

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam sistem kelistrikan Kabupaten Ende, PLTU Ropa berperan sebagai salah satu pembangkit yang menyuplai daya secara relatif kontinu. Istilah base-load menjelaskan fungsi pembangkit dalam memenuhi bagian beban minimum sistem yang berlangsung terus-menerus. Istilah tersebut tidak berarti bahwa unit harus selalu beroperasi pada 100% daya nominal. Unit termal dapat dioperasikan pada beban parsial selama pembebanannya berada di atas minimum stable generation dan memenuhi batas teknis boiler, turbin, generator, sistem bantu, emisi, serta ketentuan pabrikaan. Selain memenuhi kebutuhan energi, unit pembangkit juga dituntut tetap stabil ketika terjadi gangguan besar seperti hubung singkat tiga fasa, pelepasan saluran transmisi, maupun perubahan beban secara tiba-tiba. Salah satu parameter utama yang menunjukkan kemampuan sistem dalam menghadapi gangguan tersebut adalah stabilitas transient, yaitu kemampuan generator sinkron untuk mempertahankan sinkronisme dan kembali menuju kondisi operasi normal setelah mengalami gangguan besar [1]. Apabila stabilitas transient tidak terpenuhi, maka sistem dapat mengalami osilasi sudut rotor yang berlebihan, kehilangan sinkronisasi antargenerator, pemisahan sistem, bahkan pemadaman total (blackout) [2].

Kegagalan menjaga stabilitas transient umumnya dipengaruhi oleh interaksi antara karakteristik generator, sistem transmisi, beban, serta sistem pengendali generator. Oleh sebab itu, pemahaman terhadap faktor-faktor yang memengaruhi kestabilan sistem menjadi hal yang sangat penting. Salah satu komponen yang memiliki pengaruh signifikan adalah sistem eksitasi generator sinkron, karena sistem ini berfungsi mengatur tegangan medan rotor sehingga memengaruhi tegangan terminal generator dan aliran daya reaktif pada sistem[3].

Sistem eksitasi bekerja dengan menyesuaikan arus eksitasi sesuai perubahan kondisi operasi maupun gangguan. Parameter utama pada sistem eksitasi meliputi gain penguat (KA), konstanta waktu penguat (TA), konstanta waktu exciter (TE), batas tegangan maksimum dan minimum (VR_{max} dan VR_{min}), serta parameter sensor tegangan.

Perubahan nilai parameter tersebut dapat mengubah kecepatan respon tegangan generator, besar overshoot, redaman osilasi rotor, serta *critical clearing time* (CCT) sistem [4]. Oleh karena itu, pengaturan parameter eksitasi harus dilakukan secara tepat agar tidak menyebabkan respon yang terlalu lambat ataupun osilasi yang berlebihan.

Dalam praktik operasi pembangkit, parameter yang paling sering dilakukan penyetelan adalah K_A karena berpengaruh langsung terhadap sensitivitas dan kecepatan respon *Automatic Voltage Regulator* (AVR). Nilai K_A yang terlalu rendah menyebabkan respon eksitasi lambat sehingga pemulihan tegangan menjadi lebih lama, sedangkan nilai yang terlalu tinggi dapat menimbulkan osilasi tegangan. Secara umum, rentang perubahan yang masih dianggap aman untuk studi simulasi berada pada 25% dari nilai setting aktual, sedangkan perubahan di atas 50% berpotensi menurunkan margin kestabilan sistem.. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa optimasi parameter AVR mampu meningkatkan redaman osilasi dan memperbesar margin stabilitas transient pada sistem multi-mesin [5].

Berbagai kajian mengungkapkan bahwa variasi model eksitasi, seperti DC1A, AC4A, atau ST2A, dapat menimbulkan perbedaan substansial pada margin stabilitas sistem. Penelitian eksperimental oleh Al-Zahrani dan Ramdas [6] menegaskan bahwa sistem eksitasi jenis ST2A efektif dalam meningkatkan kapasitas redaman serta memperpanjang durasi pemulihan sistem pascagangguan. Temuan ini menunjukkan bahwa seleksi dan kalibrasi parameter eksitasi merupakan aspek krusial dalam evaluasi stabilitas sistem tenaga listrik.

Sistem eksitasi ST2A diklasifikasikan sebagai tipe eksitasi statis yang memanfaatkan penyearah terkendali berbasis thyristor untuk mengalirkan arus eksitasi dengan cepat dan tepat ke medan generator. Salah satu atribut utama model ST2A adalah kemampuannya untuk memberikan respons regulasi tegangan yang sangat cepat, berkat minimnya komponen mekanis berputar yang menimbulkan penundaan (penundaan inersia) dalam pembangkitan sinyal eksitasi. Dalam kondisi gangguan, ST2A memfasilitasi peningkatan penguatan tegangan medan secara cepat, sehingga menjaga tegangan terminal dan secara efisien meredam osilasi sudut rotor. Selain itu, model ini dilengkapi mekanisme proteksi eksitasi, termasuk Voltage Dependent Limiter (VDL) dan Minimum Excitation Limiter (MEL), yang memastikan kepatuhan terhadap batasan operasional yang aman untuk peralatan tanpa

melampaui kemampuan termal [7].

Dibandingkan dengan tipe eksitasi konvensional seperti DC1A dan AC4A, sistem ST2A menunjukkan kinerja dinamis yang unggul, terutama dalam menjaga stabilitas transien selama gangguan besar dalam sistem tenaga. Sistem DC1A, yang menggunakan eksitasi generator DC, cenderung memiliki respons eksitasi yang lebih lambat karena komponen mekanis dan induktansi tinggi dalam rangkaian eksitasi. Sementara itu, AC4A, berdasarkan eksitasi tanpa sikat, menawarkan keuntungan dalam keandalan pemeliharaan tetapi masih kurang dari ST2A dalam kecepatan respons dan kontrol tegangan, karena proses rektifikasinya dipengaruhi oleh karakteristik rotasi mesin. Dengan waktu respons yang lebih cepat dan kemampuan modulasi tegangan medan yang ditingkatkan, ST2A telah menunjukkan efektivitas dalam memperpanjang waktu pembersihan kritis (CCT) dan meningkatkan margin stabilitas relatif terhadap kedua model ini.

Selain sistem eksitasi, Power System Stabilizer (PSS) memainkan peran krusial dalam meredam osilasi sudut rotor yang timbul akibat gangguan transient. Kajian oleh Brik [8] menunjukkan bahwa integrasi eksitasi dengan PSS dapat memperluas ambang stabilitas sistem melalui peningkatan faktor redaman dinamis. Meskipun demikian, kinerja PSS sangat tergantung pada konfigurasi eksitasi yang diterapkan. Oleh karena itu, analisis sensitivitas terhadap parameter eksitasi diperlukan untuk mengidentifikasi kisaran pengaturan optimal guna memastikan stabilitas sistem tetap terpelihara.

Dalam kaitannya dengan PLTU Ropa, studi mengenai pengaruh perubahan parameter eksitasi terhadap stabilitas transient memiliki relevansi tinggi. Pembangkit berkapasitas menengah umumnya memiliki margin kestabilan yang lebih kecil dibanding unit besar, terutama jika terhubung pada sistem kelistrikan dengan struktur jaringan radial seperti di wilayah Nusa Tenggara Timur. Kondisi tersebut menyebabkan sistem lebih sensitif terhadap gangguan dan perubahan parameter pengendali generator [9].

Penelitian terbaru menunjukkan bahwa perubahan kecil pada gain regulator maupun konstanta waktu AVR dapat menurunkan nilai *critical clearing time* secara signifikan. Oleh sebab itu, pada penelitian ini perubahan parameter eksitasi difokuskan pada batas aman simulasi yaitu

sebesar 44,3%, dari data aktual pembangkit. Dari beberapa studi, perubahan 5% umumnya masih memberikan respon paling aman karena sistem tetap stabil dengan overshoot minimum, sedangkan 10% digunakan sebagai batas evaluasi moderat dan 50%% sebagai batas kritis awal sebelum sistem menunjukkan kecenderungan tidak stabil.

Untuk mengetahui seberapa besar perubahan parameter eksitasi mempengaruhi stabilitas transient generator PLTU Ropa, serta menentukan batas aman parameter tersebut agar sistem tetap stabil pascagangguan. Dibutuhkan sebuah perangkat lunak untuk simulasi yang memiliki kapabilitas tinggi. Salah satu aplikasi yang paling banyak dimanfaatkan dalam kajian sistem tenaga adalah ETAP (*Electrical Transient Analyzer Program*). ETAP berfungsi sebagai perangkat analisis komprehensif yang memungkinkan pemodelan, perencanaan, evaluasi operasi, hingga otomatisasi pada berbagai tingkatan sistem tenaga listrik, mulai dari pembangkit, transmisi, distribusi, hingga instalasi listrik industri [10].

1.2 Rumusan Masalah

Kabupaten Ende memiliki sistem kelistrikan yang cukup rentan terhadap gangguan, terutama akibat kondisi jaringan, cuaca, serta letak geografis yang berbukit dan sulit dijangkau. Oleh karena itu, kestabilan generator saat terjadi gangguan perlu dianalisis, khususnya yang berkaitan dengan pengaturan parameter eksitasi.

Berdasarkan kondisi tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana respon stabilitas transien generator PLTU Ropa ketika terjadi loss excitation, hubung singkat tiga fasa, variasi waktu pembersihan gangguan, dan kenaikan beban mendadak?
2. Bagaimana pengaruh perubahan parameter eksitasi terhadap respon sudut rotor?
3. Berapa waktu pembersihan gangguan terbesar yang masih menunjukkan sistem stabil berdasarkan hasil simulasi transient stability?

1.3 Tujuan dan Manfaat

Untuk menjawab permasalahan yang ada di penelitian ini, maka fokus dari tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis respon sistem terhadap beberapa gangguan besar pada sistem kelistrikan Kabupaten Ende.
2. Mengetahui pengaruh perubahan parameter eksitasi setelah dinaikan 50% dari nilai awal terhadap respon dinamis generator.
3. Menentukan waktu pembersihan gangguan terbesar yang masih stabil berdasarkan hasil simulasi.

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan gambaran teknis respon stabilitas transien PLTU Ropa.
2. Menjadi referensi evaluasi pengaturan parameter eksitasi.
3. Memberikan masukan terkait waktu pembersihan gangguan pada sistem yang terhubung dengan PLTU Ropa.

1.4 Batasan Masalah

Untuk menjaga agar diskusi tetap sesuai dengan lingkup penelitian ini, penulis menetapkan batasan-batasan sebagai berikut:

1. Variasi perubahan parameter eksitasi dari nilai awal hanya dilakukan waktu gangguan hubung singkat 3 fasa.
2. Indikator analisis meliputi respon sudut rotor dari beberapa skenario yang disimulasikan.
3. Menentukan batas kestabilan sistem melalui nilai *critical clearing time* sebagai acuan waktu maksimum pembersihan gangguan agar sistem tetap stabil.

1.5 Sistematika Penulisan

Pada penelitian ini disusun secara sistematika agar mudah dipahami dalam membaca penelitian ini. Penelitian ini disusun dalam beberapa Bab sebagai berikut:

BAB I: PENDAHULUAN

Bab ini berisikan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, dan sistematika penulisan mengenai Analisis Stabilitas

Transient Akibat Perubahan Parameter Eksitasi pada Pembangkit Uap 2 X 7 MW PLTU Ropa, Kab. Ende

BAB II: TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memberikan penjelasan mendalam mengenai konsep dasar dan teori yang menjadi landasan penelitian, seperti stabilitas sistem tenaga, sistem eksitasi generator sinkron, model eksitasi ST2A, dan power system stabilizer

BAB III: METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian, mulai dari pengumpulan data seperti data generator dan eksitasi, pemodelan *Single Line Diagram*, hingga simulasi dan analisis hasil. Data respon respon system stabilitas transient diperoleh melalui *software Etap*.

BAB IV: HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menjelaskan tentang hasil yang didapatkan dari berbagai percobaan. Percobaan yang dilakukan meliputi *loss of generation, short circuit, load increase* dan perubahan parameter eksitasi

BAB V: KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisikan tentang Kesimpulan dan saran dari hasil dan pembahasan yang telah dilakukan dalam penelitian ini.