

**OPTIMASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR (PLTA) PADA
PROSES PENGOLAHAN PELEBURAN NIKEL DENGAN BEBAN
TANUR YANG TIDAK LINIER**



Disusun dan Diajukan oleh:

MUHAMMAD AMIRUL WAHYI CHAIRIL

D032 21 1 023

Dosen Pembimbing:

--

--

**PROGRAM PASCA SARJANA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2022**

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	i
DAFTAR GAMBAR.....	ii
DAFTAR TABEL	iii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1 Latar Belakang.....	1
2 Rumusan Masalah	3
3 Tujuan Penelitian	3
4 Manfaat Penelitian	4
5 Batasan Masalah	4
6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	6
1 Landasan Teori.....	6
2 Penelitian Terkait Stabilitas dan Kualitas Sistem Tenaga Listrik.....	6
3 State of the Art.....	11
BAB 3 METODE PENELITIAN	26
1 Tahap Penelitian.....	26
2 Waktu dan Tempat Penelitian.....	27
3 Jenis Penelitian.....	29
4 Desain dan Analisis.....	29
5 Pengujian	29
DAFTAR PUSTAKA	30

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Gambaran daya utilitas Pembangkit PT Vale dengan beban tanur	2
Gambar 2. SLD yang disederhanakan menunjukkan konfigurasi grid dalam operasi normal.....	3

DAFTAR TABEL

Tabel 1. State of the Art Penelitian.....	12
Tabel 2. Jadwal Penelitian.....	28

BAB 1

PENDAHULUAN

1 Latar Belakang

Untuk memasok kebutuhan listrik ke pabrik ekstraksi nikel mereka, PT Vale telah mendirikan tiga pembangkit listrik tenaga air utama di fasilitas Larona, Balambano dan Karebbe. Pembangkit Larona terdiri dari tiga turbin air (LG1, LG2, LG3) dengan kapasitas daya kontinu masing-masing 68 Megawatt. Pembangkit Balambano memiliki dua turbin (BG1, BG2) dengan kapasitas pembangkit listrik berkelanjutan secara terus menerus masing-masing 68 Megawatt. Pembangkit Karebbe yang baru diresmikan memiliki dua turbin (KG1, KG2) dengan kapasitas pembangkit listrik berkelanjutan masing-masing 66 MW.

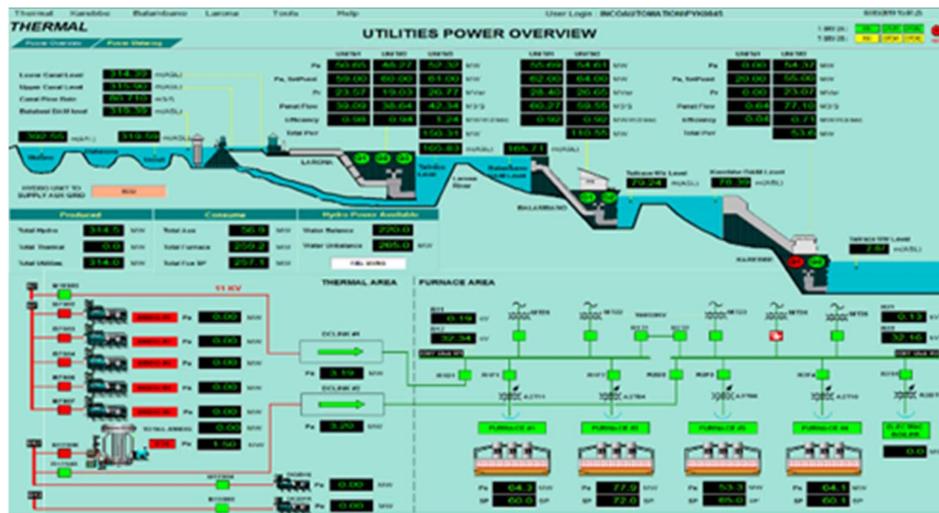
Peleburan nikel dilakukan dalam empat tanur yang masing-masing mengkonsumsi hingga 80 MW. Mereka dipasok dari grid tanur terpisah dan semua unit hidro kecuali satu biasanya terhubung ke ini. Grid tanur terus menunjukkan variasi frekuensi yang besar.

Selain itu, ada juga jaringan bantu dengan total beban sekitar 45 MW. Satu unit hidro (umumnya Larona unit 1 yaitu LG1) digunakan untuk memasok jaringan bantu sedangkan sisanya memasok jaringan tanur.

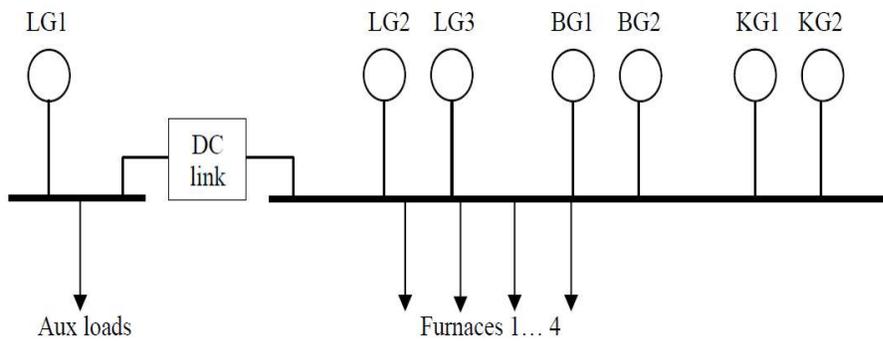
Ada hubungan DC yang mampu mentransfer 19 MW di kedua arah antara jaringan bantu dan jaringan tanur. Ada juga sejumlah generator cadangan termal untuk jaringan bantu yang biasanya tidak digunakan.

Gambar 1 menunjukkan gambaran operator sementara Gambar 2 menunjukkan SLD yang disederhanakan yang mewakili operasi normal. Garis, trafo, dan detail kisi lainnya dihilangkan.

PT Vale mengalami masalah parah dengan gangguan jaringan. Ini telah menghabiskan banyak biaya dalam hal kerugian produksi. Kajian dalam penelitian ini berfokus pada KG1, KG2 dan LG3, dan pasokan dayanya ke beban tanur dan bagaimana pengoperasian mode pulau listrik dapat diatur dengan baik. Kontribusi unit Balambano terhadap stabilitas jaringan juga telah dimasukkan dalam penelitian, tetapi kurang detail dan berdasarkan pengukuran yang dilakukan oleh Vale.



Gambar 1: Gambaran daya utilitas Pembangkit PT Vale dengan beban tanur



Gambar 2: SLD yang disederhanakan menunjukkan konfigurasi grid dalam operasi normal.

2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah, maka dirumuskan masalah yang di hadapi terkait dengan penelitian ini diuraikan sebagai berikut:

1. Bagaimana titik operasi optimum dari 7 unit pembangkit PLTA dengan perubahan beban yang tidak linear?
2. Bagaimana kombinasi operasi yang bisa meminimumkan gangguan jika unit pembangkit yang menyuplai aux grid trip?

3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang akan dicapai dari kegiatan penelitian ini adalah:

1. Menentukan pola operasi yang paling optimum untuk mendapatkan sistem kelistrikan yang handal.
2. Menguji dan memverifikasi sistem tersebut melalui simulasi software.

4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian adalah :

1. Bagi peneliti, pengaplikasian dari sejumlah konsep dan pengetahuan dan berguna untuk menambah pengetahuan dan kemampuan mengenai optimasi PLTA yang memiliki beban tak linier.
2. Bagi Perusahaan khususnya PT. Vale Indonesia Tbk, hasil penelitian ini akan menjadi acuan dalam pengoperasian 7 unit generator dalam menyokong pengolahan nikel.

5 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, perancangan yang akan dibuat dibatasi pada hal-hal sebagai berikut:

- a. Penelitian ini hanya berfokus pada optimasi dari sisi pembangkitan saja tanpa melibatkan faktor eksternal seperti jaringan transmisi maupun gangguan sambaran petir.

6 Sistematika Penulisan

Sistematika dalam penulisan tesis ini menggambarkan secara garis besar isi dan sistematika penulisan tesis yang akan dilakukan sesuai dengan kerangka - kerangka yang telah ditetapkan dengan tahapan – tahapan yang di susun sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab ini berisikan mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB 2 LANDASAN TEORI

Pada bab ini memuat uraian sistematis tentang teori, metode pencarian arah pemikiran dan hasil penelitian terdahulu yang berhubungan dengan rumusan masalah yang akan dibahas. Bab ini terdiri dari subbab alokasi frekuensi radio perangkat telekomunikasi WLAN di Indonesia, interferensi yang merugikan pada radar cuaca, metode pencarian arah stasiun radio

BAB 3 METODE PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang metode yang digunakan pada penelitian berupa rancangan dan desain penelitian, lokasi, dan waktu pelaksanaan penelitian, alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian. Konfigurasi sistem perangkat keras dan lunaknya, serta menguraikan pula langkah – langkahnya atau prosedur penelitian.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

1 Landasan Teori

Listrik adalah bagian penting bagi banyak industri. Untuk industri dengan ketergantungan yang tinggi pada listrik untuk operasi, tidak jarang industri memiliki pembangkit listrik dan mengoperasikan generator untuk mengamankan kapasitas pasokan tenaga listrik yang dibutuhkan.

Sejalan dengan memiliki kapasitas yang cukup untuk mendukung industri, sama pentingnya untuk memastikan bahwa semua dimiliki aset pembangkit listrik dan generator akan dapat diandalkan dan stabil ketika jaringan dioperasikan sehingga daya pembangkit listrik dapat memasok listrik tanpa gangguan kapan pun diminta. Untuk tujuan ini, kinerja dan kemampuan masing-masing pembangkit dan generator perlu divalidasi dengan teknologi yang tepat.

Demikian juga untuk Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), termasuk PLTA yang telah menjadi primadona energi hidro memasok kebutuhan listrik selama bertahun-tahun atau bahkan puluhan tahun. Sangat penting untuk mengonfirmasi kemampuan aset PLTA untuk memastikan operasi sistem yang andal dan untuk mengurangi risiko insiden besar yang terjadi.

2 Penelitian Terkait Stabilitas dan Kualitas Sistem Tenaga Listrik

Dalam menunjang stabilitas dan kualitas dari sistem tenaga listrik, diperlukan keandalan dari suatu sistem untuk merespon semua bentuk perubahan

beban, baik itu beban linear maupun beban nonlinear. Memiliki sistem pembangkitan seperti PLTA tentu saja tidak serta merta tidak memiliki kelemahan, perubahan respon dari unit generator untuk merespon perubahan beban, utamanya beban nonlinear bisa mempengaruhi ketersediaan spinning reserve (cadangan putar) yang pada hal ini ditampung oleh reservoir pada bendungan PLTA. Seperti yang disebutkan pada [1] yang diteliti di negara Albania, disebutkan bahwa mereka harus melakukan tuning pada control PID governor PLTA untuk menjaga kestabilan sistem tenaga listrik untuk mengkompensasi perubahan frekuensi maupun kualitas tegangan dengan masuknya sumber energy baru terbarukan melalui pembangkit listrik tenaga Surya (PLTS) maupun Pembangkit Listrik Tenaga Bayu/Angin (PLTB). Dalam penelitian tersebut memodelkan sistem pengontrolan PID dengan menggunakan metode algoritma annealing, dari hasil penelitian tersebut didapatkan respon perubahan frekuensi yang baik oleh sistem, namun karena simulasi yang dilakukan masih dengan skala yang sederhana, maka masih dibutuhkan penambahan beberapa parameter pendukung untuk mendapatkan hasil yang lebih baik sebelum mencoba pada sistem yang lebih besar dan kompleks.

Selain pengontrolan dan tuning frekuensi pada pembangkit, yang menjadi hal yang patut dipertimbangkan adalah bagaimana mengurangi waktu penyelesaian dan over/under shoot pada pembangkit yang akan mempengaruhi sistem secara keseluruhan. Selaras dengan isi dari [2], nilai waktu penyelesaian harus di tuning/diatur untuk mendapatkan nilai respon pengontrolan yang optimum. Dengan membandingkan antara sistem pengontrolan konvensional, pengontrolan PI dan PID serta pengontrolan ANFIS maka tingkat eror/losses dari sistem pengontrolan

bisa dikurangi untuk mendapatkan sistem govornor yang lebih responsif. Selain itu nilai error dari reaksi overshoot maupun under shoot pada sistem pembangkit dapat diminimalkan.

Jika sistem mengalami gangguan maka dapat menimbulkan variasi osilasi pada sistem yang tentunya sangat mempengaruhi stabilitas sistem tenaga listrik. Salah satu cara yang bisa dioptimalkan juga untuk mengatasi hal ini adalah dengan menggunakan Low Pass Filter (LPF) [3]. Metode dengan melakukan simulasi pada platform Power System Computer Aided Design and Electromagnetic Transient (PSCAD/EMTDC), hasil dari penelitian tersebut mengemukakan bahwa waktu yang tinggi pada konstanta Low Pass Filter dapat dengan efektif meredam variable osilasi pada grid dan dapat memulihkan sistem dengan cepat ketika sistem mengalami gangguan.

Suatu sistem dikembangkan untuk melakukan kontrol terkoordinasi dari operasi generator sinkron terdistribusi selama transien yang disebabkan oleh gangguan karena gangguan pada jaringan interkoneksi [4]. Untuk tujuan ini, resistor pengereman digunakan di mana kelebihan energi listrik dihamburkan, sehingga mencegah kecepatan berlebih dan hilangnya sinkronisme mesin selama proses transien yang disebabkan oleh gangguan sementara dan tindakan sistem proteksi bersama dengan sistem untuk menutup kembali saluran secara otomatis. Selain mengendalikan operasi resistor pengereman, sistem yang diusulkan melakukan kontrol terkoordinasi dari eksitasi generator. Kontrol terkoordinasi dari resistor pengereman dan tegangan eksitasi dari generator memberikan tumpangan gangguan yang baik melalui kapasitas mesin bahkan selama gangguan ketika

generator tetap dalam mode operasi pulau untuk beberapa waktu. Fungsionalitas dan penerapan praktis dari sistem yang dikembangkan telah diuji dengan simulasi dinamis yang dilakukan pada model nyata dari agregat hidro yang menggabungkan mesin sinkron dan dengan parameter nyata dari jaringan distribusi.

Dengan semakin berkembangnya ilmu pengetahuan terutama dengan semakin banyaknya penelitian, ada salah satu metode yang bisa digunakan sebagai landasan untuk mendesign atau bahkan mereview sistem pembangkitan tenaga listrik agar mempunyai respon dan efisiensi yang optimal yakni dengan menggunakan pemodelan Hamilton [5]. Menjelaskan dengan secara detail dan terperinci bahwa penambahan beban yang cenderung meningkat bisa diatasi dengan metode ini. Dengan pemodelan Hamilton didapatkan hasil simulasi numerik dan eksperimen secara fisik yang dapat membantu dalam merancang dan menjalankan operasi PLTA yang baik dan responsif.

Tenaga air berfungsi sebagai salah satu sumber utama energi terbarukan utama dunia dan termasuk di antara lima besar produksi listrik pasar global. Pengembangan hampir semua sumber utama energi hidro, sedang berjalan atau ditugaskan untuk lokasi yang lebih besar di mana potensi head tinggi dan ekstraksi energi maksimal. Sekarang adalah waktu yang tepat untuk mengekstraksi pembangkit listrik tenaga air dari lokasi yang lebih kecil, yang secara global belum dieksploitasi di banyak negara berkembang dan tujuan masa depan adalah memanfaatkan energi dari lokasi tersebut. Namun, ekstraksi energi dari tempat-tempat ini menghadapi tantangan yang lebih besar karena variasi musiman yang tinggi dalam aliran air. Aliran air meningkat selama musim hujan dan situs yang

sama mengalami penurunan aliran selama musim panas. Perubahan kecepatan dapat mempengaruhi kinerja parameter output generator yang digunakan untuk generasi ini. Meskipun, masalah ini dapat ditangani dengan pengatur kecepatan tetapi biaya pengaturannya bersama dengan pemeliharannya sangat tinggi. Alternatif yang lebih baik untuk mengatasi masalah ini, adalah membangun pengontrol statis yang murah dan bebas perawatan [6].

Selain membutuhkan tingkat operasi yang optimum dan responsive, pada kenyataannya ternyata dibutuhkan juga penjadwalan perawatan unit PLTA secara rutin dan dinamis untuk menjaga umur dan ketersediaan suplai energi listrik dari unit pembangkit agar terhindar dari kerusakan sistem secara mendadak [7]. Sistem perawatan berkala dan sistematis dapat menjaga siklus hidup dari unit pembangkit untuk menghindari penuaan dari material-material pembangkit. Tentunya dengan pengaturan sedemikian rupa secara dinamis pasokan listrik tetap bisa disuplai dengan baik ketika sistem surplus energy listrik karena jika ada unit pembangkit yang sedang dalam perawatan, maka unit lain bisa dioperasikan untuk memenuhi kebutuhan beban pada sistem. Tapi jika sumber tenaga listrik terbatas, tentunya dibutuhkan penjadwalan pemadaman bergilir untuk mengurangi dampak yang telah disebutkan sebelumnya. Salah satu metode yang bisa digunakan adalah Hidden Markov Model (HMM) dan data inspeksi retakan runner turbin PLTA secara actual, dengan menggunakan pemodelan tersebut dapat menghasilkan kerangka pemeliharaan yang valid untuk mencapai keselamatan operasional yang lebih tinggi dari pembangkit listrik tenaga air dengan kerugian sumber daya yang minimal.

3 State of the Art

Tabel berikut menampilkan perkembangan penelitian terkait dengan sistem kestabilan dan kualitas sistem tenaga listrik.

Tabel 1. *State of the Art* Penelitian

No.	Judul	Identifikasi Masalah	Tujuan	Metode	Hasil yang dicapai
1.	Multi-Objective Approach for Hydro Governors Control Tuning	Peningkatan kebutuhan listrik di negara Albania, mengharuskan mereka harus mencari sumber energy lain terutama memanfaatkan energy terbarukan untuk menunjunga kebutuhan listrik di negaranya yang selama ini terpenuhi dari PLTA.	Melakukan studi kelayakan mengenai stabilitas daya, respon frekuensi sistem ketika energy terbarukan (PV maupun energy angin) masuk ke grid.	Metode yang digunakan pada jurnal ini adalah melakukan tuning PID dengan simulasi algoritma annealing	Hasil simulasi dengan menggunakan simulasi algoritma annealing diperoleh respon perubahan frekuensi sistem cukup baik, namun dibutuhkan penyetelan beberapa parameter/variable pengontrolan untuk mendapatkan hasil yang lebih baik sebelum dicoba pada sistem yang lebih besar.

2.	Load Frequency Control of Four Area Hydro Thermal Interconnected Power System through ANFIS Based Hybrid Neuro-Fuzzy Approach	Perubahan beban non-linear secara bersamaan sangat mempengaruhi sistem kelistrikan secara keseluruhan pada 4 area pembangkit dengan sistem pembangkit hybrid Thermal-Hydro	Menentukan fungsi pengontrolan paling efisien dan responsif untuk sistem pembangkitan hybrid Thermal-Hydro pada 4 area pembangkitan	Menggunakan pemodelan Simulink dengan membandingkan antara sistem pengontrolan konvensional, control PI, PID dan ANFIS pada 4 area pembangkitan hybrid Thermal-Hydro	Hasil dari jurnal ini menunjukkan bahwa sistem pengontrolan dengan menggunakan ANFIS lebih efisien terhadap perubahan frekuensi sistem secara keseluruhan dengan nilai settling time yang kecil dan mengurangi overshoot frekuensi pada sistem interkoneksi. Sistem pengontrolan ANFIS ini juga lebih cepat dan akurat jika dibandingkan dengan pengontrolan konvensional, PI & PID.
----	---	--	---	--	--

3.	<p>Design of Discrete Predictive Direct Power Control</p> <p>Strategy on the Doubly-Fed Induction Generator Based on</p> <p>Micro-Hydro Power Plant with the Aim of Active and Reactive Powers Control</p>	<p>Respon PLTMH terhadap perubahan beban daya aktif dan reaktif pada grid interkoneksi.</p>	<p>Strategi pengontrolan daya prediktif secara langsung yang diusulkan untuk mengontrol daya aktif dan reaktif pada Doubled-Feed Induction Generator (DFIG) yang berbasis PLMH</p>	<p>Metode yang digunakan adalah pemodelan Simulink dengan memprediksi daya aktif dan reaktif pada DFIG dengan dua fungsi biaya pada grid dan rotor DFIG serta perilaku sistem yang diinginkan.</p>	<p>hasil yang diperoleh pada simulasi ini setelah dibandingkan dengan metode klasik, diperoleh bahwa strategi yang diusulkan pada jurnal ini memiliki respon dinamis yang lebih cepat, kuat dan akurat.</p>
4.	<p>High-Frequency-Link DC Transformer Based on Switched Capacitor for Medium-Voltage DC Power Distribution Application</p>	<p>Permasalahan pada frekuensi tinggi Trafo DC berdasarkan penyalaan capacitor (SCDCT) pada distribusi daya DC tegangan menengah</p>	<p>Memberikan solusi praktis pada frekuensi tinggi Trafo DC berdasarkan penyalaan capacitor (SCDCT) pada distribusi daya DC tegangan menengah</p>	<p>Metode penelitian pada jurnal ini menggunakan metode Switched Capacitor DC Transformer (SCDCT)</p>	<p>Metode SCDCT lebih efisien dan komprehensif dibandingkan dengan metode TDCT, sebagai pemutus aliran DC pada grid MVDC dan memastikan pengaturan tegangan pada dua sisi HFL transformer sudah sesuai.</p>

5.	A Low Voltage DC-Link Hybrid Static Compensator With A Wide Mitigation	Sistem pengontrolan STATCOM	Memberikan opsi pengontrolan STATCOM yang efisien yang dapat meningkatkan pengatur tegangan yang mampu mengatur tegangan asimetris converter kapasitor isolasi.	Metode pemodelan melalui software Matlab Simulink untuk STATCOM hybrid	Metode ini dapat meningkatkan pengatur tegangan yang mampu mengatur tegangan asimetris converter kapasitor isolasi. Selain itu, karena terjadinya perbedaan tegangan pada setiap unit maka sistem ini dapat memastikan bahwa setiap tegangan DC diatur dengan sempurna. Konverter asimetris juga dapat meningkatkan modulasi hybrid untuk mengurangi potensi kegagalan switching tanpa mempengaruhi efektifitas penurunan nilai harmonic pada system.
----	--	-----------------------------	---	--	---

6.	Improving Grid Frequency Dynamics of Synchronous Generators Considering Wind Energy Penetration	Respon frekuensi pada grid yang memiliki sistem generator sinkron (PLTU & PLTA) dan induksi kecepatan tetap pada PLTB	Meningkatkan efisiensi pengontrolan frekuensi, untuk meredam osilasi variable pada grid dan memulihkan sistem ketika mengalami gangguan.	Metode penelitian dengan menggunakan simulasi pada platform Power System Computer Aided Design and Electromagnetic Transient (PSCAD/EMTDC)	Hasil simulasinya menunjukkan bahwa waktu yang tinggi pada konstanta Low Pass Filter (LPF) dapat dengan efektif meredam variable osilasi pada grid dan dapat memulihkan sistem dengan cepat ketika sistem mengalami gangguan
7.	An Improved Control of D-STATCOM under Unbalanced Grid and Load Conditions	Masalah kinerja operasi distribusi kompensator sinkron statis (D-STATCOM) dalam kondisi operasi yang tidak seimbang	Meningkatkan kinerja operasi distribusi kompensator sinkron statis (D-STATCOM) dalam kondisi operasi yang tidak seimbang serta mengurangi harmonic pada sistem	Metode penelitian menggunakan software Matlab Simulink dengan pemodelan PID dengan membandingkan 3 kondisi.	Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa menggunakan metode berdasarkan double synchronous reference frame lebih efektif dengan hasil yang lebih stabil dan dinamis. Selain itu harmonic ketiga pada sistem menjadi

					sangat kecil dibandingkan dengan metode sebelumnya.
8.	Investigation of Modular Multilevel Converters for E-STATCOM Applications	Tantangan untuk meningkatkan fleksibilitas dan optimalisasi manajemen kualitas daya dengan tidak hanya mengandalkan pertukaran daya reaktif dan daya aktif pada STATCOM	Meningkatkan fleksibilitas dan optimalisasi manajemen kualitas daya dengan tidak hanya mengandalkan pertukaran daya reaktif dan daya aktif pada STATCOM	Metode penelitian pada jurnal ini menggunakan pemodelan dengan membandingkan kinerja pemodelan menggunakan Battery Energy Storage System (BESS), Modular Multilevel converter (MMC) dan penggunaan Smart Transformer.	Hasil dari jurnal ini menyarankan penggunaan E-STATCOM berbasis Modular Multilevel Converter (MMC) dengan integrasi baterai di DC-Link dengan konversi dc-dc terisolasi. Dengan metode ini diperoleh energy yang besar dapat dipasang dengan daya aktif dan reaktif lebih efisien untuk mendapatkan keamanan dan keandalan sistem. Selain itu efisiensi dari converter bisa ditingkatkan sekitar 90%.

9.	Hamiltonian analysis of a hydro-energy generation system in the transient of sudden load increasing	Keandalan PLTA untuk merespon transient dari peningkatan beban pada sistem secara tiba-tiba	Meningkatkan efisiensi PLTA untuk merespon perubahan beban secara dinamis.	Metode yang digunakan adalah pemodelan Hamilton. Pemodelan ini akan menghasilkan simulasi numerik dan eksperimen fisik	Hasil dari penelitian ini akan memberikan dasar teoritis untuk merancang dan menjalankan PLTA.
10.	Nonlinear dynamics of a novel fractional-order Francis hydro-turbine governing system with time delay	Stabilitas PLTA terhadap perubahan beban nonlinear	Mencari metode baru untuk peningkatan stabilitas dan keandalan dari PLTA	Metode yang digunakan antara lain: menggunakan pemodelan matematis nonlinear baru dari sistem pengatur turbin Francis PLTA, memanfaatkan prinsip statistik fisika, dan juga menganalisis perilaku dinamis nonlinear dari sistem dengan parameter governor yang berbeda	Dengan menggunakan algoritma Adams-Bashforth-Moulton yang dimodifikasi, berikut hasil dari penelitian dalam jurnal ini: 1. Wilayah stabil pengoperasian PLTA, secara bertahap mengalami penurunan dengan peningkatan waktu tunda. Hal ini memberi efek buruk bagi

				<p>dengan menggunakan diagram bifurkasi serta bentuk gelombang waktu dan spectrum daya.</p>	<p>stabilitas PLTA. Selain itu karakteristik real-time dari PLTA mesti ditingkatkan untuk memastikan optimasi pengoperasian PLTA yang stabil.</p> <p>2. Dengan menggunakan prinsip statistik fisika ditemukan bahwa titik bifurkasi sistem meningkat dengan penurunan orde pecahan, yang menunjukkan stabilitas PLTA meningkat.</p> <p>3. Dengan menganalisa karakteristik dinamis PLTA dengna</p>
--	--	--	--	---	--

					menggunakan gelombang waktu dan spectrum daya diperoleh hasil sistem dengan cepat dan menuju ke titik nominal operasi jika parameter PID terkoordinasi dengan baik.
11.	Safety assessment of hydro-generating units using experiments and grey-entropy correlation analysis	Keamanan operasi 4 unit PLTA di Cina dengan nilai head yang berbeda.	Melakukan analisis terhadap keamanan unit PLTA nonlinear di Cina yang beroperasi di bawah beban yang berbeda.	Jurnal ini menggunakan metode penelitian berdasarkan pengalaman dan metodologi korelasi grey-entropy terhadap analisis keselamatan dinamis pada PLTA berbeban.	Hasil dari penelitian melalui jurnal ini menunjukkan PLTA keempat (head: 71m) memiliki tingkat keamanan tertinggi, sedangkan PLTA ketiga memiliki tingkat keselamatan terendah. Hal ini memberikan jadwal operasional yang optimum PLTA untuk mengatsi

					fluktuasi kebutuhan listrik pada wilayah yang diteliti.
12.	A new technique for improving stability of distributed synchronous generators during temporary faults in a distribution network	Keandalan dan stabilitas generator sinkron ketika terjadi transient gangguan sementara pada jaringan distribusi interkoneksi.	Tujuan pada jurnal ini adalah dengan menggunakan tahanan resistor (dummy load) yang digunakan untuk menyerap kelebihan energy pada sistem interkoneksi untuk mencegah over-speed pada generator dan lepasnya sinkroisasi unit karena pemutusan sistem proteksi ketika terjadi gangguan	Metode yang digunakan ialah dengan melakukan pemodelan simulasi gangguan transient sementara dengan menggunakan software DIgSILENT PowerFactory	Konsep sederhana yang diusulkan pada pembangkit listrik kecil dengan menggunakan tahanan resistor (dummy load) dapat memberikan stabilitas transient yang lebih baik selama terjadi gangguan pada jaringan interkoneksi.

			transient sementara yang juga menerapkan sistem auto re-close pada Circuit Breaker. Selain itu sistem ini juga bertujuan mengkoordinir sistem eksitasi pada unit generator sinkron.		
13.	Dynamic maintenance planning of a hydro turbine in operational life cycle	Degradasi siklus hidup peralatan yang dipengaruhi sistem penjadwalan perawatan yang dinamis	Jurnal ini bertujuan untuk mengevaluasi proses degradasi peralatan dan dapat digunakan untuk pengembangan rencana pemeliharaan dinamis	Metode yang digunakan adalah Hidden Markov Model (HMM) dan data inspeksi retakan runner turbin PLTA secara actual.	Hasil dari jurnal ini memberikan kerangka pemeliharaan yang valid untuk mencapai keselamatan operasional yang lebih tinggi dari pembangkit listrik tenaga air dengan kerugian sumber daya yang minimal.

14.	A DC-link Capacitor Voltage Ripple Reduction Method for a Modular Multilevel Cascade Converter with Single Delta Bridge Cells (MMCC-SDBC)	Dampak dari tingkat arus urutan nol harmonic ketiga dengan penurunan ripple kapasitor dan tegangan electro-thermal pada modul IGBT	Studi kasus praktis pada STATCOM berbasis 80 MVar/ 33 kV MMCC-SDBC	Menggunakan metode pengurangan ripple tegangan kapasitor untuk Modular Cascade Converter (MMCC) dengan Single Delta Bidge Cells (MMCC-SDBC)	Dengan menggunakan metode ini didapatkan kapasitansi yang diperlukan, serta volume dari Kapasitor bank, berkurang sebesar 20% tanpa meningkatkan kerugian daya total dari semikonduktor
15.	Voltage and Frequency Controller with Power Quality Improvement for PMSG Based Pico-Hydro System	Pengontrolan tegangan dan frekuensi pada sistem PLTA Pico-Hydro	Untuk meningkatkan second-order generalized integrator (SOGI)	Metode penelitian yang digunakan dalam jurnal ini ialah peningkatan second-order generalized integrator (SOGI) berbasis decoupled voltage dan frekuensi controller (DVFC) untuk sistem PLTA pico-hydro	Algoritma kontrol berbasis integrator umum orde kedua yang ditingkatkan (SOGI) digunakan untuk menghasilkan pulsa switching untuk VSC. Penambahan faktor redaman, memberikan konvergensi yang lebih cepat, respons

				yang menggunakan magnet permanen generator sinkron (PMSG)	dinamis yang baik, dan meningkatkan kinerja kondisi steady-state dari sistem yang diberikan. Algoritma kontrol berbasis ISOGI yang diusulkan dengan pengontrol frekuensi terpisah untuk PMSG, divalidasi pada prototipe laboratorium dengan implementasi eksperimental.
--	--	--	--	---	---

BAB 3

METODE PENELITIAN

1 Tahap Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian yang telah dipaparkan, penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahap, yaitu:

- a. Studi literatur, mengumpulkan bahan dan teori dasar yang berkaitan dengan penelitian.
- b. Identifikasi kebutuhan penelitian, mengumpulkan dan menyiapkan data data yang akan diamati dan diperlukan
- c. Perancangan sistem, melakukan perencanaan untuk menentukan komponen, metode, dan jenis rangkaian yang digunakan pada penelitian.
- d. Pemodelan sistem, membuat model berdasarkan hasil perencanaan dalam bentuk yang siap disimulasikan.
- e. Pengujian simulasi, untuk memastikan kinerja rangkaian simulasi telah bekerja sesuai dengan teori.
- f. Pengembangan atau perbaikan dari hasil simulasi yang telah diujicobakan.
- g. Evaluasi terhadap simulasi yang telah dirancang untuk pengembangan kedepannya yang lebih baik.
- h. Analisis data, melakukan pengolahan data dan membandingkan berbagai konfigurasi untuk mendapatkan hasil yang diinginkan sehingga bisa menarik kesimpulan.

2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan selama tujuh bulan dari bulan Juli 2022 hingga Januari 2023 di Department Energy & Logistics, PT. Vale Indonesia Tbk, Sorowako, Kabupaten Luwu Timur. Jadwal penelitian diuraikan pada Tabel :

3 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang akan dilaksanakan merupakan penelitian yang bersifat simulasi, di dalamnya terdapat aktivitas percobaan yang dilakukan kemudian studi pustaka, yang diikuti dengan pengambilan data lalu pengolahannya serta analisa dan pemodelan sistem untuk selanjutnya dilakukan implementasi sistem beserta pengujiannya.

4 Desain dan Analisis

Desain yang akan digunakan dalam penelitian ini dengan menggunakan software ETAP ataupun MATLAB Simulink. Di mana data yang dimasukkan dalam simulasi adalah data aktual unit pembangkit. Yang nantinya akan disimulasikan dengan beberapa pola perubahan konfigurasi operasi.

5 Pengujian

Pengujian dilakukan dengan mencoba beberapa pola konfigurasi operasi yang diharapkan dapat diperoleh mode operasi aman dan handal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. R. Chamorro, F. Gonzalez-Longat, D. Topic, M. J. Blondin, V. . K. Sood and W. Martinez, "Multi-Objective Approach for Hydro Governors Control Tuning," in *International Conference on Smart Systems and Technologies (SST)*, Osijek, Croatia, 2020.
- [2] D. Sharma, K. Pandey, V. Kushwaha and S. Sehwat, "Load Frequency Control of Four Area Hydro Thermal Interconnected Power," in *2016 Second International Innovative Applications of Computational Intelligence on Power, Energy and Controls with their Impact on Humanity (CIPECH)*, Ghaziabad, India, 2016.
- [3] H. J. Fard, H. R. Najafi and G. Heidari, "Design of discrete predictive direct power control strategy on the doubly-fed induction generator based on Micro-Hydro Power Plant with the aim of active and reactive powers control," in *2016 21st Conference on Electrical Power Distribution Networks Conference (EPDC)*, Karaj, Iran, 2016.
- [4] D. Milosevic and Z. Djuricic, "International Journal of Electrical Power & Energy Systems," *A new technique for improving stability of distributed synchronous generators during temporary faults in a distribution network*, vol. 100, no. September 2018, pp. 299-308, 2018.
- [5] L. Huanhuan , D. Chen, H. Zhang, C. Wu and X. Wang, "Applied Energy," *Hamiltonian analysis of a hydro-energy generation system in the transient of sudden load increasing*, vol. 185, pp. 244-253, 2016.
- [6] V. P. Chandran, S. Murshid and B. Singh, "Voltage and Frequency Controller with Power Quality Improvement for PMSG Based Pico-Hydro System," in *IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES)*, Chennai, India, 2018.
- [7] R. Li, E. Arzaghi, R. Abbassi, D. Chen, C. Li, H. Li and B. Xu, "Reliability Engineering and System Safety," *Dynamic maintenance planning of a hydro-turbine in operational life*, vol. 204, pp. 107-129, 2020.
- [8] Y. N. Bulatov, A. V. Kryukov and E. K. Shumansky, "Simulation of Power Supply Systems Operating Modes with Distributed Generation Plants Based on Asynchronized Generators," in *2020 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon)*, Chelyabinsk, Russia, 2020.

- [9] J. Meng, Y. Wang, C. Fu and H. Wang, "Adaptive virtual inertia control of distributed generator for dynamic frequency support in microgrid," in *2016 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, Milwaukee, WI, USA, 2016.
- [10] H. Li, D. Chen, E. Arzhagi, R. Abbassi, B. Xu, E. Patelli and S. Tolo, "Energy," *Safety assessment of hydro-generating units using experiments and grey-entropy correlation analysis*, Vols. Volume 165, Part A, no. 15 December 2018, pp. 222-234, 2018.
- [11] C. S. Indulkar and S. Thiruvengadam, *An Introduction to Electrical Engineering Materials*, S. Chand & Company Limited, 2018.
- [12] R. Hans Manoj and P. Parmale, "A Low Voltage DC-Link Hybrid Static Compensator With A Wide Mitigation," in *Fourth International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC)*, Coimbatore, India, 2020.
- [13] F. Hahn, L. Camurca and M. Liserre, "Investigation of Modular Multilevel Converters for E-STATCOM Applications," in *IEEE 29th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, Delft, Netherlands, 2020.
- [14] H. J. Fard, H. R. Najafi and G. Heidari, "Design of Discrete Predictive Direct Power Control Strategy on the Doubly-Fed Induction Generator Based on Micro-Hydro Power Plant with the Aim of Active and Reactive Powers Control," in *Electrical Power Distribution Conference*, Karaj- Alborz- Iran, 2016.
- [15] T. Tanaka, H. Wang and F. Blaabjerg, "IEEE Transactions on Industry Applications," *A DC-Link Capacitor Voltage Ripple Reduction Method for a Modular Multilevel Cascade Converter With Single Delta Bridge Cells*, vol. 55, no. 6, Nov.-Dec. 2019, pp. 6115 - 6126, 2019.