

ANALISIS BIAYA PENGEMBANGAN JARINGAN TRANSMISI UPT JEMBER UNTUK MENGANTISIPASI PERTUMBUHAN BEBAN

Azmi Saleh¹

¹ Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

Masuk: 22 Oktober 2010, revisi masuk : 4 Desember 2010, diterima: 19 Januari 2011

ABSTRACT

Transmission line needs to make expansion planning to anticipate the load growing every year to avoid over load or bad voltage profile (out the voltage tolerance above 0,95 pu - 1,05 pu from base voltage). The analysis of expansion planning is use simulation with PSAT software with assume load growing 10 % every years from preview year. If the line current in transmission has over load, the expansion planning that have to do is adding the line capacity or replacing line cable type. If the voltage profile has badly, the expansion planning that have to do is adding the STATCOM to bus that have problem. The result of analysis the expansion planning of transmission line in UPT Jember for duration 10 years are expansion planning of transmission line in fourth, fifth, eight and tenth years. In ten years also need to adding the STATCOM in Tanggul substation. The estimation of total infestations to cover load growing during 10 years is \$3.458.018.86.

Key word : expansion planning, load flow analysis, over load, bus voltage profile

INTISARI

Jaringan transmisi perlu dikembangkan dalam mengantisipasi pertumbuhan beban setiap tahunnya agar tidak terjadi *over load* atau profil tegangan bus yang jelek (berada di luar batas toleransi tegangan sebesar 0,95 pu -1,05 pu dari tegangan dasar) pada jaringan transmisi. Analisis pengembangan dilakukan dengan simulasi studi aliran daya menggunakan program PSAT dengan asumsi ada penambahan beban sebesar 10% dari beban tahun sebelumnya. Jika terjadi *over load* pada jaringan transmisi dilakukan pengembangan jaringan transmisi dengan menambah kapasitas *line* atau mengganti jenis kabel *line*. Jika profil tegangan bus jelek dilakukan penambahan STATCOM pada bus yang bermasalah. Hasil analisis pengembangan jaringan transmisi UPT Jember untuk jangka waktu 10 tahun diperoleh pengembangan jaringan transmisi pada tahun keempat, kelima, kedelapan dan kesepuluh. Sedangkan pada tahun kesepuluh perlu penambahan STATCOM pada GI Tanggul. Estimasi biaya perencanaan pembangunan agar sistem jaringan transmisi mampu melayani pertumbuhan beban selama 10 tahun memerlukan biaya total \$3.458.018.86.

Kata kunci : pengembangan jaringan, studi aliran daya, *over load*, profil tegangan

PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk dan pertumbuhan ekonomi di seluruh dunia akan menyebabkan meningkatnya kebutuhan energi listrik. Peningkatan kebutuhan energi listrik merupakan pertumbuhan beban dalam sistem jaringan transmisi. Jaringan transmisi yang berfungsi menyalurkan energi listrik dari pembangkit ke konsumen perlu dikembangkan dalam mengantisipasi pertumbuhan beban setiap tahunnya agar tidak terjadi *over load* atau profil tegangan bus yang jelek (tegangan bus dibawah 95% atau

dias 105% dari tegangan dasar) pada jaringan transmisi.

Pertumbuhan beban dalam system jaringan transmisi dapat diantisipasi dengan melakukan perencanaan pengembangan jaringan transmisi. Perencanaan pengembangan jaringan transmisi bertujuan untuk memperkuat jaringan transmisi yang ada untuk melayani penyaluran energi listrik dari produsen kepada konsumen (pelanggan). Pengembangan jaringan transmisi dapat dilakukan dengan dua cara yaitu penambahan kapasitas dalam jaringan

¹ azmi2009@gmail.com

yang sudah ada jika pembangkit masih mampu menyediakan kapasitasnya, apabila pembangkit tidak mampu lagi menyediakan kapasitas yang dibutuhkan maka perlu dibangun pembangkit baru. Dalam penambahan kapasitas baru pada suatu jaringan transmisi diperlukan skenario yang bagus untuk menentukan pengembangan line yang harus dilakukan dengan cara-cara yang tersedia dalam jaringan tersebut sehingga pengembangan jaringan transmisi yang akan dilakukan dapat memperkuat jaringan transmisi yang ada untuk penyaluran energi listrik dari produsen kepada konsumen (pelanggan) yang mengalami peningkatan. Oleh sebab itu akan dilakukan suatu analisis tentang biaya pengembangan jaringan transmisi yang ada untuk mengantisipasi adanya penambahan beban dengan metode simulasi menggunakan program Matlab versi 7.0.4, Simulink versi 7.0.4 dan PSAT (*Power System Analysis Toolbox*) versi 2.1.2.

Paper ini mengusulkan cara menganalisis biaya pengembangan jaringan transmisi dalam mengantisipasi pertumbuhan beban selama 10 tahun. Jaringan transmisi yang dipakai adalah jaringan transmisi UPT Jember dengan 11 bus. Disamping itu, analisis pengembangan jaringan transmisi dalam mengantisipasi pertumbuhan beban selama 10 tahun dengan asumsi kenaikan beban 10% pertahun dengan menggunakan data beban tahun 2010 sebagai tahun pertama.

Paper ini mengusulkan cara menganalisis biaya pengembangan jaringan transmisi dalam mengantisipasi pertumbuhan beban selama 10 tahun ke depan. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis biaya pengembangan jaringan transmisi UPT Jember dengan 11 bus dalam mengantisipasi pertumbuhan beban agar tidak terjadi *over load* atau profil tegangan bus yang jelek pada jaringan transmisi tersebut. Penelitian ini sangat bermanfaat sebagai salah satu alternative dalam

Hasil dari analisis biaya pengembangan jaringan transmisi ini dapat dipakai untuk perencanaan biaya pengembangan jaringan transmisi 10

tahun ke depan. Penelitian ini sangat bermanfaat sebagai salah satu alternatif perencanaan biaya pengembangan jaringan transmisi sehingga dapat dipersiapkan dana lebih awal sebelum terjadi masalah *over load* atau profil tegangan bus yang jelek pada jaringan transmisi

PEMBAHASAN

Sistem jaringan transmisi UPT Jember yang akan dianalisis dapat dilihat pada Gambar 1. Sistem ini terdiri dari satu *slack* bus di bus (Gardu Induk) Probolinggo, dua unit generator yaitu di Paiton dan Gilimanuk dan STATCOM (*Static Synchronous Compensator*) yang dipasang di Gardu Induk Genteng. Dari studi aliran daya ini dapat memberikan informasi berupa besaran tegangan pada tiap-tiap bus dan aliran daya pada masing-masing saluran pada jaringan transmisi.

Data impedansi pada tiap-tiap saluran dan data beban tiap bus dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2. Data impedansi saluran dimasukkan sebagai data masukan pada blok parameter line transmisi yang ada pada program PSAT. Data pembangkit dan beban digunakan untuk masukan data pada blok data PQ Beban, *PV Generator* dan *Slack Generator* yang ada pada program PSAT. Dasar yang digunakan dalam simulasi dengan program PSAT adalah 100 MVA, 150 kV.

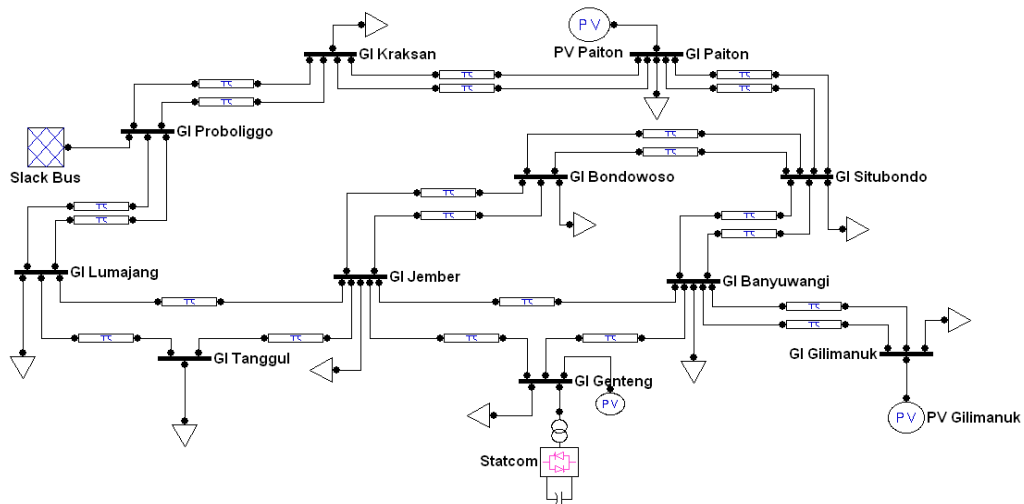
Studi aliran daya pada jaringan transmisi UPT Jember dilakukan dengan merubah besar beban tiap tahunnya dengan asumsi ada pertambahan beban sebesar 10% dari beban tahun sebelumnya. Hasil studi aliran daya ini adalah data besar tegangan tiap bus dan besar arus masing-masing *line* pada jaringan transmisi. Berdasarkan hasil studi aliran daya ini diketahui profil tegangan kurang atau melebihi batas toleransi tegangan bus $\pm 5\%$ (0,95pu-1,05pu) dan terjadi atau tidaknya *over load* masing-masing *line* pada jaringan transmisi. Hasil simulasi aliran daya tahun keempat dapat dilihat pada Tabel 3.

Hasil simulasi studi aliran daya dengan asumsi terjadi pertumbuhan beban sebesar 10% tiap tahun, diketahui

terjadi *over load* pada *line* Probolinggo-Kraksaan dengan impedansi $0,01627+j0,00219$ ACSR/435mm/2000A dan *line* Kraksaan-Paiton dengan impedansi $0,01377+j0,00186$ ACSR/ 435mm/2000A pada tahun keempat seperti pada tabel 3. Perencanaan pengembangan jaringan transmisi dilakukan untuk mengantisipasi terjadinya *over load* pada *line* Probolinggo-Kraksaan dan Kraksaan-Paiton. Hasil simulasi studi aliran daya yang dilakukan, penambahan kapasitas *line* Probolinggo-Kraksaan dan Kraksaan-Paiton tidak bisa dijadikan solusi karena dari hasil penambahan kapasitas *line*

tersebut menyebabkan arus *line* semakin besar.

.Hal ini disebabkan nilai impedansi kabel yang disusun paralel menjadi lebih kecil sehingga arus yang melewati *line* akan semakin besar, sesuai dengan hukum ohm ($V=I.R$) bahwa arus berbanding terbalik dengan impedansinya. Solusi yang dihasilkan sesuai dengan simulasi studi aliran daya adalah mengganti jenis kabel pada *line* Probolinggo-Kraksaan dengan menggunakan kabel yang mempunyai impedansi $0,03814+j0,13027$ ACSR330mm/720A.



Gambar 1 : Sistem Transmisi Tenaga Listrik Wilayah UPT. Jember dengan STATCOM (*Static Synchronous Compensator*) pada Gardu Induk Genteng

Tabel 1. Data Impedansi Saluran

| No. Saluran | Jumlah Sirkuit | Nama bus | | R (p.u) | X (p.u) | Kapasitas arus line (A) |
|-------------|----------------|----------|------|---------|----------|-------------------------|
| | | Dari | Ke | | | |
| 1 | 2 | PBLG | LMJG | 0,00287 | 0,00084 | 720 |
| 2 | 2 | BWSO | STBO | 0,0049 | 0,001434 | 600 |
| 3 | 2 | PTON | KRSN | 0,01377 | 0,00186 | 2000 |
| 4 | 2 | KRSN | PBLG | 0,01627 | 0,00219 | 2000 |
| 5 | 1 | GTNG | JMBR | 0,0743 | 0,25377 | 720 |
| 6 | 1 | TGUL | LMJG | 0,03814 | 0,13027 | 720 |
| 7 | 1 | JMBR | LMJG | 0,07256 | 0,24783 | 720 |
| 8 | 1 | JMBR | TGUL | 0,03486 | 0,11905 | 600 |
| 9 | 2 | JMBR | BWSO | 0,0043 | 0,00126 | 720 |
| 10 | 2 | PTON | STBO | 0,00961 | 0,0013 | 2000 |
| 11 | 1 | BWNG | JMBR | 0,0968 | 0,33064 | 720 |
| 12 | 1 | BWNG | GTNG | 0,03985 | 0,13609 | 720 |
| 13 | 2 | STBO | BWNG | 0,00593 | 0,0008 | 1520 |
| 14 | 2 | BWNG | GLNK | 0,0139 | 0,00465 | 580 |

Tabel 2. Data Beban pada Tiap Bus

| No. | Nama Bus | Tegangan Awal (pu) | Pembangkit | | Beban (pu) | |
|--------------|----------------|--------------------|--------------|----------|--------------|--------------|
| | | | PG | QG | P | Q |
| 1 | GI Probolinggo | 0,9947 + j 0,0 | - | - | - | - |
| 2 | GI Situbondo | 1,0 + j 0,0 | - | - | 0,281 | 0,088 |
| 3 | GI Bondowoso | 1,0 + j 0,0 | - | - | 0,217 | 0,035 |
| 4 | GI Kraksan | 1,0 + j 0,0 | - | - | 0,204 | 0,063 |
| 5 | GI Banyuwangi | 1,0 + j 0,0 | - | - | 0,44 | 0,147 |
| 6 | GI Lumajang | 1,0 + j 0,0 | - | - | 0,455 | 0,139 |
| 7 | GI Tanggul | 1,0 + j 0,0 | - | - | 0,318 | 0,084 |
| 8 | GI Jember | 1,0 + j 0,0 | - | - | 0,73 | 0,258 |
| 9 | GI Genteng | 1,0 + j 0,0 | - | - | 0,489 | 0,165 |
| 10 | GI Paiton | 1,025 + j 0,0 | 5,6 | - | 0,19 | 0,09 |
| 11 | GI Gilimanuk | 0,9873 + j 0,0 | 1,244 | - | 2,244 | 0,55 |
| Total | | | 6,844 | - | 5,087 | 1,508 |

Setelah penggantian kabel *line* Probolinggo-Kraksan, tidak terjadi over load masing-masing *line* pada jaringan transmisi. Besar arus pada *line* Paiton-Kraksan menjadi 115 A dan pada *line* Probolinggo-Kraksan menjadi 77 A. Arus pada jaringan transmisi menjadi merata, sebagian *line* mengalami penurunan besarnya arus dan sebagian yang lain mengalami kenaikan arus *line* seperti pada *line* Bondowoso-Situbondo dari 217 A menjadi 329 A.

Hasil simulasi tahun kelima menunjukkan *line* Banyuwangi-Gilimanuk yang menggunakan kabel dengan impedansi $0,0139+j0,00465$ ACSR 240mm /580A mengalami over load sebesar 805 A dari kapasitas arus sebesar 580 A. Setelah dilakukan pengembangan jaringan dengan mengganti kabel *line* Banyuwangi-Gilimanuk dengan kabel yang mempunyai impedansi $0,0968+j0,33064$ ACSR 330mm/720A, besar arus *line* banyuwangi-gilimanuk menjadi 537 A.

Hasil simulasi tahun kedelapan menunjukkan *line* Banyuwangi-Gilimanuk yang menggunakan kabel dengan impedansi $0,0968+j0,33064$ ACSR 330mm/720A mengalami over load lagi sebesar 775 A. Setelah dilakukan pengembangan jaringan dengan menambah kapasitas *line* Banyuwangi-Gilimanuk sebanyak satu *line* dengan besar kapasitas yang sama, menggunakan kabel $0,0968+j0,33064$

ACSR 330mm/720A, besar arus *line* banyuwangi-gilimanuk menjadi 470 A. Arus *line* Bondowoso-Situbondo, Genteng-Jember, Jember-Tanggul dan Jember-BWS mengalami kenaikan arus *line* tetapi besarnya masih dibawah kapasitas arusnya.

Hasil simulasi tahun kesepuluh menunjukkan *line* Lumajang-Probolinggo mengalami over load lagi sebesar 758 A dari kapasitas arus sebesar 720 A dan *line* Probolinggo-Kraksan mengalami over load lagi sebesar 928 A dari kapasitas arus sebesar 720 A. Setelah dilakukan pengembangan jaringan dengan menambah kapasitas *line* Probolinggo-Kraksan sebanyak satu *line* dengan besar kapasitas yang sama, menggunakan kabel dengan impedansi $0,03814+j0,13027$ ACSR 330mm/720, besar arus *line* Probolinggo-Kraksan satu line dengan besar kapasitas yang sama, menggunakan kabel impedansi $0,03814+j0,13027$ ACSR 330mm/720, besar arus *line* Probolinggo-Kraksan menjadi 696 A. Sedang besar arus *line* Lumajang-Probolinggo menjadi .663 A. Hasil simulasi studi aliran daya dengan asumsi terjadi pertumbuhan beban sebesar 10% tiap tahun, diketahui profil tegangan bus dari tahun pertama sampai tahun kesembilan dalam keadaan bagus (berada pada batas toleransi tegangan sebesar 0,95 pu -1,05 pu dari tegangan dasar

Tabel 3. Hasil Simulasi Aliran Daya pada Tahun Keempat

| Jumlah Sirkuit | Nama Bus dari ke | | Tahun 4 | | | | I = √P/R (pu) | I (A) |
|-------------------|---------------------|---------|---------|----------|---------|---------|------------------|-----------------|
| | | | R(pu) | X(pu) | Lossis | | | |
| | | | | | P(pu) | Q(pu) | | |
| 2 | Prob | Lmjang | 0,00287 | 0,00084 | 0,00383 | 0,00112 | 1,155203 | 444,6378 |
| 2 | BWS | STB | 0,0049 | 0,001434 | 0,00157 | 0,00046 | 0,566046 | 217,8711 |
| 2 | Paiton | Kraksan | 0,01377 | 0,00186 | 0,68601 | 0,09266 | 7,05827 | 2716,728 |
| 2 | Kraksa | Prob | 0,01627 | 0,00219 | 0,8004 | 0,10774 | 7,013903 | 2699,651 |
| 1 | Genten | Jember | 0,0743 | 0,25377 | 0,00474 | 0,01617 | 0,252578 | 97,2171 |
| 1 | Tanggul | Lmjang | 0,03814 | 0,13027 | 0,03446 | 0,11769 | 0,950533 | 365,8602 |
| 1 | Jember | Lmjang | 0,07256 | 0,24783 | 0,04362 | 0,149 | 0,775344 | 298,4297 |
| 1 | Jember | Tanggul | 0,03486 | 0,11905 | 0,01255 | 0,04286 | 0,60001 | 230,9437 |
| 2 | Jember | BWS | 0,0043 | 0,00126 | 0,00114 | 0,00033 | 0,514894 | 198,1829 |
| 2 | Paiton | STB | 0,00961 | 0,0013 | 0,03247 | 0,00463 | 1,831906 | 705,1006 |
| 1 | BWI | Jember | 0,0968 | 0,33064 | 0,00005 | 0,00015 | 0,020328 | 7,824205 |
| 1 | BWI | Genteng | 0,03985 | 0,13609 | 0,00732 | 0,02529 | 0,431216 | 165,9751 |
| 2 | STB | BWI | 0,00593 | 0,0008 | 0,01117 | 0,00151 | 1,37614 | 529,6762 |
| 2 | BWI | GLMK | 0,0139 | 0,00465 | 0,01086 | 0,00365 | 0,886347 | 341,1551 |

Pada tahun kesepuluh diketahui bahwa profil tegangan bus dalam keadaan jelek karena besar tegangan bus pada GI Tanggul sebesar 0,94 pu (berada diluar batas toleransi tegangan sebesar 0,95 pu -1,05 pu dari tegangan dasar), sehingga perlu dipasang STATCOM dengan kapasitas 50 MVAr agar profil tegangan bus dalam keadaan bagus.

Tegangan bus pada GI Tanggul menjadi 1pu setelah dilakukan pemasangan STATCOM. Tegangan bus yang berhubungan dengan GI Tanggul juga mengalami kenaikan tegangan yaitu pada GI Lumajang yang sebelumnya 0,98889 pu menjadi 0,98976 pu.

Pengembangan suatu jaringan transmisi membutuhkan biaya untuk merealisasikannya. Biaya perencanaan meliputi harga kabel, harga kompensator (\$50/kVar) dan harga biaya konstruksi pemasangan kabel (\$100/km), masing-masing harga diasumsikan mengalami kenaikan sebesar 2% tiap tahunnya. Dalam perencanaan pengembangan yang akan dilakukan, biaya pengembangan jaringan transmisi dapat dirinci dengan beberapa tahapan, yaitu:

Perencanaan pengembangan jaringan pertama.

Saluran Probolinggo-Kraksan dengan panjang saluran 28,530 km atau $3,3 \times 1000 = 94149$ ft. Perencanaan pengembangan yang akan dilakukan adalah mengganti line awal dengan line baru yang menggunakan kabel ACSR 330mm/720A jenis DOVE dengan harga \$1846,06 per MFT. Jumlah line yang diganti sebanyak 2 line. Total biaya perencanaan pengembangan pertama adalah sebesar \$353.315,41 seperti terlihat pada table 4. Pembangunan akan dilakukan pada tahun keempat, sedangkan kenaikan harga 2% tiap tahun. Dengan menggunakan fungsi Pmt pada program microsoft Excel, maka diperoleh investasi biaya pertahunnya sebesar \$120.111,54.

Perencanaan pengembangan jaringan kedua:

Saluran Banyuwangi-Gilimanuk dengan panjang saluran 10,500 km. Perencanaan pengembangan yang akan dilakukan adalah mengganti saluran dengan kabel ACSR 330mm/720A jenis DOVE dengan harga \$1846,06 per MFT.

Tabel 4 Biaya perencanaan pengembangan jaringan pertama

| Jenis | Panjang | Jumlah | Biaya/satuan | Total biaya |
|------------|-----------|--------|------------------|---------------|
| Kabel DOVE | 94.149 ft | 2 | \$1846,06/1000ft | \$ 347.609,41 |
| Konstruksi | 28,53 km | 2 | \$100/km | \$ 5.706,00 |
| Jumlah | | | | \$353.315,41 |

Jumlah line yang akan diganti 2 line, Total biaya perencanaan pengembangan kedua adalah sebesar \$130.031,96. Pembangunan akan dilakukan pada tahun keenam, sedangkan kenaikan harga 2% tiap tahun. Biaya yang harus diinvestasikan tiap tahunnya sebesar \$27.046,44.

Perencanaan pengembangan jaringan ketiga.

Saluran Banyuwangi-Gilimanuk dengan panjang saluran 10,500 km. Perencanaan pengembangan yang akan dilakukan adalah menambah kapasitas line menggunakan kabel ACSR 330mm/720A jenis DOVE. Jumlah line yang akan diganti sebanyak 1 line, Total biaya perencanaan pengembangan ketiga adalah \$65.015,98. Pembangunan akan dilakukan pada tahun kedelapan. Biaya yang diinvestasikan tiap tahun sebesar \$9.848,77.

Perencanaan pengembangan jaringan keempat.

Saluran Probolinggo-Kraksaan dengan panjang saluran 28,530 km. Perencanaan pengembangan yang akan dilakukan adalah menambah satu line menggunakan kabel ACSR 330mm/720A jenis DOVE. Disamping itu perlu dilakukan pemasangan STATCOM dengan kapasitas 50 MVAr dengan harga \$50/ KVaR. Total biaya perencanaan pengembangan keempat adalah sebesar \$2.676.657,70. Pembangunan akan dilakukan pada tahun kedelapan. Biaya yang harus diinvestasikan tiap tahunnya sebesar \$321.501,85

Total estimasi biaya yang harus diinvestasikan selama 10 tahun agar jaringan transmisi mampu mengantisipasi pertumbuhan beban, dapat dilihat secara singkat pada tabel 5 dan tabel 6

Tabel 5 Estimasi Biaya Perencanaan Pengembangan Jaringan Selama 10 Tahun (Tahun ke-1 sampai Tahun ke-5).

| Jenis Perencanaan | Tahun | | | | |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | \$120.111,54 | \$120.111,54 | \$120.111,54 | | |
| 2 | \$27.046,44 | \$27.046,44 | \$27.046,44 | \$27.046,44 | \$27.046,44 |
| 3 | \$9.848,77 | \$9.848,77 | \$9.848,77 | \$9.848,77 | \$9.848,77 |
| 4 | \$321.501,85 | \$321.501,85 | \$321.501,85 | \$321.501,85 | \$321.501,85 |
| Total | \$478.508,6 | \$478.508,6 | \$478.508,6 | \$358.397,06 | \$358.397,06 |

Tabel 6. Estimasi Biaya Perencanaan Pengembangan Jaringan Selama 10 Tahun (Tahun ke-6 sampai Tahun ke-10).

| Jenis Perencanaan | Tahun | | | | |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----|
| | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | \$9.848,77 | \$9.848,77 | | | |
| 4 | \$321.501,85 | \$321.501,85 | \$321.501,85 | \$321.501,85 | |
| Total | \$331.350,62 | \$331.350,62 | \$321.501,85 | \$321.501,85 | |

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut : 1) Pada tahun keempat dilakukan pengembangan jaringan transmisi dengan mengganti saluran Probolinggo-Kraksaan yang semula menggunakan kabel $0,01627+j0,00219$ ACSR 435mm/2000A diganti dengan kabel $0,03814+j0,13027$ ACSR 330mm/720A. Perubahan jenis kabel pada saluran tersebut bertujuan agar pada penambahan beban tahun keempat saluran Probolinggo-Kraksaan tidak mengalami *over load*. 2) Pada tahun keenam dilakukan pengembangan jaringan transmisi dengan mengganti saluran Banyuwangi-Gilimanuk yang semula menggunakan kabel $0,0139+j0,00465$ ACSR 240mm/580A diganti dengan kabel $0,0968+j0,33064$ ACSR 330mm/720A. Perubahan jenis kabel pada saluran tersebut bertujuan agar pada penambahan beban tahun keenam saluran Probolinggo-Kraksaan tidak mengalami *over load*. 3) Pada tahun kedelapan dilakukan pengembangan jaringan transmisi dengan menambah kapasitas saluran Banyuwangi-Gilimanuk dengan besar kapasitas yang sama menggunakan kabel $0,0968+j0,33064$ ACSR 330mm/720A. 4) Pada tahun kesepuluh dilakukan pengembangan jaringan transmisi dengan menambah kapasitas saluran Probolinggo-Kraksaan dengan besar kapasitas sama dengan yaitu menggunakan kabell $0,03814+j0,13027$ ACSR 330mm/720A.

Selain penambahan kapasitas *line*, pada GI Tanggul dilakukan pemasangan STATCOM dengan kapasitas 50 Mvar karena profil tegangan bus jelek. Setelah dilakukan pemasangan STATCOM pada GI Tanggul, tegangan bus pada GI Tanggul naik dari 0,94 pu menjadi 1 pu.

Estimasi biaya perencanaan pembangunan agar sistem jaringan transmisi mampu melayani pertambahan beban selama 10 tahun memerlukan biaya total \$3.458.018.86. Investasi biaya perencanaan pengembangan setiap tahunnya dapat dilihat pada tabel 5 dan tabel 6.

DAFTAR PUSTAKA

- Garver, L.L.1970. *Transmission network estimation using linear programming*. IEEE Trans. Power App. Syst., vol. PAS-89, no. 7, pp. 1688–1679.
- Min Xie, Jin Zhong, Member, IEEE, and Felix F. Wu, Fellow, IEEE .2007. *Multiyear Transmission Expansion Planning Problem Using Ordinal Optimization*. IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 22, NO. 4
- Stevenson, William D. 1983. *Analisis Sistem Tenaga Listrik* . Jakarta: Penerbit Erlangga