

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida

Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida (PLTH)^[2] adalah suatu sistem pembangkit listrik yang memadukan beberapa jenis pembangkit listrik, pada umumnya antara pembangkit listrik berbasis BBM dengan pembangkit listrik berbasis energi terbarukan. Merupakan solusi untuk mengatasi krisis BBM dan ketiadaan listrik di daerah terpencil, pulau-pulau kecil dan pada daerah perkotaan. Umumnya terdiri atas: modul foto voltaik, turbin angin, generator diesel, baterai, dan peralatan kontrol yang terintegrasi. Tujuan PLTH adalah mengkombinasikan keunggulan dari setiap pembangkit sekaligus menutupi kelemahan masing-masing pembangkit untuk kondisi-kondisi tertentu, sehingga secara keseluruhan sistem dapat beroperasi lebih ekonomis dan efisien. Mampu menghasilkan daya listrik secara efisien pada berbagai kondisi pembebanan

Untuk mengetahui unjuk kerja sistem pembangkit hibrida ini, hal – hal yang perlu dipertimbangkan antara lain: karakteristik beban pemakaian dan karakteristik pembangkitan daya khususnya dengan memperhatikan potensi energi alam yang ingin dikembangkan berikut karakteristik kondisi alam itu sendiri, seperti pergantian siang malam, musim dan sebagainya.

2.1.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)^[3] adalah suatu teknologi pembangkit listrik yang mengkonversi energi foton dari surya menjadi energi listrik. Konversi ini dilakukan pada panel surya yang terdiri dari sel – sel foto voltaik. Sel – sel ini merupakan lapisan – lapisan tipis dari silikon (Si) murni atau bahan semikonduktor lainnya yang diproses sedemikian rupa, sehingga apabila bahan tersebut mendapat energi foton akan mengeksitasi elektron dari ikatan atomnya menjadi elektron yang bergerak bebas, dan pada akhirnya akan mengeluarkan tegangan listrik arus searah.

Dalam bab ini akan diuraikan mengenai komponen – komponen utama yang mendukung suatu PLTS disertai fungsinya.

2.1.1.1 Generator Foto Voltaik

Generator foto voltaik (*Photo Voltaic*, PV) terdiri dari sel – sel foto voltaik yang membangkitkan tegangan keluaran arus searah hasil konversi energi dari radiasi surya. Tenaga listrik yang dihasilkan tersebut harus mempunyai besar tegangan tertentu yang sesuai dengan tegangan yang diperlukan inverter.

Untuk memperoleh tegangan dan daya yang sesuai kebutuhan, sel – sel foto voltaik dikombinasikan secara seri dan paralel, dengan aturan sebagai berikut :

- Untuk memperoleh tegangan keluaran dua kali lebih besar dari tegangan keluaran sel foto voltaik, maka dua buah sel foto voltaik dihubungkan seri.
- Untuk memperoleh arus keluaran dua kali lebih besar dari arus keluaran sel foto voltaik, maka dua buah sel foto voltaik dihubungkan paralel.
- Untuk memperoleh daya keluaran dua kali lebih besar dari daya keluaran sel foto voltaik dengan tegangan yang konstan, maka dua buah sel foto voltaik dihubungkan secara seri dan paralel.

Rangkaian dari sel – sel yang disusun seri dan paralel tersebut dinamakan modul. Biasanya setiap modul terdiri dari 10 – 36 unit sel. Apabila tegangan, arus dan daya dari suatu modul tidak mencukupi untuk beban yang digunakan, maka modul – modul tersebut dapat dirangkaikan seri, paralel ataupun kombinasi keduanya untuk menghasilkan besar tegangan dan daya sesuai kebutuhan. Rangkaian modul yang dihubungkan seri tersebut dinamakan rangkaian cabang (*branch circuit*) dan modul – modul total yang terpasang disebut dengan susunan modul (*array*) yang terdiri dari kumpulan paralel rangkaian cabang.

2.1.1.2 Menentukan Jumlah Hubungan Seri Modul Foto Voltaik

Daya generator foto voltaik yang telah dihitung diatas harus dinyatakan terlebih dahulu sebagai hasil perhitungan sementara. Generator foto voltaik merupakan bentuk kombinasi hubungan seri dan paralel modul – modul foto voltaik. Langkah penting berikutnya adalah menentukan jumlah modul foto voltaik yang harus dihubungkan seri dan paralel.

Jumlah modul yang harus dihubungkan seri ditentukan oleh tegangan masukan inverter, dengan rumus dibawah ini: ^[4]

$$J_s = \frac{V_{INV}}{V_{MF}} \quad (2.1)$$

dengan:

$$\begin{aligned} J_s &= \text{jumlah seri modul foto voltaik} \\ V_{INV} &= \text{tegangan masukan inverter (Volt)} \\ V_{MF} &= \text{tegangan maksimum modul foto voltaik (Volt)} \end{aligned}$$

Jika diperoleh bilangan pecahan, maka J_s dibulatkan ke bawah atau ke atas. jadi tegangan generator foto voltaik adalah:

$$V_{GPV} = J_s \cdot V_{MF} \quad (2.2)$$

dengan:

$$V_{GPV} = \text{tegangan generator foto voltaik}$$

2.1.1.3 Menentukan Jumlah Modul Foto Voltaik dalam Hubungan Paralel

Suatu string terdiri dari J_s modul foto voltaik dalam hubungan seri. Untuk memperoleh daya total generator foto voltaik sebesar P_{GPV} , maka dibutuhkan jumlah string, sebagai berikut :

$$J_p = \frac{P'_{GPV}}{V_{GPV} \cdot I_{MF}} \quad (2.3)$$

dengan:

$$\begin{aligned} J_p &= \text{jumlah string modul foto voltaik} \\ P'_{GPV} &= \text{daya generator foto voltaik (Watt)} \\ V_{GPV} &= \text{tegangan generator foto voltaik (Volt)} \\ I_{MF} &= \text{arus maksimum modul foto voltaik (Ampere)} \end{aligned}$$

Bila diperoleh bilangan pecahan, J_p dibulatkan keatas, arus nominal generator foto voltaik (I_{GPV}) dapat dihitung kemudian dengan rumus sebagai berikut :

$$I_{GPV} = J_p \cdot I_{MF} \quad (2.4)$$

Setelah ditentukan J_s dan J_p , maka daya generator foto voltaik terpasang dihitung kembali menggunakan persamaan :

$$P_{GPV} = V_{GPV} \cdot I_{GPV} \quad (\text{Watt peak}) \quad (2.5)$$

Sedangkan jumlah susunan modul foto voltaik yang terpasang adalah :

$$N = J_p \cdot J_s \quad (2.6)$$

dengan:

$$N = \text{jumlah susunan modul foto voltaik}$$

2.1.2 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)^[5] adalah teknologi pembangkit listrik yang merubah potensi energi angin menjadi energi listrik. Angin adalah udara yang bergerak/mengalir, sehingga memiliki kecepatan, tenaga dan arah. Penyebab dari pergerakan ini adalah pemanasan bumi oleh radiasi matahari. Udara di atas permukaan bumi selain dipanaskan oleh matahari secara langsung, juga mendapat pemanasan oleh radiasi matahari bumi tidak homogen, maka energi matahari yang diserap dan dipancarkan kembali oleh bumi bervariasi berdasarkan tempat dan waktu. Hal ini menyebabkan perbedaan temperatur pada atmosfer, sehingga terjadi perbedaan kerapatan dan tekanan atmosfer. Udara memiliki sifat selalu mencapai kesetimbangan tekanan, sehingga perbedaan kecepatan dan tekanan atmosfer menyebabkan udara bergerak dari daerah yang bertekanan tinggi ke daerah bertekanan rendah.

Pada daerah yang relatif panas, partikel udara mendapat energi sehingga udara memuai. Akibat pemuaian ini, tekanan udara naik, namun kerapatan udara menjadi berkurang, sehingga berat jenis udara di daerah tersebut menjadi relatif kecil, akibatnya udara berekspansi ke atas dan menyebabkan terjadinya penurunan tekanan di daerah yang ditinggalkannya. Daerah ini lalu diisi oleh udara dari daerah sekelilingnya yang memiliki tekanan udara dan massa jenis lebih tinggi. Udara yang berekspansi ke atas lalu mengalami penurunan suhu, sehingga terjadi penyusutan dan massa jenisnya kembali naik. Udara ini akan turun kembali di tempat lain yang memiliki tekanan yang lebih rendah. Hal ini berlangsung terus menerus sepanjang waktu, sehingga pergerakan udara terus berlangsung.

2.1.2.1 Potensi Tenaga Angin

Angin adalah udara yang memiliki massa dan bergerak dengan kecepatan tertentu. Akibat pergerakan ini, angin memiliki daya yang sebanding dengan massanya dan berbanding lurus dengan kuadrat kecepatannya. Secara ideal kecepatan angin yang menggerakkan kincir angin ada tiga, yaitu kecepatan aliran angin masuk (V_i) atau kecepatan aliran angin menuju *blade*, kecepatan aliran angin saat mengenai *blade* (V_a) dan kecepatan aliran angin ketika meninggalkan *blade* (V_e), yaitu :

Angin mempunyai tenaga yang sama besarnya dengan energi kinetik dari aliran angin tersebut, yaitu :

$$P_{\text{tot}} = m \cdot KE_i = m \cdot \frac{V_i^2}{2 \cdot Gc} \quad (2.7)$$

dengan:

$$\begin{aligned} P_{\text{tot}} &= \text{daya total angin (W)} \\ m &= \text{aliran massa angin (kg/det)} \\ V_i &= \text{kecepatan angin masuk (m/det)} \\ Gc &= \text{faktor konversi} = 1 \left(\frac{\text{kg.m}}{\text{N.det}^2} \right) \end{aligned}$$

2.1.2.2 Kecepatan Angin Rata – Rata

Langkah awal dalam menghitung energi angin adalah mengetahui kecepatan angin rata – rata^[4]. Kecepatan angin rata – rata tersebut dapat dihitung dengan rumus :

$$\bar{V} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i} \quad (2.8)$$

dengan:

$$\begin{aligned} \bar{V} &= \text{kecepatan angin rata – rata (m/s).} \\ V_i &= \text{kecepatan angin yang terukur (m/s)} \\ T_i &= \text{lamanya angin bertiup dengan kecepatan } V_i \text{ (m/s)} \\ N &= \text{banyaknya data pengukuran} \end{aligned}$$

Kecepatan angin rata – rata tiap jam, misalnya kecepatan angin rata – rata dari jam 0.00 - 1.00, kecepatan angin rata – rata dari jam 1.00 - 2.00, dan seterusnya, digunakan untuk mengetahui variasi kecepatan harian. Dengan mengetahui variasi harian dari kecepatan angin, dapat diketahui saat – saat dimana angin bertiup kencang dalam satu hari, sehingga dapat digunakan untuk menentukan berapa jam dalam sehari semalam energi angin di daerah tersebut dapat digunakan untuk menggerakkan turbin.

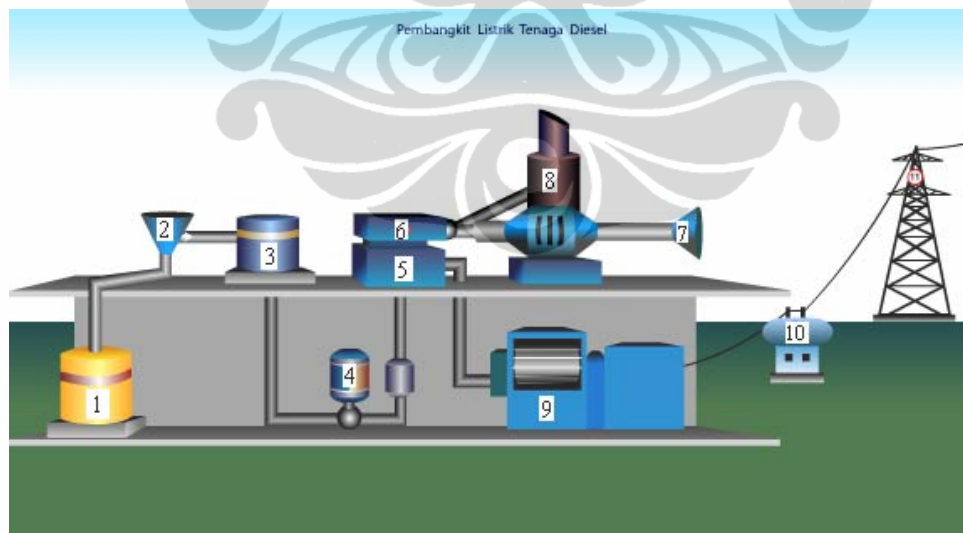
2.1.3 Pembangkit Listrik Tenaga Diesel

Pusat Listrik Tenaga Diesel (PLTD)^[6] sesuai untuk diimplementasikan pada lokasi dimana pengeluaran bahan bakar rendah, persediaan air terbatas,

minyak sangat murah dibandingkan dengan batubara dan beban dasarnya dapat ditangani oleh mesin pembangkit dalam kapasitas kecil, serta dapat berfungsi dalam waktu singkat. Kegunaan utama PLTD adalah penyedia daya listrik yang dapat berfungsi untuk pusat pembangkit, cadangan (*stand by plant*), beban puncak dan cadangan untuk keadaan darurat (*emergency*). Faktor-faktor yang merupakan pertimbangan pilihan yang sesuai untuk PLTD antara lain :

1. Jarak dari beban dekat.
2. Persediaan areal tanah dan air.
3. Pondasi, tidak diperlukan untuk PLTD jenis *mobile*.
4. Pengangkutan bahan bakar.
5. Kebisingan dan kesulitan lingkungan.

Bagian-bagian utama pada PLTD adalah mesin (motor) diesel dan generator. Mesin diesel adalah motor bakar yang berfungsi menghasilkan tenaga mekanis yang digunakan untuk memutar rotor generator. Mesin diesel menggunakan bahan bakar minyak diesel dengan kecepatan tinggi, bekerja dengan prinsip pembakaran kompresi dan menggunakan dua langkah putaran dalam operasi, ini digunakan bilamana mesin berkapasitas tinggi.



Gambar 2.1 Cara Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Diesel

Sumber : <http://www.pln.co.id/InfoUmum/ElectricityEvocation>

Keterangan gambar: ^[7]

1. *Fuel Tank*
2. *Fuel oil separator*

3. *Daily tank*
4. *Fuel oil booster*
5. *Diesel motor* : menghidupkan mesin diesel untuk mempunyai energi untuk bekerja
6. *Turbo charger* : menaikkan efisiensi udara yang dicampur dengan bahan bakar dan menaikkan tekanan serta temperaturnya.
7. *Air intake filter* : Perangkat untuk mengalirkan udara
8. *Exhaust gas silincer* : Peredam dari sisa gas yang digunakan
9. *Generator* : Menghasilkan energi listrik
10. *Main Transformer* : Alat pengubah utama untuk menjadi energi listrik
11. *Jalur transmisi* : Penyaluran energi listrik ke konsumen

Daya yang dihasilkan oleh kerja mesin diesel ditentukan faktor-faktor sebagai berikut :

$$P = \frac{Pe.v.i.n}{450000.a} \quad (2.9)$$

dengan:

- Pe adalah tekanan efektif yang bekerja
v adalah volume langkah silinder yang dapat dicapai
i adalah jumlah silinder
n adalah putaran permenit atau kecepatan putar mesin
a bernilai 2 untuk tipe mesin 4 langkah
bernilai 1 untuk tipe mesin 2 langkah

Untuk jenis 2 langkah daya keluarannya adalah 2 kali jenis 4 langkah, tetapi jenis 4 langkah banyak dipilih karena efisiensi bahan bakar yang digunakan lebih besar. Mesin diesel adalah motor bakar dimana daya yang dihasilkan diperoleh dari pembakaran bahan bakar. Adapun daya yang dihasilkan akan berubah menjadi :

Daya manfaat	40%
Panas yang hilang untuk pendingin	30%
Panas yang hilang untuk pembuangan gas	24%
Panas yang hilang dalam pergeseran, radiasi dan sebagainya	6%

Keuntungan jika menggunakan PLTD sebagai pembangkit listrik adalah daya listrik tersedia sesuai dengan kebutuhan, secara teknis handal, layanan purna jual relatif mudah diperoleh, biaya investasi (Rp/kW) relatif murah.

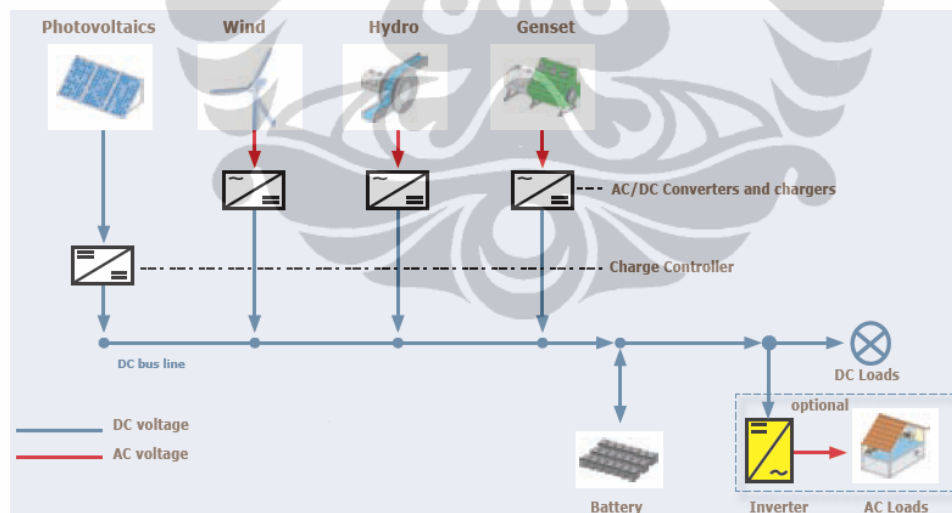
Kelemahan PLTD antara lain, biaya operasi dan pemeliharaan mahal, memerlukan transportasi penyediaan dan penyimpanan BBM, menimbulkan polusi udara, kebisingan, dan bau, memerlukan pemeliharaan rutin, sistem operasi tidak efisien (boros) pada kondisi beban rendah.

2.1.4 Konfigurasi Sistem Hibrida

Konfigurasi sistem hibrida^{[8][9]} dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu konfigurasi *DC Bus*, *AC Bus* dan *AC/DC Bus*.

2.1.4.1 Konfigurasi *DC Bus*

Semua komponen terhubung pada *DC Bus*. Komponen *AC* memerlukan penyearah (*rectifier*). Baterai dikontrol oleh *charge controller*. Beban *AC* dipasok melalui inverter.

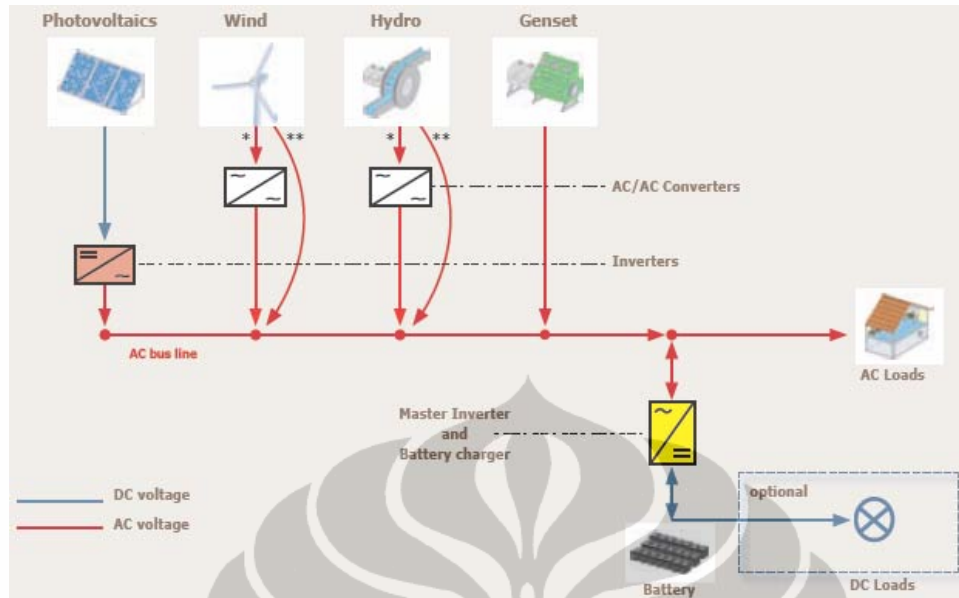


Gambar 2.2 Konfigurasi *DC Bus*

Sumber : Alliance for Rural Electrification. (2008). *Hybrid Power System Based on Renewable Energies*.

2.1.4.2 Konfigurasi *AC Bus*

Semua komponen terhubung pada *AC Bus*. Komponen *AC* bisa terhubung langsung ke *AC Bus* (**) atau melalui konverter (*). Beban *AC* dan baterai dipasok melalui *Bi-directional inverter* (BDI), sedangkan beban *DC* dipasok melalui baterai.

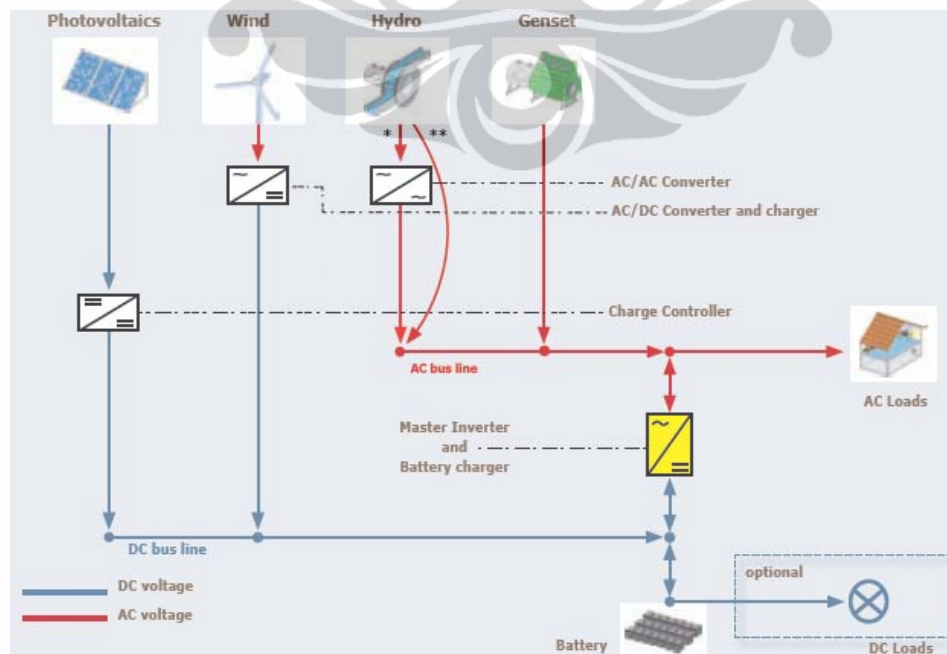


Gambar 2.3 Konfigurasi *AC Bus*

Sumber : Alliance for Rural Electrification. (2008). *Hybrid Power System Based on Renewable Energies*.

2.1.2.3 Konfigurasi *AC/DC Bus*

Semua komponen baik *DC* maupun *AC* terhubung pada kedua sisi master inverter. Beban *DC* dipasok melalui baterai. Pada *AC bus*, komponen *AC* bisa terhubung langsung ke *AC Bus* (***) atau melalui *AC/AC Converter* (*).



Gambar 2.4 Konfigurasi *AC/DC Bus*

Sumber : Alliance for Rural Electrification. (2008). *Hybrid Power System Based on Renewable Energies*.

2.2 Algoritma *Simulated Annealing*

Simulated Annealing^{[10][11]} adalah suatu pendekatan algoritmik dari solusi optimal untuk suatu problem dengan optimasi kombinatorial (*combinatorial optimization*) (Cerny, 1985). Tujuannya untuk mendapatkan jalur optimal dari titik beban (*demand points*) ke titik pemasok (*supply points*). *Simulated Annealing* berdasarkan jaringan syaraf (*neural networks*), ada dua tipe *neural networks*, yaitu *feedback networks* dan *feedforward networks*. Pada *feedback networks*, sinyal keluaran neuron merupakan masukan neuron lainnya. *feedforward network* mentransfer sinyal dari masukan ke keluaran dengan perantara neuron. *Simulated Annealing* merupakan tipe *feedback networks* dimana neuron-neuron merupakan node-node (*nodes*) dan sinyal merupakan hubungan antar node (*graph*). Node menerima masukan dari node lain dan mengirim keluaran ke node lain lagi dan menghubungkan semua node menjadi suatu jaringan.

Jika suatu modifikasi jaringan dibuat, *simulated annealing* akan mengevaluasi perubahan biaya. Jika hasil perubahan mengurangi biaya total (*downhill move*), modifikasi tersebut diterima tanpa syarat. Jika hasil perubahan meningkatkan biaya total (*uphill move*), maka nilai $P(\Delta E)$ dihitung berdasarkan Persamaan 2.10.^[11]

$$P(\Delta E) = \exp\left(\frac{-\Delta E}{T}\right) \quad (2.10)$$

dengan:

$P(\Delta E)$ adalah probabilitas

ΔE adalah perubahan biaya total

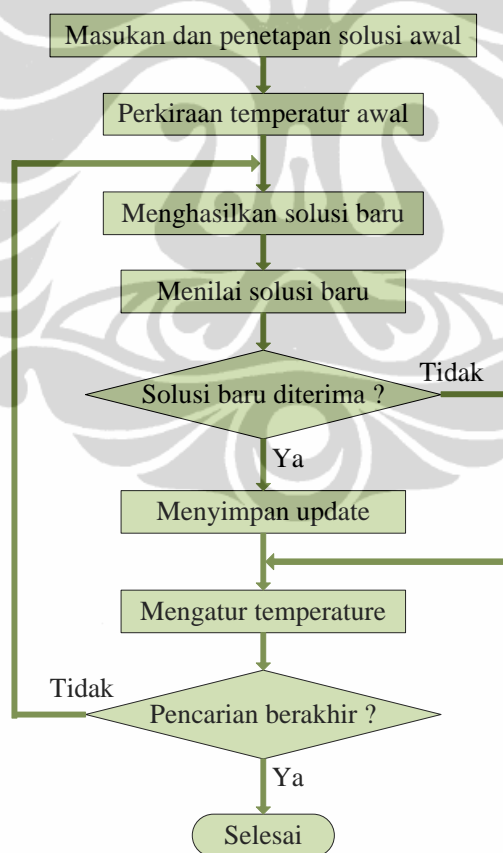
T adalah temperatur (bukan temperatur fisik, tetapi parameter kontrol)

Sebuah bilangan acak antara 0 dan 1 dibandingkan dengan $P(\Delta E)$. Perubahan diterima jika bilangan acak tersebut kurang dari $P(\Delta E)$. Ini adalah kriteria untuk algoritma *simulated annealing* dan kadang-kadang disebut sebagai kriteria Metropolis. Temperatur awal selalu dimulai dengan nilai yang relatif tinggi (T_i), dan kemudian dikalikan dengan sebuah faktor *annealing* (α_i , angka antara 0 dan 1), setelah sistem tersebut dimodifikasi (persamaan 2.11). Konfigurasi dengan biaya terendah dipilih sebagai konfigurasi optimum.

$$\text{Temperatur baru} = \text{temperatur mula} \times \alpha_i \quad (2.11)$$

2.2.1 Protokol Algoritma *Simulated Annealing*

Algoritma *Simulated Annealing*^[10] memiliki kemampuan untuk menolak atau menerima perubahan jaringan. Jika hubungan antara dua titik (*graph*) menghasilkan biaya lebih tinggi, maka hubungan ini ditolak. Sebaliknya, jika menghasilkan biaya lebih rendah, maka diterima. Jika hubungan antara dua titik diterima, jaringan diperbarui, menurunkan nilai variabel temperatur, dan memulai iterasi baru. Jika ditolak, jaringan kembali ke tahap sebelumnya, menurunkan nilai variabel temperatur, dan memulai iterasi baru. Algoritma ini lebih toleran dengan perubahan biaya tinggi pada saat variabel temperatur tinggi. Sejalan dengan penurunan variabel temperatur, algoritma ini berkurang toleransinya terhadap biaya tinggi (*uphill*). Gambar 2.5 menunjukkan protokol simulasi dari proses *Simulated Annealing*.



Gambar 2.5 Protokol *Simulated Annealing*

Sumber : Castongia, Steven M. *A Demand-Based Resource Allocation Method for Electrical Substation Service Area Delineation*. Master's Thesis. University of North Carolina.

2.2.2 Algoritma *Simulated Annealing* pada Model Jaringan Distribusi

Model jaringan distribusi radial^[11] ditampilkan dalam suatu map $x - y$ koordinat. Jaringan tegangan menengah (TM) menghubungkan sejumlah transformator dan transformator tersebut dihubungkan ke titik-titik beban melalui jaringan tegangan rendah (TR). Jaringan tersebut dipasok oleh sumber yang terhubung dengan transformator melalui jaringan TM. Untuk membatasi rugi resistif (*resistive losses*) dan jatuh tegangan (*voltage drop*), maka panjang jaringan TR maksimum menjadi masukan yang harus ditentukan sebagai batasan (*constraint*) dari sistem jaringan. Hasil akhir dari prosedur optimasi ini adalah rancangan sistem dengan biaya terendah.

Optimasi dilakukan dengan dua level, yaitu optimasi jaringan TR yang disebut optimasi level terendah (*lower level optimization*) dan optimasi jaringan TM yang disebut optimasi level tertinggi (*upper level optimization*).

2.2.2.1 Optimasi Level Terendah

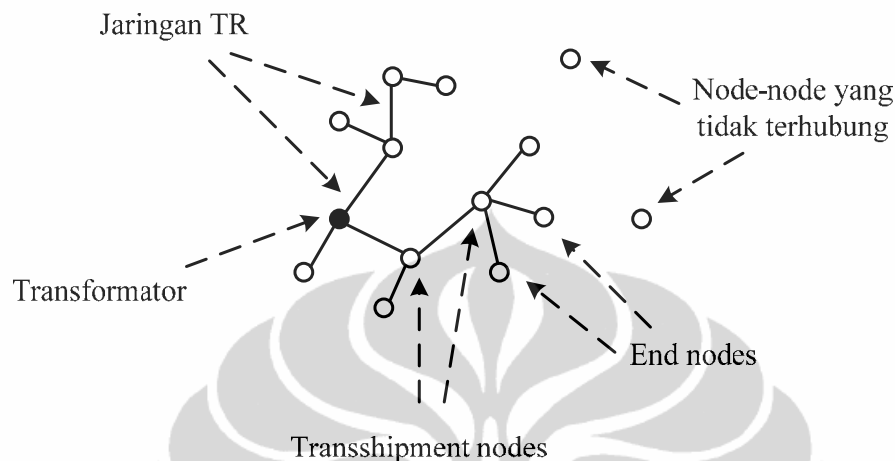
Prosedur *Lower level optimization*^[11] melakukan optimasi jaringan TR untuk memasok sejumlah titik beban di sekitar transformator yang spesifik. Ada dua tujuan dari prosedur ini, pertama untuk menentukan beban mana yang akan dipasok melalui jaringan TR, dan kedua mendapatkan jaringan TR dengan biaya terendah untuk memasok beban-beban tersebut.

Lower level simulated annealing mengizinkan tiga tipe perubahan sistem jaringan, yaitu:

1. Node yang sebelumnya tidak terhubung dapat dihubungkan ke jaringan.
2. Node yang sebelumnya terhubung dapat tidak dihubungkan ke jaringan (dilepas dari sistem).
3. Node yang sebelumnya terhubung ke jaringan melalui suatu node dapat dihubungkan melalui node lain.

Pada setiap tahap dari proses, node-node di sekitar transformator dipilih secara acak untuk dihubungkan dengan transformator. Jika ada node-node yang lebih jauh, maka node-node tersebut akan dihubungkan melalui node-node yang lebih dekat dengan transformator, dengan batasan panjang maksimum jaringan TR. Sehingga akhirnya hubungan antara node-node membentuk suatu konfigurasi jaringan TR. Pada gambar 2.6 dapat dilihat contoh konfigurasi jaringan TR, dimana *transshipment nodes* adalah node yang tidak hanya menerima daya tapi

juga mengirim daya ke node lainnya, sedangkan *end nodes* adalah node yang hanya menerima daya dari jaringan.



Gambar 2.6 Contoh Konfigurasi Jaringan TR

Sumber : Lambert, T.W., Hittle, D.C., *Optimization of Autonomous Village Electrification Systems by Simulated Annealing*, Solar Energy, Volume 68, No. 1, Pp. 121-132.

Algoritma dimulai dengan suatu konfigurasi awal jaringan TR dan membuat modifikasi-modifikasi dari konfigurasi tersebut. Setiap modifikasi konfigurasi akan dievaluasi berdasarkan biaya. Jika hasil perubahan konfigurasi tersebut mengurangi biaya total, modifikasi diterima tanpa syarat. Jika hasil perubahan konfigurasi meningkatkan biaya total, maka probabilitas modifikasi tersebut diterima atau tidak dihitung dengan menggunakan persamaan 2.10. Untuk setiap perubahan modifikasi, penurunan parameter temperatur menggunakan persamaan 2.11. Konfigurasi dengan biaya terendah akan dipilih sebagai konfigurasi optimum.

2.2.2.2 Optimasi Level Tertinggi

Upper level optimization^[11] merupakan proses optimasi penempatan transformator dan merancang jaringan TM untuk memasok beban pada jaringan TR berdasarkan biaya total terendah. Sehingga ada tiga hal yang harus dilakukan, pertama mengoptimasi jumlah dan lokasi transformator, kedua memilih lokasi optimum dari sumber, dan ketiga merancang jaringan TM yang optimum untuk menghubungkan sumber ke transformator.

Upper level simulated annealing mengizinkan empat tipe perubahan sistem, yaitu:

1. Penambahan transformator.
2. Pengurangan transformator.
3. Pemindahan transformator.
4. Perubahan dan pemilihan lokasi sumber.

Algoritma dimulai dengan suatu konfigurasi awal jaringan TM dan membuat modifikasi-modifikasi dari konfigurasi tersebut. Untuk setiap modifikasi konfigurasi jaringan TM, *lower level optimization* akan merancang konfigurasi jaringan TR. Probabilitas modifikasi tersebut diterima atau tidak, dihitung dengan menggunakan persamaan 2.10. Parameter temperatur pada *upper level optimization* berbeda dengan parameter temperatur pada *lower level optimization*, kedua level optimasi ini merupakan proses yang terpisah. Konfigurasi dengan biaya terendah akan dipilih sebagai konfigurasi optimum.