

BAB II

KERANGKA TEORITIS DAN KERANGKA BERPIKIR

2.1. Kerangka Teoritis

2.1.1. Analisis Kerja

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), analisis ialah pengamatan terhadap peristiwa (karangan/perbuatan) untuk mengetahui keadaan sebenarnya. Kerja ialah suatu kegiatan, metode, prosedur, atau teknik untuk menentukan manfaat kegiatan tersebut dan cara terbaik untuk memperolehnya.³

Berdasarkan pengertian di atas dapat disimpulkan bahwa analisis kerja ialah suatu proses menguraikan peristiwa tentang suatu kegiatan dengan menentukan parameter terhadap hasil yang dicapai.

2.1.2. On Load Tap Changer (OLTC)

2.1.2.1. Tap Changer

Suatu transformator daya yang dipergunakan pada sistem tenaga listrik dilengkapi dengan alat yang disebut dengan pengubah tap (*Tap Changer*). *Tap Changer* adalah alat perubah perbandingan transformasi untuk mendapatkan tegangan operasi sekunder yang lebih baik dari tegangan jaringan primer yang berubah-ubah.⁴ *Tap Changer* dapat beroperasi atau bekerja untuk memindahkan tap transformator, baik dalam keadaan tanpa beban (*Off Load Tap Changer*) dan dalam keadaan transformator berbeban (*On Load Tap Changer*) dan juga dapat dioperasikan secara manual maupun otomatis. Kegunaan *Tap Changer* ini adalah

³ Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI)

⁴ Weedy, B.M. 1988. *Sistem Tenaga Listrik*. (Jakarta: Aksara Persada Indonesia, 1988) , hlm 48

untuk mengatur atau menyesuaikan besaran tegangan sekunder yang keluar agar sesuai dengan yang diinginkan. Sebab pada umumnya letak dari pada beban adalah jauh dari sumber maka ini sangat penting untuk mengatasi terjadinya rugi-rugi tegangan.

Perubahan tegangan antara tap-tap sering dibuat 1,25% dari tegangan nominal. Perubahan kecil ini diperlukan untuk menghindari disturbansi-disturbansi tegangan yang besar pada busbar konsumen. Batas (range) total tapping bervariasi dengan penggunaan transformator. Angka tipikal untuk transformator generator adalah +2 sampai -16 persen dalam 18 step.⁵

Untuk dapat mengatur tegangan primer jaringan transmisi dan menjaga tegangan sistem yang sampai pada pelanggan industri maupun domestik masih memenuhi syarat, secara umum dan praktis transformator dilengkapi dengan suatu alat, seperti pengatur tegangan berbeban pada pusat pembangkit tenaga listrik. *On Load Tap Changer* (OLTC) ini dapat mengubah perbandingan belitan dari transformatornya, tap dapat dibuat pada belitan tegangan tinggi maupun tegangan rendah. Setiap *tap changer* mempunyai bermacam-macam model, tujuan ini bermacam-macam menurut jumlah fasa, maksimum arus mengalir, ukuran, pemilih tap dan sebagainya sehingga pengkodean yang bertujuan untuk mengetahui kapasitas tap tersebut. Sebagai contoh tipe RIII1200Y yang berarti:

RIII = Tipe tap changer 3 fasa

1200Y = Maksimum arus mengalir dan terhubung bintang⁶

⁵ *Ibid*, h.163

⁶ Maschinenfabrik Reinhausen. *Instruction Manual: Onload Tap Changer*, (Sweden: MR, 2011) hlm 120

2.1.2.2. Pengertian OLTC



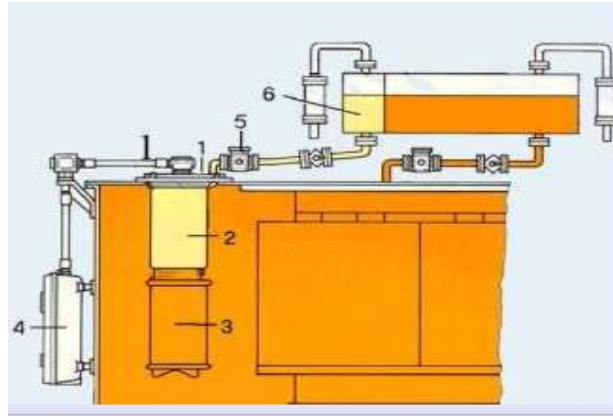
Gambar 2.1. On Load Tap Changer

(Sumber: Instruction Manual: Onload Tap Changer Type R. Sweeden: Maschinenfabrik Reinhausen. 2011)

On Load Tap Changer (OLTC) merupakan *tap changer* yang dapat beroperasi untuk memindahkan tap transformator dalam keadaan transformator berbeban dan dapat dioperasikan secara manual atau otomatis.⁷ OLTC dapat mengubah tap dalam keadaan berbeban artinya peralatan ini dapat melakukan perubahan tap untuk menambah atau mengurangi jumlah kumparan (dalam hal ini disebut kumparan bantu) tanpa harus melakukan pemadaman terlebih dahulu sehingga secara umum On Load Tap changer atau yang disingkat OLTC merupakan peralatan yang dipasang pada transformator untuk memperbaiki kualitas tegangan pada sisi sekunder dengan memilih rasio tegangan tanpa melakukan pemadaman dimana rasio tegangan ini ditentukan oleh kumparan tegangan yang dihubungkan dengan tap selector pada OLTC.

⁷ Maschinenfabrik Reinhausen. *Instruction Manual: Onload Tap Changer*, (Sweeden: MR, 2011) hlm 125

2.1.2.3. Bagian-bagian OLTC



Gambar 2.2. Bagian-bagian Tap Changer

(Sumber: Instruction Manual: Onload Tap Changer Type R. Sweden: Maschinenfabrik Reinhausen. 2011)

Keterangan :

1. Tap changer Head and Cover
2. Tap changer Oil compartment
3. Tap selector, diverter switch dan tahanan transisi
4. Motor drive unit
5. Tap changer protective rele
6. Tap changer oil conservator

Secara umum bagian-bagian dari tap changer dapat dibedakan menjadi enam, yaitu:

1. Tap changer Head and Cover

Bagian ini merupakan tutup pelindung atas dari *tap changer*.

2. Tap Changer Oil Compartment

Tap changer oil compartment merupakan tangki yang berisi *diverter switch*. *Compartment* ini terisi oleh minyak isolasi sebagai isolator dan bahan pendingin.

3. Tap Selector, Diverter Switch dan Tahanan Transisi

- 1) **Tap selector**, yaitu bagian *tap changer* yang berfungsi untuk mengatur nilai dan posisitap belitan. Dalam hal ini, posisi *tap* akan mempengaruhi banyak sedikitnya jumlah belitan yang dipakai, sehingga secara langsung akan mengatur nilai tegangan yang dihasilkan.
- 2) **Diverter switch** adalah rangkaian mekanis yang dirancang untuk melakukan kontak atau melepaskan kontak dengan kecepatan tinggi.
- 3) **Tahanan Transisi** merupakan dua buah tahanan dengan sementara yang akan dilewati arus primer pada saat perubahan *tap*. Pada umumnya resistor yang digunakan adalah nikelin dengan nilai resistensi $4,8\Omega$ dan kemampuan arus 200 amper.

4. Motor Drive Unit

Panel control dan *Motor Drive* unit ialah sebuah tempat yang berisikan peralatan untuk mengoperasikan *tap changer*. Adapun bagian-bagian dari panel control dan *motor drive* ini adalah:

- 1) Motor ac tiga fasa yang berfungsi sebagai penggerak mekanik untuk mengganti nilai tap yang digunakan.
- 2) Kontaktor.

3) *MCB (Miniatur Circuit Breaker)* berfungsi untuk pengaman perangkat control *tap changer*.

5. Tap Changer Protective Rele

Rele ini berfungsi untuk mengamankan tekanan minyak berlebih pada minyak yang ada pada *diverter switch compartment* saat terjadi gangguan.

6. Tap Changer Oil Conservator

Tangki ini berfungsi sebagai tempat penyimpanan cadangan suplai minyak untuk *tap changer*. Biasanya tangki ini juga digabung dengan tangki konservator transformator. Agar kedua minyaknya tidak tercampur, maka didalam tangki konservator ini terdapat sekat pemisah.

2.1.2.4. Prinsip Kerja OLTC

Secara umum prinsip dasar dari OLTC ini, yaitu melakukan pengaturan tegangan baik sisi sekunder maupun primer yang dilakukan dengan cara memilih rasio tegangan dimana untuk memilih rasio yang dikehendaki dilakukan dengan cara menambahkan atau mengurangi jumlah kumparan.⁸ Proses perubahan tersebut dilakukan oleh tap selector dan diverter switch. Secara matematis, dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \mathbf{a} \dots\dots\dots 1)$$

Dimana:

⁸ Maschinenfabrik Reinhausen. *Instruction Manual: Onload Tap Changer*, (Sweden: MR, 2011), hlm 126

V_1 = tegangan sisi primer (Volt)

V_2 = tegangan sisi sekunder (Volt)

N_1 = jumlah lilitan pada sisi primer

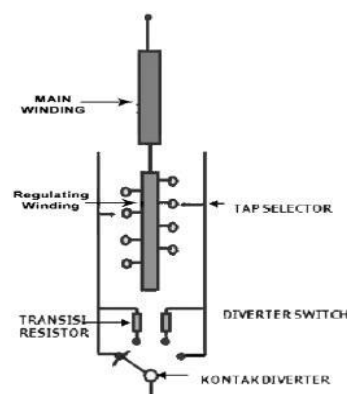
N_2 = jumlah lilitan pada sisi sekunder

Nilai tegangan sistem berubah-ubah ini biasanya terjadi pada sisi primer transformator sehingga pada sisi sekunder inilah dipasang *tap changer*.

2.1.2.5. Faktor yang Membuat OLTC Bekerja dan Gejala yang Dapat Dideteksi untuk OLTC Mempertahankan Tegangan Output Konstan

OLTC ini akan bekerja apabila mendeteksi perubahan tegangan jaringan yang terjadi selama beberapa detik. OLTC ini akan menaikkan dan menurunkan posisi tap guna mempertahankan tegangan keluaran transformator tetap konstan. Posisi tap OLTC akan dinaikkan guna menurunkan tegangan keluaran agar tidak melebihi kapasitas normal. Hal ini akan berdampak pada kenaikan beban MVar. Posisi tap akan diturunkan guna menaikkan tegangan keluaran agar drop tegangan yang terjadi tidak terlalu besar. Hal ini akan berdampak pada penurunan beban MVar.

2.1.2.6. Operasi OLTC



Gambar 2.3. Operasi OLTC

(Sumber: Instruction Manual: Onload Tap Changer Type R. Sweden: Maschinenfabrik Reinhausen. 2011)

Pengaturan tegangan baik sisi sekunder maupun primer dilakukan dengan cara memilih ratio tegangan transformator. Untuk memilih ratio tegangan yang dikehendaki dilakukan dengan cara mengurangi atau menambah jumlah kumparan melalui bantuan *tap selector* dan *diverter switch*.⁹ Proses perpindahan tap dilakukan dengan 2 tahap yaitu: *Tap selektor* berpindah dari tap yang satu ke tap yang terdekat dengan kondisi tidak berbeban (tanpa arus). Kemudian *diverter switch* bergerak dengan membawa beban/arus melalui transisi resistor dan transisi kontak.

Contoh perpindahan tap 2 ke tap 3

Langkah 1:

- *Tap selektor* genap pada posisi terminal/tap 2. (atau disebut *service* posisi pada tap 2)
- *Tap selektor* ganjil pada posisi terminal/tap 1.
- Arus beban melalui terminal 2–kontak utama *diverter*-menuju ke titik pentanahan. (garis warna merah)

Langkah 2:

- *Tap selektor* ganjil bergerak dari terminal 1 menuju terminal 3/tap 3.
- Aliran arus beban masih sama dengan langkah 1.

Langkah 3:

- Tap selektor ganjil berhenti pada terminal 3/tap 3.
- Aliran arus beban masih sama dengan langkah 1.

⁹ Maschinenfabrik Reinhausen. *Instruction Manual: Onload Tap Changer*, (Sweden: MR, 2011), hlm 127

Langkah 4 :

- *Tap selektor* ganjil berhenti pada tap 3.
- Kontak *diverter* bergerak menuju transisi kontak K1.
- Aliran arus beban melalui resistor R1 kontak K1 menuju ke titik pentanahan.
- Posisi ini disebut TRANSISI pada resistor R1 dan transisi kontak K1.

Langkah 5 :

- Tap selektor ganjil berhenti pada tap 3.
- Kontak *diverter* bergerak menuju ke transisi kontak K2 dan Kontak utama diverter menutup transisi kontak K1 dan K2.
- Aliran arus beban melalui resistor R1, R2, transisi kontak K1 dan K2, menuju ke titik pentanahan. Posisi ini disebut SUPER POSISI.

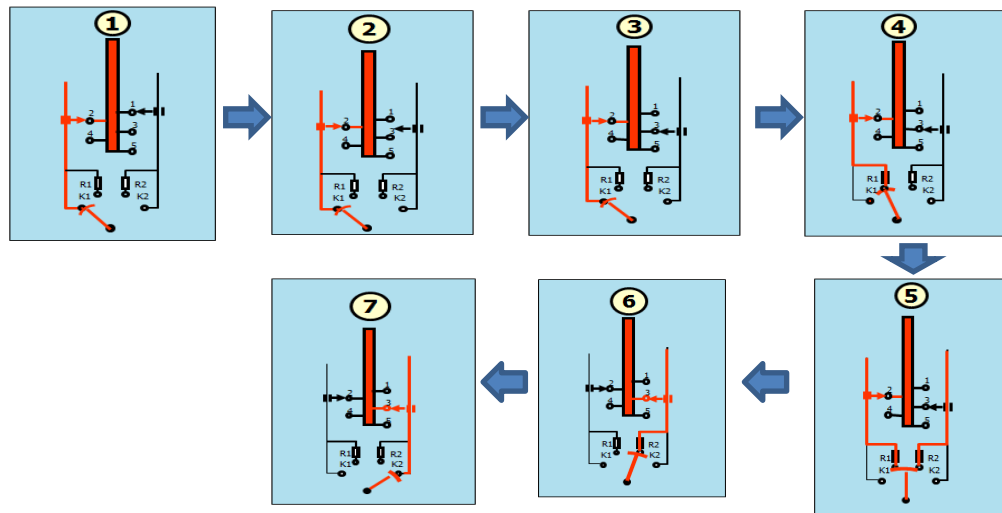
Langkah 6 :

- Tap selektor ganjil berhenti pada tap 3 dan kontak diverter bergerak menuju transisi kontak K2.
- Aliran arus beban melalui resistor R2 kontak K2 menuju ke titik pentanahan.
- Posisi ini disebut TRANSISI pada resistor R 2 dan transisi kontak K2.

Langkah 7 :

- Tap selektor ganjil berhenti pada terminal 3/tap 3.
- Aliran arus beban menuju ke titik pentanahan
- Posisi ini disebut service posisi pada tap 3.

Untuk lebih detailnya dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. Proses Perpindahan Tap

(Sumber: PT PLN (Persero). *Panduan Pemeliharaan Transformator Tenaga*. Jakarta: PT PLN. 2003)

2.1.3. Transmormator Tenaga

2.1.3.1. Pengertian Transformator Tenaga



Gambar 2.5. Transformator Daya

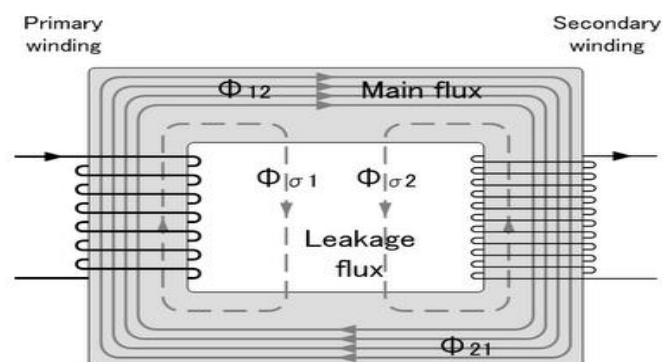
(Sumber: Winders, J.John, *Power Transformers Principles and Application*, UK: 2008)

Transformator tenaga adalah transformator yang digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari pusat pembangkit ke jaringan tegangan menengah

atau tegangan tinggi yang berfungsi untuk menaikkan atau menurunkan tegangan sehingga dalam pengiriman daya ke tempat-tempat yang jauh kerugian daya dapat diperkecil.¹⁰ Bagian-bagian terpenting dari transformator:

1. Inti besi
2. Kumparan
3. Minyak transformator
4. Tangki
5. Bushing

2.1.3.2. Prinsip Kerja



Gambar 2.6. Prinsip Kerja Transformator

(Sumber: Winders, J.John, *Power Transformers Principles and Application*, UK: 2008)

Prinsip kerja transformator adalah saat kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik, perubahan arus listrik pada kumparan primer menimbulkan medan magnet yang berubah.¹¹ Medan magnet yang berubah diperkuat oleh adanya inti besi dan dihantarkan inti besi ke kumparan sekunder,

¹⁰ Winders, J.John, *Power Transformers Principles and Application*, (UK: 2008), hlm 15

¹¹ Winders, J.John, *Power Transformers Principles and Application*, (UK: 2008), hlm 16

sehingga pada ujung-ujung kumparan sekunder akan timbul gaya gerak listrik (ggl) induksi. Efek ini dinamakan induktansi timbal-balik (*mutual inductance*).

Menurut Hukum Faraday dirumuskan :

$$e_1 = - N_1 \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots 2)$$

dimana :

$d\phi$ adalah perubahan fluks

N_1 menunjukkan jumlah lilitan dari kumparan

dt menunjukkan perubahan dari waktu

Tanda (-) menunjukkan tegangan induksi yang melawan penyebabnya (tegangan lawan). Demikian juga pada kumparan sekunder, fluks bersama tadi menimbulkan:

$$e_2 = - N_2 \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots 3)$$

Dari kedua rumus di atas dapat diperoleh perbandingan transformasi sebesar:

$$e_1 : e_2 = N_1 : N_2 \dots\dots\dots 4)$$

sedangkan menurut Hukum Maxwell II berlaku:

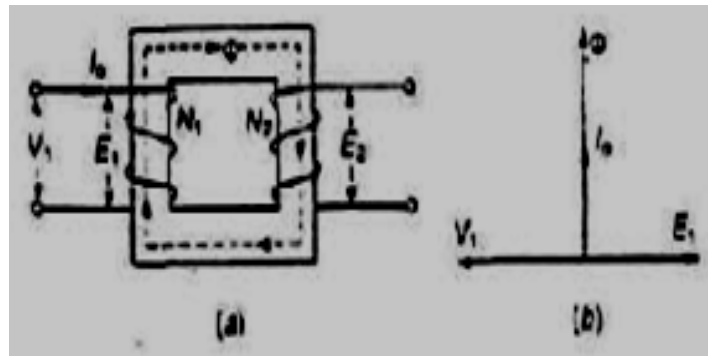
$$Fd_1 = - \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots 5)$$

$$iR - V_1 = E_1 \dots\dots\dots 6)$$

$$\text{bila rugi-rugi dari kumparan diabaikan, maka: } -V_1 = E_1 \dots\dots\dots 7)$$

Untuk mendapatkan besaran arus yang diinduksi dari suatu transformator, maka diperlukan analisa transformator dalam keadaan tanpa beban dan keadaan berbeban.

2.1.3.3. Transformator Tanpa Beban



Gambar 2.7. Transformator Tanpa Beban

(Sumber: Winders, J. John, Power Transformers Principles and Application, UK: 2008)

Transformator disebut tanpa beban apabila kumparan sekundernya tidak terhubung dengan beban seperti terlihat pada gambar 2.7. a. Bila kumparan primer suatu transformator dihubungkan dengan sumber tegangan V_1 yang sinusoidal, arus primer I_0 akan lagging 90° terhadap V_1 (gambar 2.7 b).

Arus primer I_0 menimbulkan fluks (ϕ) yang sephasa dan juga berbentuk sinusoidal:

$$\phi = \phi_m \sin \omega t \dots\dots\dots 8)$$

Fluks yang sinusoidal ini menghasilkan tegangan induksi e_1 (hukum faraday)

$$e_1 = -N_1 \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots 9)$$

$$e_1 = -N_1 \frac{d(\phi_m \sin \omega t)}{dt} = -N_1 \omega \phi_m \cos \omega t \text{ (lagging } 90^\circ \text{ dari } \phi) \dots\dots\dots 10)$$

$$E_1 = \frac{N_1 2 \pi f \phi_m}{\sqrt{2}} = 4,44 N_1 f \phi_m \dots\dots\dots 11)$$

Pada rangkaian sekunder mutual fluks (ϕ) tadi menimbulkan :

$$e_2 = -N_2 \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots 12)$$

$$e_2 = -N_2 \omega \phi_m \cos \omega t \dots\dots\dots 13)$$

$$E_2 = 4,44 N_2 f \phi_m \dots\dots\dots 14)$$

Sehingga :

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \dots\dots\dots 15)$$

Dengan mengabaikan rugi tahanan dan fluks bocor

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \dots\dots\dots 16)$$

Keterangan :

e_1 : tegangan induksi sisi primer

E_2 : tegangan efektif sisi sekunder

e_2 : tegangan induksi sisi sekunder

f : frekuensi

N_1 : jumlah lilitan pada sisi primer

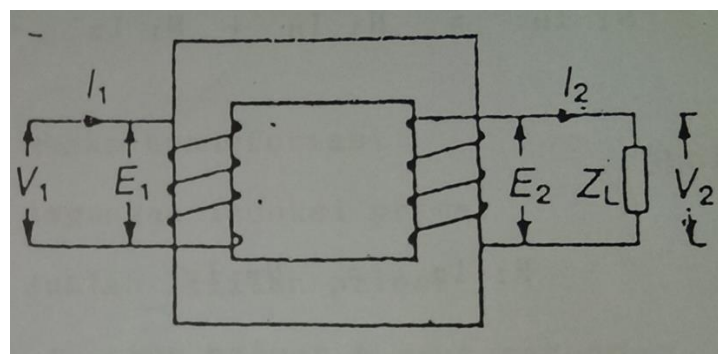
ϕ_m : fluks maksimum

N_2 : jumlah lilitan pada sisi sekunder

a : perbandingan transformasi

E_1 : tegangan efektif sisi primer

2.1.3.4. Transformator Berbeban



Gambar 2.8. Transformator Berbeban

(Sumber: Winders, J. John, Power Transformers Principles and Application, UK: 2008)

Transformator berbeban jika kumparan sekundernya terhubung dengan beban Z_L . I_2 mengalir pada kumparan sekunder dimana $I_2 = V_2/Z_L$ dengan faktor kerja beban ϕ . Arus beban I_2 ini akan menimbulkan gaya gerak magnet N_2I_2 yang cenderung melawan mutual fluks (ϕ) yang telah ada akibat ada arus magnetisasi I_m . agar mutual fluks (ϕ) tidak berubah nilainya, pada kumparan primer harus mengalir arus I_2 yang melawan fluks yang dibangkitkan oleh arus beban I_2 hingga keseluruhan arus yang mengalir pada kumparan primer menjadi :

$$I_1 = I_0 + I_2' \dots\dots\dots 17)$$

Bila rugi besi diabaikan maka

$$I_0 = I_m \dots\dots\dots 18)$$

$$I_1 = I_m + I_2' \dots\dots\dots 19)$$

Untuk menjaga agar fluks tetap tidak berubah sebesar gaya gerak magnet yang dihasilkan oleh arus magnetisasi I_m saja, berlaku hubungan:

$$N_1I_m = N_1I_1 - N_2I_2 = N_1(I_m + I_2') - N_2I_2 \dots\dots\dots 20)$$

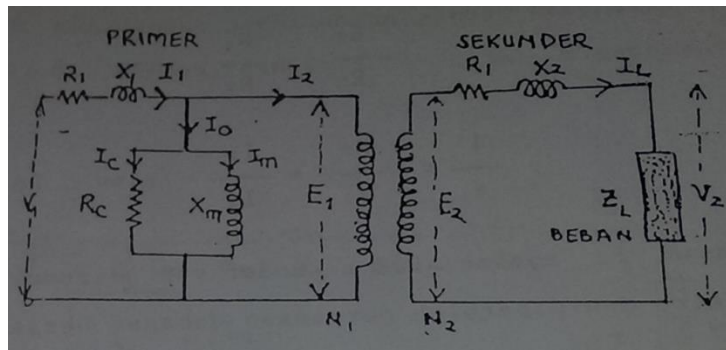
Sehingga didapatkan :

$$N_1I_2' = N_2I_2 \dots\dots\dots 21)$$

Karena nilai I_m dianggap kecil maka $I_2' = I_1$

$$\text{Jadi } N_1I_1 = N_2I_2 \text{ atau } I_1/I_2 = N_2/N_1 \dots\dots\dots 22)$$

2.1.3.5. Rangkaian Ekuivalen Transformator



Gambar 2.9. Rangkaian Ekuivalen Transformator dan Vektor Diagram

(Sumber: Winders, J. John, Power Transformers Principles and Application, UK: 2008)

Untuk mempermudah perhitungan dan analisa suatu transformator dapat dibuat rangkaian ekuivalennya. Dalam hal ini akan diperhitungkan tahanan dan fluks bocor. Tidak seluruh fluks yang dihasilkan oleh arus magnetisasi I_m adalah mutual fluks (ϕ_m), sebagian hanya mencakup kumparan (ϕ_1) atau kumparan sekunder (ϕ_2) saja.

Dalam model rangkaian ekuivalen yang dipakai untuk menganalisa operasi suatu transformator, adanya fluks bocor ϕ_1 dan ϕ_2 ditunjukkan sebagai reaktansi X_1 dan X_2 . Sedangkan rugi tahanan ditunjukkan dengan R_1 dan R_2 . Dari model rangkaian di atas dapat diketahui hubungan penjumlahan vektornya sebagai berikut:

$$V_1 = E_1 + I_1R_1 + I_1X_1 \dots\dots\dots 23)$$

$$E_2 = V_2 + I_2R_2 + I_2X_2 \dots\dots\dots 24)$$

$$E_1/E_2 = N_1/N_2 = a \text{ atau } E_1 = aE_2 \dots\dots\dots 25)$$

Sehingga : $E_1 = a (I_2Z_L + I_2R_2 + I_2X_2)$

Karena : $I_2'/I_2 = N_2/N_1 = 1/a \text{ atau } I_2 = aI_2'$

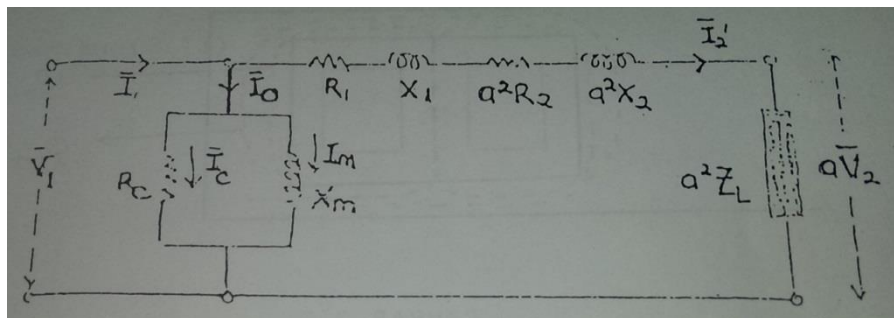
Maka : $E_1 = a^2 (I_2'Z_L + I_2'R_2 + I_2'X_2)$

Dan $V_1 = a^2 (I_2'Z_L + I_2'R_2 + I_2'X_2) + I_1R_1 + I_1X_1$

Jadi persamaan $V_1 = a^2 (I_2'Z_L + I_2'R_2 + I_2'X_2) + I_1R_1 + I_1X_1$ 26)

Berarti parameter rangkaian sekundernya dinyatakan dalam harga rangkaian primer, harganya perlu dikalikan dengan faktor a^2 dengan menganggap I_2 sangat kecil jika dibandingkan dengan I_1 sehingga diabaikan dalam analisa perhitungan, maka rangkaian ekuivalen transformator dan vektor diagramnya menjadi gambar

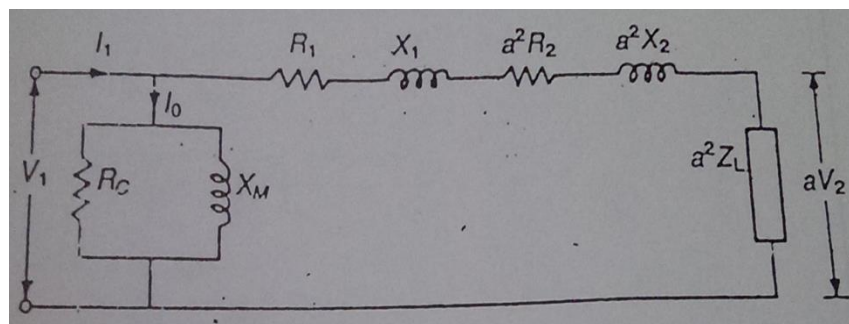
2.11. di bawah ini:



Gambar 2.10. Rangkaian Sederhana Ekuivalen Transformator

(Sumber: Winders, J.John, Power Transformers Principles and Application, UK: 2008)

2.1.3.6. Pengaturan dengan Transformator



Gambar 2.11. Rangkaian Ekuivalen untuk Pengaturan Tegangan

(Sumber: Winders, J.John, Power Transformers Principles and Application, UK: 2008)

Persoalan naik turunnya tegangan atau berkedip sangat penting dan biasanya berhubungan dengan beban yang tidak normal pada sistem daya. Salah satu persoalan terbesar mengenai kualitas daya sekarang ini adalah voltage sag. Gangguan ini merupakan gangguan dengan waktu singkat.¹² Besarnya jatuh tegangan dan durasi yang termasuk dalam kategori voltage sag adalah 0.1 sampai 0.9 pu selama 0.5 siklus sampai 1 menit.¹³ Pada umumnya kedip tegangan ini disebabkan oleh dua hal yaitu karena terjadinya hubung singkat dan karena adanya pengasutan beban yang kapasitasnya cukup besar.

¹²ITS, (Wednesday, 27 July, 2014), <http://digilib.its.ac.id/publicITS-paper-23032-2206100030-Paper.pdf>, [27/7/2014]

¹³ITS, (Wednesday, 27 July, 2014), <http://digilib.its.ac.id/publicITS-paper-23032-2206100030-Paper.pdf>, [27/7/2014]

Ada tiga persyaratan utama untuk pengaturan tegangan, yaitu:

1. Tegangan tidak boleh naik turun sangat besar atau berkedip.
2. Tegangan harus mendekati titik optimum tertentu.
3. Penyebaran tegangan tidak boleh dari batas tegangan yang telah ditentukan.¹⁴

Meskipun kelangsungan catu daya dapat diandalkan, tidak mungkin mempertahankan tegangan tetap pada sistem distribusi karena tegangan jatuh akan terjadi disemua bagian sistem dan akan berubah dengan adanya perubahan beban.

Pengaturan tegangan (*voltage regulation*) suatu transformator ialah perubahan tegangan sekunder antara beban nol dengan beban penuh pada suatu faktor kerja tertentu dengan tegangan primer yang besarnya konstan.¹⁵

$$\text{Pengaturan} = \frac{V_2 \text{ tanpa beban} - V_2 \text{ beban penuh}}{V_2 \text{ beban penuh}} \dots\dots\dots 27)$$

Berdasarkan gambar di atas didapat persamaan:

$$\text{Pengaturan} = \frac{aV_2 \text{ tanpa beban} - aV_2 \text{ beban penuh}}{aV_2 \text{ beban penuh}} \dots\dots\dots 28)$$

Dimana,

$$aV_2 \text{ tanpa beban} = V_1$$

$$aV_2 \text{ beban penuh} = \text{harga tegangan nominal}$$

$$\text{Jadi, Pengaturan} = \frac{V_1 - aV_2 (\text{nominal})}{aV_2 (\text{nominal})} \times 100\% \dots\dots\dots 29)$$

¹⁴ PT PLN (Persero) P3B, *Panduan Pemeliharaan Transformator Tenaga*, (Jakarta: PT PLN, 2003), hlm 40

¹⁵ Winders, J. John, *Power Transformers Principles and Application*, (UK: 2008), hlm 20

2.1.3.7. Daya Aktif dan Daya Reaktif

1. Daya aktif (Active Power)

Daya aktif adalah daya yang terpakai untuk melakukan energi sebenarnya. Satuan daya aktif adalah Watt. Misalnya energi panas, cahaya, mekanik dan lain-lain. Daya ini digunakan secara umum oleh konsumen dan dikonversi dalam bentuk kerja.

$$P = V I \cos \phi \text{ (watt)30)}$$

Pada daya aktif, arus dapat tertinggal (lagging) terhadap tegangan sebesar sudut 90^0 . daya ini biasanya terjadi pada beban induktif.

- #### 2. Daya reaktif adalah jumlah daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet. Dari pembentukan medan magnet maka akan terbentuk fluks medan magnet contoh daya yang menimbulkan daya reaktif adalah transformator, motor, lampu pijar dan lain-lain. Satuan daya reaktif adalah Var.

$$Q = V I \sin \phi \text{ (Var)31)}$$

Pada daya reaktif arus dapat mendahului (leading) terhadap tegangan sebesar sudut 90^0 . Daya ini biasanya terjadi pada beban kapasitif.

2.1.4. PT PJB Unit Pembangkitan Muara Tawar



Gambar 2.12. Unit Pembangkitan Muara Tawar

(Sumber: Dokumentasi PT PJB Unit Pembangkitan Muara Tawar, PT PJB Unit Pembangkitan Muara tawar: Bekasi 2011)

PLTGU Muara Tawar berada di sebelah utara Jakarta tepatnya di sebelah timur muara sungai Tawar, desa Segara Jaya, kecamatan Taruma Jaya, kabupaten Bekasi, Jawa Barat. Unit Pembangkitan Muara Tawar mengoperasikan Pusat Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) Muara Tawar dengan kapasitas terpasang 1170 MW dibangun untuk mendukung kelistrikan Jawa Madura Bali (JAMALI).

Pada tahun 1997-1999 PLTGU Muara Tawar masih menjadi aset PT PLN. PT Pembangkitan Jawa Bali (PJB) ditunjuk untuk mengoperasikan dan memelihara pembangkit tersebut. Pada tahun 2000 PLTGU Muara Tawar resmi menjadi aset PT PJB dan berada di bawah Unit Pembangkitan Muara Karang. Kemudian pada bulan juni 2003 terbentuk Unit Pembangkitan Muara Tawar yang sepenuhnya mengoperasikan dan memelihara pembangkit PT PJB.

Daya yang terpasang pada PT PJB Unit Pembangkitan Muara Tawar dijelaskan pada tabel 2.1. yang meliputi:

Tabel 2.1. Daya terpasang pada Unit Pembangkitan Muara Tawar

No	Unit	Daya	Beroperasi
1	GT 1.1	145 MW	23 Januari 1997
2	GT 1.2	145 MW	18 Maret 1997
3	GT 1.3	145 MW	9 April 1997
4	ST 1.4	225 MW	8 Oktober 1997
5	GT 2.1	145 MW	15 Mei 1997
6	GT 2.2	145 MW	20 Juni 1997
7	GT 2.3	145 MW	*
8	GT 5.1	145 MW	Juni 2011
9	ST 5.1	75 MW	Juni 2011

* Tahun 1997 dipindah ke Gilimanuk Bali

(Sumber: Dokumentasi PT PJB Unit Pembangkitan Muara Tawar, PT PJB Unit Pembangkitan Muara tawar: Bekasi 2011)

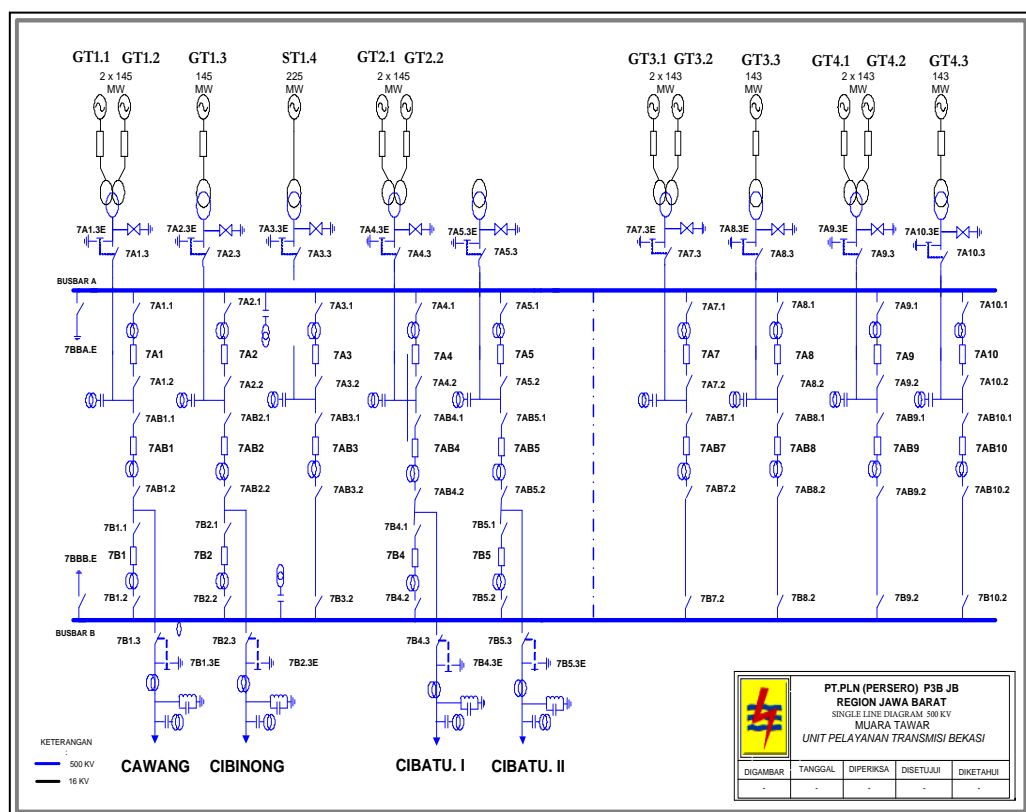
Pada tahun 2004 Triwulan III, UP Muara Tawar mampu memproduksi 2.167 GWh yang disalurkan ke jaringan 500 kV ke sistem interkoneksi Jawa Bali. Turbin gas Muara Tawar didesain dengan *dual High Speed Diesel* (HSD) dan Gas Alam. Pemakaian HSD rata-rata 2500 kiloliter perhari dengan *unloading* 4 kali perkapal perbulan.

Jadi kapasitas pembangkitannya adalah 1808 MW yang disalurkan melalui *Step Up Transformer* 16,5 kV/500 kV dan melalui Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi (GITET) 500 kV Muara Tawar melalui 4 buah penghantar Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500 kV sebagai berikut:

- Penghantar SUTET 500 kV # 1 arah GITET Cawang pada diameter 1 GITET 500 kV Muara Tawar.
- Penghantar SUTET 500 kV # 2 arah GITET Cibinong pada diameter 2 GITET 500 kV Muara Tawar.

- Penghantar SUTET 500 kV # 3 arah GITET Cibatu 1 pada diameter 4 GITET 500 kV Muara Tawar.
- Penghantar SUTET 500 kV # 4 arah GITET Cibatu 2 pada diameter 5 GITET 500 kV Muara Tawar.

Adapun sistem konfigurasi jaringan yang dipakai adalah sistem *One Half Circuit Breaker* (1,5 CB) seperti terlihat pada gambar 2.14.



Gambar 2.14. *Single Line Diagram* GITET Muara Tawar

(Sumber: Dokumentasi PT PJB Unit Pembangkitan Muara Tawar, PT PJB Unit Pembangkitan Muara tawar: Bekasi 2011)

Organisasi Unit Pembangkitan (UP) Muara Tawar terpisah dengan Unit Pemeliharaan (UHAR) Muara Tawar sehingga organisasi unit pembangkit yang terbentuk menjadi organisasi *lean 7 clean* dan hanya mengoperasikan pembangkit untuk menghasilkan GWh.

Pembangkitan berwawasan lingkungan sudah menjadi tujuan dalam mengoperasikan PLTGU Muara Tawar. *Gas Turbine* (GT) 13E2, menggunakan *Environment Burner (EV) Low Nox* sehingga gas buang memenuhi standar baku lingkungan.

UP Muara Tawar melakukan pengelolaan dan pemantauan lingkungan terhadap komponen:

1. Fisika/Kimia meliputi penetralan limbah cair dan limbah padat melalui Waste Water Treatment Plant (WWTP).
2. Kualitas air dengan parameter sesuai peruntukan yaitu dengan netralisasi limbah cair, pemisahan metal, penormalan air sebelum disalurkan kembali kelaut.
3. Kualitas udara dengan parameter sesuai baku mutu yang ditetapkan oleh Departemen Lingkungan Hidup dengan cara membuat cerobong yang cukup tinggi pada semua unit, sehingga penyebaran gas buang lebih luas.
4. Sosial ekonomi dan budaya yang meliputi pariwisata dan penghijauan di sekitar unit.¹⁶

Unit Pembangkitan Muara Tawar beralamat

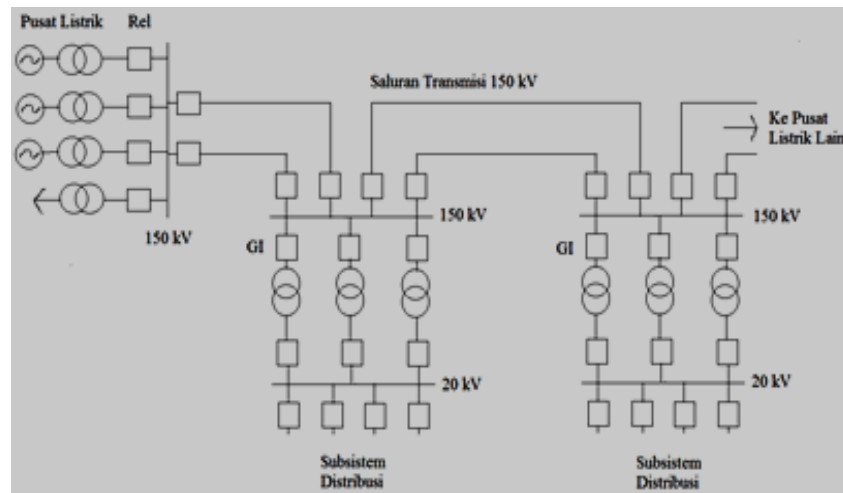
Alamat : Jl. PLTGU Muara Tawar Desa Segarajaya, Kec Tarumajaya, Kab Bekasi, Propinsi Jawa Barat .

Telepon : 62–21-88990052 (hunting)

Fax : 62-21-88990055.

¹⁶PT PJB UP Muara Tawar, *Manual Book PT PJB UP Muara Tawar*, (Bekasi, PT PJB UP Muara Tawar, 2011) hlm 35

2.1.4.1. Wilayah Kerja



Gambar 2.15. Sebagian dari Sistem Interkoneksi

Sumber: Pembangkit Energi Listrik, Djiteng Marsudi, Erlangga: Jakarta, 2005

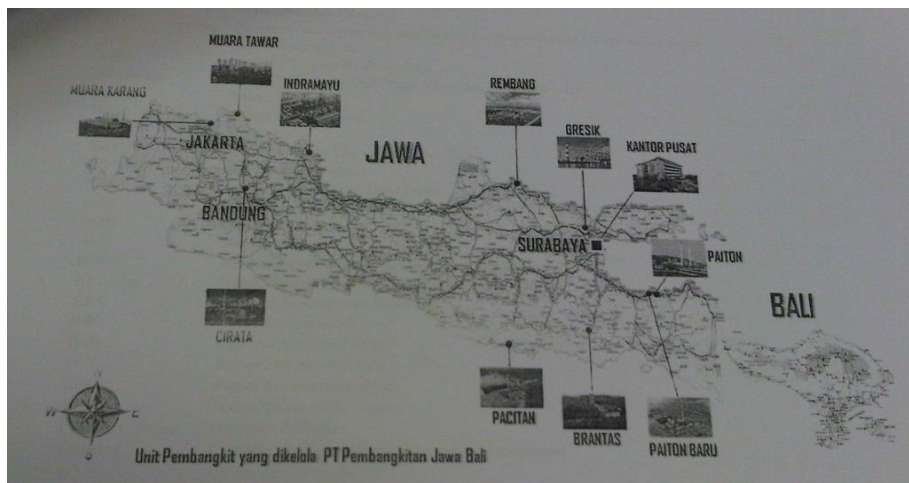
Pusat listrik yang besar di atas 100 MW, umumnya beroperasi dalam sistem interkoneksi. Sistem interkoneksi adalah sistem tenaga listrik yang terdiri dari beberapa pusat listrik dan gardu induk yang diinterkoneksi melalui saluran transmisi dan melayani beban yang ada pada seluruh gardu induk (GI).¹⁷

Pembangkitan dalam sistem interkoneksi merupakan pembangkitan terpadu dari semua pusat listrik yang ada dalam sistem pembagian beban antara pusat-pusat listrik pada sistem interkoneksi yang menghasilkan aliran daya dalam saluran transmisi dan juga menghasilkan profil tegangan dalam sistem.¹⁸

PT PJB Unit Pembangkitan Muara Tawar memiliki wilayah kerja yang tergabung dalam interkoneksi PT Pembangkitan Jawa Bali yang meliputi wilayah yang tertera dalam gambar 2.16. di bawah ini:

¹⁷ Marsudi, Djiteng, *Pembangkit Energi Listrik*, (Jakarta, Erlangga, 2005), hlm 4

¹⁸ Marsudi, Djiteng, *Pembangkit Energi Listrik*, (Jakarta, Erlangga, 2005), hlm 5



Gambar 2.16. Peta Wilayah Kerja PT PJB

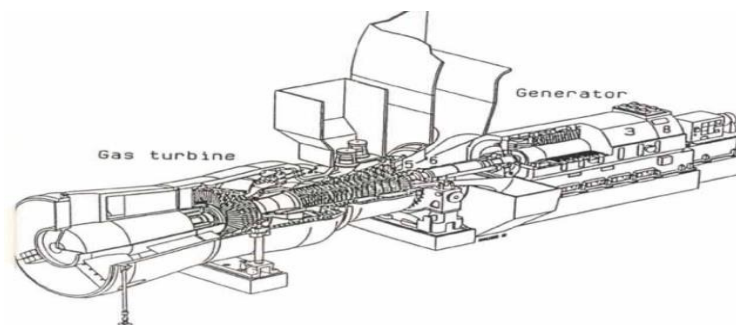
Sumber: Dokumentasi PT PJB Unit Pembangkitan Muara Tawar, PT PJB Unit Pembangkitan Muara tawar: Bekasi 2011

2.1.4.2. Peralatan Pembangkitan Unit Pembangkit Muara Tawar

Unit Pembangkit Muara tawar memiliki dua peralatan pembangkit, yaitu:

1. Peralatan Utama

1) Turbin Gas



Gambar 2.17. Generator Gas Turbin

Sumber: Dokumentasi PT PJB Unit Pembangkitan Muara Tawar, PT PJB Unit Pembangkitan Muara tawar: Bekasi 1997

Turbin gas yang terpasang pada Unit Pembangkitan Muara Tawar berjumlah enam unit dimana bagiannya terdiri dari tiga unit di blok 1, dua unit di blok 2, dan 1 unit di blok 5. Sedangkan untuk blok 3 dan blok 4

HRSR ini bersifat *dual pressure* (bekerja pada 2 tingkatan, yaitu *High pressure* dan *Low pressure*) dan beroperasi pada sistem sirkulasi alami serta tidak ada *burner* tambahan. Kebutuhan kalor hanya disuplai dari gas buang pembakaran dari turbin gas.

3) Turbin Uap

Turbin Uap (*Steam Turbin*) yang terpasang di Unit Pembangkitan Muara Tawar hanya 1 unit dimana turbin uap tersebut juga bersifat *dual pressure* dengan generatornya didinginkan oleh pendingin *hydrogen*. Unit-unit penunjang Turbin Uap yaitu kondensor, *Deaerator / Feed Water Tank (FWT)*, *MCW (Main Cooling Water)*, *Condensate Pump*, *HP Pump and LP Pump* dan *Chemical system* serta transformator.

4) Balance of Plant (BOP)

Balance of Plant Unit Pembangkitan Muara Tawar terdiri dari :

1. *Desalination plant*, kapasitas 2 x 2 ton/jam dan 2 *Raw Water Tank* dengan kapasitas masing-masing 1.500 kiloliter.
2. *Deminearalized/ Water Treatment plant*, kapasitas 2 x 21 m/jam dan 2 *Make Up Water Tank* dengan kapasitas 1000 kiloliter.
3. *Auxiliary Boiler*, kapasitas 10,4 ton/jam.
4. *Cholorination plant* dan *Hydrogent plant*, serta *Waste water Treatment plant*

2. Peralatan Penunjang

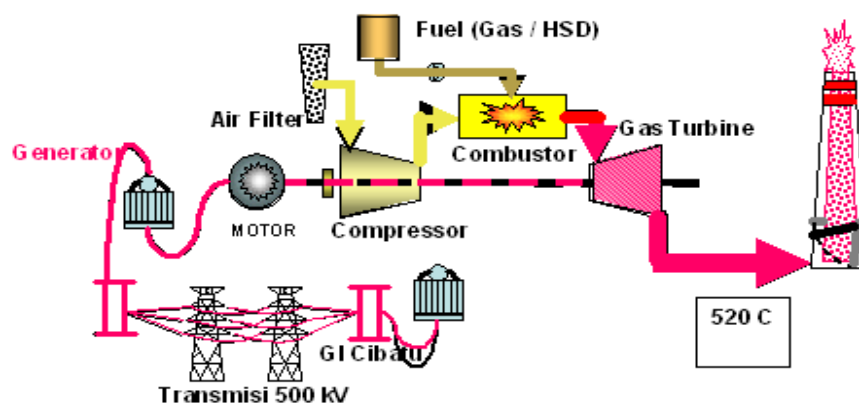
Agar Proses *Combined Cycle Power Plant* berjalan dengan baik, maka pada UP Muara Tawar dilengkapi unit-unit penunjang, yaitu :

1. Pipa *Unloading HSD* dan Empat Unit Tangki HSD
2. *Emergency Diesel*, kapasitas 0,7 MW.
3. *Warehouse* / bengkel.
4. *Fire Fighting System*, *Fire Truck* dan *Alarm System*.
5. *Intake Channel* dan *Discharge Channel*

2.1.4.3. Proses Pembangkitan Tenaga Listrik pada UP Muara Tawar

Proses pembangkitan tenaga listrik pada PT PJB Unit Pembangkitan Muara Tawar terdiri dari dua mekanisme, yaitu mekanisme *open cycle* dan mekanisme *combined cycle*.

1. Mekanisme *Open Cycle Power Plant*



Gambar 2.19. Mekanisme *Open Cycle*

Sumber: Manual Book Power Plant PT PJB Unit Pembangkitan Muara Tawar, PT PJB Unit Pembangkitan Muara tawar: Bekasi 1997

Udara luar yang dihisap disaring melalui *Air Intake Filter* dan dinaikkan tekanannya oleh *compressor* terlebih dahulu. Setelah itu udara kompresi ini masuk ke ruang bakar dan bersamaan dengan itu *High Speed Diesel* (HSD) dipompakan ke ruang bakar dengan cara pengkabutan melalui *nozzle* sehingga udara dan HSD

internasional disebut *Combined Cycle Power Plant* (Pembangkit Listrik Siklus Kombinasi). Dengan kata lain, siklus kombinasi merupakan proses dimana terbukanya damper pada cerobong pembuangan gas panas dari generator gas turbin yang berfungsi untuk mengalirkan gas panas sisa dari generator gas turbin untuk dialirkan menuju HRSG yang kemudian digunakan untuk memanaskan air untuk menghasilkan uap untuk pemutar turbin dan generator turbin uap.

2.2. Kerangka Berpikir

Dalam keseluruhan proses pembangkitan tenaga listrik, tap changer merupakan salah satu alat yang penting dalam memperbaiki drop tegangan. Hal ini berarti bahwa berhasil atau tidaknya transmisi energi listrik pada jaringan banyak bergantung kepada bagaimana tap changer itu bekerja.

Seperti kita ketahui bahwa prinsip kerja dari tap changer adalah membuat suatu variasi perbandingan belitan pada transformator. Dengan variasi perbandingan belitan ini, maka diharapkan dapat memenuhi keperluan antara lain mendapatkan suatu tegangan sekunder tertentu pada saat tegangan primer berubah, mendapatkan tegangan sekunder yang bervariasi, mendapatkan suatu tap tegangan tertentu disamping tap tegangan utama dan untuk mendapatkan suatu tegangan yang lebih rendah untuk start motor listrik.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kerja OLTC di Blok 5 PT PJB Unit Pembangkitan Muara Tawar. Oleh karena itu, pengambilan data dilakukan selama tujuh hari dalam waktu 24 jam dengan rentang satu jam untuk setiap perpindahan tap OLTC. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan data yang akurat.

Penelitian ini dilakukan untuk memperoleh data tegangan, beban, dan posisi tap dari OLTC yang diamati selama seminggu. Dari data yang diperoleh nantinya akan dibandingkan. Perbandingan kedua transformator ini meliputi perubahan posisi tap, perubahan tegangan, dan perubahan posisi tap dengan beban MVar. Perbandingan ini berdasarkan data setiap jam perubahan sehingga didapatkan data antara variabel tertinggi dan terendah (dalam hal ini posisi tap, tegangan output, dan beban MVar) di tiap hari perubahannya. Kemudian, data tersebut dibandingkan kembali untuk memperoleh kesimpulan dari perubahan ketiga variabel yang diamati selama seminggu. Hal ini dilakukan guna memperoleh hubungan antara ketiga variabel.