



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap

2.1.1 Pengertian PLTU

Pembangkit Tenaga Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah pembangkit yang memanfaatkan energi dari uap untuk menghasilkan energi listrik. Penggerak utama dari pembangkit listrik jenis ini adalah generator yang di hubungkan ke turbin dimana hasil keluarannya akan memutar turbin yang berupa energi kinetik dari uap panas atau kering. Pembangkit Listrik Tenaga Uap menggunakan berbagai macam bahan bakar seperti batu bara ataupun arang kayu dan solar guna bahan bakar untuk start awal. Kelebihan PLTU adalah daya yang dihasilkan relatif besar untuk memasok daya yang diperlukan. PLTU adalah suatu pembangkit tenaga listrik yang mengkonversikan energi kimia menjadi energi listrik dengan menggunakan uap air sebagai fluida kerjanya yaitu dengan memanfaatkan energi kinetik uap untuk menggerakkan baling-baling turbin yang akan menggerakkan generator dan berujung pada dibangkitkannya energi listrik. Energi yang telah dibangkitkan akan menyuplai ke alat-alat listrik yang akhirnya akan disebut beban listrik pelanggan atau konsumen dari beban listrik.¹

2.1.2 Air



*Gambar 2. 1 Water Pond
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)*

¹ Rasyid, Attar AM. 2020. *Analisa Sistem Proteksi Penyulang Gambus 20 kV dengan Sepam Seri 40 Pada PLTU Baturaja PT Bakti Nugraha Yuda Energy*. Hal. 11. Semarang: Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret.



Air merupakan salah satu bahan baku utama dari terbentuknya siklus untuk memproduksi daya listrik pada PLTU. Aliran air dimulai dari pompa yang menyedot air dari sungai atau penampungan air terdekat yang kemudian air tersebut akan ditampung dalam sebuah wadah yang berbentuk seperti kolam dengan bentuk dasar kolam seperti Prisma terbalik yang akan disebut sebagai waterpond. Di bagian dasar kolam terdapat sebuah penyedot air yang akan disalurkan pada *Water Treatment Plant (WTP)*.



*Gambar 2. 2 Water Treatment Plant
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)*

Pada Water Treatment Plant terjadi peristiwa kimiawi yang di atur sedemikian rupa untuk mencapai terjadinya suatu pengendapan atau pengumpulan lumpur pada dasar air sungai yang telah ditampung sebelumnya. Disini, bahan kimia terdiri dari tiga jenis yaitu koagulan, biosin dan PAC. Koagulan dan PAC Difungsikan sebagai katalis penggumpalan lumpur terhadap air. Perbedaan di antara kedua bahan kimia ini terletak pada bentuk cairan kimia tersebut dimana koagulan akan lebih kental jika dibandingkan dengan struktur PAC. Walaupun fungsinya diharapkan untuk tujuan yang sama, peran utama dari biosin adalah sebagai pembunuh kuman dan bakteri yang terkandung.

Didalam WTP terdapat tiga kali proses mengulang untuk menjadikan air yang awalnya berlumpur dengan tingkat kandungan halus sehingga mampu menjadi air yang tanpa adanya lumpur halus yang terkandung untuk proses pertama.



Selanjutnya pada proses kedua, terjadi proses sedimentasi atau pengendapan air yang sebelumnya telah diendapkan dengan dibantu oleh biosin dan PAC. Dan yang terakhir adalah proses filtrasi atau penyaringan.



*Gambar 2. 3 Bak Penampung Lumpur
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)*

Lumpur yang mengendap akan dibuang melalui pipa yang berada pada dasar WTP dimana akhirnya pipa tersebut telah terhubung pada bak atau wadah penyimpanan lumpur. Jika setelah pengujian kembali terbukti lumpur telah memenuhi wadah penyimpanan yang sebelumnya terletak di dasar kolam maka lumpur tersebut akan diambil dengan dengan ekskavator atau truk pengeruk. Hasil dari WTP akan ditampung dalam wadah yang disebut *reservoir*.



*Gambar 2. 4 Water Reservoir
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)*

Didalam *reservoir* dibagi menjadi 3 bagian yaitu untuk bagian pertama diperuntukkan sebagai bahan pendinginan uap pada kondensor melalui Cooling



Tower kemudian bagian yang kedua diperuntukan sebagai bahan bakar pada boiler tetapi sebelumnya diperlukannya pemurnian terhadap mineral yang terkandung melalui demineralisasi terlebih dahulu.

Pada bagian pertama *reservoir* memiliki fungsi yang diperuntukkan sebagai pendingin uap yang terjadi pada kondensor yang mana pada proses ini terjadinya proses pengembunan atau perubahan uap menjadi air terhadap uap kering yang telah melewati turbin



Gambar 2. 5 Cooling Tower
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Air *Cooling Tower* yang semula memiliki rentang suhu yang berkisar antara 20 hingga 25 derajat Celcius menjadi bersuhu tingkat tinggi di atas 300 derajat Celcius. Setelah melewati kondensor, air panas tersebut langsung disalurkan menuju *Cooling Tower*.



Gambar 2. 6 Kondensor
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)



Dan yang terakhir adalah bagian ketiga yang diperuntukkan sebagai cadangan proses demineralisasi. Kondensor merupakan alat yang membantu proses kimiawi sebuah pembangkit listrik tenaga uap yang dipergunakan sebagai pengubah uap menjadi air. Sesuai dengan namanya, disini terdapat peralatan yang digunakan sebagai tempat pembuangan uap panas dan kemudian berubah menjadi air yang akan berjatuh pada kisi-kisi seperti halnya air terjun yang berfungsi untuk mempercepat pendinginan terhadap air agar dapat dipergunakan lagi sebagai pendinginan uap kering pada kondensor.



*Gambar 2. 7 Demineralization Plant
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)*

Pada bagian kedua *reservoir* diperuntukkan sebagai bahan baku pada proses demineralisasi. Terdapat 5 proses penyaringan air terhadap mineral yang terkandung pada awalnya.



*Gambar 2. 8 Membran Holo-fiber
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)*



Tahap pertama disebut dengan proses ultrafilter dimana pada proses ini terjadi penyaringan Ultra terhadap air yang mana dengan bantuan pipa membran hollow fiber yang menyerupai lembaran buku yang tertumpuk. pembuangan air pada proses ini bukan mineral yang terbuang akan tetapi zat kimia yang terkandung didalamnya berupa koagulan, PAC, biosin dan juga klorin akan tetapi masih mengandung klorin walau persentase kalori yang terkandung masih relatif kecil (microsiemens).



*Gambar 2. 9 Dosing Pump
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)*

Proses kedua adalah pembunuhan mikroba dengan bantuan bahan kimia yaitu klorin dengan melihat perbandingan terhadap jumlah air yang masuk.



*Gambar 2. 10 Reverse Osmosis I
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)*



Proses ketiga disebut dengan Reverse Osmosis 1 (RO1). Yang mana pada proses ini merupakan suatu metode penyaringan yang dapat menyaring berbagai molekul besar dan ion-ion dari suatu larutan sebelumnya. Proses ini dilakukan dengan memberikan tekanan tinggi pada air yang dialirkan melalui membran *semi-permeabel* dimana pemisahan ion terjadi. Dengan pemisahan ion, molekul air membentuk *barrier* yang memungkinkan molekul air lainnya untuk lewat dan menghalangi lewatnya partikel yang hampir semua adalah kontaminan.

Untuk tingkat penolakan kontaminan ini berkisar antara 85 sampai 95% yang bergantung pada tingkat kualitas awal air yang diolah. Pada bagian ini terjadi penyaringan air terhadap mineral yang terkandung untuk tahap pertama. Berdasarkan nameplate yang ada pada RO1, penyaringan air terhadap mineral memiliki kapasitas sebesar 97% sehingga output kerugian sebesar 3% yang disiapkan untuk kemungkinan adanya *margin error* sebesar 2-3% untuk sisa mineral yang terkandung di dalamnya.



*Gambar 2. 11 Reverse Osmosis II
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)*

Proses keempat disebut Reverse Osmosis 2 (RO2) yang mana pada bagian ini terjadi proses lanjutan penyaringan air terhadap mineral yang terkandung dan kemudian akan dipersiapkan untuk proses penyaringan tahap kedua. Untuk yang ada pada RO2 sama halnya dengan RO1 dimana dimisalkan kapasitas penyaringan air adalah 5.50 maka pada RO2 hasil mineral yang akan dibuang adalah sekitar 5.50 juga atau berkisar 0.09 *microsiemens* untuk mineral yang terkandung.



*Gambar 2. 12 Mixbed
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)*

Proses kelima disebut dengan *Mixbed* atau bisa dikatakan pengolahan terakhir bagi air yang akan diolah menuju kondensor. *Mixbed* merupakan gabungan antara kation dan anion dalam suatu ruang yang terdiri dari 2 tingkat yaitu kation pada tingkat atas dan anion pada tingkat bawah. Secara bersamaan dengan adanya resin kation dan resin anion dalam *mixbed* untuk akhirnya menghasilkan air dengan tingkat mineral yang bisa dibuktikan sangat minim. Pada proses ini, terjadi usaha untuk menghilangkan kadar mineral yang terkandung hingga sebesar 0.02 *microsiemens*.²

Hasil dari Demin Plant akan ditampung pada setiap tanki yang memiliki fungsi nya masing-masing.



*Gambar 2. 13 Demin Tank
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)*

² Ibid. Hal. 13.



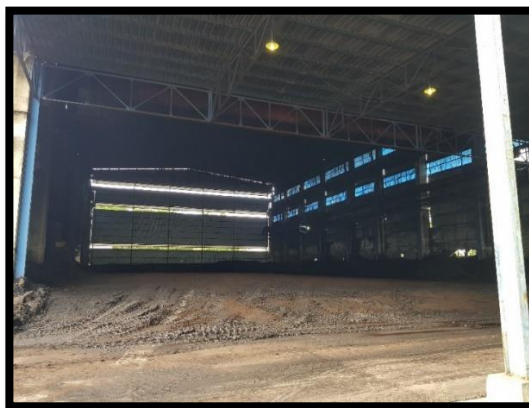
Tabel 2. 1 Rincian Demin Tank

TANGKI	FUNGSI
I	Water Reservoir
II	Demin Water
III	Demin Water
I kecil	Ultra-filtrasi
II kecil	Penyimpanan Air RO1
III kecil	Penyimpanan Air RO2

*Baca dari kanan ke kiri melalui gambar

2.1.3 Batubara

Bahan utama kedua dari pembuatan dari listrik adalah batubara. Batubara merupakan sedimen organik bahan bakar *hidrokarbon* padat yang terbentuk dari tumbuh-tumbuhan yang telah mengalami pembusukan secara biokimia, kimia, dan proses fisika dalam kondisi bebas oksigen yang berlangsung pada tekanan serta temperatur tertentu pada jangka waktu yang sangat lama. Kualitas dari batubara dilihat dari seberapa besar kalori dari batubara itu sendiri yang mana untuk kalori batubara yang baik berkisar sekitar 4200 kcal/kg hingga 4900kcal/kg.



Gambar 2. 14 Dry Coal Storage
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)



Batu bara yang telah diambil akan dikumpulkan pada suatu tempat yang diberi nama *dry Coal Storage* atau DCS. DCS hanya menyimpan batubara yang mengandung kadar air yang rendah atau bisa dikatakan kering karena jika batubara tersebut masih dalam keadaan basah maka batubara tersebut harus dijemur terlebih dahulu. Pada DCS terdapat sensor berat sebagai media penentuan tingkat keringnya suatu batubara dimana setelah itu langsung dipergunakan sebagai penentuan input batubara agar sesuai dengan output yang dihasilkan.

Penjemuran batubara dilakukan di tempat yang disebut *Wet Coal Storage* (WCS). Kemudian setelah teruji kering sesuai dengan standar yang dibutuhkan oleh *furnace* dari PLTU itu sendiri. Batubara yang kering akan diangkat dengan bantuan *belt conveyor* yang merupakan semacam sabuk besar yang terbuat dari karet dengan tujuan pertama yaitu *crusher*.



Gambar 2. 15 Crusher
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Pada crusher terjadi proses pengayakan pada alat yang disebut *roller screener* serta penghancuran pada peralatan yang bernama *ring hammer* terhadap batubara. Proses pertama yang dilakukan adalah pengayakan, ialah suatu proses yang harus dilakukan bilamana ukuran dari batubara tidak sesuai dengan dimensi yang diperlukan maka selanjutnya akan dilakukan penyesuaian dimensi dan massa batubara tersebut agar sesuai dengan input yang diperlukan untuk bisa masuk. Bila



ukuran batubara tidak sesuai maka akan dihancurkan dengan *ring hammer*. ukuran batubara yang telah sesuai diteruskan pada *furnace* dengan bantuan konveyor.

Sebelumnya, terdapat dua *belt conveyer* yang terhubung pada *crusher*. *Conveyor* pertama berfungsi sebagai penghubung antara DCS dengan *Crusher* dan yang kedua penghubung antara tempat penyimpanan *lime-stone* dengan *crusher*.

Lime-stone atau batu kapur difungsikan sebagai pengatur suhu pada *Furnace* karena bila suhu pada *Furnace* terlalu tinggi maka dengan bantuan *lime-stone* akan mengurangi suhu yang dihasilkan oleh batubara itu sendiri. Akan tetapi jika tidak adanya batu kapur, memungkinkan juga digantikan dengan limbah yang dihasilkan oleh batubara yaitu *Bottom Ash* adalah limbah Abu yang ukurannya lebih besar daripada *Fly Ash*.

Saat starting, *Furnace* tidak bisa langsung dimasukkan batubara tetapi harus dipicu oleh pemicu api terlebih dahulu dengan menggunakan bantuan solar. Setelah api menyala dan proses yang dibutuhkan berjalan maka dilanjutkan dengan memasukkan batubara secara perlahan. Proses ini dapat memakan waktu 8-10 jam untuk posisi *Starting* saja.



*Gambar 2. 16 Primary Air Fan
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)*



*Gambar 2. 17 Secondary Air Fan
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)*

Untuk menghasilkan suhu dan temperatur yang sesuai, diperlukan oksigen oleh karena itu adanya peralatan yang disebut dengan *Primary Air Fan*. Alat ini akan menembakkan oksigen pada bagian bawah *Boiler* dan ada juga *Secondary Air Fan* yang berfungsi untuk menembakkan oksigen pada bagian samping *boiler* yang mana pada akhirnya bentuk dari api atau kobaran api tersebut akan berbentuk seperti pusaran angin atau sebuah tornado. Gas yang dihasilkan dari pembakaran batubara akan mengalir melewati komponen *boiler* seperti *Superheater*, *Economizer*, *Electro-static Precipitator*, *Induced Draft-Fan*, *Air Heater* dan diakhiri di *chimney*.



*Gambar 2. 18 Slag Silo
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)*



Dari hasil pembakaran batubara, didapat limbah yang dipecah menjadi dua jenis limbah. limbah pertama adalah *Bottom Ash* yang didapatkan dari bagian bawah *Furnace* yang berbentuk seperti kerikil. *Bottom Ash* tidak serta-merta dibuang begitu saja ke udara tetapi akan berguna sebagai pengatur suhu dari batubara itu sendiri bila suhu dan tekanan yang dihasilkan dari batubara terlalu tinggi maka adanya bantuan dari *Bottom Ash* juga dapat menurunkan suhu dan tekanan pada *Furnace* dikarenakan spesifikasi *boiler* dan *Furnace* itu memungkinkan untuk melakukan hal tersebut.



Gambar 2. 19 Ash Silo
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

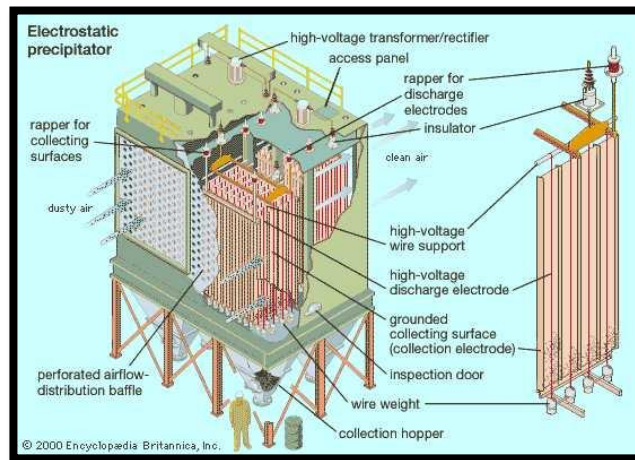
Limbah kedua yaitu *Fly Ash* yang didapat dari ESP. hasil pembakaran dari tanki tersebut selanjutnya akan melewati *Electro-static Precipitator*.



*Gambar 2. 20 Electro-static Precipitator
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)*



*Gambar 2. 21 Vessel Tank
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)*



Gambar 2. 22 Skema Sederhana Electro-static Precipitator
(Sumber: <http://blog.unnes.ac.id/antosupri/electrostatic-precipitator/>)

Pada *Electro-static Precipitator* terjadi penangkapan Abu dari hasil proses pembakaran dengan cara pemberian muatan listrik pada elektroda dan *Discharge Plate*. Listrik yang diberikan pada elektroda dan *Discharge Plate* adalah listrik DC. Untuk muatan positif diberikan pada *Discharge Plate* sedangkan muatan negatif diberikan pada elektroda. Sumber dari trafo *Electro-static Precipitator* merupakan listrik AC 3 fasa sebesar 380V AC dengan adanya penyearah yang menggunakan *thyristor* atau SCR yang mana dapat diatur besar tegangan yang dihasilkan dengan cara mengatur *duty-cycle* pada SCR sedangkan output yang dihasilkan dioda tidak dapat diatur. Karena alasan tersebutlah mengapa *Electro-static Precipitator* menggunakan *thyristor* dalam proses penyearahan dan tidak menggunakan dioda penyearah biasa. besar tegangan DC yang dihasilkan berkisar 20 hingga 60 KV. *Discharge Plate* dan elektroda akan menghasilkan medan listrik yang mana pada kondisi ini abu akan melewati medan listrik dan akan terinjeksi muatan negatif yang sebelumnya telah dipancarkan oleh kutub negatif pada elektroda yang berbentuk plat dan memiliki semacam jarum untuk membantu dalam menginduksi muatan negatif pada Abu sehingga Abu akan bermuatan negatif.

Abu akan tertarik oleh *Discharge Plate* yang bermuatan positif, bila abu telah melekat *Discharge Plate* maka perlu adanya perontokan pada *Discharge Plate* dengan menggunakan *Hammer* di bagian bawah alat tersebut (ESP). Sistem ini



lebih mengarah pada sistem mekanis karena jika debu telah berjatuhan maka terdapat *Vessel Tank* menampung abu tersebut atau yang akan menjadi *Fly Ash*. pada alat *Vessel Tank* yang terletak di bagian bawah *Electro-static Precipitator* dilengkapi dengan beberapa sensor seperti *Heater Sensor* dan *Level Sensor*. *Level Sensor* hanya dipergunakan sebagai monitoring *high* atau *low level* pada *Vessel Tank*. alur pembuangan *Fly Ash* pada *Vessel Tank* berjalan secara terus menerus dengan menggunakan kompresor yang mana akan memberikan tekanan pada *Vessel Tank* untuk ditampung pada *Ash Silo*.

Terdapat 2 *Heater* yang ada pada *Electro-static Precipitator* yang mana salah satu dari *Heater* tersebut digunakan agar Abu atau hasil pembakaran batubara tetap kering dan *Heater* lain yang diletakkan pada bagian *Vessel Tank* dengan tujuan agar tidak terjadi pengendapan atau penggumpalan abu yang diakibatkan oleh suhu pada yang abu menurun. *Fly Ash* yang telah tertampung pada *Ash Silo* akan dipergunakan dalam pembentukan pembuatan semen yang dikelola oleh PT. Semen Baturaja. (Persero).



Gambar 2. 23 Chimney
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)



Gambar 2. 24 Induced Draft Fan
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Hasil pembakaran batubara tidak hanya *Bottom Ash* dan *Fly Ash* tetapi adanya gas buang yang mana pembuangan terjadi pada *chimney* dengan bantuan *Induced Draft-Fan*. alat ini diletakkan di antara *Electro-static Precipitator* dan *chimney*. Alat ini berfungsi untuk mempertahankan tekanan pada *Furnace* dan *Boiler* karena dipergunakan untuk menghisap gas dan abu sisa pembakaran. Akan tetapi abu dan gas tersebut akan melewati *Electro-static Precipitator* Terlebih dahulu yang mana difungsikan sebagai tempat penangkapan abu dari hasil sisa pembakaran. Singkatnya untuk tidak adanya polusi udara yang dihasilkan dari hasil sisa pembakaran batubara, gas yang diindikasikan tidak berpotensi merusak lingkungan atau bisa dikatakan aman untuk dilepas ke udara pada proses pembuangan pada *Chimney* dengan bantuan *Induced Draft-Fan*.³

2.1.4 Uap



Gambar 2. 25 Sistem SCADA Aliran Air & Uap
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

³ Ibid. Hal.28.



Air demineralisasi akan disalurkan pada dearator melalui pipa. Fungsi dari peralatan ini adalah untuk menghilangkan oksigen dan gas-gas lainnya dalam *boiler* dimana gas tersebut dibuang melalui katup pelepas gas atau udara atau untuk lebih singkatnya alat ini dijadikan sebagai wadah penampungan air yang mana akan disalurkan pada boiler menggunakan Feed Water Pump.



*Gambar 2. 26 Feed Water Pump
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)*

Feed Water Pump sama halnya dengan air *boiler* dimana pada dearator juga terjadi pemanasan,an sebelum masuk ke dalam *economizer* untuk ke tahap pemanasan selanjutnya dimana pada tahap selanjutnya tahap pemanasan terjadi pada suhu hingga 300 derajat celcius. Panas yang didapat berasal dari gas hasil pembakaran setelah melewati boiler. Untuk memanaskan air sebelum masuk ke boiler yang mana pemanasan air ini dilakukan agar perbedaan temperatur antara air pengisi dan air yang ada dalam *boiler* tidak terlalu jauh sehingga tidak terjadi *thermal stress* didalam boiler.

Selanjutnya air akan masuk ke dalam *boiler*. *Boiler* sendiri merupakan bejana tertutup di mana panas pembakaran dialirkan ke air hingga terbentuk air panas. Berdasarkan gambar, bentuk dari *economizer* adalah berupa bilah-bilah pipa yang mana memanfaatkan hasil pembakaran dari batu bara itu sendiri dimana aliran gas buang pembakaran di ruang bakar akan melewati komponen boiler seperti *superheater*, *economizer*, *air heater*, *electro-static precipitator*, *induced draft fan*, dan akan diakhiri dengan melewati *furnace*. Setelahnya, air yang bersuhu sekitar



kurang lebih 300 derajat Celsius akan diteruskan menuju *superheater* hingga mencapai suhu 470 derajat Celsius dimana *superheater* merupakan alat yang berfungsi untuk menaikkan temperatur uap hingga mencapai uap panas atau uap kering.



Gambar 2. 27 Steam Drum
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Dilanjutkan di *steam drum*, terjadi proses pemisahan fase uap dan fase air yang akan dikembalikan pada *superheater* untuk pemanasan kembali agar menjadi uap kering. Karena adanya sisa pembuangan dari *steam drum* berupa mineral yang masih terkandung yaitu mineral silika maka adanya proteksi untuk menghindari penimbunan silica yang akan menyebabkan macet atau buntu pada *steam drum* dengan menggunakan *steam blow* dan *safety valve*. Alat ini digunakan saat adanya lonjakan tekanan pada *boiler* yang berkemungkinan terjadi pada saat terjadinya *blackout* atau adanya tekanan yang berlebih pada *boiler*.



Gambar 2. 28 Steam Blow & Safety Valve
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)



Adapun langkah-langkah yang harus diperhatikan disaat terjadi *overheat* adalah⁴ :

1. Pembukaan katup pada *steam blow* yang memiliki spesifikasi pembukaan katup saat tekanan ≥ 5.4 mPa dapat dioperasikan baik secara otomatis dengan adanya operator untuk mengendalikan dengan cara menginduksi stator agar dapat memutar rotor dan atau dioperasikan secara manual dengan menggunakan tuas.
2. Pembukaan katup pada *safety valve* yang memiliki spesifikasi pembukaan katup pada saat tekanan ≥ 5.6 mPa. *safety valve* dipergunakan jika tekanan dalam boiler tidak dapat terkejar oleh *steam blow* sehingga cara kerja dari alat ini adalah dengan bekerja secara otomatis yang bekerja melalui adanya pegas yang dapat diatur besar tekanan agar dapat beroperasi dengan baik.

Jika uap kering telah terbentuk maka akan dilanjutkan pada turbin uap yang akan memutar turbin. sebelum uap kering memutar turbin terdapat katup yang menghubungkan antara *steam drum* dengan turbin.

Jika uap kering telah terbentuk maka akan dilanjutkan menuju turbin uap untuk memutar turbin. Sebelum uap kering memutar turbin maka terdapat valve atau katup yang menghubungkan antara *steam drum* dengan turbin. Pengaturan *valve* dengan menggunakan *Governor 505 Turbine Control*.

⁴ Ibid. Hal. 31.



2.1.5 Turbine Control



Gambar 2. 29 Turbin Uap STG
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Turbin uap merupakan suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik dan selanjutnya diubah menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran poros turbin. Poros turbin, langsung atau dengan bantuan roda gigi reduksi, dihubungkan dengan mekanisme yang akan digerakkan. Tergantung pada jenis mekanisme yang digunakan, turbin uap dapat digunakan pada berbagai bidang seperti pada bidang industri, untuk pembangkit tenaga listrik dan untuk transportasi.

Pada dasarnya, turbin uap terdiri dari dua bagian utama, yaitu stator dan rotor yang merupakan komponen utama pada turbin kemudian di tambah komponen lainnya yang meliputi pendukungnya seperti bantalan, kopling dan sistem bantu lainnya agar kerja turbin dapat lebih baik.

2.1.6 505 Turbine Control



Gambar 2. 31 Governor 505 Turbine Control



Gambar 2. 30 User Interface 505 Turbine Control

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)



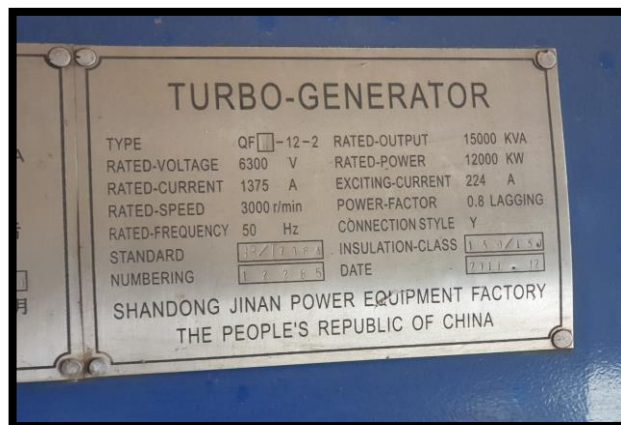
Governor adalah kendali yang digunakan untuk mengendalikan turbin, yang mana berikut ini adalah setting point antara kecepatan turbin dengan beban yang dapat dihasilkan oleh generator.

2.2 Generator Listrik

2.2.1 Pengertian Generator



*Gambar 2. 32 Turbo-Generator pada PLTU
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)*



*Gambar 2. 33 Nameplate Turbo-Generator PLTU
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)*

Generator merupakan mesin listrik yang difungsikan untuk menghasilkan listrik yang berjenis AC atau arus listrik bolak-balik yang mana arus listrik bolak-balik ini bekerja dengan cara mengubah energi mekanik menjadi energi listrik.



Energi mekanik diperoleh dari putaran rotor yang dikopel dengan turbin sedangkan energi listrik diperoleh dari proses induksi elektromagnetik yang terjadi pada kumparan stator dan kumparan rotor yang kemudian motor tersebut telah diinduksi sebelumnya dengan tegangan DC atau tegangan listrik agar putaran turbin mencapai 3000 RPM.⁵

2.2.2 Prinsip Kerja Generator Listrik

Prinsip kerja generator listrik secara umum adalah :

1. Kumparan Medan yang terdapat pada rotor dihubungkan dengan sumber tegangan eksitasi atau singkatnya dari tegangan eksitasi ini generator dapat menghasilkan daya dan juga rotor akan dikopel dengan turbin yang ada. Dengan adanya penginjeksian tegangan DC atau tegangan searah tertentu pada rotor yang akan masuk, arus searah atau arus DC akan mengalir melalui kumparan medan dan kemudian akan menimbulkan fluks yang besarnya berpengaruh terhadap waktu. Besar injeksi tegangan eksitasi berkisar kurang-lebih 6500 Volt yang akan terlihat pada unitrol ABB dimana pengaturan tegangan ekstasi ini bisa dikatakan berjenis *Automatic Voltage Regulator* atau AVR.
2. Turbin yang telah dikopel dengan rotor akan berputar sesuai dengan kecepatan dari turbin yang ada.
3. perputaran tersebut sekaligus akan memutar medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan medan yang kemudian medan putar stator dan rotor akan diinduksikan pada kumparan sehingga kumparan pada stator akan menghasilkan fluks magnetik yang berubah-ubah besarnya. Adanya perubahan fluks magnetik pada akhirnya akan mengakibatkan adanya daya listrik oleh generator itu sendiri.⁶

2.2.3 Sistem Proteksi pada Generator

Sistem proteksi dari generator memiliki beberapa jenis yang diantaranya sebagai berikut

⁵ Ibid. Hal. 33.

⁶ Ibid. Hal. 34.



- Under Frequency
- Over Frequency
- Reverse Power
- Over Current
- Over Voltage
- Under Voltage

2.3 Transformers Listrik

2.3.1 Pengertian Transformers Listrik

Transformator atau Trafo merupakan suatu peralatan elektro yang andal dan *reliable* dimana penggunaannya dikhususkan pada proses mengubah tegangan arus bolak-balik dari suatu tingkatan nilai ke tingkatan nilai yang lain. Trafo terdiri dari inti tengah yang dibuat dari suatu besi berlapis dan terdapat dua buah kumparan yang terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder. Penggunaan trafo yang sederhana ini pun merupakan salah satu alasan krusial bahwasanya penggunaan arus AC atau arus bolak-balik merupakan hal penting dalam pembangkitan dan penyaluran energi listrik.

Tegangan AC yang diberikan pada kumparan primer akan mengeluarkan arus bolak-balik dimana akan menyebabkan timbulnya fluks magnet yang bergerak secara bolak-balik di sepanjang inti trafo. Fluks ini kemudian akan menginduksi suatu g.g.l di kumparan sekunder sebagaimana bunyi hukum faraday yang mengatakan bahwasanya *“ketika suatu konduktor dipotong oleh medan magnet, maka suatu g.g.l diinduksikan didalam konduktor.”* Karena kedua kumparan berhubungan dengan fluks magnet yang sama, g.g.l induksi perpuataran akan menyamai untuk kedua kumparan tersebut.

Trafo memiliki beberapa jenis yang dibagi berdasarkan kemampuan dan tujuan penggunaan tetapi, dalam bidang tenaga listrik pemakaian transformator dikelompokkan menjadi 3 jenis yaitu trafo daya, trafo distribusi, dan trafo pengukuran. Trafo daya digunakan untuk menaikkan tegangan listrik, trafo distribusi digunakan untuk menurunkan tegangan dari tegangan tinggi ke tegangan



rendah dan yang terakhir adalah transformator pengukuran yang terbagi menjadi trafo arus dan trafo tegangan.⁷

2.3.2 Prinsip Kerja Trafo Listrik

Prinsip Kerja trafo adalah sebagai berikut :

- Sebuah Transformator yang sederhana pada dasarnya terdiri dari 2 lilitan atau kumparan kawat yang terisolasi yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Pada kebanyakan Transformator, kumparan kawat terisolasi ini dililitkan pada sebuah besi yang dinamakan dengan Inti Besi (Core).
- Ketika kumparan primer dialiri arus AC (bolak-balik) maka akan menimbulkan medan magnet atau fluks magnetik disekitarnya. Kekuatan Medan magnet (densitas Fluks Magnet) tersebut dipengaruhi oleh besarnya arus listrik yang dialirinya. Semakin besar arus listriknya semakin besar pula medan magnetnya.
- Fluktuasi medan magnet yang terjadi di sekitar kumparan pertama (primer) akan menginduksi GGL (Gaya Gerak Listrik) dalam kumparan kedua (sekunder) dan akan terjadi pelimpahan daya dari kumparan primer ke kumparan sekunder.
- Dengan demikian, terjadilah perubahan taraf tegangan listrik baik dari tegangan rendah menjadi tegangan yang lebih tinggi maupun dari tegangan tinggi menjadi tegangan yang rendah .⁸

⁷ Munandar, Aris M. 2020. *Perhitungan Efisiensi Auxiliary Transformator 50 KVA LRT Sumatera Selatan di Stasiun Cinde*. Hal.5. Palembang : Jurusan Teknik Elektro Program Studi Teknik Listrik, Politeknik Negeri Sriwijaya.

⁸ Rasyid, Attar AM. 2020. *Analisa Sistem Proteksi Penyulang Gambus 20 kV dengan Sepam Seri 40 Pada PLTU Baturaja PT Bakti Nugraha Yuda Energy*. Hal. 38. Semarang: Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret.



2.3.3 Trafo Pemakaian Sendiri

Trafo yang digunakan oleh PLTU Baturaja pada pendistribusian energi pemakaian sendiri adalah trafo tiga fasa dengan tipe trafo kering yang dicasting dengan menggunakan isolasi berbahan *epoxy resin* yang mengacu pada standar IEC60076-11 yang mengatur tentang penggunaan *Dry Type Transformer* dimana trafo tersebut telah didesain lebih mudah dalam pengoperasian serta pemasangan dan dipercaya lebih cocok untuk instalasi didalam ruangan yang memiliki suhu ruangan.⁹

Rating daya pada trafo menggunakan satuan kVA pada posisi step up-down dimana tegangan nominal trafo adalah 2000/380V dan berfrekuensi 50Hz.

Pemilihan trafo kering pada PLTU Baturaja memiliki beberapa alasan, yaitu:

1. *Moisture Proof* dimana artinya, kumparan cor dengan epoxy resin memiliki kekuatan dielektrik yang tinggi dan tidak akan mengalami kerusakan yang berarti kerusakan akan mempengaruhi kemampuan sebuah alat tersebut untuk mampu beroperasi.
2. *Maintenance* lebih mudah dimana trafo kering bertipe *epoxy resin* tidak memerlukan pemeriksaan tegangan tembus minyak dan hanya memerlukan pembersihan debu atau kotoran yang menempel di permukaan resin dan pemeriksaan pada kerusakan biasa.
3. Kemampuan sensitivitas terhadap hubung singkat lebih tinggi dimana kumparan yang menggunakan *epoxy resin* memiliki kekuatan elektrik yang lebih tinggi dan kemudian diproduksi dalam suatu struktur yang memiliki ketahanan tinggi terhadap kekuatan elektro-mekanik yang terjadi selama proses *short*, dampak eksternal, dan gangguan-gangguan abnormal lainnya
4. Tahan api. Resin memiliki karakteristik tidak mudah terbakar.¹⁰

Berikut ini adalah foto Trafo PS yang digunakan di PLTU Baturaja.

⁹ Rasyid, Attar AM. 2020. *Analisa Sistem Proteksi Penyulang Gambus 20 kV dengan Sepam Seri 40 Pada PLTU Baturaja PT Bakti Nugraha Yuda Energy*. Hal. 37. Semarang: Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret.

¹⁰ Munandar, Aris M. 2020. *Perhitungan Efisiensi Auxiliary Transformator 50 KVA LRT Sumatera Selatan di Stasiun Cinde*. Hal.7. Palembang : Jurusan Teknik Elektro Program Studi Teknik Listrik, Politeknik Negeri Sriwijaya



*Gambar 2. 34 Trafo PS pada PLTU Baturaja
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)*

2.4 Daya Listrik

Sebuah sistem tenaga listrik terdiri dari tiga aspek dimana yang pertama adalah pusat pembangkit, yang kedua adalah transmisi, dan yang ketiga adalah pusat beban. Disini, jarak antara pusat pembangkit dan pusat beban bergantung dari lokasi tempat pembangkit berada dan kemana energi listrik akan disalurkan.

Seperti yang telah diketahui, bahwa daya listrik terbagi menjadi tiga macam daya, yaitu :

1. Daya aktif
2. Daya semu
3. Daya reaktif

2.4.1 Daya Aktif

Daya aktif merupakan daya sebenarnya yang dibutuhkan oleh beban-beban listrik atau peralatan rumah tangga. Satuan dari daya aktif adalah watt (W).

Persamaan daya aktif dapat dituliskan seperti ini :

$$\bullet P_{1\phi} = V_p \times I_p \times \cos \phi \dots \dots \dots (2.1)$$

$$\bullet P_{3\phi} = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \cos \phi \dots \dots \dots (2.2)$$



Dimana :

- P = Daya Aktif
- I = Arus
- V_p = Tegangan Phasa
- V_L = Tegangan Line
- $\text{Cos } \varphi$ = Faktor Daya

2.4.2 Daya Reaktif

Daya reaktif adalah selisih antara daya semu yang masuk pada penghantar dengan daya aktif pada penghantar itu sendiri yang mana daya ini terpakai untuk daya mekanik dan daya panas. Daya reaktif adalah hasil kali besarnya arus dikalikan tegangan yang dipengaruhi oleh faktor kerja $\sin \theta$

- $Q_1\varphi = V_p \times I_p \times \text{Sin } \theta \dots\dots\dots(2.3)$

- $Q_3\varphi = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \text{Sin } \theta \dots\dots\dots(2.4)$

Dimana :

- Q = Daya Reaktif
- I = Arus
- V_p = Tegangan Phasa
- V_L = Tegangan Line
- $\text{Sin } \theta$ = Faktor Daya Reaktif

2.4.3 Daya Semu

Daya semu merupakan resultan antara daya nyata dan daya reaktif dimana satuannya adalah volt ampere (VA) dimana daya semu adalah daya yang melalui suatu penghantar transmisi atay distribusi. Daya ini menyatakan perkalian antara tegangan dan arus yang melalui penghantar. Persamaannya adalah¹¹ :

- $S_1\varphi = V_p \times I_p \dots\dots\dots(2.5)$

- $S_3\varphi = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \dots\dots\dots(2.6)$

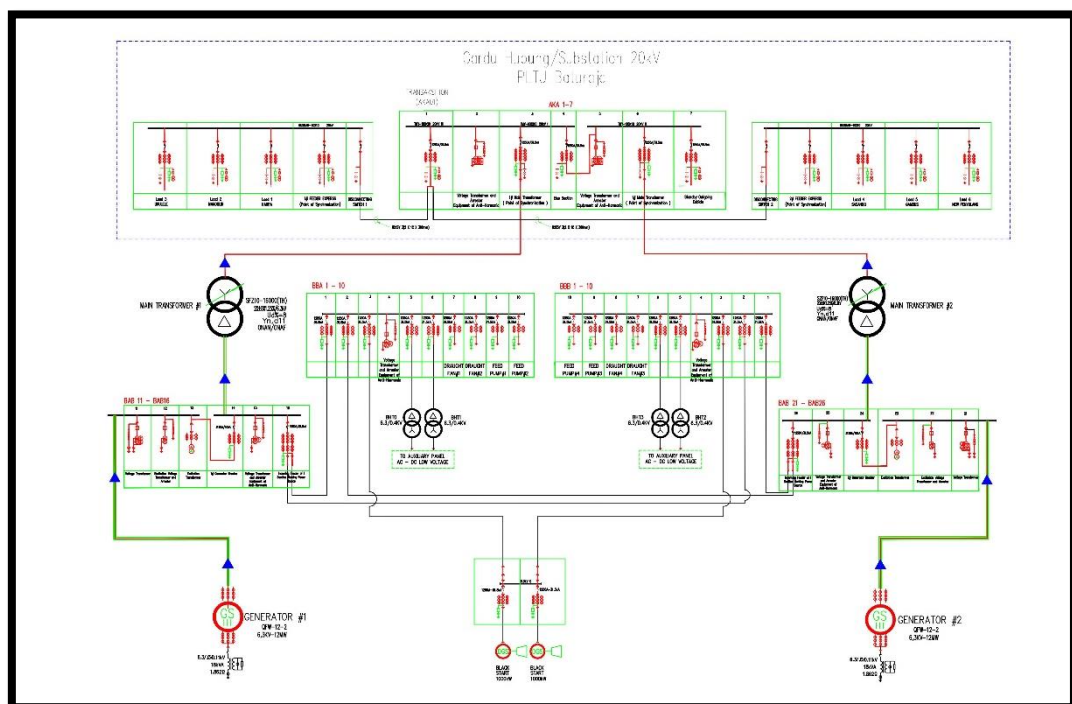
¹¹ Angga, Dian Saputra. 2020. *Perhitungan Daya Listrik Trafo PS Unit 2 dan Unit 3 di PLTG Jakabaring Sektor Keramasan Palembang*. Hal. 15. Palembang : Jurusan Teknik Elektro Program Studi Teknik Listrik Politenik Negeri Sriwijaya



Dimana :

- S = Daya Semu
- I = Arus
- V_p = Tegangan Phasa
- V_L = Tegangan Line

2.5 Sistem 20 KV PLTU Baturaja



Gambar 2. 35 Single Line Diagram PLTU
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Sistem distribusi listrik yang berlaku di PLN adalah jaringan tenaga listrik meliputi semua Jaringan Tegangan Menengah (JTM) 20 KV yang diawali dari sisi sekunder pada Gardu Induk (GI) dan semua Jaringan Tegangan Rendah (JTR) 380/220 Volt hingga ke meter-meter pelanggan untuk kebutuhan industri bisnis maupun rumah tangga. Tegangan distribusi dikelompokkan menjadi distribusi primer (20kV) dan distribusi sekunder (380/220V).

Single Line Diagram yang ditunjukkan Gambar 2.35 menjelaskan instalasi dari tegangan menengah PLN 20 kV sampai ke tegangan rendah 380/220V untuk



digunakan sebagai sumber listrik Panel Mesin dan Panel Penerangan. Incoming PLN didapatkan dari MV Cubicle PLN dalam Gardu Beton menuju incoming MVMDDB pelanggan melalui kabel NYXSEbY 20 kV. Outgoing MVMDDB dihubungkan ke Trafo Step-down dari tegangan 20kV ke 380/220V. Output Trafo dihubungkan ke incoming LVMDDB melalui kabel NYY 0.6/1 kV.¹²

2.6 Perhitungan Durasi Kinerja Pembangkit

Berikut ini adalah faktor-faktor yang dapat mempengaruhi jam kerja suatu pembangkit tersebut¹³ :

- Period Hours
- Planned Outage Hours
- Forced Outage Hours
- Maintenance Outage Hours
- Available Hours
- Service Hours

1. Period Hours (P.H)

Period Hours adalah jam kerja unit operasional dalam waktu tertentu yang sedang diamati. Dalam hal ini waktu pengamatan adalah tahun 2020.

Persamaan :

$$P.H = \text{Jumlah jam kerja} \times \text{jumlah hari dalam satu tahun} \dots\dots\dots(2.7)$$

2. Planned Outage Hours (P.O.H)

Planned Outage Hours adalah jumlah jam pemeliharaan yang direncanakan dalam satu tahun.

3. Forced Outage Hours (F.O.H)

Forced Outage Hours adalah jumlah jam unit keluar karena adanya gangguan secara tiba-tiba.

¹² Rasyid, Attar AM. 2020. *Analisa Sistem Proteksi Penyulang Gambus 20 kV dengan Sepam Seri 40 Pada PLTU Baturaja PT Bakti Nugraha Yuda Energy*. Hal. 40. Semarang: Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret.

¹³ PT. PLN (Persero). 2007. *Prosedur Tetap Deklarasi Kondisi Pembangkit dan Indeks Kinerja Pembangkit*. Hal.19. PT. PLN (Persero).



4. Maintenance Outage Hours (M.O.H)

Maintenance Outage Hours adalah jumlah jam unit keluar karena adanya pemeliharaan yang terjadi diluar *Unit Inspection*. Contoh :

- Perbaikan Motor pada *Induced Draft Fan*
- Pembersihan lemari kubikel.

5. Available Hours (A.H)

Available Hours adalah jumlah jam dari kesiapan unit untuk beroperasi.

Persamaan :

$$A.H = P.H - P.O.H - F.O.H - M.O.H \dots \dots \dots (2.8)$$

6. Service Hours (S.H)

Service Hours adalah jumlah jam unit beroperasi dengan kondisi unit siap untuk menyalurkan tenaga listrik.

Persamaan :

$$S.H = P.H - P.O.H - F.O.H - M.O.H \dots \dots \dots (2.9)$$

2.7 Indeks Kinerja Pembangkit

Berikut ini adalah indeks suatu pembangkit dalam beroperasi yang dapat menyebabkan naik-turunnya nilai produksi¹⁴ :

- Planned Outage Factor (P.O.F)
- Forced Outage Factor (F.O.F)
- Maintenance Outage Factor (M.O.F)
- Output Factor (O.F)
- Output Availability Factor (O.A.F)
- Capacity Factor (C.F)
- Service Factor (S.F)

1. Planned Outage Factor (P.O.F)

Planned Outage Factor adalah faktor unit yang keluar karena terdapat *Unit Inspection*.

¹⁴ PT. PLN (Persero). 2007. *Prosedur Tetap Deklarasi Kondisi Pembangkit dan Indeks Kinerja Pembangkit*. Hal.21. PT. PLN (Persero).



Persamaan :

$$P.O.F = \frac{P.O.H}{P.H} \times 100\% \dots \dots \dots (2.10)$$

2. Forced Outage Factor (F.O.F)

Forced Outage Factor adalah faktor unit keluar karena terdapat gangguan.

Persamaan :

$$F.O.F = \frac{F.O.H}{P.H} \times 100\% \dots \dots \dots (2.11)$$

3. Maintenance Outage Factor (M.O.F)

Maintenance Outage Factor adalah faktor unit keluar karena adanya pemeliharaan.

Persamaan :

$$M.O.F = \frac{M.O.H}{P.H} \times 100\% \dots \dots \dots (2.12)$$

4. Output Availability Factor (O.A.F)

Output Availability Factor adalah faktor kesiapan unit untuk membangkitkan tenaga listrik.

Persamaan :

$$O.A.F = \frac{A.H}{P.H} \times 100\% \dots \dots \dots (2.13)$$

5. Capacity Factor

Capacity Factor adalah faktor kapasitas unit dalam beroperasi.

Persamaan :

$$C.F = \frac{\text{Produksi}}{P.H \times \text{daya terpasang}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.14)$$

6. Service Factor

Service Factor adalah faktor service (kesiapan) operasional suatu unit.

Persamaan :

$$S.F = \frac{S.H}{P.H} \times 100\% \dots \dots \dots (2.15)$$

7. Output Factor (O.F)

Output Factor adalah faktor pembebanan unit.



2.8 Perhitungan Produksi Energi Listrik

Adapun perhitungan produksi dari energi listrik terbagi menjadi 2 bentuk, yaitu¹⁵ :

- Produksi Gross
- Produksi Nett

1. Produksi Gross

Produksi Gross adalah produksi kotor yang dihasilkan.

Persamaan :

a. $\text{Produksi Gross} = S.H \times \text{Daya Terpasang} \times O.F. \dots\dots\dots(2.16)$

2. Produksi Nett

Produksi Nett adalah produksi bersih, seperti jumlah Pemakaian Sendiri.

Persamaan :

a. $\text{Pemakaian Sendiri (PS)} = 7.4\% \times \text{Produksi Gross} \dots\dots\dots(2.17)$

b. $\text{Produksi Nett} = \text{Produksi Gross} - \text{Pemakaian Sendiri} \dots\dots\dots(2.18)$

¹⁵ Angga, Dian Saputra. 2020. *Perhitungan Daya Listrik Trafo PS Unit 2 dan Unit 3 di PLTG Jakabaring Sektor Keramasan Palembang*. Hal.21. Palembang : Jurusan Teknik Elektro Program Studi Teknik Listrik Politenik Negeri Sriwijaya