

ANALISIS SISTEM PEMBEBANAN PADA GENERATOR DI PT. PLN (PERSERO) PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA DIESEL TITI KUNING

Yusniati¹⁾, Nurcholis Najib Sanubari Matondang²⁾

¹⁾Universitas Islam Sumatera Utara

²⁾Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

yusniati@ft.uisu.ac.id

Abstrak

Pembangkit Listrik Tenaga Diesel Titi Kuning adalah salah satu unit pembangkit listrik PT.PLN (Persero) di sektor Medan yang digunakan sebagai pembangkit cadangan apabila terjadi peningkatan pada beban atau pada saat beban puncak pada PT.PLN (Persero). Jika terjadi peningkatan beban dan pembangkit – pembangkit lain tidak sanggup untuk memikulnya, maka PLTD Titi Kuning dioperasikan, untuk membuat PLTD bekerja sama dengan sistem maka dilakukan pemparalelan setiap generator ke sistem untuk menambah kapasitas daya sistem dan untuk menjaga keandalan sistem tersebut. Pemparalelan dilakukan secara manual dengan mengatur parameter- parameter keluaran generator berupa penyesuaian tegangan running pada 6500 Volt dengan memutar Procentage Voltage Regulator pada posisi 30 % dan penyesuaian frekuensi dengan sistem dengan mengatur speed control mesin diesel untuk penyesuaian masukan bahan bakar oleh governor, dan memasukkan Circuit Breaker secara manual jika posisi jarum sinkronoskop pada posisi counter dan lampu indikatornya gelap (mati). Setelah dilakukan analisa pembagian beban pada tiap generator terdapat selisih nilai perhitungan dengan nilai yang terbaca oleh alat ukur sebesar 3,2 %, nilai yang terbaca pada alat ukur sebesar 3,2 MW sedangkan hasil nilai perhitungan manual adalah 3,1 MW. Maka, untuk mendapatkan nilai akurasi alat ukur yang lebih tinggi harusnya digunakan alat ukur berupa digital.

Kata-Kata Kunci : Pemparalelan, Generator, Pembebanan

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi saat ini memungkinkan semua bidang kehidupan manusia dapat semakin ringan dikerjakan dengan bantuan suatu peralatan. Demikian halnya dalam bidang kelistrikan. Dengan menggunakan suatu alat khusus, sistem kerja sebuah pembangkit dapat dengan mudah dikontrol oleh seorang operator. Sistem kerja yang dimaksud mencakup sistem pengaturan, sistem proteksi dan pembagian beban. Dalam sistem kerja suatu pembangkit umumnya, sistem pengaturan, sistem proteksi dan pembagian beban bekerja secara terpisah. Sehingga dibutuhkan banyak tenaga manusia dalam pengoperasiannya.

Kebutuhan akan energi listrik pada saat ini sangat besar, bahkan sudah menjadi kebutuhan pokok bagi industri, masyarakat, maupun perkantoran. Salah satu kebutuhan energi yang besar saat ini adalah berbeda di wilayah Sumatera, tepatnya di Sumatera bagian utara.

Perkembangan teknologi saat ini yang membuat kebutuhan energi listrik melonjak sehingga harus dilakukan pemikiran untuk mencukupi kebutuhan yang makin lama kian bertambah, sehingga harus dilakukan interkoneksi antara pembangkit– pembangkit di wilayah Sumatera supaya mencukupi kebutuhan beban yang akan dilayani. Pada jaringan tenaga listrik, pusat pembangkit tenaga listrik membangkitkan daya listrik, kemudian daya listrik tersebut dikirim melalui jaringan transmisi dan didistribusikan ke berbagai macam beban listrik. Beban-beban listrik tersebut mengkonsumsi daya listrik selama daya listrik dibangkitkan

oleh pembangkit.

Untuk mencukupi permintaan konsumen terhadap energi listrik yang dilayani tentu perlu penambahan daya pada jaringan dalam menjalankan tugasnya untuk menyediakan listrik bagi masyarakat, PLN mempunyai divisi Pusat Pengaturan dan Pengendalian Beban (P3B). Tugas utama dari P3B ini adalah menyesuaikan permintaan listrik dari luar dengan kapasitas pembangkit yang baru harus dioperasikan. Jika terjadi peningkatan kebutuhan listrik, maka P3B akan menghubungi perusahaan pembangkit listrik untuk menaikkan daya unit pembangkit yang sudah on line atau bahkan meminta unit pembangkit yang stand by untuk dioperasikan.

Dalam operasi sistem tenaga listrik, selain upaya untuk meminimalisir kegagalan sistem, faktor penting lainnya adalah menjaga suplai daya tetap terlayani. Sistem tenaga listrik mempunyai variasi beban yang sangat dinamis dimana setiap detik akan berubah-ubah, dengan adanya perubahan ini pasokan daya listrik tetap dan harus disuplai dengan besaran daya yang sesuai. Bila pada saat tertentu terjadi lonjakan atau penurunan beban yang tidak terduga, maka perubahan ini sudah dapat dikategorikan ke dalam gangguan pada sistem tenaga listrik yakni kondisi tidak seimbang antara pasokan listrik dan permintaan energi listrik akibat adanya gangguan baik pada pembangkit ataupun pada sistem transmisi sehingga mengakibatkan kerja dari pembangkit yang lain menjadi lebih berat.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Generator induksi adalah generator yang memiliki prinsip dan konstruksinya sama dengan motor induksi yang sudah umum digunakan, hanya saja dibutuhkan penggerak mula sehingga putaran rotor lebih besar dari pada putaran stator ($n_r > n_s$) untuk membangkitkan tegangannya. Generator induksi lebih banyak digunakan pada daerah terpencil yang belum terjangkau listrik. Umumnya generator induksi digunakan untuk membangkitkan energi listrik berdaya kecil seperti pada pembangkit listrik tenaga angin dan mikrohidro. Dalam pengoperasian generator induksi memiliki masalah pada tegangan keluaran generator yang tidak konstan. Oleh sebab itu diperlukan adanya sebuah sistem kontrol untuk mengatur tegangan keluaran generator induksi. Dengan menggunakan pengontrolan, tegangan yang dihasilkan oleh generator induksi berpenguatan sendiri menjadi lebih halus tanpa adanya ripple dan lebih stabil (Suhendri : 2016). Menurut Syamsul Amien : Generator sinkron (alternator) merupakan mesin listrik yang merubah energi mekanis menjadi energi listrik melalui proses induksi elektromagnetik. Jika generator sinkron dibebani maka akan memberikan sifat yang berbeda sesuai dengan jenis beban yang dipikulnya, sehingga dalam pembebanan ini akan menentukan nilai faktor daya pada generator tersebut. Faktor daya mempunyai pengertian sebagai besaran yang menunjukkan seberapa efisien mesin yang dimiliki dalam menyalurkan daya yang bisa dimanfaatkan. Oleh sebab itu, dengan diaturnya arus penguat pada generator yang bekerja paralel maka akan mengatur daya reaktif yang dihasilkan pada generator tersebut sehingga dapat mengetahui perubahan faktor daya pada masing-masing generator. Dalam penelitian ini dilakukan pengaturan arus eksitasi pada masing-masing generator 'spesifik terbatas' (Amien ; 2014).

Menurut Laksono (2013) : Pengaturan eksitasi generator itu sangat penting karena dalam sistem tenaga listrik, pola tingkah laku tegangan sistem eksitasi merupakan hal yang sangat penting untuk diperhatikan karena dapat mempengaruhi kestabilan tegangan sistem tenaga listrik. Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan performansi pola tingkah laku tegangan sistem eksitasi generator yang kurang memuaskan pada titik operasinya. Berdasarkan kondisi tersebut, dilakukan suatu studi dinamik mengenai pola tingkah laku tegangan pada sistem eksitasi generator dengan metoda penempatan. Dengan bantuan perangkat lunak diperoleh informasi, bahwa pola tingkah laku tegangan sistem eksitasi generator menunjukkan performansi yang lebih baik dibandingkan performansi pola tingkah laku tegangan sistem eksitasi tanpa metoda penempatan kutub.

Dan pengaturan pada sistem pembangkit listrik itu sangat penting karena pada sistem pembangkit listrik perubahan beban dapat terjadi sewaktu-waktu seiring meningkatnya kebutuhan energi yang

akibatnya beban yang dilayani oleh generator sinkron berubah-ubah yang dapat mempengaruhi tegangan dan daya keluaran dari generator sinkron tersebut. Sehingga menyebabkan perubahan tegangan terminal yang akan berpengaruh pada efisiensi serta keandalan suatu sistem. Adapun tulisan ini membahas tentang analisa penentuan tegangan terminal generator sinkron 3 fasa rotor salient pole, sebelumnya dilakukan perbaikan faktor daya untuk pembebanan induktif dan kapasitif kemudian dilakukan perhitungan regulasi tegangan dan efisiensi. Untuk merubah tegangan terminal agar tetap konstan dapat dilakukan dengan pengaturan tegangan induksi (E_a) yang diakibatkan karena adanya perubahan arus beban (I_a) yang mengalir pada tahanan jangkar (R_a) dan reaktansi sinkron (X_s) yang menyebabkan terjadi perubahan tegangan terminal. Untuk nilai pembebanan yang sama, semakin baik faktor daya dari beban yang dilayani oleh generator sinkron semakin baik regulasi yang dihasilkan. Hal ini disebabkan semakin baik faktor dayanya maka semakin kecil tegangan beban nol (E_f), semakin besar tegangan yang diterima oleh beban (V_t). Semakin baik faktor daya semakin baik pula efisiensi sedangkan rugi-rugi daya (P_{cl}) dan arus beban (I_a) akan semakin kecil (Selamat Aryadi : 2015).

Selanjutnya penelitian dilakukan oleh Khatimah (2014) tentang : Analisis pengaturan tegangan pada generator sinkron fasa-fasa akibat pembebanan yang tidak seimbang. Pada penelitian yang dilakukan khatimah, dengan asumsi bahwa beda sudut fasa dari fasor-fasor arus fasa (I_{ph}) adalah seimbang sementara besar atau magnitudenya tidak seimbang maka diperoleh bahwa perubahan pengaturan tegangan (ΔV_R) akan mengikuti pola perubahan arus fasa (ΔI_{ph}) pada beban seimbang. Hasil penelitian menunjukkan pula bahwa pada beban tidak seimbang, maka perubahan faktor ketidak-seimbangan (ΔU_F) mengikuti pola perubahan arus dalam salah satu fasa, sementara perubahan pengaturan tegangan mengikuti pola perubahan arus fasa yang bersangkutan. Menurut Terimananda, Hariyanto, dan Syahrial menyatakan bahwa Perubahan suatu beban akan mempengaruhi tegangan keluaran generator. Apabila beban naik maka tegangan keluaran generator turun dan apabila beban turun maka tegangan keluaran generator naik. Supaya tegangan keluaran generator tetap diperlukan suatu pengaturan tegangan keluaran generator. Pengaturan tegangan keluaran generator dilakukan dengan mengatur arus eksitasi generator. Sistem pengaturan arus eksitasi generator memakai *Automatic Voltage Regulator* (AVR). Tegangan keluaran disearahkan oleh semikonverter, kemudian dimasukkan ke kumparan medan AC-Exciter dan tegangan keluaran dari AC-Exciter disearahkan oleh diode penyearah dan diberikan ke kumparan medan generator utama (Terimananda, Hariyanto, dan Syahrial ; 2015).

Kebanyakan pusat pembangkit di Indonesia menggunakan generator sinkron tiga fasa didalam pengoperasiannya. Terbatasnya kemampuan sebuah generator untuk memenuhi kebutuhan beban, perlu adanya beberapa generator bekerja bersama dalam suatu sistem jaringan listrik baik dalam sistem interkoneksi atau sistem bus. Perbedaan kemampuan tiap generator menyebabkan kita harus melaukan proses sinkronisasi (penyamaan sistem) mulai dari frekuensi, tegangan, sudut fasa, hingga urutan fasa antara generator dengan sistem. Sinkronisasi adalah suatu cara untuk menghubungkan dua atau lebih generator dalam sistem yang sama untuk mencatu beban yang sama dengan arus bolak-balik (AC). Sumber AC tersebut adalah generator, yang akan digabungkan atau diparalel dengan tujuan untuk meningkatkan energi atau kapasitas daya sistem tenaga listrik. Sinkronisasi sendiri dibagi menjadi tiga, yaitu : sinkronisasi gelap, sinkronisasi terang, dan sinkronisasi gelap-terang. Masing-masing memiliki karakteristik yang berbeda hanya pada jenis induktornya (M.Khambali : 2013).

Eksitasi adalah bagian dari sistem dari generator yang berfungsi membentuk/ menghasilkan fluksi yang berubah terhadap waktu, sehingga dihasilkan gaya gerak listrik (GGL) induksi. Pengaruh perubahan eksitasi terhadap daya reaktif generator pada unit pembangkitan berkaitan dengan operasi pamparalel generator sinkron dengan sistem daya, perubahan beban, dan perubahan tegangan. Tegangan cenderung konstan agar sinkronisasi terjaga dengan sistem (Imron : 2013).

2.2 Mesin Diesel

Mesin diesel termasuk mesin dengan pembakaran dalam atau disebut dengan motor bakar ditinjau dari cara memperoleh energi termalnya. Untuk membangkitkan listrik sebuah generator menggunakan generator dengan sistem penggerak tenaga diesel.

2.3 Governor

Governor adalah komponen pada mesin diesel yang dirancang untuk mengontrol volume penyemprotan bahan bakar berdasarkan beban mesin supaya kecepatannya tetap stabil.

2.4 Generator Sinkron

Generator adalah suatu mesin yang mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Hampir semua energi listrik dibangkitkan dengan menggunakan mesin sinkron. Generator sinkron (sering disebut *alternator*) adalah mesin sinkron yang digunakan untuk mengubah daya mekanik menjadi daya listrik. Generator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, yang sering dikenal dengan hukum Faraday yaitu ; “Apabila jumlah garis gaya yang melalui kumparan diubah, maka gaya gerak listrik (GGL) akan diinduksikan dalam kumparan itu. Gaya gerak listrik (GGL) yang diinduksikan berbanding lurus dengan laju perubahan jumlah garis gaya (fluks) yang melalui kumparan/konduktor”.

SEMNASTEK UISU 2020

2.5 Pemilihan Putaran

Putaran adalah salah satu faktor yang sangat penting untuk mempengaruhi besar tegangan (*Voltage*) dan frekuensi yang timbul pada arus bolak-balik (*Alternating Current*). Frekuensi listrik yang dihasilkan generator sinkron adalah sinkron dengan kecepatan putar generator. Rotor generator sinkron terdiri atas rangkaian elektromagnet dengan suplai arus DC. Medan magnet rotor bergerak pada arah putaran rotor. Hubungan antara kecepatan putar medan magnet pada mesin dengan frekuensi listrik pada stator adalah:

$$f = \frac{n.P}{120}$$

Di mana :

f = Frekuensi Listrik (Hz)

n = Kecepatan Putar Rotor /Kecepatan Medan Magnet (rpm)

p = Jumlah Kutub Magnet

2.6 Eksitasi Generator Sinkron

Pada eksitasi generator atau sistem penguatan adalah suatu perangkat yang memberikan arus penguat (If) ke kumparan medan generator arus bolak-balik (*Alternating Current*) yang dijalankan dengan cara membangkitkan medan magnetnya dengan mengalirkan arus searah pada kumparan medannya.

2.7 Automatic Voltage Regulator (AVR)

Automatic Voltage Regulator (AVR) adalah sebuah sistem kelistrikan yang berfungsi untuk menjaga agar tegangan generator tetap konstan setelah generator paralel dengan generator lain, sehingga generator akan tetap mengeluarkan tegangan yang selalu stabil, tidak terpengaruh terhadap perubahan beban yang selalu berubah-ubah.

2.8 Pengaturan Tegangan Generator

Pengaturan tegangan adalah perubahan tegangan terminal alternator antara keadaan beban nol dengan beban penuh. Keadaan ini memberikan gambaran batasan drop tegangan yang terjadi pada generator.

2.9 Kerja Paralel Generator

Jika beban pada stasiun pembangkit menjadi sedemikian besar sehingga nilai (*rating*) generator yang sedang bekerja dilampaui, maka perlu penambahan generator lain secara paralel untuk meaikkan penyediaan daya dari stasiun pembangkit tersebut. Kita bisa mengatur sendiri faktor daya yang akan dioperasikan, namun pada umumnya yang lebih sering digunakan pada faktor daya 0,9. Perubahan faktor daya di generator PLTD tidak begitu mempengaruhi banyak meskipun ada. Hal tersebut diatas dapat dilihat dengan menggunakan rumus daya aktif :

$$= \frac{14.300 \text{ KW}}{9,82 \text{ KV}}$$

$$= 1.459 \text{ Ampere}$$

Maka besar arus beban yang dipikul setiap generator adalah :

$$I_{\text{beban}} = \frac{\sum I_{\text{beban}}}{N_G}$$

$$= \frac{1.459}{5}$$

$$= 291 \text{ Ampere}$$

Sehingga beban yang dipikul setiap generator adalah :

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I_{\text{beban}} \cdot \text{Cos } \phi$$

$$= \sqrt{3} \times 7000 \times 291 \times 0,81$$

$$= 2,8 \text{ MW}$$

Pada jam 21.00 WIB

$$P_{\text{total}} = P_{\text{beban}} = (\sum I_{\text{beban}}) \cdot (\sqrt{3} \cdot V \cdot \text{Cos } \phi)$$

$$\sum I_{\text{beban}} = \frac{P_{\text{total}}}{(\sqrt{3} \cdot V \cdot \text{Cos } \phi)}$$

$$\sum I_{\text{beban}} = \frac{P_{T1} + P_{T2}}{(\sqrt{3} \cdot V_G \cdot \text{Cos } \phi)}$$

$$= \frac{7.100 + 7.200}{(\sqrt{3} \times 7 \times 0,82)}$$

$$= \frac{14.300 \text{ KW}}{9,6 \text{ KV}}$$

$$= 1.490 \text{ Ampere}$$

Maka besar arus beban yang dipikul setiap generator adalah :

$$I_{\text{beban}} = \frac{\sum I_{\text{beban}}}{N_G}$$

$$= \frac{1.490}{5}$$

$$= 298 \text{ Ampere}$$

Sehingga beban yang dipikul setiap generator adalah :

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I_{\text{beban}} \cdot \text{Cos } \phi$$

$$= \sqrt{3} \times 7000 \times 291 \times 0,81$$

$$= 3,0 \text{ MW}$$

Tabel 1. Hasil Perhitungan Pembagian Beban Generator Setelah Paralel

WAKTU (WIB)	BEBAN (MW)
19.00	2,6
20.00	2,8
21.00	3,0

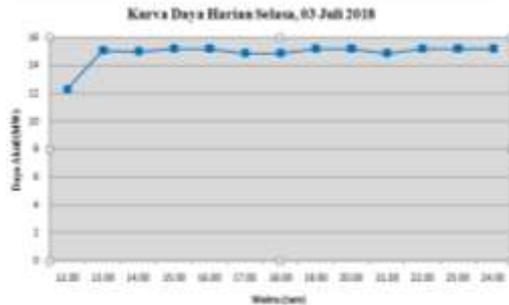
3.2 Perhitungan Daya Keluaran Generator Setelah Paralel Ke Sistem

Tabel 2. Perhitungan Daya Harian Generator

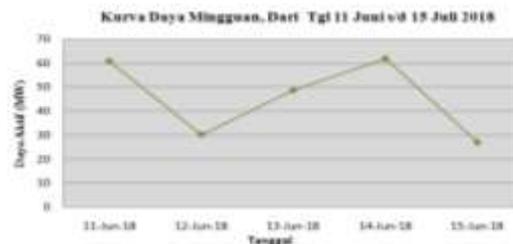
JAM (WIB)	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	24.00
Daya Aktif (MW)	12,3	15,1	15	15,2	15,2	14,9	14,9	15,2	15,2	14,9	15,2	15,2	15,2

Tabel 3. Perhitungan Daya Generator

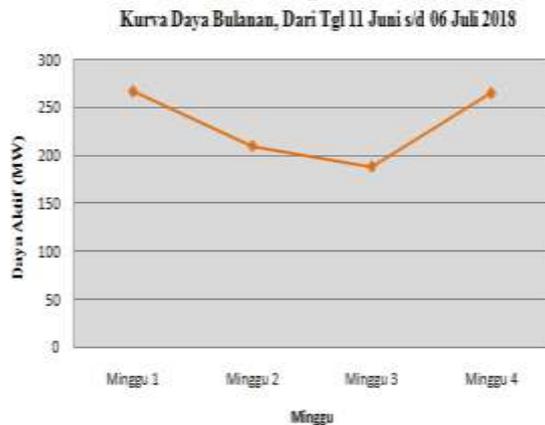
No.	Daya Aktif (MW)							Total
	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jun'at	Sabtu	Minggu	
1	61	39,6	48,8	62	27,2	-	-	268,6
2	58,2	49,6	18,2	46	37,6	-	-	209,6
3	49,2	34	18,4	24,4	-	62	-	188
4	-	194,8	45,6	24,4	-	-	-	264,8



Gambar 3. Kurva Daya Harian PLTD Titi Kuning



Gambar 4. Kurva Daya Mingguan PLTD Titi Kuning



Gambar 5. Kurva Daya Bulanan PLTD Titi Kuning

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Penyinkronan generator ke sistem (jaringan) dilakukan oleh operator secara manual dengan mengatur langsung parameter-parameternya keluaran generator berupa tegangan, frekuensi, dan sudut fasa. Mengatur tegangan running pada 6500 Volt dengan memutar Percentage Control Voltage secara perlahan sampai pada posisi 30%

- dan mengatur governor untuk menyamakan frekuensi generator dengan sistem, dan selanjutnya memasukkan DS secara manual.
2. Dari data hasil analisa yang dilakukan selama 3 jam operasi, pembagian beban setiap generator yang bekerja paralel mengalami peningkata yakni pada jam 19.00 sebesar 2,6 MW setiap generator, pada jam 20.00 sebesar 2,8 MW, dan jam 21.00 sebesar 3,0 MW, disebabkan karena beban terjadi peningkatan yang diakibatkan konsumen yang menyalakan peralatan listrik yang bertambah yakni AC pada saat mau istirahat.
 3. Dari analisa yang dilakukan, hasil daya perhitungan keluaran generator selama operasi menyuplai beban terlihat kurva beban selama sebulan, pertumbuhan beban (kedaan beban) pembangkit tidak konstan atau berubah-ubah setiap minggunya disebabkan kebutuhan energi pada konsumen yang berubah-ubah, beban puncak terjadi pada minggu pertama yaitu sebesar 266,6 MW. Karena pada saat minggu pertama terjadi gangguan pada pembangkit utama di belawan sehingga terjadi kekurangan daya pada jaringan yang mengakibatkan PLTD Titi Kuning beroperasi menyuplai daya maksimum.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Abdul Kadir, 1996, *Pembangkit Tenaga Listrik*. Jakarta: Universitas Indonesia-Press.
- [2]. Alam, Syahrial, dan Taryana, 2015, *Pemodelan Dan Simulasi Automatic Voltage Regulator Untuk Generator Sinkron 3kV Berbasis Proportional Integral*. Vol.3, No.2. Juli 2015. Bandung. Institut Teknologi Nasional.
- [3]. Antono dan Khambali, 2013, *Penerapan Sinkronisasi Jaringan Listrik Tiga Fasa PLN Dengan Generator Sinkron Menggunakan Trainer Power System Simulation*. Vol.2, No.3. Desember 2013. Semarang: Politeknik Negeri Semarang.
- [4]. Amien, 2014, *Studi Pengaruh Arus Eksitasi Pada Generator Sinkron Yang Bekerja Paralel Terhadap Perubahan Faktor Daya*. Vol. 7, No.1. April 2014. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- [5]. Arismunandar, 1982, *Teknik Tenaga Listrik Jilid II Saluran Transmis*. Jakarta: A. PT. Pradnya Paramita.
- [6]. Arozaq, Wibowo, dan Penangsang, 2012, *Analisis Pembebanan Ekonomis Pada Jaringan 500 Kv Jawa Bali Menggunakan Software Power World*. Vol. 1, No.1. September 2012. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [7]. Aryadi dan Amien, 2015, *Analisis Penentuan Tegangan Terminal, Regulasi, Dan Efisiensi Generator Sinkron 3 Fasa Rotor Salient Pole Dengan Metode Blondel (Two Reaction Theory)*. Vol. 13, No.36. Nopember 2015. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- [8]. Gunawan et al, 1993, *Mesin Dan Rangkaian Listrik*. Jakarta: Erlangga.
- [9]. Instruksi manual dari PLTD Titi Kuning dan GI Titi Kuning.
- [10]. Khatimah et al., 2014, *Analisis Pengaturan Tegangan Generator Sinkron Tiga Fasa Hubungan Bintang Akibat Pembebanan Tidak Seimbang*. Sinergi No.2, Tahun.12 Oktober 2014. Jakarta: Seminar Nasional.
- [11]. Laksono dan Febrianda, 2015, *Analisa Performansi Tanggapan Tegangan Sistem Eksitasi Generator Terhadap Perubahan Parameter*. Vol.4, No.1. Maret 2015. Padang: Universitas Andalas.
- [12]. Mitani et al. 2014, *PID-MPC Based Automatic Voltage Regulator Design In Wide-Area Interconnect Power System*. Vol.4, No.8. Agustus 2014. Jepang: Kyushu Institute Of Technology.
- [13]. Ridzki, 2013, *Analisis Perubahan ksitasi Terhadap Daya Reaktif Generator*. Vol.11, No.2. Oktober 2013. Malang: Politeknik Negeri Malang.
- [14]. Suheri dan Harahap, 2016, *Analisis Dan Simulasi Pengaturan Tegangan Generator Induksi Berpenguatan Sendiri Dengan Menggunakan Static Synchronous Compensator (STATCOM)*. Vol.14, No.40. Maret 2016. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- [15]. Suyitno, 2011, *Pembangkit Energi Listrik*. Jakarta: PT. Rineka Cipta.
- [16]. Wijaya, Mochtar, 2001, *Dasar-Dasar Mesin Listrik*. Jakarta: Djambatan.
- [17]. Yulianto dan Laksono, 2013, *Evaluasi Pola Tingkah Laku Tegangan Sistem Eksitasi Generator Dengan Metoda Penempatan Kutub Menggunakan Algoritma Bass-Gura*. Vol.2, No.2. September 2013. Padang: Universitas Andalas.