

Aplikasi Perhitungan Biaya Pokok Penyediaan Tenaga Listrik di Sulawesi Utara Sub Sistem Transmisi

Cindy Lia Kawulur, Lily S. Patras, Maickel Tuegeh, Fielman Lisi
Jurusan Teknik Elektro-FT, UNSRAT, Manado-95115, Email: cinday_1k@yahoo.com

Abstrak – Masalah ketersediaan tenaga listrik telah menjadi bahasan utama di masyarakat seiring dengan meningkatnya pertumbuhan sosial ekonomi masyarakat itu sendiri. Tenaga listrik yang handal dan ekonomis diharapkan dapat mendorong pertumbuhan ekonomi, sehingga diperlukan ketersediaan listrik yang cukup memenuhi kebutuhan masyarakat. Peningkatan pengadaan tenaga listrik memerlukan investasi yang besar untuk memenuhi biaya-biaya operasi dan pemeliharaan sistem tenaga listrik, sehingga perlu dibuat suatu uraian biaya pokok produksi. Dengan demikian perlu dibuat suatu uraian finansial untuk mengetahui nilai ekonomi dari tenaga listrik sehingga kita dapat menentukan harga tenaga listrik yang pantas dan menciptakan keandalan sistem yang mantap. Dan untuk memudahkan itu semua maka perlu dibuat sebuah perangkat lunak berbasis bahasa pemrograman visual studio.

Tujuan tugas akhir ini adalah untuk menghasilkan suatu perangkat lunak untuk menghitung biaya pokok penyediaan tenaga listrik sub sistem transmisi serta memperoleh biaya pokok penyediaan tenaga listrik khususnya untuk Sulawesi Utara untuk jangka 10 tahun yaitu dari 2011 – 2020.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa biaya pokok penyediaan tenaga listrik sub sistem transmisi berubah-ubah tiap tahun dimana yang tertinggi yaitu pada tahun 2014 yaitu Rp 174.696.- per kWh dan terendah pada tahun 2020 yaitu Rp 109.95.- per kWh.

kata kunci : Biaya Pokok Penyediaan Tenaga Listrik, Investasi, Transmisi, Visual Studio

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Masalah ketersediaan listrik kini telah menjadi bahasan utama di masyarakat seiring dengan meningkatnya pertumbuhan sosial ekonomi masyarakat itu sendiri. Tenaga listrik yang handal dan ekonomis diharapkan dapat mendorong pertumbuhan ekonomi, sehingga diperlukan ketersediaan listrik yang cukup memenuhi kebutuhan masyarakat.

Berdasarkan hasil perhitungan DKL (Dinas Ketenagalistrikan), laju pertumbuhan beban di wilayah Sulawesi Utara dari tahun 2010 hingga tahun 2019 diproyeksikan meningkat rata-rata 10.48% per tahun. Beban puncak pada tahun 2010 sebesar 204 MW akan menjadi 422 MW pada tahun 2019. Untuk itu diperlukan beberapa penambahan maupun perbaikan infrastruktur baik pada sisi pembangkitan, transmisi dan distribusi untuk menjaga keandalan sistem agar tetap mampu melayani beban. Karena itu, perlu dihitung biaya pokok produksi, sehingga perusahaan listrik (PLN) bersama dengan pemerintah, mampu menentukan tarif penjualan tenaga listrik yang layak dan dapat dijangkau oleh masyarakat luas.

Oleh karena itu untuk memudahkan proses perhitungan maka perlu dibuat suatu perangkat lunak berbasis bahasa pemrograman *Visual Studio*.

B. Identifikasi Masalah

1. Parameter apa sajakah yang digunakan untuk perhitungan biaya pokok penyediaan tenaga listrik sistem transmisi?
2. Bagaimanakah perhitungan biaya pokok penyediaan tenaga listrik sistem transmisi di sistem tenaga listrik Sulawesi Utara?

C. Pembatasan Masalah

1. Perhitungan Biaya Pokok Penyediaan Tenaga Listrik pada sistem transmisi dibatasi pada satu region yaitu Sulawesi Utara tahun 2011 – 2020.
2. Perhitungan dilakukan untuk jangka waktu 10 tahun (2011 – 2020).
3. Perhitungan dilakukan dengan menganggap nilai tukar rupiah terhadap dolar adalah tetap untuk tiap tahunnya.
4. Faktor potensi permintaan tenaga listrik dan faktor daya beli masyarakat tidak diperhitungkan.
5. Jarak rentang antar menara diasumsikan sama.
6. Menggunakan *Microsoft Visual Studio 2010* untuk pembuatan program aplikasinya.

D. Tujuan Penulisan

1. Menghasilkan perangkat lunak untuk menghitung Biaya Pokok Penyediaan Tenaga Listrik sub sistem transmisi.
2. Memperoleh Biaya Pokok Penyediaan Tenaga Listrik untuk Sulawesi Utara untuk tahun 2011 – 2020 pada sub sistem transmisi.

II. LANDASAN TEORI

A. Saluran Transmisi

Transmisi tenaga listrik merupakan proses penyaluran tenaga listrik dari tempat pembangkit tenaga listrik hingga ke saluran distribusi listrik sehingga dapat disalurkan ke konsumen tenaga listrik. Ada dua kategori saluran transmisi yaitu saluran udara (*overhead line*) dan saluran bawah-tanah (*underground*).

1. Menara Transmisi

Menara atau tiang transmisi adalah suatu bangunan penopang saluran transmisi, yang bisa berupa menara baja, tiang baja, tiang beton bertulang dan tiang kayu. Tiang-tiang baja, beton atau kayu umumnya digunakan pada saluran-saluran dengan tegangan kerja relatif rendah (dibawah 70 kV) sedangkan untuk saluran transmisi tegangan tinggi atau ekstra tinggi digunakan menara baja.

2. Isolator

Isolator berfungsi sebagai isolasi antara konduktor dengan tiang (*tower*). Isolator dapat diklasifikasikan menurut bahan, bentuk dan pemasangannya.

3. Kawat Penghantar

Kawat tembaga banyak dipakai pada saluran transmisi karena konduktivitasnya yang tinggi. Akan tetapi kawat tembaga juga mempunyai kelemahan yaitu untuk besar tahanan yang sama, kawat tembaga lebih berat dan lebih mahal dibanding kawat aluminium. Untuk memperbesar kuat tarik dari kawat aluminium, digunakan campuran aluminium (*aluminium alloy*). Untuk saluran transmisi tegangan tinggi, dimana jarak antara menara/tiang berjauhan, maka dibutuhkan kuat tarik yang lebih tinggi oleh karena itu digunakan kawat penghantar ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced).

4. Kawat Tanah

Kawat tanah atau *ground wires* juga disebut sebagai kawat pelindung gunanya untuk melindungi kawat-kawat penghantar atau kawat-kawat fasa terhadap sambaran petir. Jadi kawat tanah tersebut dipasang di atas kawat fasa. Sebagai kawat tanah umumnya dipakai kawat baja (*steel wire*) yang lebih murah, tetapi tidaklah jarang digunakan ACSR.

5. Pentanahan (*Grounding*)

Pentanahan *tower* adalah perlengkapan pembumian sistem transmisi yang berfungsi untuk meneruskan arus listrik dari tiang SUTT (Saluran Udara Tegangan Tinggi) maupun SUTET (Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi) ke tanah. Pentanahan tiang terdiri dari konduktor tembaga atau konduktor baja yang diklem pada pipa pentanahan yang ditanam di dekat pondasi tiang, atau dengan menanam plat aluminium/tembaga disekitar pondasi tiang yang berfungsi untuk mengalirkan arus dari konduktor tanah akibat sambaran petir.

B. Perencanaan Saluran Udara Tegangan Tinggi

1. Pemilihan Ukuran Konduktor

Ukuran dan tipe konduktor ditentukan oleh arus yang melewati konduktor, karena besar penampang konduktor berbanding lurus dengan kapasitas kuat arusnya. Kuat arus per fasa pada perencanaan ini dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \cos \varphi} \tag{1}$$

Dengan,

- I = Arus per fasa (A)
- P = Daya yang dikirm (MW)
- V = Tegangan sistem (kV)

2. Perencanaan Isolasi Saluran Transmisi

Setiap jenis isolator memiliki tingkat ketahanan yang berbeda-beda terhadap suatu tegangan, oleh karena itu harus dapat memilih dengan baik jenis, ukuran maupun jumlah isolator yang akan digunakan. Untuk menghitung tegangan yang akan ditahan oleh sebuah isolator dapat digunakan persamaan berikut ini:

$$E = \frac{V_m}{\sqrt{3}} \times n \tag{2}$$

Dengan,

- E = Tegangan yang akan ditahan isolator
- V_m = Tegangan maksimum yang akan diijinkan
- V = Tegangan nominal
- n = Koefisien *drop* = 1.2

$$V_m = \frac{12}{11} \times V \tag{3}$$

Faktor lainnya yang mempengaruhi kehandalan dari kerja isolator adalah faktor iklim daerah dimana isolator tersebut akan dipasang. Berdasarkan tingkat polusi daerah yang akan dipasang isolator, maka dapat ditentukan harga tegangan yang mampu ditahan oleh isolator dengan menggunakan persamaan berikut:

$$V = \frac{28 \times k'}{\left(\frac{W}{0.1}\right)^{0.2} \left\{1.5(K^{1/3} + 2) + \frac{5}{8}K\right\}} \tag{4}$$

Dengan,

- V = Tingkat ketahanan tiap piringan isolator gantung 250 mm (kV)
- W = Kepadatan adhesi garam (mg/cm³) = 0.03 mg/cm³
- K = kepadatan adhesi serbuk poles (mg/cm³) = 0.01 mg/cm³
- k' = faktor koreksi = 1.25

Sehingga untuk menghitung jumlah isolator per gandingan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$N = \frac{E}{V} \tag{5}$$

Dengan,

- N = jumlah isolator per gandingan

3. Andongan (*Sag*) Penghantar

Karena beratnya maka penghantar yang direntangkan antara dua tiang transmisi mempunyai bentuk lengkung tertentu (*catenary curve*) yang dapat dinyatakan oleh persamaan-persamaan tertentu.

Bila penghantar ditunjang oleh tiang-tiang yang sama tingginya, maka persamaannya adalah:

$$D = \frac{WS^2}{8T} \tag{6}$$

Sedangkan untuk panjang penghantar sebenarnya dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$L_0 = S + \frac{8D^2}{3S} \tag{7}$$

Dengan,

- D = andongan (*sag*) (m)
- W = berat penghantar per satuan panjang (kg/m)
- S = panjang span (m)
- T = tegangan mendatar dari penghantar (kg)
- L₀ = panjang penghantar sebenarnya (m)

4. Rencana Menara Baja Transmisi

Penentuan gawang (*span*) standar merupakan kunci dalam perencanaan menara dan saluran transmisi secara keseluruhan. Untuk gawang standar diberikan dalam Tabel berikut.

TABEL I. GAWANG STANDAR

Tegangan Nominal	Gawang Standar (m)
Kurang dari 77 kV	200 – 250
154 kV	250 – 300
275 kV	300 – 350

5. Pentanahan

Untuk melindungi kawat fasa terhadap sambaran langsung dari petir digunakan satu atau dua kawat tanah yang terletak diatas kawat fasa. Untuk pemilihan ukuran kawat tanah tidak bisa dilakukan secara acak karena terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi seperti suhu maksimum pada kawat serta waktu terjadinya hubung singkat. Oleh karena itu penentuan besarnya luas penampang kawat tanah dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$A = I \times \sqrt{\frac{8.5S}{\log\left(\frac{t}{274} + 1\right)} \times 10^{-6}} \quad (8)$$

Dengan,

- A = penampang kawat (mm²)
- I = arus hubung singkat (A)
- S = waktu (detik) (biasanya 1 – 2 detik)
- t = kenaikan suhu yang diizinkan dari kawat (derajat)

Tahanan kaki menara dari pentanahan diperoleh dengan menggunakan satu atau lebih batang pentanahan (*ground rod*) dan atau dengan sistem *counterpoise*. Pemilihan penggunaan sistem pentanahan ini bergantung pada keadaan tahanan jenis tanah dimana menara berada. Nilai pentanahan menara harus dibuat kecil, untuk itu maka sistem 70 kV maksimal 5 Ohm, sistem 150 kV maksimal 10 Ohm dan sistem 500 kV maksimal 15 Ohm. Besarnya tahanan pentanahan dapat dihitung dengan persamaan:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{2L}{d} \right) \quad (9)$$

Dengan,

- R = Tahanan pentanahan dari batang pengetanahan (Ohm)
- L = Panjang batang elektroda (m)
- d = Diameter batang elektroda (m)
- ρ = Tahanan jenis dari tanah (Ohm-m)

C. Konsep Ekonomi

1. Nilai Waktu dari Uang (*Time Value of Money*)

Dalam sektor ekonomi pemanfaatan uang yang dilakukan dengan maksud mendapatkan laba atau menambah nilai dengan cara berusaha. Hal ini dilakukan misalnya dengan menanam dana dalam usaha atau proyek yang mendatangkan penghasilan. Mula-mula modal ditanam. Beberapa waktu kemudian, secara berangsur-angsur uang akan diperoleh kembali karena penghasilan disebabkan terdapatnya laba, dan karena penghapusan. Pada taraf terakhir, terdapat nilai sisa dan siklus proyek diakhiri. Dalam rangka usaha sebagaimana disebut diatas, penentuan waktu dari pada arus tunai merupakan kunci bagi pengukuran pendapatan atas investasi.

2. Faktor Pemulihan Deret Seragam

Perhitungan deret seragam yang kedua memerlukan deret seragam yang sama dengan nilai sekarang. Hal ini membutuhkan pembulatan dari jumlah pembayaran yang konstan pada setiap tahun seperti penjumlahan dari seluruh pembayaran sama dengan jumlah saat ini. Persamaan (10) menunjukkan deret seragam sesuai dengan nilai sekarang.

$$US_{PV} = PV \times CRF \quad (10)$$

Dengan,

- US_{PV} = *Uniform series equal to a present value*
- PV = Nilai Sekarang
- i = *discount rate*
- n = jumlah periode

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (11)$$

Dengan,

CFR = *capital recovery factor* / faktor pengembalian modal (CRF)

D. Biaya Penyediaan Tenaga Listrik

Secara umum, biaya untuk penyaluran tenaga listrik (biaya transmisi) dapat dibagi dalam dua bagian:

1. Biaya Tetap

Biaya tetap secara garis besar terdiri atas biaya pengembalian modal dan biaya tetap operasi dan perawatan yang berikut disebut *fixed OM (fixed cost operation and maintenance)*.

Biaya pengembalian modal tergantung besarnya *capital recovery factor* (CRF) atau sering pula disebut faktor pengembalian modal. Biaya pengembalian modal yang merupakan biaya tetap dinyatakan dengan persamaan umum:

$$\text{Biaya Pengembalian Modal} = \text{Investasi} \times \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (12)$$

Sehingga biaya tetap (*fixed cost*) dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{Biaya Tetap} = \text{Investasi} \times \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} + \text{fixed O/M} \quad (13)$$

2. Biaya Variabel

Biaya variabel tergantung dari cara menjalankan pusat listrik, yaitu yang berhubungan dengan jumlah energi listrik yang dihasilkan, dan terutama terdiri atas sebagian besar biaya pemeliharaan dan perbaikan serta sebagian kecil gaji dan upah. Dalam struktur biaya operasi dan perawatan transmisi komponennya hanya merupakan biaya tetap.

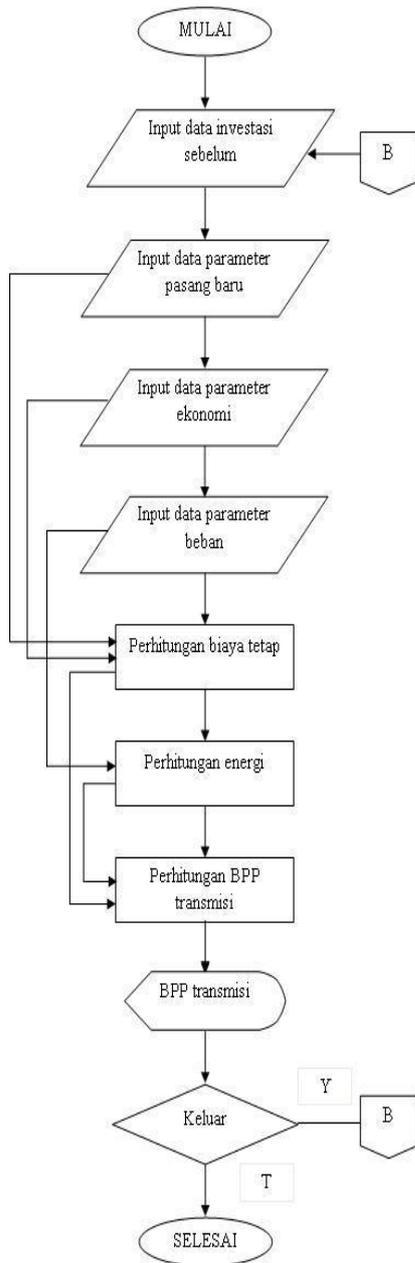
3. Biaya Pokok Transmisi

Total biaya transmisi merupakan jumlah dari biaya tetap transmisi (*Fixed Cost*) yang terdiri dari biaya pengembalian modal dan biaya tetap operasi dan perawatan (*Fixed O/M*) dan biaya variabel, yang mana ditunjukkan oleh persamaan berikut:

$$BPP = \frac{\text{Biaya tetap} + \text{Biaya variabel}}{\text{Produksi energi}} \quad (14)$$

Dengan,

BPP = Biaya Pokok Penyediaan



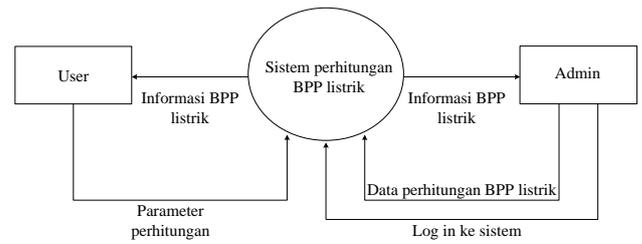
Gambar 1. Flowchart Perhitungan Biaya Pokok Penyediaan Tenaga Listrik Subsistem Transmisi

E. Software Pendukung Perencanaan Sistem

Software pendukung dalam perancangan sistem diperlukan untuk mengolah data yang telah dikumpulkan menjadi sebuah informasi yang bisa dimengerti oleh pemakai.

1. Visual Studio

Microsoft Visual Studio adalah sebuah perangkat lunak dari Microsoft. Microsoft Visual Studio dapat digunakan untuk pengembangan aplikasi antarmuka pengguna grafis bersama dengan aplikasi Windows Forms, situs web, aplikasi web, dan layanan web yang mana juga dapat mengembangkan aplikasi dalam native code serta manage code yang termasuk dalam Microsoft Windows, Windows Phone, Windows CE, .NET Framework, NET Compact Framework dan Microsoft Silverlight.



Gambar 2. Diagram konteks sistem perencanaan dan pembuatan aplikasi perhitungan biaya pokok tenaga listrik

2. Deskripsi C#

C# merupakan sebuah bahasa pemrograman yang berorientasi objek yang dikembangkan oleh Microsoft sebagai bagian dari inisiatif kerangka .NET Framework. C# adalah Java versi Microsoft, sebuah bahasa multi platform yang didesain untuk bisa berjalan di berbagai mesin. C# adalah pemrograman berorientasi Object (OOP). C# memiliki kekuatan bahasa C++ dan portabilitas seperti Java. Fitur-fitur yang diambilnya dari bahasa C++ dan Java adalah desain berorientasi objek, seperti garbage collection, reflection, akar kelas (root class), dan juga penyederhanaan terhadap pewarisan jamak (multiple inheritance).

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Bahan dan Peralatan

Dalam pembuatan tugas akhir ini penulis menggunakan peralatan dan program yang disesuaikan dengan kebutuhan. Secara lebih spesifik peralatan dan program yang digunakan dirinci sebagai berikut :

1. Hardware
 - Processor intel core i5
 - Memory 2 GB DDR3
 - Harddisk 640 GB
2. Sistem Operasi : Windows XP SP2

Perangkat lunak yang dibutuhkan antara lain :

1. Microsoft Visual Studio 2010
2. Bahasa pemrograman C#

B. Perancangan Proses

Dalam perancangan proses, penulis akan menggambarkan aplikasi perhitungan biaya pokok penyediaan tenaga listrik dalam bentuk DFD, menjelaskan aliran data yang ada pada DFD dan flowchart diagram.

1. Flowchart Program

Flowchart program digunakan untuk menggambarkan alur logika program yang digunakan di dalam sistem. Gambar 1 menunjukkan flowchart program yang dibuat. Secara sederhana langkah-langkah dalam flowchart yang dibuat yaitu, dimulai dengan splash window sebagai start awal kemudian masuk ke menu utama dengan pilihan input perhitungan dan input data sistem. Menu berikut yaitu memasukkan data perhitungan yang berupa data biaya tetap, data biaya variabel dan data beban. Langkah berikut yaitu proses perhitungan dan output program yang disajikan melalui display report pada menu dashboard.

2. Diagram Konteks

Diagram konteks adalah diagram yang menjelaskan aliran data secara keseluruhan. Gambar 2 menjelaskan tentang proses – proses yang terjadi dalam sistem informasi

pengolahan data, yaitu proses *login*, proses perhitungan dan pengolahan data dan proses menampilkan informasi.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perencanaan Saluran Transmisi 150 kV

1. Pemilihan Konfigurasi Saluran Transmisi

Dalam menjaga kontinuitas daya perlu digunakan saluran vertikal ganda, sehingga jika salah satu saluran terputus transmisi masih mampu menyalurkan daya dengan satu saluran yang lain.

2. Ukuran dan Tipe Konduktor Transmisi

Rencana daya yang akan dialirkan sebesar 209,4 MW dengan tegangan 150 kV menggunakan saluran vertikal ganda.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \cos \varphi}$$

Maka perhitungan arus adalah sebagai berikut:

$$I = \frac{209.4 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 150 \times 10^3 \times 0.8} = 1007.5 \text{ [A]}$$

Maka dengan melihat kapasitas arus yang akan disalurkan dipilih konduktor ACSR dengan luas aluminium 630 mm² yang memiliki kapasitas hantar arus yaitu 1120 A.

3. Perhitungan Jumlah Isolator

Isolator yang digunakan pada saluran transmisi ini yaitu isolator gantung yang dapat digandeng menjadi rentengan isolator yang jumlahnya disesuaikan dengan kebutuhan. Hasil dari perhitungan menyatakan bahwa jumlah piringan isolator yang digunakan minimal sebanyak 7.92 buah atau disesuaikan dengan ukuran yang tersedia yaitu 8 buah piringan isolator.

4. Menghitung Andongan (Sag)

Perhitungan andongan yang ditinjau oleh menara yang sama tingginya

Berdasarkan data yang diketahui yaitu $W = 2.320 \text{ kg/m}$, $T = 18150 \text{ kg}$ dan $S = 300 \text{ m}$ maka perhitungan andongan sebagai berikut:

$$D = \frac{2.320 \times 300}{8 \times 18150} = \frac{208800}{145200} = 1.44 \text{ [m]}$$

Setelah memperoleh besarnya nilai andongan yaitu sebesar 1.44 m maka dapat pula dihitung panjang penghantar dengan jarak satu:

$$L_0 = S + \frac{8D^2}{3S}$$

Maka perhitungannya sebagai berikut:

$$L_0 = 300 + \frac{8(1.44)^2}{3 \times 300} = 300 + 0.018432 = 300.018432 \text{ [m]}$$

Dengan demikian panjang penghantar satu gawang adalah 300.018432 m.

5. Pentanahan

Kawat tanah yang digunakan pada saluran transmisi yang direncanakan ini adalah 2 buah. Dengan $I = 20 \text{ kA}$ (harga yang digunakan setengah dari kondisi terburuk), $t = 860^\circ\text{C}$ dan $s = 0.6 \text{ detik}$.

$$A = 20000 \times \frac{8.5 \times 0.6}{\sqrt{\log\left(\frac{860}{274} + 1\right)}} \times 10^{-6} = 20000 \times 0.00287 = 57.5 \text{ [mm}^2\text{]}$$

Dengan melihat perhitungan diatas maka luas penampang yang layak digunakan untuk saluran transmisi ini minimal sebesar 57.5 mm².

Untuk pentanahan kaki menara pada saluran transmisi ini digunakan sistem *ground rod* dengan bahan pentanahan adalah kawat baja dengan diameter 15 mm dan panjang 5 m. Kemudian untuk tahanan jenis tanah digunakan tanah ladang dengan nilai 100 $\Omega\text{-m}$ dan menggunakan 4 buah batang elektroda yang dipararelkan.

6. Pemilihan Tower

Tower yang dipilih sebagai penyangga konduktor untuk saluran transmisi ini ada dua jenis yaitu *tower* jenis *pole* dan jenis *lattice*. Untuk jenis *pole* akan digunakan tiang penyangga dengan tinggi 30 m, tiang penegang dan tiang awal/akhir dengan tinggi 2×30 m. Sedangkan untuk jenis *lattice* akan digunakan tiang penyangga dengan tinggi 28.1 m, tiang penegang dan tiang awal/akhir dengan tinggi 27.9 m. Konfigurasi yang dipilih untuk *tower* jenis *lattice* ini adalah kongurasi tiang piramida dikarenakan pada saluran transmisi ini direncanakan menggunakan double circuit dengan dua buah kawat tanah.

B. Output Program Perhitungan Biaya Pokok Penyediaan

Melalui program perhitungan yang telah dibuat maka dapat dilihat hasilnya yaitu Biaya Tetap [Juta Rp] dan Biaya Penyediaan Pokok [Rp / kWh] yang akan ditampilkan pada tabel-tabel berikut.

TABEL II. HASIL PERHITUNGAN BIAYA TETAP

Tahun	Biaya Tetap [Juta Rp]
2011	168,383.563
2012	188,569.108
2013	207,838.354
2014	234,680.548
2015	240,798.197
2016	240,798.197
2017	242,657.746
2018	247,616.545
2019	255,297.293
2020	257,857.543

TABEL III. HASIL PERHITUNGAN BIAYA POKOK PENYEDIAAN (BPP)

Tahun	BPP [Rp / kWh]
2011	164.896
2012	168.578
2013	169.524
2014	174.696
2015	163.532
2016	149.121
2017	137.011
2018	127.445
2019	119.750
2020	109.950

Biaya pokok penyediaan berubah sesuai dengan perubahan biaya tetap [Rp]. Dari tahun 2011 sampai tahun 2020 biaya tetap meningkat sesuai dengan penambahan kebutuhan energi. BPP dari tahun 2011 sampai tahun 2014 mengalami kenaikan dan kemudian cenderung turun pada tahun 2015 sampai tahun 2020. Dari grafik dapat terlihat juga BPP yang tertinggi ada pada tahun 2014 yang mana mengalami peningkatan sebesar 5.94 % dari BPP tahun 2011.

1. Perbandingan Hasil Perhitungan

Untuk menguji hasil perhitungan program maka perlu dilakukan perbandingan dengan perhitungan manual. Perbandingannya akan diberikan dalam bentuk tabel yaitu pada tabel 4. Hasil perhitungan manual dan program dibuat dengan memiliki 3 angka desimal dibelakang koma. Dari tabel diatas dapat terlihat bahwa terdapat sedikit selisih angka antara perhitungan manual dengan perhitungan menggunakan program yaitu sebesar 0.003 %.

V. KESIMPULAN

1. Dalam perencanaan saluran transmisi untuk 150 kV menggunakan tiang penyangga dengan tinggi 28.1 m dan tiang penegang dengan tinggi 27.9 m, sirkuit vertikal ganda dengan konduktor ACSR 630 mm², isolator gantung dengan jumlah 8 buah per fasa dan jarak rentang antar menara 300 m.
2. Pentanahan kaki menara menggunakan *ground rod* dengan 4 buah batang elektroda yang memiliki panjang masing-masing 5 m sedangkan untuk pengaman kawat tanah menggunakan dua buah kawat tanah baja dengan diameter 57.5 mm².
3. Perbandingan hasil perhitungan secara manual dengan program memiliki selisih sebesar 0.003% baik untuk biaya tetap maupun biaya pokok penyediaan.
4. Biaya pokok penyediaan tenaga listrik sub sistem transmisi berubah-ubah tiap tahun dimana yang tertinggi yaitu pada tahun 2014 yaitu Rp 174.696.- per kWh dan terendah pada tahun 2020 yaitu Rp 109.95.- per kWh.

TABEL IV. PERBANDINGAN PERHITUNGAN BIAYA

Tahun	Biaya Tetap [Juta Rp]		BPP [Rp / kWh]	
	Manual	Program	Manual	Program
2011	168,377.905	168,383.563	164.891	164.896
2012	188,562.772	188,569.108	168.572	168.578
2013	207,831.371	207,838.354	169.518	169.524
2014	234,672.663	234,680.548	174.690	174.696
2015	240,790.106	240,798.197	163.527	163.532
2016	240,790.106	240,798.197	149.116	149.121
2017	242,649.593	242,657.746	137.007	137.011
2018	247,608.226	247,616.545	127.441	127.445
2019	255,288.716	255,297.293	119.746	119.75
2020	257,848.879	257,857.543	109.946	109.95

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim, "Setting Tarif Sulawesi Utara", PT. PLN (Persero) Wilayah Suluttenggo, Manado, 2006.
- [2] A. Arismunandar Dr, S. Kuwara Dr, "Buku Pegangan Teknik Tegangan Listrik Jilid II", Jakarta: PT Pradnya Paramita, 2004.
- [3] A. Arismunandar Dr, S. Kuwara Dr, "Buku Pegangan Teknik Tegangan Listrik Jilid III", Jakarta: PT Pradnya Paramita, 1979.
- [4] Black and Veatch, "Power Plant Engineering", Springer Science, Inc. USA, 1996.
- [5] Hans - Petter Halorsen, "Tutorial: Introduction to Visual Studio and C#", Telemark University College, 2012.
- [6] Taawoeda, Christien, "Perancangan Aplikasi Perhitungan Biaya Pokok Penyediaan Tenaga Listrik", Manado: Universitas Sam Ratulangi, 2011.
- [7] Kadir, A, "ENERGI: Sumber Daya, Inovasi, Tenaga Listrik dan Potensi Ekonomi", Universitas Indonesia, Jakarta, 1995.
- [8] Tim O&M Transmisi dan Gardu Induk, "Buku Petunjuk Operasi & Memelihara Peralatan untuk SUTT dan SUTET", PT. PLN (Persero) Wilayah Suluttenggo, Manado, 2010.
- [9] Tim Penyusun, "Persyaratan Umum Listrik Instalasi Listrik", 2000.
- [10] Tim Penyusun, "RUPTL 2011-2020: PT. PLN (Persero) Wilayah Suluttenggo", PT. PLN (Persero) Wilayah Suluttenggo, Manado, 2011.
- [11] Tim Penyusun, "Statistik 2009", PT. PLN (Persero) Wilayah Suluttenggo, Manado, 2009.
- [12] Turan Gonen, "Electric of Power Transmission System Engineering", Mc Graw Hill, 1998.
- [13] T. S. Hutahuruk, "Pengetahuan Netral Sistem Tenaga dan Pengetahuan Peralatan", Jakarta: Erlangga, 1998.
- [14] T. S. Hutahuruk, "Transmisi Daya Listrik", Jakarta: Erlangga, 1993.