

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan energi yang diperlukan dalam kehidupan. Oleh karena itu, ketersediaan energi harus mempunyai kualitas yang baik, dimana frekuensi adalah faktor yang menentukan kualitas dari unit pembangkit. Jika Daya aktif yang dikeluarkan oleh pembangkit listrik seimbang dengan daya aktif yang digunakan beban, maka suatu sistem tenaga listrik dapat dianggap stabil [1]. Nilai frekuensi dari sistem tenaga listrik dapat dipengaruhi oleh perubahan kebutuhan daya aktif beban. Frekuensi pada sistem dapat menurun apabila kebutuhan daya aktif pada beban meningkat, Sedangkan apabila pembangkit menghasilkan daya aktif yang lebih besar dari yang dikonsumsi beban maka frekuensinya akan melebihi nilai normal [2].

Beban membutuhkan suplai daya aktif yang akan berdampak pada frekuensi. Frekuensi pada daya aktif harus dijaga agar tetap stabil dikarenakan apabila frekuensi tidak stabil, kinerja sistem pembangkit dapat terganggu [3]. Jika terjadi penurunan pada nilai frekuensi sistem maka dapat diatasi dengan meningkatkan penambahan daya aktif pada pembangkit. Namun, apabila nilai frekuensi sistem lewat dari batas normal, maka kurangi daya aktif yang dibangkitkan untuk menyeimbangkannya [4]. Setiap negara memiliki standar nilai frekuensi normal yang berbeda, Namun masih dengan rentang frekuensi sebesar 50-60 Hz. Dan frekuensi standar pada sistem tenaga listrik di Indonesia adalah 50 Hz [5].

Frekuensi yang tidak sesuai dapat mengakibatkan kegagalan pembangkit listrik yang disebabkan oleh perubahan permintaan daya yang tiba-tiba atau ketidakseimbangan antara daya yang dihasilkan dan dibutuhkan oleh beban [6]. Frekuensi akan turun jika pembangkit daya aktif tidak dapat mencukupi untuk memenuhi permintaan beban [7]. Penyimpangan frekuensi harus dijaga dalam batas tertentu untuk menghindari pemadaman listrik atau kerusakan pada peralatan [8] [9].

Untuk mencegah hal ini, diperlukan analisis dan tanggapan untuk mengontrol stabilitas keluaran frekuensi menggunakan *Load Frequency Control* (LFC) [10][11]. *Load Frequency Control* (LFC) atau yang biasa disebut sistem kendali frekuensi merupakan sistem yang digunakan untuk mempertahankan fluktuasi frekuensi suatu sistem tenaga listrik akibat perubahan beban secara *real-time* [12]. Dimana, nilai dari fluktuasi frekuensi ini harus berada pada batas toleransi dan segera kembali pada frekuensi normal [13]. Apabila fluktuasi frekuensi tidak segera kembali pada kondisi normal, maka sistem dapat mengalami kerusakan dan menyebabkan jaringan listrik terganggu [14].

Tujuan dari Penggunaan sistem LFC, yaitu untuk mempertahankan konsistensi frekuensi, meratakan pembagian beban di antara generator, serta mengatur pertukaran daya pada tautan antar-sistem (tie-line) [15][16]. Daya aktif yang

dihasilkan oleh sistem harus seimbang dengan kebutuhan daya beban agar kestabilan frekuensi dapat dijaga dalam batas normal [11][17].

Sistem *Load Frequency Control* (LFC) disusun dari beberapa komponen utama, yaitu turbin, governor, dan generator yang bekerja secara terpadu untuk menjaga kestabilan sistem tenaga listrik. Sistem *Load Frequency Control* (LFC) terdiri atas dua tingkat pengendalian, yaitu kontrol primer yang merespons perubahan beban secara cepat melalui pengaturan governor pada generator dalam skala waktu beberapa detik, dan kontrol sekunder yang berperan dalam menjaga keseimbangan antara pembangkitan dan konsumsi daya dalam rentang waktu menit hingga jam [18]. Pengendali *Proportional-Integral-Derivative* (PID) merupakan salah satu mekanisme yang digunakan oleh sistem kendali frekuensi tenaga listrik untuk mengendalikan stabilitas sistem tenaga [19]. PID banyak digunakan pada bidang industri karena penggunaannya tidak memerlukan teknik yang rumit dalam perancangannya [20]. pengendali PID memiliki tiga parameter yang mempengaruhi hasil dari kontrol yang dirancang [21]. Parameter tersebut, yaitu konstanta turunan (K_d), konstanta integral (K_i), dan konstanta proporsional (K_p) [22]. Variabel ini digunakan sebagai penghitung nilai keluaran dari pengendali tersebut. PID berfungsi untuk mengatur putaran motor yaitu kontrol proporsional yang memiliki kelebihan *rise-time* yang cepat, kontrol integral untuk memperkecil nilai error dan kontrol derivatif untuk meredam *overshoot* [23].

Tugas akhir ini menggunakan PIDTune model paralel untuk simulasi pola tingkah laku sistem kendali *Load Frequency Control* (LFC) serta menganalisa performa sistem. Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengevaluasi efektivitas PIDTune model paralel dalam meningkatkan stabilitas tegangan keluaran generator, yang merupakan komponen penting keberlanjutan tenaga listrik.

Berikut merupakan Penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan sistem *Load Frequency Control* (LFC):

1. Mokhtar Shouran (2022) dengan penelitian berjudul "*Load Frequency Control for Multi-Area Interconnected Power System Using Artificial Intelligent Controllers*". Penelitian ini membahas pengendalian sistem *Load Frequency Control* dengan membandingkan kontrol klasik seperti PID yang dioptimasi dengan metode kecerdasan buatan seperti Fuzzy PID dan *Sliding Mode Control* yang dituning menggunakan Bees Algorithm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kontroler berbasis kecerdasan buatan, khususnya Fuzzy PID yang dioptimasi, mampu memberikan respons frekuensi yang lebih stabil dan robust terhadap gangguan serta ketidakpastian sistem dibandingkan PID konvensional, baik pada sistem *multi-area* maupun model sistem tenaga Great Britain [24].
2. Nada Milleno (2024) dengan penelitian berjudul "*Simulasi Dan Analisis Sistem Kendali Load Frequency Control (LFC) Dengan Menggunakan Pengendali Tunggal Dan Dua Derajat Kebebasan*". penelitian ini membahas simulasi dan analisis sistem *Load Frequency Control* dengan menggunakan dua jenis

pengendali, yaitu pengendali tunggal dan pengendali dua derajat kebebasan. Penelitian ini fokus pada menjaga kestabilan frekuensi sistem tenaga listrik saat terjadi perubahan beban mendadak. Analisis dilakukan dengan mengamati *error*, respons peralihan, dan kestabilan sistem dalam domain waktu. Hasil menunjukkan bahwa pengendali dua derajat kebebasan memberikan performa lebih baik dan memenuhi kriteria desain sehingga mampu menjaga frekuensi tetap stabil sesuai toleransi yang ditetapkan, dibandingkan dengan pengendali tunggal [25]

3. Dhea Ramadhani (2024) dengan penelitian yang berjudul “ Analisis Performansi Domain Waktu Sistem Kendali *Load Frequency Control* Tipe Hidraulik Menggunakan Konfigurasi Pengendali Tunggal Dan Kaskade”. Penelitian ini mengenai Penelitian ini mengevaluasi performa sistem *Load Frequency Control* hidraulik menggunakan pengendali kaskade dengan dan tanpa *Droop* melalui simulasi MATLAB. Berbagai pengendali diuji berdasarkan respons waktu seperti waktu naik, *overshoot*, dan *settling time*. Hasilnya, konfigurasi dengan *Droop* memberikan respons lebih cepat dan osilasi lebih rendah [26].
4. Avif Tiftazani (2024) dengan penelitian berjudul “Simulasi Dan Analisis Pada Sistem Kendali *Load Frequency Control* Dengan Konfigurasi Pengendali Tunggal Dan Kaskade Menggunakan Filter”. penelitian ini membahas pentingnya kestabilan frekuensi pada sistem tenaga listrik melalui simulasi dan analisis *Load Frequency Control* dengan pengendali tunggal dan pengendali kaskade, baik dengan maupun tanpa filter. Penelitian ini memberikan analisis mendalam tentang pengaruh penggunaan filter dan konfigurasi kaskade terhadap performa LFC serta menawarkan solusi untuk meningkatkan kestabilan frekuensi pada sistem tenaga listrik Analisis dilakukan dengan mengamati respons sistem seperti waktu naik, *overshoot*, *settling time*, dan *error steady state* terhadap perubahan beban [27].
5. Ghadeer Ahmed Almahri (2025) dengan penelitian berjudul “*Resilient Power System Load Frequency Control*”. Penelitian ini menyoroti peran penting *Load Frequency Control* dalam menjaga kestabilan sistem tenaga listrik. Untuk itu, dilakukan pemodelan sistem tenaga *single-area* dan *two-area* menggunakan pendekatan matematis, serta diterapkan berbagai metode kontrol seperti PID, *Artificial Neural Network* (ANN), dan *Particle Swarm Optimization* (PSO) [28].
6. Y. Güler, M. Nalbantoğlu, and İ. Kaya, “*Cascade controller design via controller synthesis for Load Frequency Control of electrical power systems*,”. penelitian ini membahas mengenai desain pengendali kaskade menggunakan PID dengan filter untuk *Load Frequency Control* pada sistem tenaga listrik satu-area dan dua-area, dengan parameter pengendali yang ditentukan secara analitik. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pengendali kaskade PIDF memberikan kinerja

yang lebih unggul dibandingkan metode lain, ditandai dengan respons yang lebih cepat, overshoot yang lebih rendah, dan error steady-state yang minimal [29].

Secara keseluruhan, penelitian diatas membahas mengenai pentingnya *Load Frequency Control* (LFC) dalam menjaga kestabilan pada sistem tenaga listrik, terutama saat terjadi perubahan beban mendadak dan gangguan sistem. Pendekatan yang digunakan pada penelitian tersebut bervariasi, mulai dari pengendali klasik seperti PID, pengendali dua derajat kebebasan, konfigurasi kaskade, hingga teknik berbasis kecerdasan buatan.

Dari hasil analisis penelitian tersebut, didapatkan bahwa metode kendali kombinatorial mampu meningkatkan performa sistem secara signifikan dibandingkan dengan pengendali konvensional. Peningkatan ini dapat dilihat melalui parameter-parameter yang digunakan. Dengan demikian, sistem *Load Frequency Control* (LFC) yang memanfaatkan strategi kontrol dengan konfigurasi yang lengkap terbukti lebih responsif, stabil dan tangguh dalam menjaga frekuensi listrik.

Pada penelitian tugas akhir ini, akan dirancang sebuah sistem *Load Frequency Control* (LFC) dengan pengendali PID. Parameter pengendali ditentukan menggunakan metode PIDTune model paralel dengan tipe *Reheat* dan *Non-Reheat*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sistem *Load Frequency Control* (LFC) berupa analisis peralihan dan analisis kekokohan. Sistem akan disimulasikan melalui perangkat lunak Matlab.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Tanggapan peralihan serta tanggapan kekokohan dari sistem *Load Frequency Control* (LFC).
2. Untuk performansi peralihan ditunjukkan oleh parameter waktu naik, waktu puncak, waktu keadaan mantap, nilai puncak dan nilai lewatan maksimum. Hasil analisa awal dari parameter - parameter performansi peralihan ini memperlihatkan nilai – nilai yang belum memenuhi standar yang ditetapkan.
3. Untuk performansi kekokohan yang ditunjukkan dengan parameter puncak maksimum. Kriteria puncak maksimum ini terbagi atas 2 bagian yaitu nilai puncak maksimum sensitivitas dan nilai puncak maksimum sensitivitas komplementer. Hasil analisa parameter dalam *Load Frequency Control* (LFC) menunjukkan bagaimana sistem merespons gangguan dan mempertahankan stabilitas frekuensi.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian dan penyusunan laporan tugas akhir ini memiliki tujuan sebagai berikut.

1. Untuk melakukan simulasi perancangan pengendali untuk sistem *Load Frequency Control* (LFC) tipe *Reheat* dan *Non-Reheat* dengan Pengendali

kaskade dan tunggal menggunakan metoda PIDTune model Paralel agar performansi peralihan dan performansi kekokohan memenuhi standar yang ditetapkan.

2. Analisa dan membandingkan tanggapan sistem *Load Frequency Control* (LFC) menggunakan pengendali kaskade dan pengendali tunggal dengan metoda PIDTune Model Paralel.
3. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan mengenai efektivitas metode ini dalam mengoptimalkan performansi sistem *Load Frequency Control* (LFC) tipe *Reheat* dan *Non-Reheat*.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Sistem *Load Frequency Control* (LFC) yang digunakan dalam penelitian ini adalah sistem LFC tipe rehat dan *Non-Reheat*.
2. Sistem *Load Frequency Control* (LFC) dinyatakan dalam bentuk persamaan keadaan dan fungsi alih.
3. Konfigurasi sistem kendali yang digunakan adalah konfigurasi pengendali kaskade dan pengendali tunggal.
4. Perancangan pengendali dilakukan dalam bentuk simulasi dengan bantuan perangkat lunak Matlab
5. Simulasi perancangan pengendali yang dilakukan dengan metoda PIDTune model paralel.
6. Analisis yang digunakan meliputi analisa peralihan dan analisa kekokohan dari sistem *Load Frequency Control* (LFC) tipe *Reheat* dan *Non-Reheat* dengan pengendali kaskade dan pengendali tunggal.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memberikan berbagai manfaat baik secara teoretis maupun praktis, khususnya dalam bidang sistem kendali *Load Frequency Control* (LFC). Adapun manfaat secara teoritis dari penelitian ini adalah

1. Penelitian ini berguna dalam pengembangan ilmu pada sistem kendali *Load Frequency Control* (LFC), khususnya untuk menambah wawasan dalam bidang sistem kendali *Load Frequency Control* (LFC) dengan fokus pada tuning PID menggunakan metode PIDTune model paralel.
2. Memberikan pemahaman lebih dalam mengenai analisa peralihan dan analisa kekokohan dalam sistem *Load Frequency Control* (LFC) tipe *Reheat* dan *Non-Reheat*.
3. Memberikan kontribusi terhadap pengembangan dengan menyediakan perbandingan antara dua pengendali dalam sistem *Load Frequency Control* (LFC) yang dapat menjadi referensi bagi peneliti selanjutnya.

Untuk manfaat secara praktis dari penelitian ini adalah.

1. Penerapan dalam desain dan implementasi sistem *Load Frequency Control* (LFC). Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai panduan bagi insinyur dan praktisi di bidang tenaga listrik dalam menerapkan konfigurasi pengendali yang lebih optimal pada sistem *Load Frequency Control* (LFC).
2. Memberikan rekomendasi terhadap pemilihan konfigurasi pengendali berdasarkan karakteristik sistem yang diinginkan, seperti kestabilan tinggi atau respons cepat terhadap perubahan beban.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini mencakup tentang latar belakang dari masalah dalam penelitian ini, tujuan yang ingin dicapai, manfaat yang akan didapatkan, batasan masalah, dan sistematika penulisan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas tentang teori dasar dalam penelitian. Teori dasar yang dibahas meliputi sistem *Load Frequency Control* (LFC), pemodelan matematis sistem *Load Frequency Control* (LFC), teori dan analisa sistem kendali, konfigurasi sistem kendali, pengendali Proporsional Integral Diferensial (PID), metoda PIDTune model paralel.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang diagram alir dan tahap-tahap penelitian yang dilakukan.

BAB IV HASIL DAN ANALISIS

Bab ini menyajikan analisis dan pembahasan dari hasil penelitian tugas akhir mengenai sistem *Load Frequency Control* (LFC). Analisis yang dilakukan difokuskan pada analisis domain waktu, yang meliputi analisis peralihan terhadap masukan undak satuan untuk mengevaluasi karakteristik respon transien sistem, serta analisis kekokohan untuk menilai kinerja dan kestabilan sistem saat terjadi perubahan beban maupun variasi parameter. Selain itu, dilakukan pula perbandingan antara pengendali tunggal dan pengendali kaskade untuk melihat pengaruh struktur kontrol terhadap kualitas respon sistem, baik dari segi kestabilan, kecepatan pemulihan, maupun ketahanan terhadap gangguan.

BAB V SIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisikan kesimpulan dan saran berdasarkan dari penelitian yang telah dilakukan.