

3. PEMODELAN SISTEM

3.1. Kondisi Daerah Studi

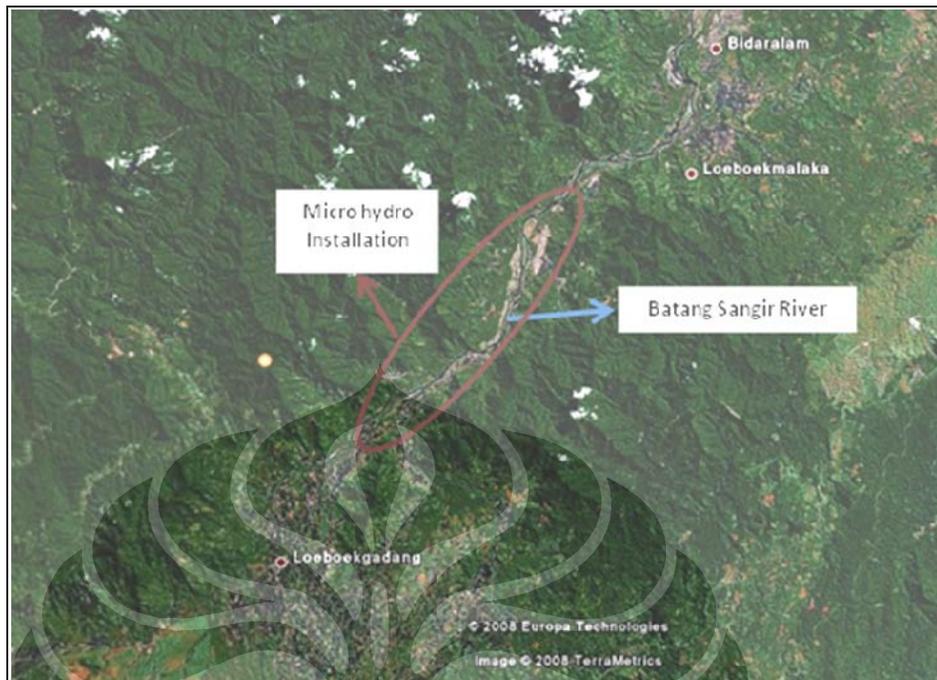
Kabupaten Solok Selatan terletak di bagian selatan Propinsi Sumatera Barat pada posisi 0°43" – 1°43" Lintang Selatan 101°01" – 101°30" Bujur Timur dengan luas wilayah 3.346,20 km². Rencana PLTM Lubuk Gadang terletak di Kecamatan Sangir, Kabupaten Solok Selatan, Sumatera Barat. Di rencana lokasi studi ini mengalir Batang Sangir yang berpotensi untuk dijadikan sumber pembangkit listrik tenaga air skala kecil (PLTM). Kondisi DAS (Daerah Aliran Sungai) berupa hutan yang sudah diolah oleh penduduk menjadi lahan pertanian dan perkebunan kayu manis, sungai ini memberikan debit aliran dan *head* yang cukup tinggi.

Data yang diperoleh pada saat survey di lokasi potensi tersebut adalah sebagai berikut :

- a. Nama sungai : Batang Sangir
- b. Desa : Teluak Aia Putih
- c. Kecamatan : Sangir
- d. Kabupaten : Solok Selatan
- e. Propinsi : Sumatera Barat
- f. PLN Ranting : Muara Labuh

Tampak atas lokasi pembangunan PLTM Lubuk Gadang dapat dilihat pada peta berikut :

Gambar 3.1 Lokasi instalasi PLTM Lubuk Gadang



Sumber : Google Earth

Dari data Badan Meteorologi & Geofisika Batang Sangir-Sampu, diperoleh data debit Sungai Batang Sangir dari tahun 1989-2005. Jika dirisumekan, rata-rata debit sungai dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 3.1 Data debit rata-rata per bulan Sungai Batang Sangir

Luas DAS = 633,9 KM²
(Dalam m³/s)

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1989	39.39	24.07	26.59	26.73	23.10	15.34	10.71	9.93	17.33	30.64	31.07	50.51
1990	31.07	38.68	26.38	26.30	24.82	17.35	24.34	24.31	20.10	28.27	30.21	56.96
1991	31.66	26.66	33.02	30.74	23.02	17.34	9.86	10.25	12.10	8.92	21.87	39.11
1992	63.72	27.88	32.90	29.04	33.86	25.17	14.84	14.15	17.31	27.09	32.83	48.45
1993	51.46	42.72	29.42	31.27	42.71	29.32	28.26	20.82	21.98	33.22	37.98	43.43
1994	32.54	26.85	20.59	29.63	30.84	29.59	18.34	14.67	10.70	7.89	21.63	21.03
1995	23.54	33.65	24.55	36.19	29.42	18.14	15.85	14.38	17.14	32.52	44.57	29.33
1996	26.66	44.42	34.06	28.81	22.98	23.06	21.51	16.83	30.28	45.21	22.79	19.43
1997	21.34	16.00	20.43	26.85	15.30	12.72	12.92	9.68	9.15	8.58	12.86	23.77
1998	0.28	0.00	0.45	4.55	5.99	8.06	2.21	6.57	4.71	5.93	5.38	4.69
1999	22.33	20.76	19.07	11.93	19.03	12.65	15.75	10.95	12.94	23.52	23.75	24.21
2000	4.88	6.95	5.55	3.98	4.57	7.77	6.39	9.43	7.92	3.85	4.31	2.56
2001	23.11	17.77	26.21	17.19	31.77	28.35	26.10	28.16	32.47	30.06	31.98	40.30
2002	47.92	34.80	39.41	36.91	29.79	25.15	28.32	25.73	30.65	55.91	77.06	58.18
2003	41.67	33.08	27.36	34.28	19.33	19.72	21.63	13.95	16.72	24.03	30.98	42.92
2004	37.11	28.13	23.00	12.44	16.47	16.45	12.22	10.65	11.86	12.38	12.62	16.75
2005	21.56	18.80	47.49	24.48	15.80	22.09	14.26	19.95	23.34	35.19	43.73	29.66

Sumber : Laporan Dinas Kimpraswil Kabupaten Solok. (1989 – 2005).

3.1.1. Analisis *Flow Duration Curve* (FDC)

Analisis FDC adalah sebuah teknik plot yang menunjukkan hubungan antara nilai dari sebuah besaran dengan frekuensi terjadinya. Dalam kasus ini, FDC menunjukkan persentasi frekuensi dari debit air yang melalui Sungai Batang Sangir. Kurva FDC penting sebagai faktor yang akan dimasukkan dalam simulasi dengan Powersim Studio.

Teknik membuat kurva FDC dapat dijelaskan secara urut sebagai berikut :

- a. Urutkan n data rata-rata debit air Sungai Batang Sangir selama periode waktu tertentu mulai dari nilai tertinggi hingga terendah.
- b. Tetapkan m nomor rangking yang unik, dimulai dari angka 1 untuk debit terbesar hingga angka m untuk data n .
- c. Probabilitas dari debit air untuk setiap persentasi waktu dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$P = 100 \times \left[\frac{M}{(n+1)} \right] \dots\dots\dots(3.1)$$

P = probabilitas dari debit air

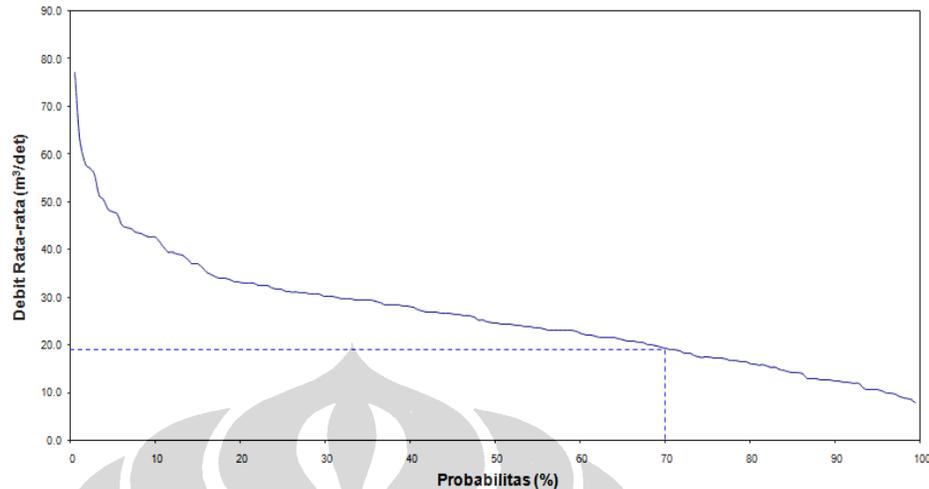
M = posisi rangking dari data debit

n = total data

Informasi penting yang diberikan oleh FDC adalah debit aliran yang melewati lokasi tertentu dan dalam rentang waktu tertentu akan bermanfaat untuk merancang struktur PLTM yang dibutuhkan. Sebagai contoh, struktur dapat dirancang untuk beroperasi dengan optimal pada rentang debit tertentu, misalnya antara 20 – 80% frekuensi waktu.

Analisis FDC dari data pada debit rata-rata Sungai Batang Sangir penulis jelaskan secara detil pada lampiran A, dan jika kita konversi dalam bentuk grafik, akan terlihat pada gambar di bawah :

Gambar 3.2 Profil FDC Sungai Batang Sangir



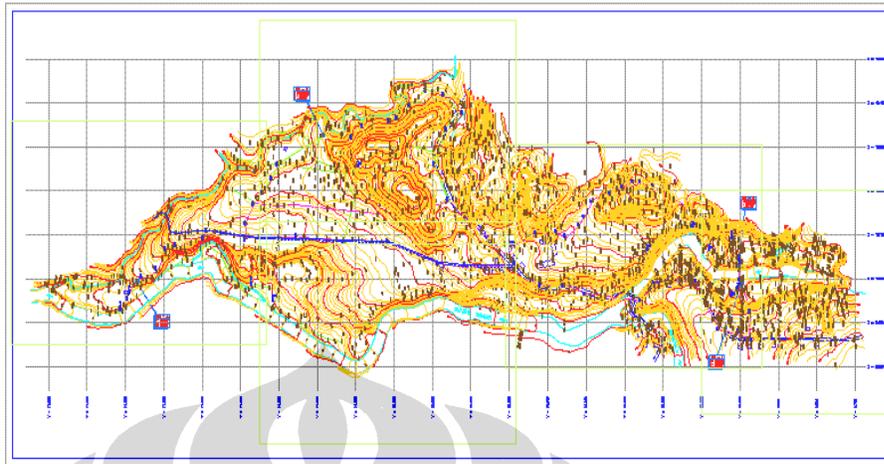
3.1.2. Kondisi Topografi Daerah Lubuk Gadang

Observasi kondisi topografi diperlukan untuk mengenali kondisi permukaan dari lokasi pembangunan PLTM. Dengan hasil observasi ini, kita dapat mengidentifikasi kebutuhan dan estimasi biaya untuk konstruksi PLTM, melakukan tindakan preventif terhadap kesalahan/musibah yang mungkin terjadi di masa depan, dan mendesain PLTM secara optimal agar bisa memberikan benefit optimal bagi *stakeholders*.

Hasil observasi dari proses adalah peta topografi. Peta ini menunjukkan elevasi dari permukaan tanah di setiap titik. Seperti dilihat pada gambar 15 di bawah, garis-garis kuning adalah garis kontur yang menghubungkan titik-titik dengan permukaan elevasi yang sama.

Dari peta topografi skala 1:1000 di atas yang diperbesar, terlihat bahwa Sungai Batang Sangir dari hulu ke hilir dimulai dari arah selatan terus mengalir ke utara. Di lokasi yang menjadi area instalasi PLTM, tidak ditemukan terjunan. Hanya terdapat anak sungai yang bermuara di Sungai Batang Sangir. Anak Sungai tersebut adalah Sungai Teluk Air Putih. Di sebelah kanan Sungai Batang Sangir ditentukan lahan lokasi yang cukup datar untuk rencana Gedung Sentral/*Power House* kurang lebih pada elevasi ± 550 m.

Gambar 3.3 Peta topografi daerah Lubuk Gadang



Dari analisa terhadap peta topografi yang penulis lakukan, ada tiga alternatif *scheme* yang dapat diimplementasikan dalam pembangunan PLTM, yaitu :

- a. Alternatif 1 direncanakan dengan elevasi dasar bendung ± 595 m, dengan tinggi bendung 3 m, maka tinggi mercu berada pada elevasi ± 598 m. Saluran penghantar direncanakan sepanjang ± 1320 m, dengan pipa pesat sepanjang ± 675 m. Alternatif ini memiliki tinggi jatuh sebesar 43 m.
- b. Alternatif 2 direncanakan dengan elevasi dasar bendung ± 591 m dengan tinggi bendung direncanakan 3 m di atas elevasi muka tanah sekitar, sehingga puncak mercu berada pada elevasi ± 594 m. Saluran penghantar direncanakan sepanjang ± 1000 m, dengan pipa pesat sepanjang ± 565 m. Alternatif ini memiliki tinggi jatuh sebesar 33m. Sebagai catatan, di lokasi ini kedalaman air sungai sangat dalam.
- c. Alternatif 3 direncanakan dengan elevasi dasar bendung ± 595 m dengan tinggi bendung direncanakan 3 m, sehingga puncak mercu berada pada elevasi ± 598 m. Saluran penghantar direncanakan sepanjang ± 1320 m, dengan pipa pesat sepanjang ± 555 m. Alternatif ini memiliki tinggi jatuh sebesar 48 m.

Dari ketiga alternatif ini akan dianalisis untuk menentukan alternatif mana yang akan dipilih dengan parameter utama adalah biaya pembangkitan/kwh yang paling rendah.

3.2. Pemodelan Sistem

Pemodelan sistem PLTM terdiri atas tiga submodel yang saling terkait, yaitu submodel pembangkit, submodel biaya, dan submodel finansial. Faktor-faktor utama yang mempengaruhi ketiga submodel ini akan dijadikan variabel dan dibuat relasinya. Dengan analisis menggunakan simulasi akan terlihat perubahan nilai dari setiap variabel untuk debit air yang berbeda, sehingga nilai optimum dari setiap variabel ini dapat kita tentukan.

3.2.1. Submodel Pembangkit

Output yang ingin dilihat dari submodel ini adalah daya listrik yang bisa dihasilkan oleh generator. Perhitungan daya listrik untuk PLTM mengikuti persamaan :

$$P = \frac{\rho \times g \times h_{ef} \times Q \times \eta_T \times \eta_G}{1000} \text{ kW} \dots\dots\dots(3.2)$$

Dimana :

ρ = Massa jenis air = 1000 kg/m³

g = Percepatan gravitasi = 9,8 m/s²

h_{ef} = Tinggi jatuh efektif

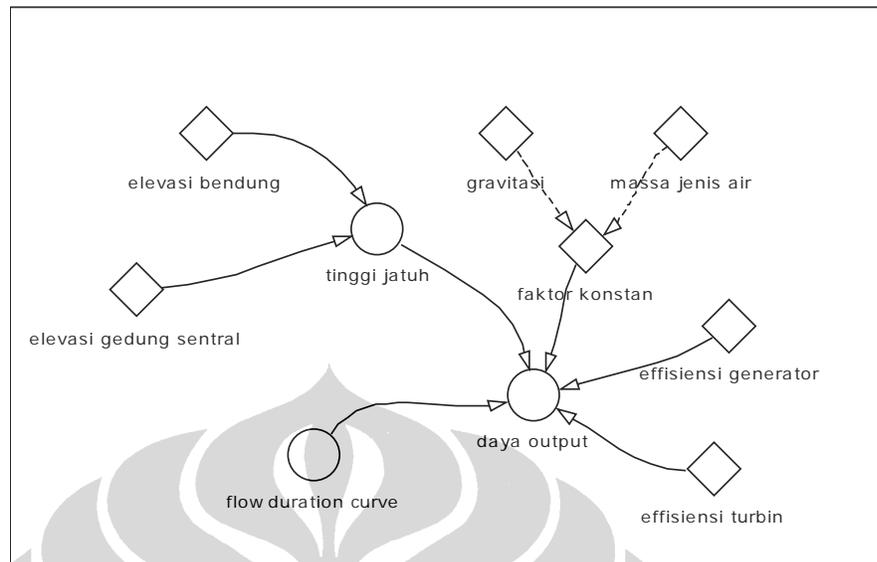
Q = Debit air

η_T = Efisiensi turbin

η_G = Efisiensi generator

Submodel pembangkit dengan menggunakan Powersim Studio dapat dilihat pada gambar di bawah :

Gambar 3.4 Submodel pembangkit



3.2.2. Submodel Biaya

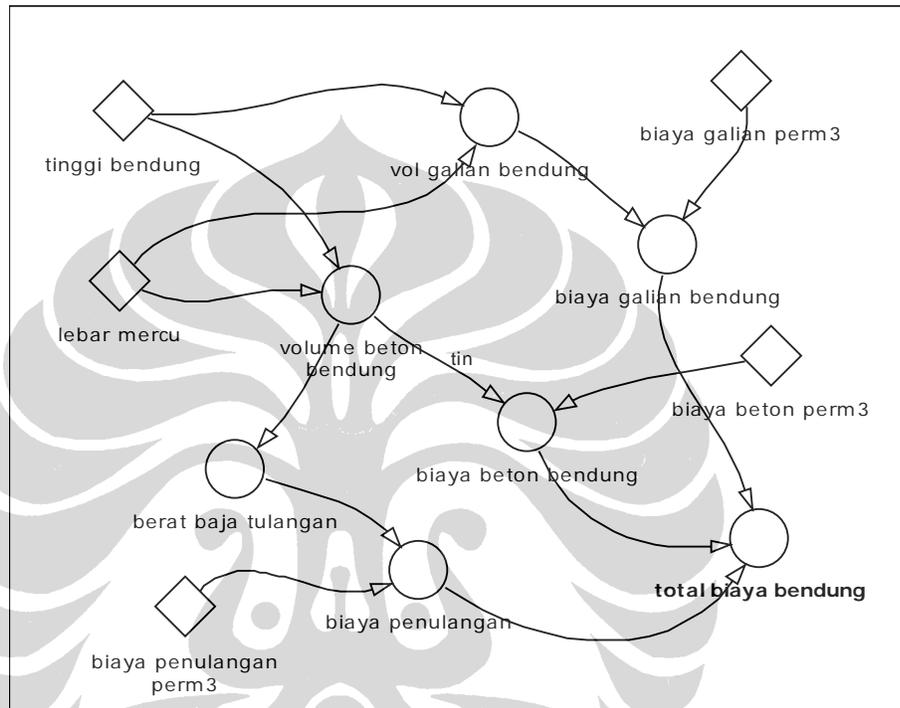
Submodel ini terdiri atas biaya konstruksi dan elektrikal yang diperlukan dalam pembangunan PLTM. Untuk biaya konstruksi terdiri atas biaya-biaya :

- a. Pekerjaan persiapan, terdiri atas
 - Jalan proyek
 - Fasilitas konstruksi
- b. Pekerjaan sipil, terdiri atas
 - Bendung
 - Bangunan pengambilan
 - Kolam pengendap pasir
 - Saluran pembawa
 - Bak penenang
 - Pipa pesat
 - Saluran pelimpah
 - Gedung sentral
 - Saluran pembuang
- c. Mekanikal-Elektrikal
- d. Pekerjaan (pintu) metal
- e. Jaringan 20 kV (26km)

- f. Pembebasan tanah
- g. *Overheads & Engineering*

Pemodelan untuk submodel biaya dijelaskan dengan gambar-gambar di bawah :

Gambar 3.5 Submodel bendung



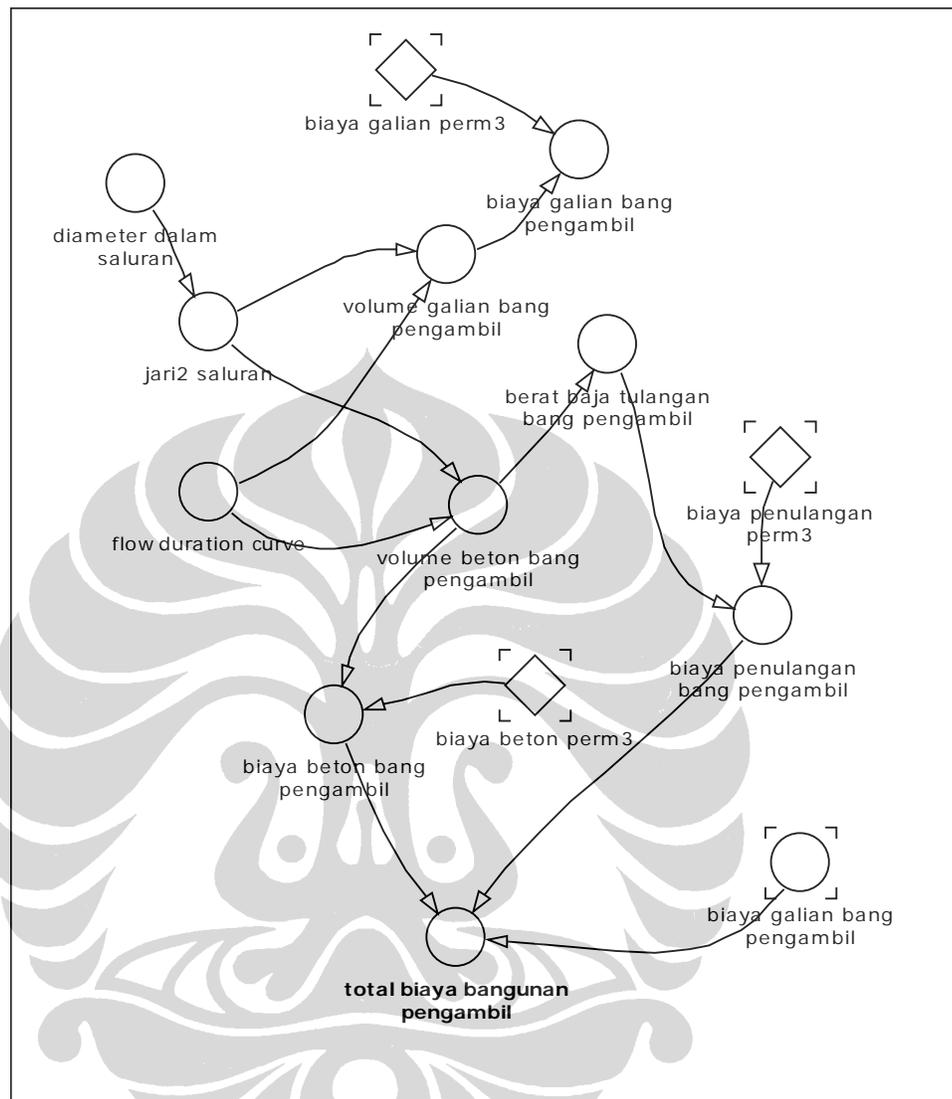
Persamaan yang digunakan dalam pemodelan biaya bendung ini adalah :

$$\begin{aligned}
 V_e &= 8,69 x (H_d x L)^{1,14} \\
 V_c &= 16,1 x (H_d^2 x L)^{0,695} \dots\dots\dots(3.3) \\
 W_r &= 0,0274 x V_c^{0,63}
 \end{aligned}$$

Dimana :

- V_e = Volume galian (m^3)
- V_c = Volume beton (m^3)
- W_r = Berat baja tulangan (ton)
- H_d = Tinggi bendung (m)
- L = Lebar mercu (m)

Gambar 3.6 Submodel bangunan pengambil



Persamaan yang digunakan dalam pemodelan bangunan pengambil air adalah :

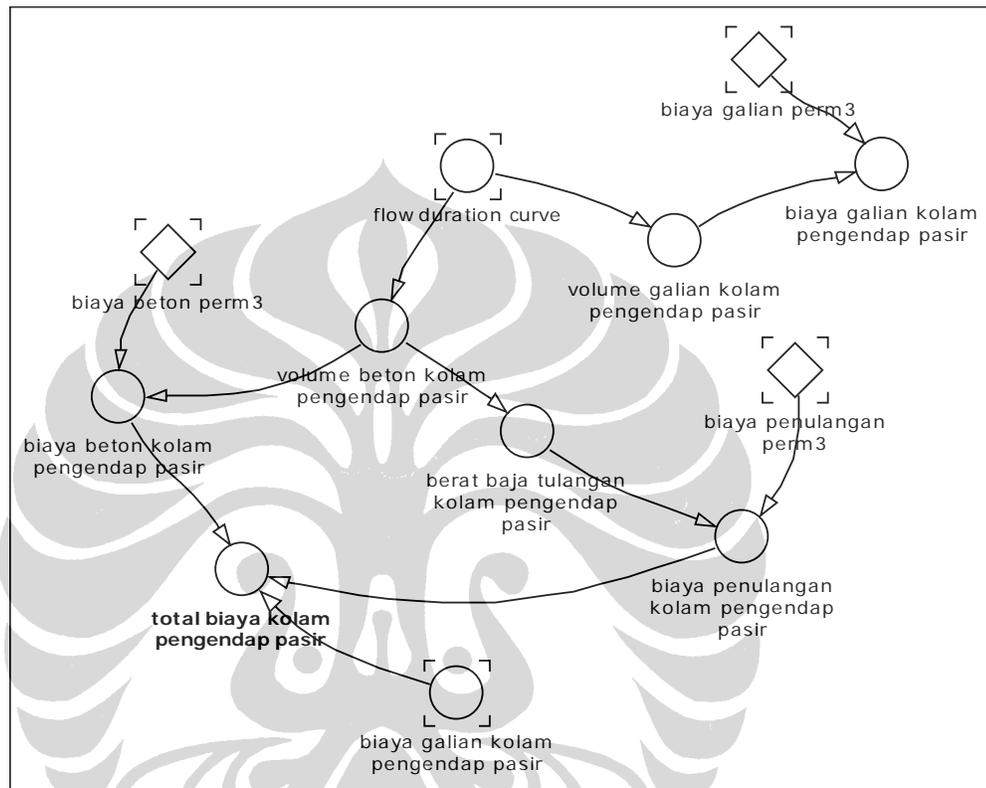
$$\begin{aligned}
 V_e &= 171x(RxQ)^{0,666} \\
 V_c &= 147x(RxQ)^{0,47} \dots\dots\dots(3.4) \\
 W_r &= 0,0145xV_c
 \end{aligned}$$

Dimana :

- V_e = Volume galian (m^3)
- V_c = Volume beton (m^3)
- W_r = Berat baja tulangan (ton)

- D = Diameter dalam saluran (m)
 R = Jari-jari saluran = D/2 (m)
 Q = Debit (m³/s)

Gambar 3.7 Submodel kolam pengendap pasir



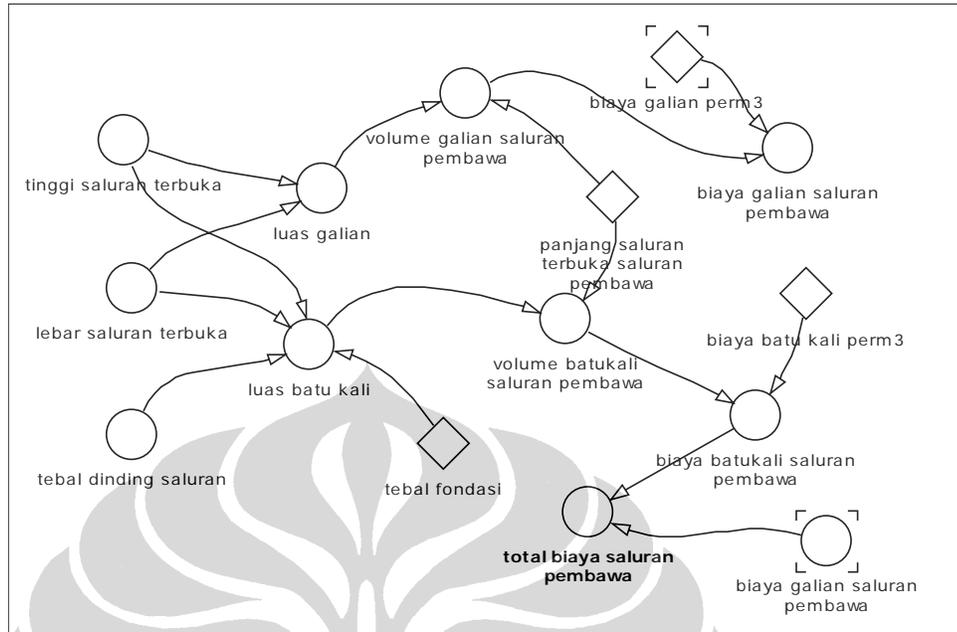
Persamaan yang digunakan dalam pemodelan kolam pengendap pasir adalah :

$$\begin{aligned}
 V_e &= 515 \times Q^{1.07} \\
 V_c &= 169 \times Q^{0.936} \\
 W_r &= 0,12 \times V_c^{0.847}
 \end{aligned}
 \dots\dots\dots(3.5)$$

Dimana :

- V_e = Volume galian (m³)
 V_c = Volume beton (m³)
 W_r = Berat baja tulangan (ton)
 Q = Debit (m³/s)

Gambar 3.8 Submodel saluran pembawa



Persamaan yang digunakan dalam pemodelan saluran pembawa adalah :

$$\sqrt{BH} = 1,09 x Q^{0,379}$$

$$V_e = A_{galian} \times L$$

$$V_{bk} = A_{batukali} \times L$$

$$A_{galian} = (H \times B) + 2 \left(\frac{1}{2} \times H \times B \right)$$

$$A_{batukali} = 2(t_1 \times (H - t_1)) + 2 \left(\frac{1}{2} \times t_1 \times t_1 \right) + (t_2 \times B) + (t_3 \times B)$$

.....(3.6)

Dimana :

V_e = Volume galian (m^3)

V_{bk} = Volume batukali (m^3)

Q = Debit (m^3/s)

L = Panjang saluran terbuka (m)

B = Lebar saluran terbuka (m)

H = Tinggi saluran terbuka (m)

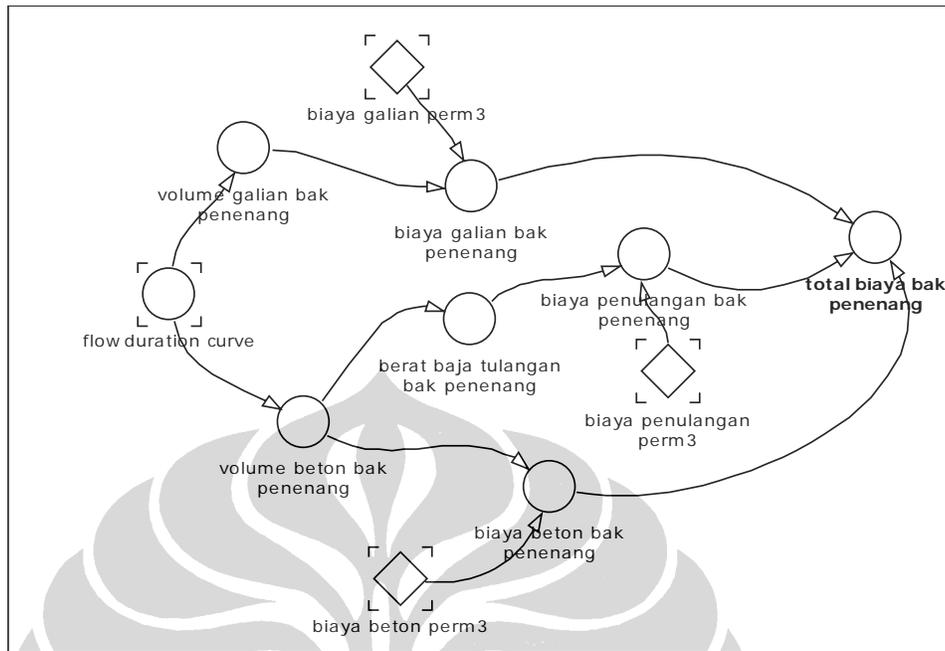
t = Tebal batu kali (m)

t_1 = Tebal dinding saluran (m)

t_2 = Tebal lantai muka (m)

t_3 = Tebal fondasi (m)

Gambar 3.9 Submodel bak penenang



Persamaan yang digunakan dalam pemodelan bak penenang adalah :

$$V_e = 808 \times Q^{0,697}$$

$$V_c = 197 \times Q^{0,716} \dots \dots \dots (3.7)$$

$$W_r = 0,051 \times V_c$$

Dimana :

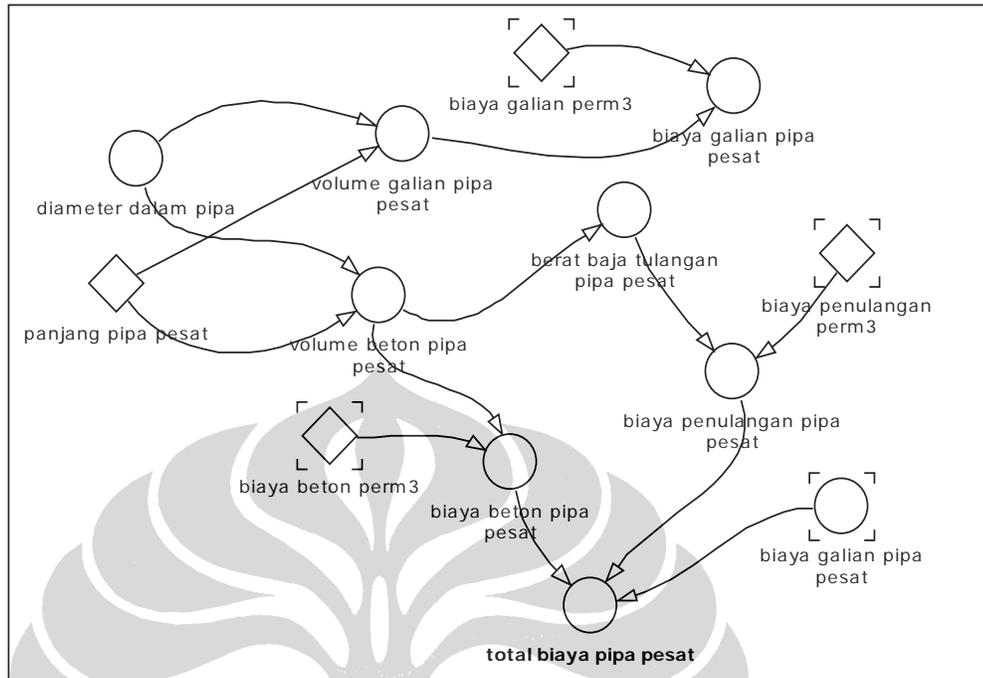
V_e = Volume galian (m^3)

V_c = Volume beton (m^3)

W_r = Berat baja tulangan (ton)

Q = Debit (m^3/s)

Gambar 3.10 Submodel pipa pesat



Persamaan yang digunakan dalam pemodelan pipa pesat adalah :

$$V_e = 10,9 \times Dm^{1,33} \times L$$

$$V_c = 2,14 \times Dm^{1,68} \times L \dots \dots \dots (3.8)$$

$$W_r = 0,018 \times V_c$$

Dimana :

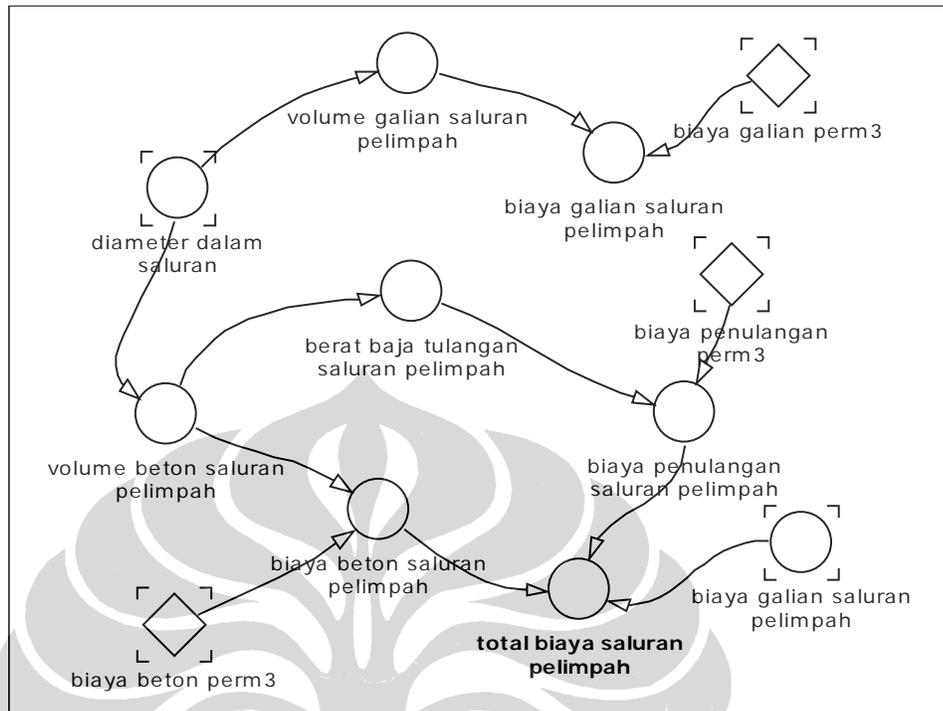
V_e = Volume galian (m^3)

V_c = Volume beton (m^3)

W_r = Berat baja tulangan (ton)

Dm = Diameter dalam pipa (m)

Gambar 3.11 Submodel saluran pelimpah



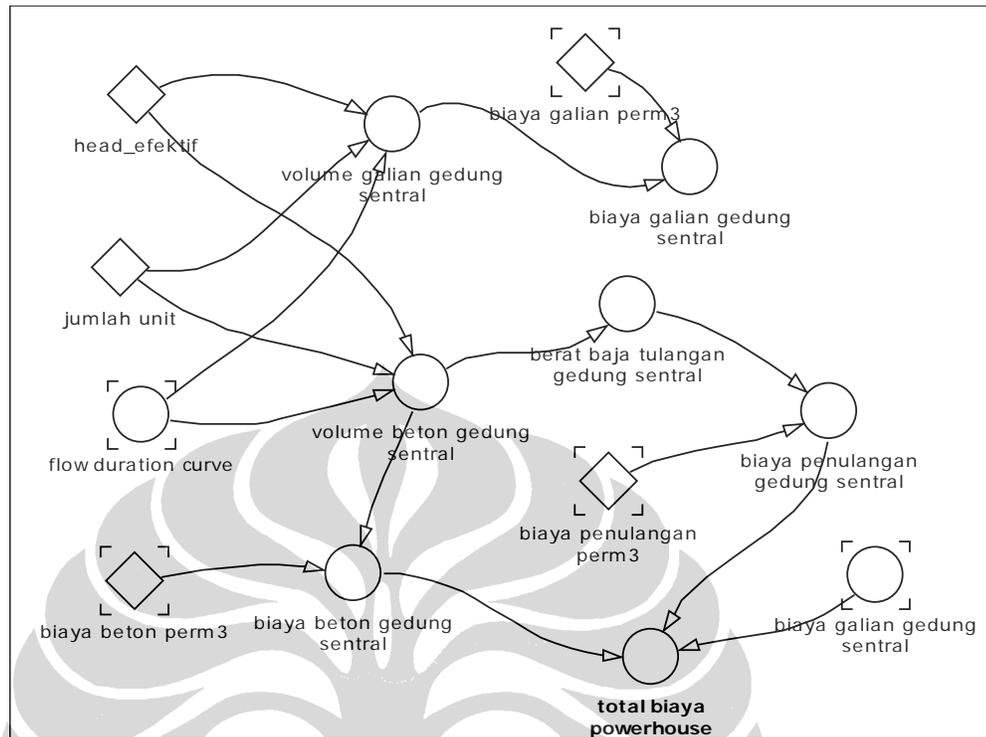
Persamaan yang digunakan dalam saluran pelimpah adalah :

$$\begin{aligned}
 V_e &= 9,87 \times D^{1,69} \\
 V_c &= 2,78 \times D^{1,70} \\
 W_r &= 0,029 \times V_c
 \end{aligned}
 \tag{3.9}$$

Dimana :

- V_e = Volume galian (m^3)
- V_c = Volume beton (m^3)
- W_r = Berat baja tulangan (ton)
- D = Diameter dalam saluran pelimpah (m)

Gambar 3.12 Submodel gedung sentral



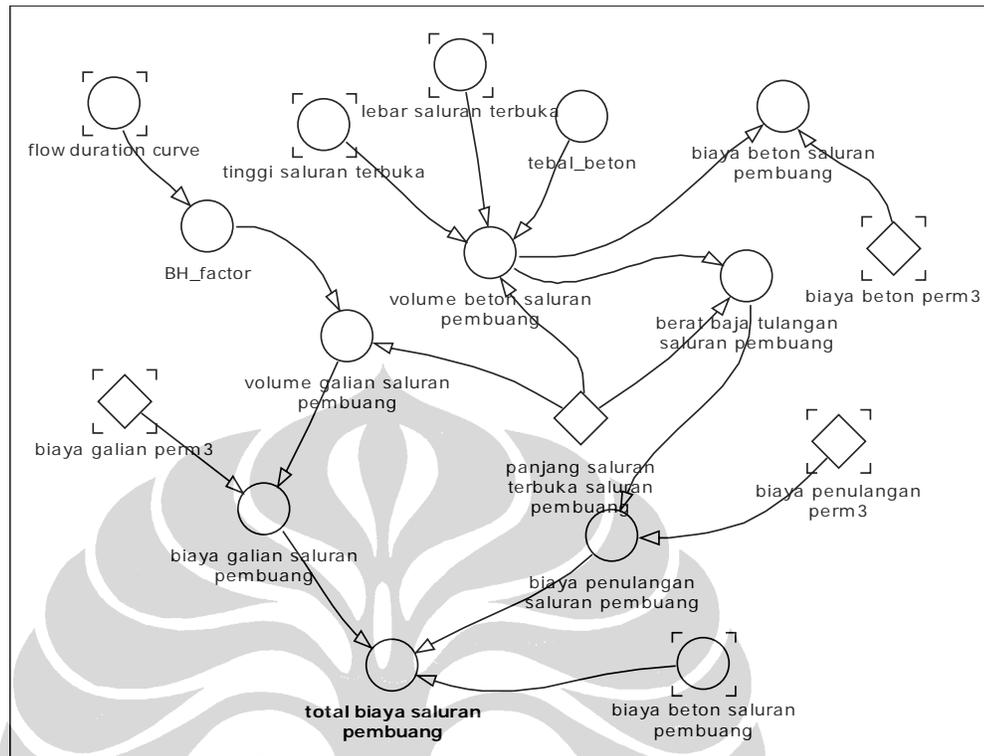
Persamaan yang digunakan dalam gedung sentral adalah :

$$\begin{aligned}
 V_e &= 97,8x(QxH_e^{2/3}xn^{1/2})^{0,727} \\
 V_c &= 28,1x(QxH_e^{2/3}xn^{1/2})^{0,795} \dots\dots\dots(3.10) \\
 W_r &= 0,046xV_c^{1,05}
 \end{aligned}$$

Dimana :

- V_e = Volume galian (m^3)
- V_c = Volume beton (m^3)
- W_r = Berat baja tulangan (ton)
- Q = Debit (m^3/s)
- H_e = Head efektif (m)
- n = Jumlah komponen

Gambar 3.13 Submodel saluran pembuang



Persamaan yang digunakan dalam gedung sentral adalah :

$$\sqrt{BH} = 1,09 \times Q^{0,379}$$

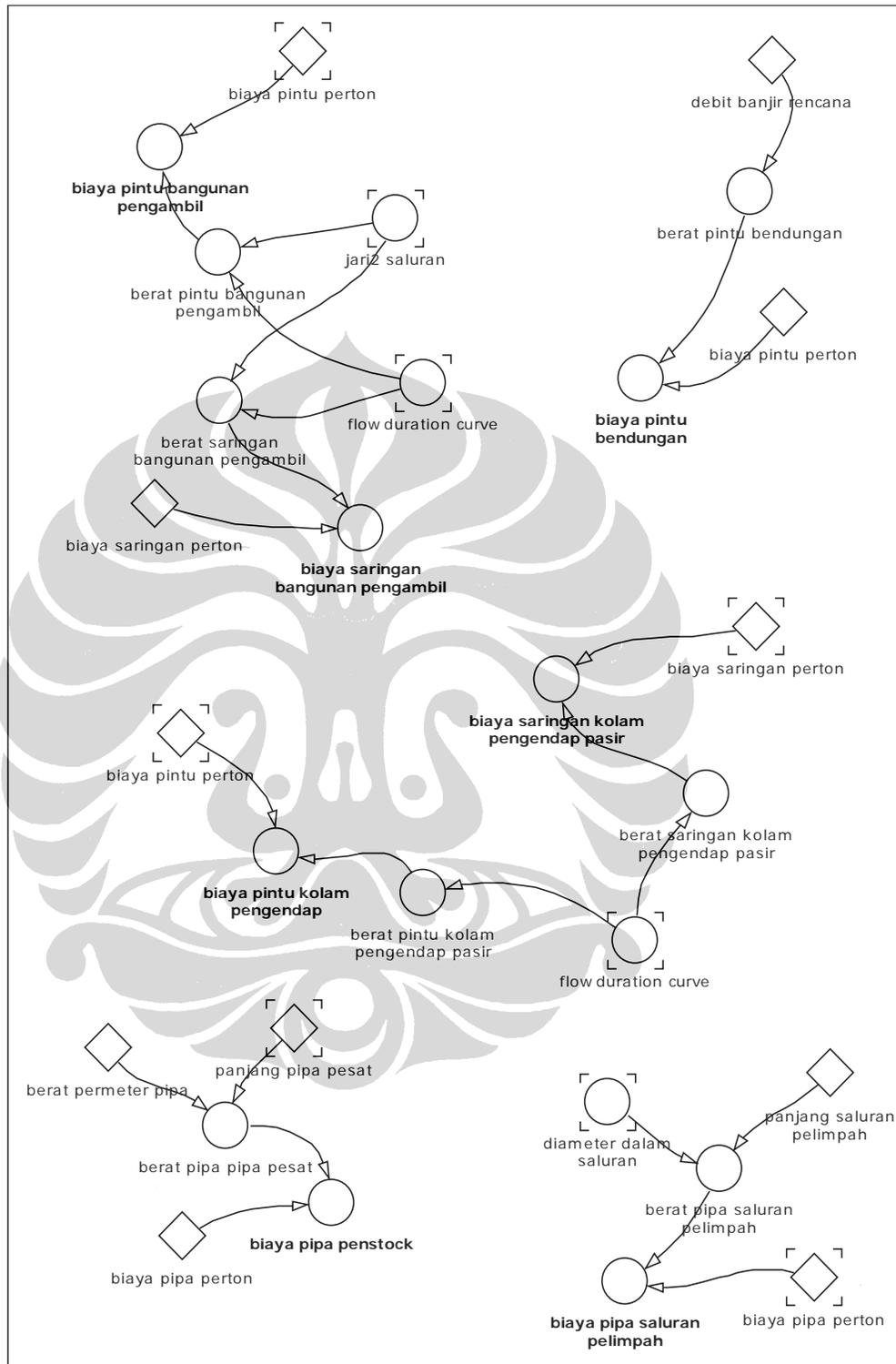
$$V_e = 6,22 \times (BH)^{1,04/2} \times L \dots\dots\dots(3.11)$$

$$W_r = 0,577 \times \left(\frac{V_c}{L} \right)^{0,888} \times L$$

Dimana :

- V_e = Volume galian (m^3)
- V_c = Volume beton (m^3)
- W_r = Berat baja tulangan (ton)
- Q = Debit (m^3/s)
- L = Panjang saluran terbuka (m)
- H = Tinggi saluran terbuka
- t = Tebal beton (m)

Gambar 3.14 Submodel pintu, pipa & saringan



Persamaan yang digunakan dalam pembuatan pintu, pipa & saringan adalah adalah :

a. Pintu pengambil bendung

$$W_g = 0,145 x Q_f^{0,692} \dots\dots\dots(3.12)$$

Dimana : W_g = Berat pintu (ton)

Q_f = Debit banjir rencana = 269,42 m³/s

b. Pintu & saringan bangunan pengambilan

$$W_g = 1,27 x (R x Q)^{0,533} \dots\dots\dots(3.13)$$

$$W_s = 0,701 x (R x Q)^{0,582}$$

Dimana : W_g = Berat pintu (ton)

W_s = Berat saringan (ton)

R = Jari-jari saluran (m)

Q = Debit (m³/s)

c. Pintu & saringan kolam pengendap pasir

$$W_g = 0,910 x Q^{0,613} \dots\dots\dots(3.13)$$

$$W_s = 0,879 x Q^{0,785}$$

Dimana : W_g = Berat pintu (ton)

W_s = Berat saringan (ton)

Q = Debit (m³/s)

d. Pipa pesat

$$W_p = W_p' x L \dots\dots\dots(3.13)$$

Dimana : W_p = Berat pipa (ton)

W_p' = Berat pipa per meter = 2 ton

L = Panjang pipa pesat

e. Saluran pelimpah

$$W_p = 0,165 x D^{1,25} x L \dots\dots\dots(3.14)$$

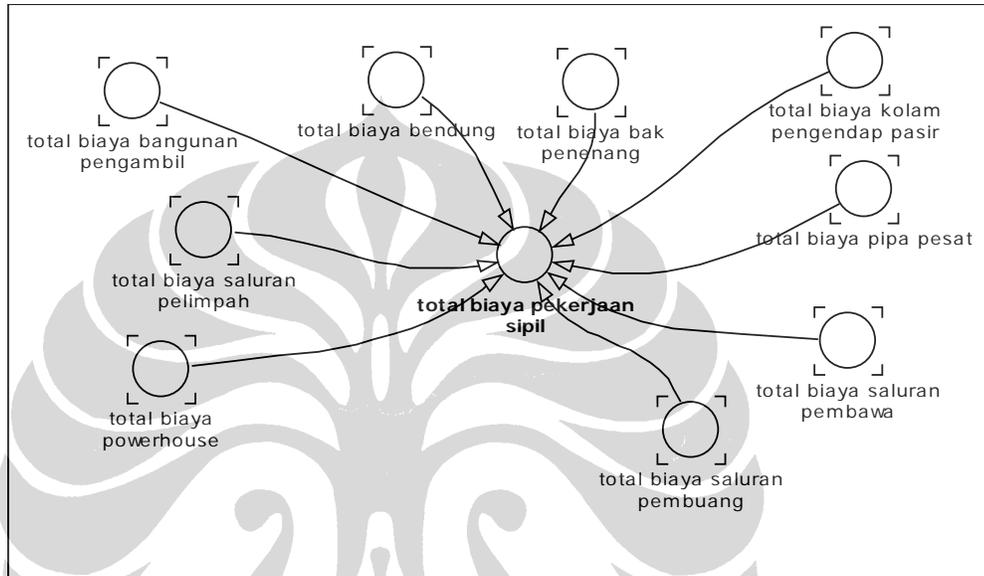
Dimana : W_p = Berat saluran (ton)

D = Diameter dalam saluran (m)

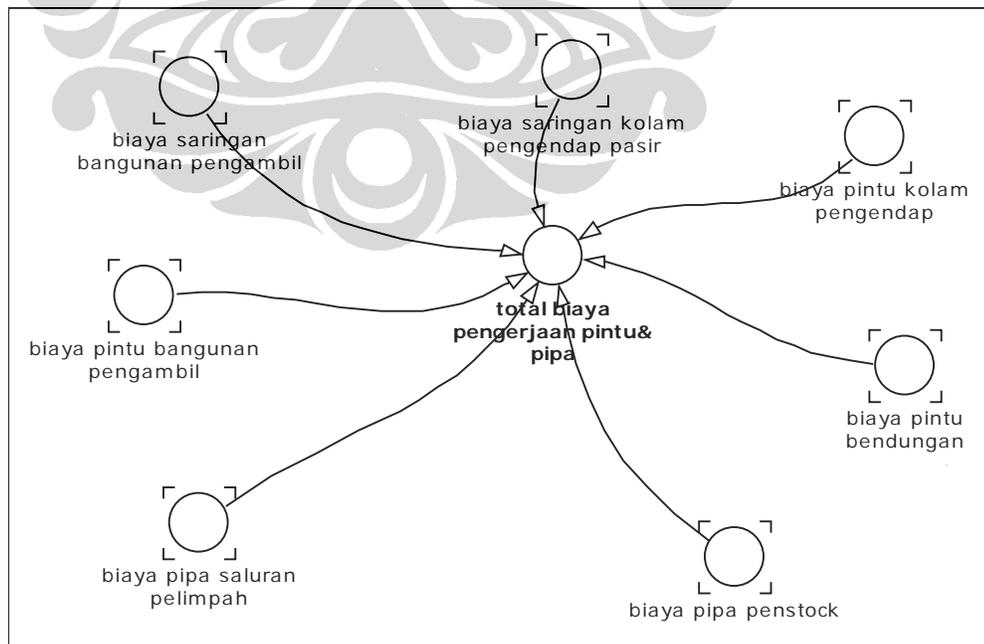
L = Panjang saluran pelimpah (m)

Dari pemodelan di atas, maka dapat kite resumekan bahwa total biaya pembangunan sipil sipil dan total biaya pembangunan pintu, pipa & saringan adalah penjumlahan dari setiap biaya elemen-elemen penyusunnya. Dalam bentuk model dapat dilihat sbb :

Gambar 3.15 Submodel total biaya pekerjaan sipil

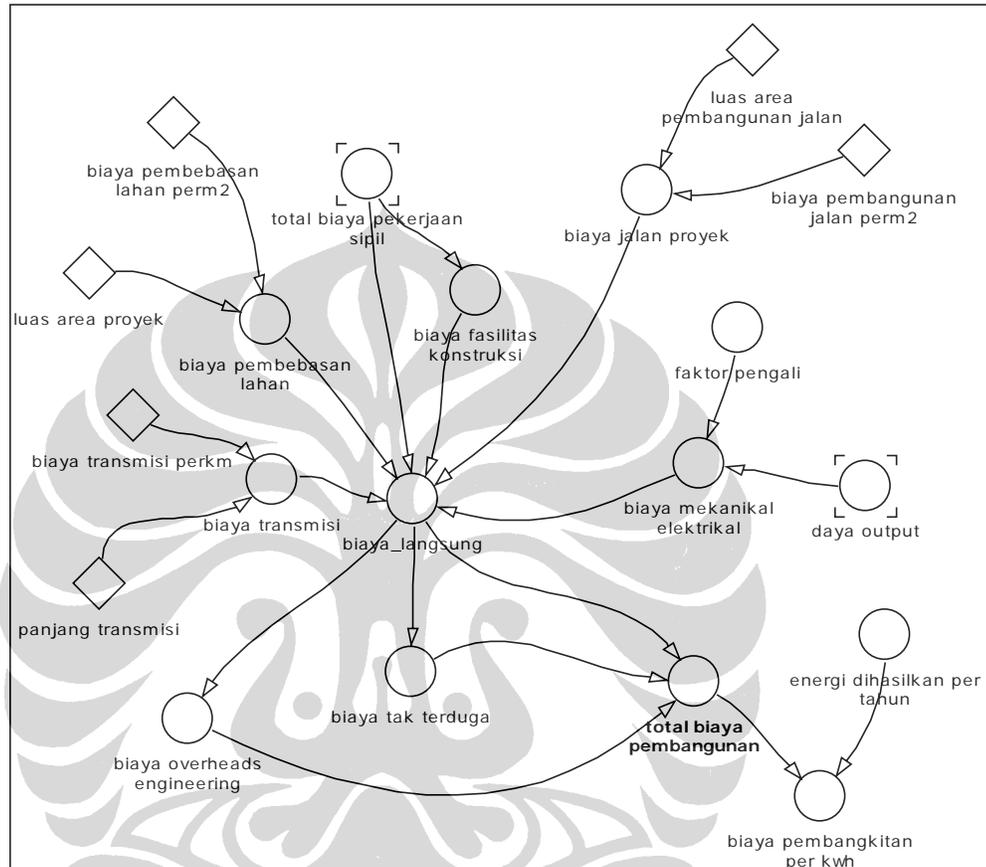


Gambar 3.16 Submodel total biaya pekerjaan pintu, pipa & saringan



Total biaya keseluruhan pembangunan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro dapat dimodelkan sebagai berikut :

Gambar 3.17 Total biaya pembangunan PLTM Lubuk Gadang



Persamaan yang dipakai dalam submodel total biaya pembangunan PLTM :

$$\begin{aligned} \text{Biaya langsung} = & \text{Biaya transmisi} + \text{Biaya pembebasan lahan} + \text{Biaya} \\ & \text{mekanikal elektrik} + \text{Biaya fasilitas konstruksi} + \\ & \text{Biaya pekerjaan sipil} + \text{Biaya jalan proyek} \end{aligned}$$

$$\text{Biaya pembebasan lahan} = \text{Biaya pembebasan perm}^2 \times \text{Luas area proyek.}$$

$$\text{Biaya transmisi} = \text{Biaya transmisi perkm} \times \text{Panjang transmisi}$$

$$\text{Biaya jalan proyek} = \text{Biaya pembangunan jalan perm}^2 \times \text{Luas area jalan}$$

$$\text{Biaya fasilitas konstruksi} = \text{Total biaya pekerjaan sipil} \times 0,05$$

$$\text{Biaya mekanikal elektrik} = \text{Biaya mekanikal elektrik/kW} \times \text{Daya output}$$

*Total biaya pembangunan = Biaya overheads engineering + Biaya langsung +
Biaya tak terduga*

Biaya overheads engineering = Biaya langsung x 0,015

Biaya tak terduga = Biaya langsung x 0,1.....(3.15)

