

SIMULASI PIPA TRANSMISI AIR BAKU DARI SUMBER AIR SUNGAI JURONG 2 KE PDAM TIRTA DHARMA DURI

Heriansyah¹⁾ Siswanto²⁾ Lita Darmayanti²⁾

¹⁾ Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil ²⁾ Dosen Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode Pos 28293
email : heriansyah.4483@gmail.com

ABSTRACT

Waters demand in District of Mandau is a concern because of population growth and increasing water shortages in the dry season . Therefore, needed a new alternative source of raw water to meet water needs in District of Mandau deep water channel of a new raw water source required transmission pipelines to the water treatment plant. Then the required study of several alternative raw water transmission pipeline system. The results of this study can be concluded from the results of population projections obtained percentage of water services in 2013 amounted to 24 %, in 2017 amount 29 %, in 2022 amount 30 %, in 2027 amount 35%, in 2032 amount 53 %. Water demand planning used 4 alternate with 4 different discharge to increase the supply of raw water supply in District of Mandau which only amounted to 80 liters/sec. Simulation of the raw water transmission system for District of Mandau obtained is expected to be a guide in the planning pipeline for PDAM Tirta Dharma transmission Duri.

Keywords: waters demand, PDAM, transmission system,

I. PENDAHULUAN

Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Tirta Dharma Duri merupakan perusahaan yang melayani kebutuhan air minum di Kecamatan Mandau. Adapun sumber pasokan utama air PDAM Tirta Dharma Duri ini berasal dari air baku Sungai Rangau Kabupaten Rokan Hilir yang dialirkan ke waduk DSF 125 milik PT. Chevron Pasifik Indonesia (CPI) yang digunakan untuk kebutuhan operasi, kebutuhan dalam *camp* serta bantuan pasokan ke PDAM Tirta Dharma Duri.

Sungai Rangau yang menjadi sumber pasokan utama air di PDAM Tirta Dharma Duri mengalami penurunan debit air yang diakibatkan musim kemarau yang berkepanjangan pertengahan Mei 2012, sehingga mengakibatkan debit air waduk

DSF 125 juga mengalami penurunan. Melihat keadaan demikian maka pihak PT. Chevron Pasifik Indonesia (CPI) wilayah Duri melakukan pengurangan stok air untuk PDAM Tirta Dharma mengingat pihak PT. Chevron Pasifik Indonesia (CPI) masih harus tetap memenuhi kebutuhan air bersih untuk kebutuhan operasi dan kebutuhan dalam *camp*.

Berdasarkan hal-hal tersebut diatas, Pemerintah Kabupaten Bengkalis menyiapkan beberapa alternatif sumber air baku untuk PDAM Tirta Dharma Duri, yaitu :

1. Pasokan dari waduk DSF 125 milik PT CPI tetap sebanyak 80 liter/detik.
2. Mengambil air baku dari Sungai Kapas, Sungai Petani, dan Sungai Jurong.

Dalam hal ini Pemerintah Kabupaten Bengkalis akan bekerjasama dengan pihak ketiga.

Untuk menyalurkan air dari sumber air baku baru diperlukan bangunan intake dan jaringan pipa transmisi untuk penyaluran air baku ke instalasi pengolahan air. Maka dibutuhkan kajian terhadap beberapa alternatif sistem pipa transmisi air baku sehingga penyaluran air baku ke instalasi pengolahan air dapat terpenuhi sesuai dengan kebutuhan yang diperlukan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pertumbuhan Penduduk

Pertumbuhan penduduk merupakan faktor yang paling penting dalam perencanaan kebutuhan air bersih. Perkiraan jumlah penduduk di suatu daerah pada masa akan datang dapat ditentukan dengan beberapa metode berikut:

a. Metode geometrik.

Perhitungan perkembangan populasi berdasarkan pada angka kenaikan penduduk rata-rata pertahun. Persentase pertumbuhan penduduk rata-rata dapat dihitung dari sensus tahun sebelumnya. Persamaan yang digunakan untuk metode geometri ini adalah:

$$P_n = P_o (1 + r)^n$$

Keterangan:

P_n = jumlah penduduk pada tahun ke n

P_o = jumlah penduduk pada tahun dasar

r = laju pertumbuhan penduduk

n = jumlah interval

Metode ini akan menghasilkan nilai yang lebih tinggi, karena persentase pertumbuhan sesungguhnya tidak pernah tetap. Akan tetapi, persentase tersebut akan menurun jika suatu daerah mencapai batas

optimum sehingga metode ini sangat sesuai untuk daerah yang mempunyai pertumbuhan penduduk yang tetap.

b. Metode aritmatik.

Metode perhitungan dengan cara aritmatik didasarkan pada kenaikan rata-rata jumlah penduduk dengan menggunakan data terakhir dan rata-rata sebelumnya. Dengan cara ini perkembangan dan penambahan jumlah penduduk akan bersifat linier. Perhitungan ini menggunakan persamaan berikut:

$$P_n = P_o + K_a (t)$$

$$K_a = \frac{P_2 - P_1}{\Delta t}$$

Keterangan:

P_n = jumlah penduduk pada tahun ke n

P_o = jumlah penduduk pada tahun dasar

K_a = Konstanta aritmatik

P_1 = jumlah penduduk yang diketahui pada tahun ke 1

P_2 = jumlah penduduk yang diketahui pada tahun terakhir

t = selisih tahun yang diketahui

Metode ini sangat sesuai digunakan untuk daerah yang mempunyai angka pertumbuhan penduduk yang rendah atau pada daerah-daerah dengan derajat pertumbuhan penduduk tetap apabila jumlah dan kepadatan penduduk menjadi maksimum.

c. Metode *least square*.

Metode ini umumnya digunakan pada daerah yang tingkat pertumbuhan penduduknya cukup tinggi. Perhitungan pertumbuhan jumlah penduduk dengan metode ini didasarkan pada data tahun-tahun sebelumnya dengan menganggap bahwa pertumbuhan jumlah penduduk

suatu daerah disebabkan oleh kematian, kelahiran, dan migrasi. Persamaan untuk metode ini adalah:

$$Y = a \cdot X + b$$

Keterangan:

Y = nilai variabel berdasarkan garis regresi

X = variabel independen

a = konstanta

b = koefisien arah regresi linier

Untuk menentukan pilihan rumus proyeksi pertumbuhan jumlah penduduk yang akan digunakan dengan hasil perhitungan yang paling mendekati kebenaran harus dilakukan analisis dengan menghitung standar deviasi atau koefisien korelasi. Berikut ini merupakan persamaan standar deviasi:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - X)^2}{n-1}} \text{ untuk } n > 20$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - X)^2}{n}} \text{ untuk } n = 20$$

Metode perhitungan proyeksi jumlah penduduk yang menghasilkan nilai standar deviasi yang terkecil adalah metode yang terpilih.

B. Kehilangan Tekanan

1. Persamaan Hazen william

Persamaan Hazen William cocok untuk menghitung kehilangan tekanan

untuk pipa dengan diameter besar yaitu di atas 100 mm. Selain itu persamaan ini sering digunakan karena mudah dipakai. Persamaan Hazen William secara empiris menyatakan bahwa debit yang mengalir di dalam pipa adalah sebanding dengan diameter pipa dan kemiringan hidrolis (S) yang dinyatakan sebagai ratio antara kehilangan tekanan (h_L) terhadap panjang pipa (L) atau $S = (h_L/L)$.

Faktor C yang menggambarkan kondisi fisik dari pipa seperti kehalusan dinding dalam pipa yang menggambarkan jenis dan umur pipa. Secara umum rumus *Hazen William* adalah sebagai berikut:

$$Q = 0,2785 \cdot C \cdot d^{2,63} \cdot S^{0,54}$$

Dimana :

$$S = \frac{h_L}{L}$$

$$H_L = \left[\frac{Q}{0,2785 \cdot C \cdot d^{2,63}} \right]^{1,85} \cdot L$$

Keterangan:

d = Diameter pipa dalam (m)

S = Kemiringan lahan

h_L = *Headloss* mayor (m)

L = Panjang pipa (m)

C = Koefisien Hazen William

(berbeda untuk berbagai jenis pipa, dapat dilihat pada Tabel 1).

Tabel 1. Koefisien Hazen William

No.	Jenis (material) Pipa	Nilai C
1.	Asbes Cement	120
2.	Poly Vinil Chloride (PVC)	120-140
3.	High Density Poly Ethylene (HDPE)	130
4.	Medium Density Poly Ethylene (MDPE)	130
5.	Ductile Cast Iron Pipe (DCIP)	110
6.	Besi tuang, Cast Iron (CIP)	110

7.	Galvanized Iron Pipe (GIP)	110
8	Steel Pipe (Pipa Baja)	110

Sumber : Dharmasetiawan, 2004

C. Program EPANET 2.0

EPANET 2.0 adalah program komputer yang menggambarkan simulasi hidrolis dan kecenderungan kualitas air yang mengalir di dalam jaringan pipa. Jaringan itu sendiri terdiri dari pipa, *node* (titik koneksi pipa), pompa, katup, dan tangki air atau *reservoir*.

EPANET 2.0 menjajaki aliran air di tiap pipa, kondisi tekanan air di tiap titik dan kondisi konsentrasi bahan kimia yang mengalir di dalam pipa selama dalam periode pengaliran. Sebagai tambahan, usia air (*water age*) dan pelacakan sumber dapat juga disimulasikan.

EPANET 2.0 didesain sebagai alat untuk mencapai dan mewujudkan pemahaman tentang pergerakan dan nasib kandungan air minum dalam jaringan distribusi. Juga dapat digunakan untuk berbagai analisa berbagai aplikasi jaringan distribusi. Sebagai contoh untuk pembuatan desain, kalibrasi model hidrolis, analisa sisa khlor, dan analisa pelanggan.

EPANET 2.0 dapat membantu dalam mengatur strategi untuk merealisasikan kualitas air dalam suatu sistem. Semua itu mencakup hal sebagai berikut:

1. Alternatif penggunaan sumber dalam berbagai sumber dalam satu sistem.
2. Alternatif pemompaan dalam penjadwalan pengisian/pengosongan tangki.
3. Penggunaan treatment, misal khlorinasi pada tangki penyimpanan.
4. Pen-target-an pembersihan pipa dan pengantiannya.

Untuk menganalisa suatu jaringan pipa yang kompleks kita harus melakukan

tahapan-tahapan iterasi hingga beberapa kali dengan menggunakan metode yang telah umum dikenal dengan nama metode Hardy-Cross. Akan tetapi seiring dengan perkembangan teknologi, pada saat ini kita dapat menganalisa jaringan perpipaan yang kompleks sekalipun dengan mudah menggunakan software distribusi seperti software EPANET 2.0.

Epanet 2.0 didesain sebagai alat untuk mengetahui perkembangan dan pergerakan air serta degradasi unsur kimia yang terkandung dalam air di pipa distribusi air bersih, yang dapat digunakan untuk analisa berbagai macam sistem distribusi, detail desain, analisa sisa khlor dan beberapa unsur lainnya.

III. METODE PENELITIAN

Data kebutuhan air yang diperoleh dianalisa menggunakan *software Microsoft Excel* untuk mendapatkan kebutuhan air 20 tahun yang akan datang melalui 3 (tiga) metode perkiraan yaitu metode geometrik, metode aritmatik, metode *least square*.

Parameter-parameter penting untuk memperkirakan dan menganalisa kebutuhan akan air bersih di masa yang akan datang di antaranya sebagai berikut:

1. Jumlah penduduk pada tahun sekarang sebagai acuan untuk proyeksi kebutuhan air rumah tangga hingga tahun 2032.
2. Persentase pelayanan air bersih direncanakan sesuai dengan debit yang telah ditentukan dari jumlah penduduk Kecamatan Mandau.
3. Konsumsi air tiap orang dan non rumah tangga dimana dalam tugas akhir ini

diasumsikan konsumsi air sebesar 150 liter/orang/hari. Pengambilan nilai ini didasarkan karena Kecamatan Mandau merupakan kategori kota sedang.

Setelah mendapatkan data-data yang menunjang proses pembuatan skema sistem transmisi air, akan dibuat beberapa alternatif skema jaringan yang dipakai untuk rekomendasi pembuatan jaringan pipa transmisi air baku tersebut. Pembuatan alternatif skema jaringan air baku serta simulasi tekanan (*head*) pada area distribusi yang dilakukan dengan menggunakan *software* EPANET 2.0 *Headloss Formula* dari Hazen-William.

Simulasi didasarkan pada kebutuhan akan air bersih. Penentuan variasi spesifikasi dimensi pipa digunakan dalam optimasi distribusi air baku.

Proses simulasi tekanan adalah sebagai berikut:

1. Penggambaran jaringan.
2. Memberikan nomor pada *node-node* (simpul pipa).
3. Penentuan arah aliran jaringan.
4. Memasukkan karakteristik jaringan seperti pipa, *node*, aliran debit, pompa dan aksesoris.

5. *Running Model*.

6. Hasil simulasi.

Untuk membuat simulasi jaringan pipa transmisi air baku sebelumnya diperlukan peta rujukan ruas jalan. Peta tersebut akan menjadi latar (*backdrop*) pada program Epanet 2.0. Pembuatan peta rujukan ruas jalan dibuat dengan memperhitungkan panjang jalan serta kondisi topografi jalan tersebut. Perhitungan panjang jalan dapat dilihat di *Software Google map source*. Dari peta rujukan ruas jalan yang mempunyai panjang sekitar 26.455 meter dari intake ke instalasi pengolahan air akan dibuat jaringan perpipaan yang merupakan jaringan pipa transmisi air baku dengan mengikuti ruas jalan tersebut.

Pembuatan jaringan pipa transmisi air baku dilakukan berdasarkan alternatif yang telah diusulkan sebelumnya. Adapun alternatif-alternatif yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 2 di bawah ini:

Tabel 2. Perencanaan Alternatif Simulasi Pipa Transmisi

No	Model Simulasi	Diameter (inchi)	Debit Aliran(l/dt)
1	Alternatif 1	8	40
			80
			100
			150
2	Alternatif 2	10	40
			80
			100
			150
3	Alternatif 3	12	40
			80
			100
			150

4	Alternatif 4	16	40
			80
			100
			150

Sumber: Data analisis, 2014

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Kebutuhan Air Bersih

1. Kebutuhan Air Bersih Domestik dan Non-Domestik Tahun 2013-2032

Untuk memenuhi kebutuhan air bersih di tahun 2013 hingga 2032, diperlukan terlebih dahulu proyeksi penduduk melalui 3 (tiga) metode yang telah dibahas sebelumnya. Berdasarkan hasil

proyeksi jumlah penduduk untuk tahun 2013-2032 di atas, metode *least square* akan menjadi acuan dalam menentukan kebutuhan air bersih Kecamatan Mandau. Berikut ini adalah hasil proyeksi kebutuhan air bersih berdasarkan peningkatan jumlah penduduk menggunakan metode *least square* di tahun 2013-2032 yang terlihat pada tabel 3 di bawah ini:

Tabel 3. Proyeksi Kebutuhan Air

No	Tahun	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Kebutuhan Air Domestik (L/hr)	Kebutuhan Air Domestik (L/dtk)	Kebutuhan Air Non-Domestik (L/hr)	Kebutuhan Air Non-Domestik (L/dtk)	Kebutuhan Air Total (L/dtk)
1	2013	238.595	35.789.210	414	7.157.842	83	497
2	2017	261.436	39.215.364	454	7.843.073	91	545
3	2022	289.987	43.498.057	503	8.699.611	101	604
4	2027	318.538	47.780.750	553	9.556.150	111	664
5	2032	347.090	52.063.443	603	10.412.689	121	723

Sumber: Hasil analisa, 2014

Berdasarkan tabel 3 di atas, kebutuhan air bersih total Kecamatan Mandau dari sektor domestik dan non-domestik dalam rentang tahun 2013-2032 mengalami peningkatan. Pada tahun 2013 kebutuhan air total berjumlah 497 liter/detik dan pada tahun 2032 kebutuhan air total berjumlah 723 liter/detik.

2. Proyeksi yang Terlayani Air Bersih

Untuk memenuhi kebutuhan air bersih di wilayah perencanaan pelayanan air bersih di Kecamatan Mandau di tahun

2013 hingga 2032 yang akan dilakukan secara bertahap, jumlah populasi yang akan dilayani diasumsikan 80% dari jumlah penduduk terlayani air bersih. Kebutuhan air total sudah dikurangi pasokan air dari waduk DSF 125 milik PT. Chevron Pasifik Indonesia (CPI) sebesar 80 liter/detik. Berikut ini adalah hasil proyeksi kebutuhan air bersih berdasarkan peningkatan jumlah penduduk menggunakan metode *least square* di tahun 2013-2032 yang terlihat pada tabel 4 di bawah ini:

Tabel 4. Proyeksi Kebutuhan Air Bersih yang Akan Dilayani

No	Tahun	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Kebutuhan Air Domestik (L/hr)	Kebutuhan Air Domestik (L/dtk)	Kebutuhan Air Non-Domestik (L/hr)	Kebutuhan Air Non-Domestik (L/dtk)	Kebutuhan Air Total (L/dtk)	Kapasitas Supply Air ke IPA (L/dtk)	Persentase Pelayanan Kebutuhan Air (%)
1	2013	238.595	35.789.210	414	7.157.842	83	497	120	24
2	2017	261.436	39.215.364	454	7.843.073	91	545	160	29
3	2022	289.987	43.498.057	503	8.699.611	101	604	180	30
4	2027	318.538	47.780.750	553	9.556.150	111	664	230	35
5	2032	347.090	52.063.443	603	10.412.689	121	723	380	53

Sumber: Hasil analisa, 2014

Berdasarkan tabel 4 di atas, kebutuhan air bersih total Kecamatan Mandau dari sektor domestik dan non-domestik dalam rentang tahun 2013-2032 mengalami peningkatan. Pada tahun 2013 persentase pelayanan kebutuhan air sebesar 24% dan pada tahun 2032 persentase pelayanan kebutuhan air sebesar 53% dari kebutuhan air total terhadap kapasitas penyaluran air ke instalasi pengolahan air.

B. Rencana Simulasi Pipa Transmisi

Pada penelitian ini, rencana sistem pipa transmisi air baku terbagi atas 4

alternatif simulasi. Simulasi pipa transmisi menggunakan program EPANET 2.0. Pompa yang akan digunakan dalam penyaluran air termasuk dalam pompa dinamik, yaitu pompa sentrifugal. Pompa yang bekerja berjenis NKG/NBG Grundfos. Berdasarkan debit aliran yang telah ditentukan yaitu 40 liter/detik, 80 liter/detik, 100 liter/detik, 150 liter/detik dapat diketahui *head* yang akan bekerja. Penentuan besaran nilai *head* didapat dari grafik *performance range* dari Grundfos. Nilai *head* dan tipe pompa untuk masing-masing debit aliran yang digunakan dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 5. Nilai *Head* dan Tipe Pompa

No	Debit (liter/detik)	Tipe Pompa	Head (m)
1	40	125-80-400	50
2	80	150-125-400	63
3	100	150-125-500	53
4	150	200-150-500	70

Sumber: Hasil analisa, 2014

Gambar simulasi jaringan pipa transmisi dapat dilihat pada gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Jaringan pipa transmisi air baku

C. Rangkuman Hasil Simulasi Pipa Transmisi

Berdasarkan hasil dan pembahasan simulasi jaringan pipa transmisi yang telah dirancang, maka dapat

diringkaskan hasil simulasi yang sesuai dengan persyaratan hidrolis minimum seperti tekanan, kecepatan aliran, *head*, tekanan dan kehilangan tekanan yang dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 6. Hasil Simulasi Pipa Transmisi

No	Model Simulasi	Diameter (inchi)	Debit (l/dt)	Kecepatan (m/s)		Head (m)		Tekanan (m)	Kehilangan Tekanan (m/lkm)
				Pipa 1	Pipa 19	Node 1	Node 19		
1	Alternatif 1	8	39,36	0,63	0,15	65,95	56,09	53,85	2,21
			79,50	1,34	0,00	79,95	56,00	66,73	9,32
			99,61	1,52	0,14	66,47	55,94	53,47	11,50
			149,99	2,39	0,03	82,50	56,00	69,50	27,18
2	Alternatif 2	10	40,25	0,46	0,04	66,12	56,00	53,12	1,01
			80,20	0,97	0,22	81,43	56,02	68,43	3,92
			99,61	1,06	0,07	68,75	56,00	55,75	4,67
			150,20	1,74	0,27	87,62	56,02	74,62	11,68
3	Alternatif 3	12	40,81	0,40	0,14	66,15	56,01	53,15	0,62
			79,99	0,84	0,31	78,22	56,03	65,22	2,46
			100,08	0,78	0,20	69,56	56,01	56,55	2,13
			150,05	1,27	0,43	89,77	56,05	76,77	5,29
4	Alternatif 4	16	40,18	0,26	0,18	60,26	56,01	47,26	0,19
			79,58	0,24	0,12	55,99	53,92	41,14	0,05
			100,10	0,63	0,24	69,96	56,01	56,95	1,04
			149,80	0,89	0,63	90,97	56,01	77,97	1,96

Sumber: Hasil analisa,2014

Dari tabel 6 di atas, dapat disimpulkan alternatif 3 dengan debit 80 liter/detik, alternatif 3 dengan debit 150 liter/detik dan alternatif 4 dengan debit 150 liter/detik yang memenuhi persyaratan hidrolis minimum seperti tekanan, kecepatan aliran, *head*, tekanan dan kehilangan tekanan.

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari hasil penelitian tugas akhir dengan judul “Simulasi Pipa Transmisi dari Sumber Air Baku Sungai Jurong 2 ke PDAM Tirta Dharma Duri” didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Perhitungan proyeksi penduduk Kecamatan Mandau menggunakan metode least square dengan jumlah penduduk 20 tahun yang akan datang sebesar 347.090 jiwa.
2. Kebutuhan air bersih penduduk Kecamatan Mandau 20 tahun yang akan datang sebesar 783 liter/detik.
3. Pendistribusian air baku dari *intake* ke instalasi pengolahan air menggunakan pipa HDPE. Pipa yang digunakan diameter 8 inchi, 10 inchi, 12 inchi, 16 inchi memiliki panjang 26.455 meter, titik simpul pipa sebanyak 27 buah, 1 buah katup, 1 buah tangki IPA dan 4 buah pompa dengan satuan liter per detik.
4. Pompa yang digunakan adalah pompa NBG/NKG grundfos tipe 125-80-400, tipe 150-125-400, tipe 150-125-500, tipe 200-150-500.
5. Dari hasil simulasi diperoleh 2 alternatif yang bisa digunakan sebagai acuan untuk jaringan pipa transmisi air baku yaitu alternatif 3 dengan debit 80 liter/detik, alternatif 3 dengan debit 150

liter/detik dan alternatif 4 dengan debit 150 liter/detik.

B. Saran

Ada beberapa saran yang harus diperhatikan yaitu:

1. Untuk pengembangan yang lebih tepat, perlu diperhitungkan kondisi jaringan pipa *existing*.
2. Perencanaan ekonomi perlu dilakukan agar dapat menentukan kelayakan alternatif dari sisi ekonomi.
3. Perlu penelitian lanjutan untuk mengetahui sistem transmisi air baku yang juga meninjau tentang Instalasi Pengolahan Air (IPA).
4. Perlu penelitian lanjutan untuk mengetahui alternatif pelayanan distribusi air untuk memenuhi kebutuhan air di Kecamatan Mandau.

DAFTAR PUSTAKA

- Dharmasetiawan, Martin. 2004. Sistem Perpipaan Distribusi Air Minum. Jakarta: Ekamitra Engineering.
- Noviyanti. 2012. Laporan Tahunan PDAM Tirta Dharma Duri.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 18 tahun 2007. Penyelenggaraan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2005. Sumber Daya Air.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2011. Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- Triatmodjo, Bambang. 2008. Hidrologi Terapan. Yogyakarta : Beta Offset.