata

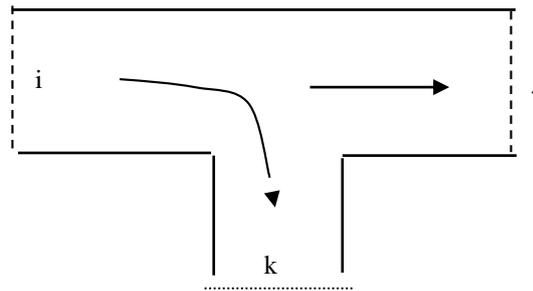
V : kekentalan kinematik fluida (air)

K'_s : ketinggian kekasaran di dasar saluran

Bila kehilangan energi yang kecil diperhitungkan untuk analisa jaringan pipa, maka setiap perubahan geometris pipa akan menimbulkan kehilangan energi. Kehilangan energi ini dapat juga diekspresikan dalam bentuk kehilangan energi yang ekuivalen terhadap seluruh kehilangan energi yang ditinjau. Untuk mempermudah perhitungan kehilangan energi dapat diekspresikan ke dalam debit Q .

b. *Junction*

Yaitu pertemuan lebih dari “satu *Inflow* satu *Outflow*”.



Gambar 2.4. Junction Node M dengan Output Q_M

Gambar 2.4. menunjukkan suatu detail *Junction* dan merupakan bagian dari sistem jaringan pipa. Sehingga titik-titik *i, j, k* dapat dikatakan bagian dari *System Nodes* yang ada pada jaringan pipa. Berdasarkan persamaan kontinuitas, maka :

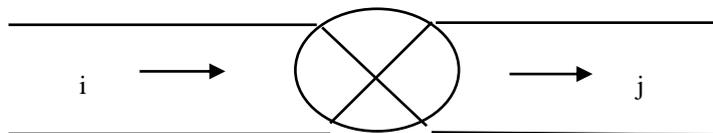
$$Q_i = Q_j + Q_k \text{ atau } Q_i + Q_j + Q_k = 0 \dots\dots\dots(2.41.)$$

Persamaan energi dapat ditulis sebagai berikut:

$$Q_i H_i + Q_j H_j + Q_k H_k - \frac{C}{\gamma} = 0 \dots\dots\dots(2.42.)$$

3) Katup dan Meter

Berfungsi sebagai alat pengukur dan pengontrol, dapat dilihat seperti gambar berikut:



Gambar 2.5. Valve Pada pipa

Persamaan energy;

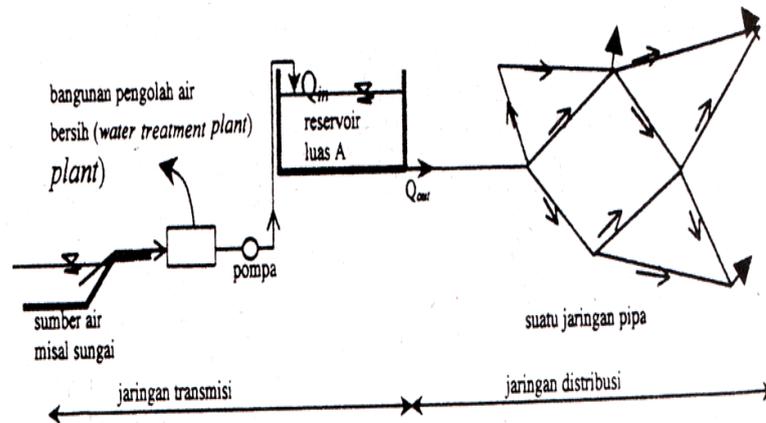
$$H_j = H_i - H_{Lv} \dots\dots\dots(2.43.)$$

dan kehilangan energi dapat ditulis:

$$H_{Lv} = \frac{K_v Q^2}{2gA^2} \dots\dots\dots(2.44.)$$

4) Tampung / Reservoir

Merupakan tempat penampungan air dalam suatu sistem jaringan pipa seperti pada gambar berikut ini:



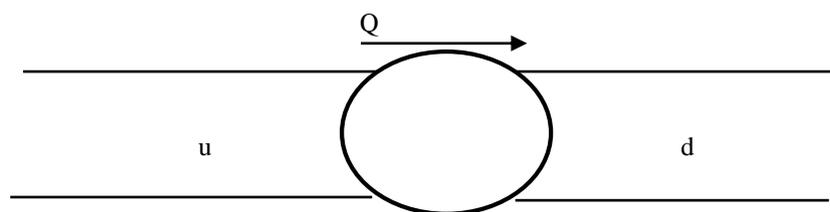
Gambar 2.6. Sistem Jaringan Pipa dan Reservoir

Dengan persamaan kontinuitasnya sebagai berikut;

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \dots\dots\dots(2.45.)$$

5) Pompa

Berfungsi untuk menaikkan energi yang ada, secara umum dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.7. Pipa dengan Pompa

Persamaan energinya adalah;

$$H_d = H_u + H_p \dots\dots\dots(2.46.)$$

dengan:

$$H_p = H_p = \frac{W_s}{\gamma Q} \dots\dots\dots(2.47.)$$

W_s : kerja pusingan / putaran

W_s : $\eta \times$ kekuatan pompa (P)

η : faktor efisiensi

Biasanya kekuatan pompa P dan faktor efisiensi η pada suatu pompa diketahui berdasarkan spesifikasi teknisnya. Untuk P biasanya didasarkan pada satuan kekuatan kuda (*Horse Power*). 1 HP = $745.70 \text{ kgm}^2/\text{s}^3 = 745.7 \text{ watt}$.

6) Kehilangan Energi

Salah satu faktor yang dominan untuk diperhatikan pada aliran di dalam pipa adalah tinggi hilang energi. Secara umum, tinggi kehilangan energi dapat dikelompokkan menjadi kehilangan energi utama atau *Mayor Losser* akibat gesekan dengan dinding pipa dan *Minor Losser* akibat sambungan-sambungan, belokan-belokan, *Valve*, dan aksesoris lainnya.

a) Kehilangan Energi Akibat Gesekan (*Mayor Losser*)

Kehilangan energi akibat gesekan dengan dinding pipa di aliran seragam dapat dihitung dengan persamaan Darcy - Weisbach sebagai berikut;

$$hf = f \frac{L v^2}{D 2g} \dots\dots\dots(2.48.)$$

hf : tinggi hilang akibat gesekan (*Friction*)

f : faktor gesek (*Friction Factor*)

L : panjang pipa

D : diameter pipa

v : kecepatan aliran

g : Percepatan gravitasi

Diantara faktor-faktor diatas, faktor gesek f merupakan salah satu faktor yang sulit penentuannya. Kesulitan ini karena faktor gesek f juga sangat tergantung pada kondisi aliran di dalam pipa tersebut. Secara umum faktor gesek f dapat dihitung dengan persamaan Celebrook - White sebagai berikut;

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[\frac{k}{3,7D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right] \dots\dots\dots(2.49.)$$

k : kekasaran efektif dinding dalam pipa

D : diameter pipa

Re : bilangan Reynolds $\left(= \frac{vD}{\nu} \right)$

ν : kekentalan kinematik cairan

Pada umumnya rumus yang dipakai untuk menghitung kerugian head dalam pipa yang relatif sangat panjang seperti jalur pipa penyaluran air minum dapat menggunakan persamaan Heazen-Williamz yang dapat dilihat pada persamaan berikut ;

$$hf = \frac{10,675Q^{1,852}}{C^{1,852}d^{4,87}} L \dots\dots\dots(2.50.)$$

hf = Kerugian gesekan dalam pipa

Q = Laju aliran dalam pipa

L = Panjang pipa

C = Koefisien kekasaran pipa

d = Diameter pipa

b) Kehilangan Energi Minor (Minor Losses)

Kehilangan energi minor adalah kehilangan energi akibat perubahan tampang saluran, sambungan-sambungan, belokan, *Valve* dan aksesoris lainnya.

- Kehilangan energy akibat penyempitan (Contraction)

$$H_c = K_c \frac{v_2^2}{2g} \dots\dots\dots(2.51.)$$

H_c : tinggi hilang akibat penyempitan

K_c : koefisien kehilangan energi akibat penyempitan

v_2 : kecepatan rerata aliran dengan diameter D_2
(yaitu di hilir dari penyempitan).

Nilai K_c untuk berbagai nilai D_2/D_1 tercantum pada tabel berikut:

Tabel 2.11. Nilai K_c Untuk Berbagai Nilai D_2 / D_1 (Kodoatie, 1996)

D_2/D_1	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
K_c	0,5	0,45	0,38	0,28	0,14	0,0

– Tinggi energy akibat pembesaran tampang (Expansion)

$$H_c = K \frac{v_2^2}{2g} \dots\dots\dots(2.52.)$$

$$K_c = \left(\frac{A_2}{A_1} - 1 \right)^2 \dots\dots\dots(2.53.)$$

– Tinggi energy akibat Valve

$$H_v = K_v \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots(2.54.)$$

K_v : koefisien tinggi hilang di *Valve*. Tergantung jenis *Valve* dan bukaannya.

2.6.3. Analisis Jaringan Pipa Menggunakan Aplikasi *Epanet 2.0*

Desain dan analisis sistem jaringan air berdasarkan pada dua faktor utama yaitu kebutuhan air dan tekanan (*Brebbia dan Ferrante, 1983*). Kebutuhan air tergantung dari ukuran dan tipe sistem yang diinginkan. Sedangkan tekanan

menjadi penting karena tekanan rendah bisa menyebabkan masalah terhadap distribusi jaringan pipa namun tekanan tinggi akan memperbesar kehilangan energi.

Pemakaian dalam jaringan pipa di bidang teknik sipil terdapat pada sistem jaringan distribusi air minum. Sistem jaringan ini merupakan bagian yang paling mahal dari suatu perusahaan air minum. Oleh karena itu harus dibuat perencanaan yang teliti untuk mendapatkan sistem distribusi yang efisien. Jumlah atau debit air yang disediakan tergantung pada jumlah penduduk dan macam industri yang dilayani.

a. Pengertian Epanet

EPANET adalah suatu program komputer yang menampilkan suatu simulasi hidrolik dan perilaku kualitas air dalam jangka waktu yang panjang pada jaringan pipa bertekanan (Rossman, 2000). Suatu jaringan terdiri dari pipa, Node (sambungan pipa), pompa, katup dan tangki penyimpanan atau reservoir. EPANET melacak aliran air pada masing-masing pipa, tekanan pada masing-masing sambungan, tinggi air pada masing-masing tangki dan konsentrasi suatu bahan kimia pada seluruh jaringan selama waktu simulasi yang terdiri dari kumpulan satuan waktu.

EPANET dirancang untuk menjadi suatu alat penelitian untuk meningkatkan pengertian mengenai pergerakan akhir dan tujuan dari air dalam sistem distribusi. Program ini dapat digunakan untuk berbagai jenis aplikasi yang berbeda dalam analisa sistem jaringan pipa. EPANET juga dapat membantu dalam menilai suatu strategi dalam mengatur alternatif terhadap upaya peningkatan kualitas air melalui suatu sistem.

Program EPANET ini dijalankan dalam program WINDOWS. EPANET juga menyediakan suatu sistem lingkungan yang terintegrasi untuk keperluan penyesuaian terhadap data Input (masukan) jaringan, menjalankan simulasi hidrolik dan kualitas air, meninjau hasil keluaran dalam format/bentuk yang

beragam. Termasuk juga peta jaringan dengan kode warna, tabel data, grafik kumpulan waktu, dan plot kontur.

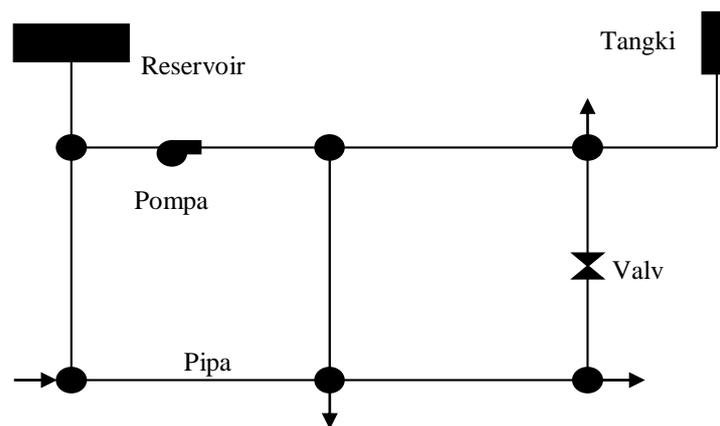
b. Kemampuan Pemodelan Hidraulik

Penampakan secara utuh dan model hidrolis yang akurat adalah merupakan suatu prasyarat untuk membentuk suatu model yang efektif. EPANET berisikan suatu mesin analisa hidrolis yang fleksibel yang meliputi kemampuan sebagai berikut:

- Tidak mempunyai batasan terhadap ukuran jaringan yang dapat dianalisa.
- Memperhitungkan kehilangan tinggi tekan gesekan dengan menggunakan rumus: Hazen-Williams, Darcy-Weisbach, dan Chezy-Manning.
- Termasuk kehilangan tinggi tekan kecil (*Minor Losses*), akibat bengkokan sambungan dan lain-lain.
- Pemodelan terhadap pompa dengan kecepatan yang konstan maupun bervariasi.
- Memperhitungkan energi pemompaan dan biaya.
- Memodelkan berbagai jenis katup meliputi penutupan, pemeriksa, pengaturan tekanan, dan katup kontrol aliran.
- Memungkinkan berbagai bentuk tangki penyimpanan (misalnya diameter dapat divariasikan dengan ketinggian).
- Mempertimbangkan berbagai kondisi yang mungkin terjadi pada *Node* (sambungan pipa), masing-masing dengan pola variasi waktunya sendiri.
- Pemodelan aliran-dependen yang keluar dari pemancar (kepala *Spinkler*).
- Dapat menempatkan sistem operasi baik pada tangki sederhana maupun dengan pengatur waktu ataupun kontrol dengan dasar aturan yang rumit.

c. Komponen Fisik Model Jaringan EPANET

EPANET memodelkan suatu sistem jaringan pipa sebagai suatu kumpulan jalur yang dihubungkan pada suatu titik. Jalur-jalur ini bisa berbentuk pipa, pompa, dan katup kontrol, sedangkan suatu titik bisa berbentuk sambungan, tangki dan reservoir. Gambar di bawah ini menggambarkan bagaimana objek-objek tersebut dihubungkan satu sama lain sehingga membentuk satu jaringan.



Gambar 2.8. Komponen Fisik pada suatu sistem distribusi air (Rossmann,2000)

1) Sambungan (*Junction*)

Sambungan adalah suatu titik pada jaringan dimana beberapa jalur dihubungkan / tergabung secara bersama dalam suatu titik dimana air masuk dan meninggalkan jaringan.

2) Reservoir

Reservoir adalah suatu titik yang melambangkan suatu sumber yang sangat besar atau tempat pembuangan aliran dari suatu jaringan.

3) Tangki (*Tanks*)

Tangki adalah titik dengan suatu kapasitas penyimpanan, dimana volume air yang disimpan dapat bervariasi terhadap waktu selama suatu simulasi. Tangki diperlukan untuk beroperasi pada level maksimum dan minimumnya dan menghentikan aliran masuk jika tangki berada pada level maksimumnya.

4) Penyemprot (*Emitters*)

Emitter adalah alat yang bekerja pada suatu sambungan yang memodelkan aliran melalui pipa yang disemprotkan ke udara.

5) Pipa (*Pipes*)

Pipa adalah jalur-jalur yang membawa air dari suatu titik ke titik lain pada jaringan. EPANET mengasumsikan bahwa seluruh pipa penuh sepanjang waktu. Arah aliran dimulai dari ujung yang mempunyai tinggi tekan hidrolik yang lebih tinggi (energi dalam persatuan berat air) menuju ujung yang mempunyai tinggi tekan yang lebih rendah. Kehilangan tinggi tekan hidrolik dari aliran air di dalam pipa yang disebabkan gesekan dengan dinding pipa dapat dihitung dengan menggunakan salah satu dari rumus berikut;

- Rumus *Hazen-Williams*
- Rumus *Darcy-Weisbach*
- Rumus *Chezy-Manning*.

Rumus *Hazen-Williams* merupakan rumus kehilangan tinggi tekan yang paling umum digunakan di Amerika. Rumus tersebut tidak dapat digunakan untuk zat cair selain air dan hanya dikembangkan untuk aliran turbulen. Rumus *Darcy-Weisbach* merupakan suatu pendekatan teoritis yang baik. Rumus ini digunakan untuk seluruh sistem aliran dan untuk seluruh jenis zat cair.

Rumus *Chezy-Manning* lebih umum digunakan untuk aliran pada saluran terbuka. Tabel (2.12.) memberikan daftar koefisien tekanan dan nilai dari eksponen aliran untuk masing-masing rumus. Masing-masing rumus menggunakan koefisien kekasaran pipa yang berbeda yang harus ditentukan secara empiris.

Tabel (2.13.) memberikan daftar kisaran umum dari koefisien tersebut untuk berbagai tipe bahan pipa yang baru. Perlu disadari bahwa koefisien kekasaran pipa dapat berubah seiring bertambahnya usia pipa.

Tabel 2.12. Rumus Kehilangan Tinggi Tekan Pipa Untuk Aliran Penuh
(Kehilangan tinggi tekan dalam ft dan laju aliran dalam cfs)

Rumus	Koefisien Tekanan (A)	Eksponen Aliran (B)
Hazen - Williams	$4,727 C^{-1,852} .d^{-4,871} .L$	1,852
Darcy - Weisbach	$0,0252 f(\Sigma , d, q). D^{-5} .L$	2
Chezy - Manning	$4,66 n^2 d^{-5,33} .L$	2

Catatan : C : koefisien kekasaran Hazen-Williams

Σ : koefisien kekasaran Darcy-Weisbach (*ft*)

f : faktor gesekan (tergantung pada Σ , *d*, dan *q*)

n : koefisien kekasaran Manning

d : diameter pipa (*ft*)

L : panjang pipa (*ft*)

q : laju aliran (*cfs*)

Tabel 2.13. Koefisien Kekasaran Untuk Pipa (Rossman, 2000)

Bahan	Hazen - Williams (C)	Darcy - Weisbach (Σ)	Chezy - Manning (n)
Besi Tuang	100 - 140	0,85	0,012 - 0,015
Beton	120 - 140	1,0 - 10	0,012 - 0,017
Besi	120	0,5	0,015 - 0,017
Plastik	140 - 150	0,005	0,011 - 0,015
Baja	140 - 150	0,15	0,015 - 0,017
Lempung halus	110		0,013 - 0,015

2.7. Penelitian Sejenis

Untuk setiap penelitian tentunya ada penelitian yang sejenis, bagian ini dilakukan sebagai perbandingan antara peneliti dengan penelitian sejenis sebelumnya dan sebagai acuan atau referensi skripsi yang lebih efisien dan efektif. Ada beberapa penelitian sejenis yang menjadi acuan dalam penelitian ini, yang diuraikan dalam tabel berikut;

Tabel 2.14. Penelitian Sejenis

No.	Judul	Peneliti	Instansi	Hasil
1	Sungai Emputik Sebagai Salah Satu Alternatif Sumber Air Baku Kota Ngabang	Kiki Ratna Novian Sari	Universitas Tanjungpura	<ul style="list-style-type: none"> - Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa secara fisik dan kimia air baku sungai Emputik dapat dijadikan sebagai sumber air bersih bagi penduduk Kota Ngabang. - Dalam perhitungan analisis ketersediaan air bersih peneliti menggunakan model Mock dengan probabilitas 99% maksimum didapat 0,602 m³/detik pada bulan Januari, dan minimum sebesar 0,072 m³/detik pada bulan Agustus - Dalam perencanaan Jaringan Transmisi peneliti menggunakan perangkat lunak Epanet 2.0 - Dalam penelitian tersebut peneliti juga menghitung Rencana Anggaran Biaya pipa transmisi dan bangunan intake.
2	Pemanfaatan Air Sungai Bayung Sebagai Sumber Air Bersih Bagi Kecamatan Sungai Raya Kabupaten Bengkayang	Kresensia Yolenta	Universitas Tanjungpura	<ul style="list-style-type: none"> - Berdasarkan analisis yang diperoleh debit andalan rata-rata probabilitas sebesar 99% sebesar 668,91 lt/detik untuk debit minimum terdapat pada bulan September sebesar 41, 249 lt/detik sedangkan debit maksimum terdapat pada bulan Januari sebesar 3079,505 lt/detik. - Berdasarkan hasil uji kualitas air dengan parameter yang diuji memenuhi syarat dalam Peraturan Pemerintah No. 82 tahun 2001. - Dalam perencanaan Jaringan Transmisi peneliti menggunakan perangkat lunak Epanet 2.0.

Tabel 2.15. (Lanjutan) Penelitian Sejenis

No.	Judul	Peneliti	Instansi	Hasil
3	Sungai Sedik Sebagai Sumber Air Uray Imelda Cesia Baku Bagi Penduduk Kecamatan Batang Lupar		Universitas Tanjungpura	<ul style="list-style-type: none"> - Dalam perhitungan analisis ketersediaan air peneliti menggunakan model Mock. - Dari hasil analisis ketersediaan air didapatkan debit andalan 99% sungai Sedik rata-rata $0,79 \text{ m}^3/\text{detik}$ atau 790 lt/detik, untuk analisa kontinuitas sumber air baku sungai Sedik dapat terpenuhi karena debit yang paling minimum sebesar $0,29 \text{ lt/detik}$.
4	Perencanaan Pipa Transmisi Sumber Air Baku Sungai Bekuan Bagi Penduduk Kecamatan Lembah Bawang	Syarif Khairul Nizar	Universitas Tanjungpura	<ul style="list-style-type: none"> - Dalam perhitungan analisis ketersediaan air peneliti menggunakan model Mock. - Berdasarkan hasil analisis diperoleh debit andalan rata-rata probabilitas 99% sebesar $8767,84 \text{ lt/detik}$ untuk debit minimum terdapat pada bulan September sebesar $1317,63 \text{ lt/detik}$ sedangkan debit maksimum terdapat pada bulan November sebesar $18107,76 \text{ lt/detik}$ - Berdasarkan hasil uji kualitas air dengan parameter yang diuji memenuhi syarat dalam Peraturan Pemerintah No. 82 tahun 2001. - Dalam perencanaan Jaringan Transmisi peneliti menggunakan perangkat lunak Epanet 2.0.

Yang membedakan penelitian ini dengan penelitian sejenis adalah peneliti mengkalibrasi parameter DAS pada Model Mock, kalibrasi dilakukan dengan membandingkan hasil analisis debit bulanan dan data debit terukur yang telah dilakukan di lokasi penelitian. Pada penelitian ini, data debit terukur dilakukan pada tahun 2005. Dalam perencanaan dimasa mendatang memerlukan desain jaringan pipa yang sesuai dengan kenaikan jumlah penduduk di lokasi penelitian yang memiliki karakteristik berbeda, untuk lokasi penelitian ini sama sekali belum

ada jaringan pipa eksisting. Oleh karena itu, peneliti tertarik dengan pembahasan Pemanfaatan Sumber Air Baku Sungai Medang Pulang Sebagai Sumber Air Bersih Bagi Kecamatan Hulu Gurung.