

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ketersediaan pasokan energi listrik yang andal merupakan kebutuhan utama dalam mendukung kegiatan industri, komersial, maupun fasilitas publik. Dalam banyak kondisi, pasokan listrik dari jaringan utama (Normal Incoming) tidak selalu stabil dan dapat mengalami gangguan seperti *blackout* atau pemadaman mendadak. Untuk mengantisipasi kondisi tersebut, digunakan Generator Set (Genset) sebagai sumber daya listrik cadangan yang berfungsi menyediakan energi listrik secara mandiri ketika pasokan utama terhenti. [1]. Dalam sistem kelistrikan dengan lebih dari satu unit genset, diperlukan mekanisme pengaturan agar seluruh unit dapat bekerja secara selaras dan terkoordinasi. Proses penyamaan parameter listrik seperti tegangan, frekuensi, serta sudut fasa antar genset disebut sinkronisasi (*synchronizing*). [2]. Sinkronisasi ini bertujuan agar pembagian beban listrik dapat berlangsung seimbang, stabil, dan tidak menimbulkan gangguan pada sistem distribusi. [3].

Salah satu metode sinkronisasi yang umum digunakan dalam sistem cadangan daya modern adalah sistem *synchronizing dead bus*. Sistem ini digunakan ketika seluruh busbar dalam keadaan tidak bertegangan (*dead*), seperti saat terjadi *blackout* total. Dalam kondisi tersebut, salah satu genset dioperasikan terlebih dahulu untuk mengisi busbar hingga mencapai parameter tegangan dan frekuensi nominal, kemudian unit genset lainnya disinkronkan secara otomatis menggunakan sistem kontrol digital. [4]. Keandalan sistem *dead bus synchronizing* sangat bergantung pada perangkat pengatur kecepatan mesin (*electronic governor*) dan pengatur tegangan otomatis (*Automatic Voltage Regulator / AVR*). Pada penelitian ini digunakan sistem *Electronic Digital Governor* dan *Digital AVR (DAVR)* yang berfungsi menjaga kestabilan frekuensi dan tegangan selama proses sinkronisasi berlangsung. Teknologi digital ini memungkinkan pengaturan parameter secara presisi, respon cepat terhadap perubahan beban, serta koordinasi antar genset yang lebih efisien. [5].

Implementasi sistem dead bus synchronizing menjadi penting karena kegagalan dalam proses sinkronisasi dapat menyebabkan gangguan besar, seperti lonjakan arus (inrush current), ketidakseimbangan beban, bahkan kerusakan pada peralatan listrik. Oleh karena itu, diperlukan analisis mendalam terhadap prinsip kerja, konfigurasi, serta kinerja sistem sinkronisasi agar dapat dipastikan berfungsi dengan baik dan aman dalam kondisi operasi nyata. [6]. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis prinsip kerja sistem synchronizing dead bus pada genset, dengan fokus pada peran electronic governor dan Digital AVR dalam menjaga kestabilan frekuensi dan tegangan selama proses sinkronisasi serta memastikan sistem dapat beroperasi secara otomatis dan andal saat terjadi blackout yang berkaitan dengan pengendalian PID pada automatic voltage regulator (AVR). Kondisi inilah yang secara langsung menjadi motivasi utama dilakukannya penelitian ini. [7].

Dead bus paralleling sering ditentukan sebagai metode untuk menghidupkan bank transformator besar dan menghubungkan beberapa generator dengan cepat. set generator system dengan kontrol Power Command menggunakan paralel akses acak mampu mencocokkan kinerja paralel bus mati di kedua area ini. Salah satu contoh terdiri dari 14 set generator 2,5 MW masing-masing terhubung ke transformator step up dan diparalel di sisi tegangan tinggi transformator. Dengan sistem ini, 35 MW daya dihidupkan dalam waktu kurang dari 15 detik. Dalam aplikasi ini, set generator pertama siap untuk dimuat dalam 7,5 detik. Arbitrasi antara set generator memakan waktu 1,5 detik sehingga set generator pertama menutup pemutusnya untuk mulai menghidupkan semua transformator sedikit lebih dari 9 detik setelah sistem dimulai. Ketika set generator yang tersisa merasakan bahwa tegangan tersedia di sisi tegangan rendah transformator yang terhubung, mereka disinkronkan dengan tegangan itu dan menutup pemutus mereka. Semua set generator sudah online 14,25 detik setelah dimulai [7].

Dalam praktiknya, banyak gangguan pada proses synchronizing Dead Bus, karena banyak penganturan system disisi control PKG (Panel Kontrol Genset), speed control & DAVR Digital automatic voltage regulator, yang baru diketahui setelah setelah melakukan penelitian ada beberapa komponen yang mengalami kerusakan :



Gambar 1.1 Diagram Temuan Kegagalan Sinkronisasi Dead Bus

Gambar 1.1 menunjukkan distribusi penyebab kegagalan sinkronisasi dead bus berdasarkan hasil inspeksi.

Tabel 1.1 Jenis - Jenis Kerusakan Peralatan Listrik

Tabel 1,1 kerusakan komponen alternator, mengakibatkan gagalnya proses synchron Close Before Excitations

No	Jenis Gangguan	Frekuensi Kejadian	Keterangan Singkat
1	Over Excitations	3 kejadian	AVR Memberikan input ke Exciter Arus dan Voltage melebihi batas setpoint
2	Under Voltage	5 kejadian	Terjadi penurunan nominal tegangan signifikan dari batas Normal setpoint karena beban berlebih
3	DAVR Filed (Electrical Ttrip)	1 kejadian	Gangguan Electrical Trip di AVR Short circuit davr memutus system excitations
4	Varistor Faild	2 kejadian	Terjadi Perubahan medan magnet yang sangat signifikan melebihi batas reverse Power
5	Diode Exciter Faild	3 kejadian	Terjadi Perubahan medan magnet yang sangat signifikan melebihi batas reverse Power yang sangat berlebih
6	Out Of Synchron	12 kejadian	Terjadi perbedaan sudut phase antara generator synchron

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan yang akan dikaji dalam penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana prinsip kerja sistem synchronizing dead bus pada beberapa unit genset dalam kondisi blackout atau busbar tidak bertegangan?
2. Bagaimana peran dan fungsi electronic governor dalam mengatur kecepatan putaran mesin untuk menjaga kestabilan frekuensi selama proses sinkronisasi berlangsung?
3. Bagaimana pengaruh Digital Automatic Voltage Regulator (DAVR) terhadap kestabilan tegangan output generator konfig PID saat proses sinkronisasi dead bus
4. Bagaimana kinerja sistem sinkronisasi dead bus dalam menjaga kesetaraan frekuensi, tegangan, dan sudut fasa antar genset sehingga dapat ready to load dengan cepat dan aman?
5. Bagaimana kinerja system DAVR dalam pengujian beban UPS terhadap voltage dan Frekuensi
6. Apa saja potensi masalah yang dapat muncul pada sistem dead bus synchronizing dan bagaimana langkah-langkah penanganannya agar sistem tetap beroperasi secara andal

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan atau mempersingkat waktu backup beban terhadap generator standart NPFA 110 dengan waktu back up $<10s$, dan beberapa gangguan yang akan timbul , tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis prinsip kerja sistem synchronizing dead bus pada beberapa unit genset yang beroperasi dalam kondisi blackout atau busbar tidak bertegangan.
2. Menjelaskan fungsi dan peranan electronic governor dalam mengatur kecepatan mesin guna menjaga kestabilan frekuensi selama proses sinkronisasi berlangsung.
3. Mengkaji kinerja Digital Automatic Voltage Regulator (DAVR) dalam mengontrol tegangan PID mengatur keluaran generator agar tetap stabil selama proses sinkronisasi dead bus.

4. Mengevaluasi kinerja sistem sinkronisasi dead bus dalam menjaga kesetaraan tegangan, frekuensi, dan sudut fasa antar genset sehingga sistem dapat ready to load dengan cepat dan aman.
5. Mengidentifikasi permasalahan yang muncul pada sistem synchronizing dead bus serta memberikan rekomendasi atau solusi untuk meningkatkan keandalan dan efisiensi sistem mempercepat waktu down time.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat baik secara teoritis maupun praktis, antara lain sebagai berikut:

1. Manfaat Akademis

Memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai prinsip kerja dan penerapan sistem synchronizing dead bus pada beberapa unit genset, khususnya dalam pengaturan frekuensi dan tegangan menggunakan electronic governor dan Digital AVR (DAVR).

2. Manfaat Teknis

Menjadi acuan bagi teknisi dan praktisi dalam melakukan perancangan, pengujian, dan pemeliharaan sistem sinkronisasi genset, agar proses dead bus synchronizing dapat berjalan dengan lebih efisien, stabil, dan aman.

3. Manfaat Praktis

Memberikan kontribusi terhadap peningkatan keandalan sistem kelistrikan cadangan pada instalasi industri, rumah sakit, maupun fasilitas penting lainnya yang memerlukan kontinuitas suplai listrik tanpa gangguan.

4. Manfaat Pengembangan Teknologi

Mendorong penerapan teknologi kontrol digital pada sistem genset modern, sehingga proses sinkronisasi dapat dilakukan secara otomatis dengan tingkat presisi tinggi dan waktu ready to load yang lebih cepat.

1.5 Batasan Masalah

Berdasarkan perumusan masalah tersebut, Agar pembahasan dalam penelitian ini lebih terarah dan tidak meluas, maka diperlukan batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya membahas sistem synchronizing dead bus pada unit Generator Set (Genset) yang menggunakan sistem Electronic Digital Governor dan Digital Automatic Voltage Regulator (DAVR) sebagai pengatur utama frekuensi dan tegangan.
2. Analisis difokuskan pada proses sinkronisasi antar genset dalam kondisi dead bus (busbar tanpa tegangan) hingga mencapai kondisi ready to load.
3. Penelitian ini tidak membahas secara mendalam sistem proteksi, distribusi daya, serta sistem kontrol PLC atau SCADA, kecuali yang berkaitan langsung dengan fungsi sinkronisasi dead bus.
4. Pengujian dan pengambilan data dilakukan pada unit genset dengan kapasitas tertentu sesuai spesifikasi yang tersedia di lokasi penelitian, sehingga hasil analisis tidak secara langsung digeneralisasikan untuk semua kapasitas genset.
5. Parameter yang dianalisis terbatas pada frekuensi, tegangan, waktu sinkronisasi, dan respon beban (block load test) selama proses dead bus synchronizing.

1.6 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini mencakup kegiatan analisis dan pengujian yang berfokus pada penerapan sistem synchronizing dead bus pada unit Generator Set (Genset). Adapun ruang lingkup penelitian ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Objek Penelitian

Objek penelitian adalah sistem genset paralel yang menggunakan metode dead bus synchronizing, dengan komponen utama berupa Electronic Digital Governor dan Digital Automatic Voltage Regulator (DAVR) yang berfungsi mengatur frekuensi dan tegangan keluaran generator.

2. Fokus Kajian

Penelitian difokuskan pada proses sinkronisasi antar beberapa genset dalam kondisi

busbar tanpa tegangan (dead bus), mencakup tahap penyalaan awal, penyamaan parameter listrik (frekuensi, tegangan, sudut fasa), hingga sistem mencapai kondisi ready to load.

3. Lingkup Analisis

Analisis meliputi evaluasi kinerja sistem dead bus synchronizing, keandalan pengaturan frekuensi dan tegangan oleh governor dan DAVR, serta waktu yang dibutuhkan untuk mencapai sinkronisasi sempurna.

4. Ruang Lingkup Teknis

Penelitian dilakukan dengan pendekatan eksperimen dan observasi langsung pada unit genset, serta analisis data hasil pengujian lapangan. Perangkat kontrol dan pengaturan yang digunakan terbatas pada Woodward ProAct Governor dan sistem Digital AVR sesuai dengan konfigurasi yang tersedia.

5. Hasil yang Diharapkan

Diperoleh pemahaman komprehensif mengenai prinsip kerja, performa, serta faktor-faktor yang mempengaruhi keandalan sistem dead bus synchronizing antar genset dalam menjaga kestabilan sistem kelistrikan cadangan.

1.7 Hipotesis

Berdasarkan latar belakang, rumusan masalah, dan tujuan penelitian yang telah dijelaskan maka hipotesis dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Hipotesis Umum

Sistem synchronizing dead bus pada beberapa unit genset dapat beroperasi secara andal dan stabil apabila pengaturan frekuensi oleh Electronic Digital Governor dan pengaturan tegangan oleh Digital Automatic Voltage Regulator (DAVR) bekerja secara sinkron dan responsif terhadap perubahan kondisi beban.

2. Hipotesis Khusus

- a. Penggunaan Electronic Digital Governor mampu menjaga kestabilan frekuensi mesin pada saat proses sinkronisasi dead bus, sehingga waktu sinkronisasi menjadi lebih singkat dan sistem cepat mencapai kondisi ready to load.

- b. Penerapan Digital Automatic Voltage Regulator (DAVR) dapat mempertahankan kestabilan tegangan output generator selama proses sinkronisasi dan pembagian beban, sehingga mencegah terjadinya fluktuasi tegangan yang berlebihan.
- c. Kombinasi antara governor digital dan DAVR secara signifikan meningkatkan keandalan dan efisiensi sistem sinkronisasi genset, baik dalam kondisi blackout maupun saat terjadi perubahan beban mendadak (*blockload*).