

ANALISIS TRANSIEN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK MENGGUNAKAN TURBIN- ANGIN HIBRID PADA SUB SISTEM BAKARU

Andarini Asri¹⁾, Bagus Prasetyo¹⁾

¹⁾ Dosen Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar

ABSTRACT

Microgrid is a power generation sources and loads that operate when connected to the grid and still operate when not connected to the grid. The purpose of this study was to simulate a power generation system using a hybrid-wind turbine to maintain transient stability in the Bakaru system. The simulation was carried out as a first step to determine the effect of wind turbine in providing electricity and maintaining the stability of the electric power system. This study has been simulated the Bakaru system in 4 case studies are loss of PLTA Bakaru G2, loss of wind power, and loss of diesel power and a short circuit on one of the buses. The simulation results of the 4 case studies experienced a voltage drop and also experienced a frequency drop but still within the safe range according to the ANSI/IEEE C37.106-1987 standard, namely 95.6%, 91%, 98.5% dan 95.5%.

Keywords: *Transient analysis, Hybrid, Wind Turbine, Diesel.*

1. PENDAHULUAN

Pemanasan global telah menjadi salah satu isu yang paling banyak dibahas saat ini. Pengurangan tenaga panas berkontribusi langsung untuk menurunkan jumlah emisi gas rumah kaca (terutama karbon dioksida) sebagai produk samping. Integrasi pembangkit listrik terbarukan seperti tenaga angin dalam perencanaan sistem tenaga dan operasi dapat melalui proses yang baik dan aman, dalam hal istilah teknis dan ekonomi. Penggunaan bahan bakar fosil pada pembangkit listrik termal adalah salah satu penyebab utama pemanasan global, sehingga semakin banyak negara yang menggunakan pembangkit listrik energi terbarukan seperti pembangkit listrik tenaga air, tenaga angin dan pembangkit listrik tenaga surya untuk mengurangi penggunaan pembangkit listrik termal. Sistem kelistrikan yang menggunakan beberapa dari energi terbarukan ini disebut sistem *microgrid* [1].

Mikrogrid (*microgrid*) merupakan teknologi yang penting untuk menggabungkan sumber energi distribusi, meliputi turbin angin, panel tenaga surya (*photovoltaic cell*), dan perangkat penyimpanan energi atau baterai. *Microgrid* dapat dioperasikan baik dalam grid-connected, islanded, atau hybrid modes [2] Operasi dari pembangkit hybrid dapat dikatakan optimal apabila efisiensi ekonomi pembangkit tinggi, keandalan pembangkit tinggi, serta terpenuhinya permintaan beban akan energi listrik. Penggunaan sistem *microgrid* menjanjikan peningkatan kinerja grid distribusi secara drastis, dalam hal efisiensi dan stabilitas. Sumber energi terbarukan yang digunakan dalam sistem memiliki energi keluaran yang berbeda. Sistem jaringan memiliki variabel pembebanan yang bervariasi. Dalam analisis stabilitas, respon frekuensi dan tegangan sistem dalam setiap kasus ini akan diamati dan dipertimbangkan untuk menentukan langkah selanjutnya yang perlu dilakukan untuk menjaga stabilitas sistem [3].

Pada penelitian ini akan membahas analisis stabilitas transien sistem kelistrikan pada sub Sistem Bakaru Sulawesi Selatan. Proses simulasi dilakukan 4 kasus, yaitu kehilangan sumber PLN berupa PLTA Bakaru G2, kehilangan tenaga angin, dan kehilangan tenaga *diesel*. Selanjutnya berdasarkan tegangan dan frekuensi respon, jika ada ketidakstabilan dalam sistem, maka beban akan mengalami pelepasan beban. Mekanisme ini adalah solusi yang paling umum untuk mengatasi ketidakstabilan dalam sistem karena fenomena hilangnya jaringan atau pembangkit listrik, serta arus pendek di bus. Dalam mekanisme pelepasan beban, perlu untuk menghitung berapa banyak kapasitas beban yang harus diputuskan dari sistem. Hal ini merupakan perhitungan yang sangat penting oleh operator untuk menentukan mana dari pemutus sirkuit harus dioperasikan selama fenomena yang menyebabkan ketidakstabilan sistem [4].

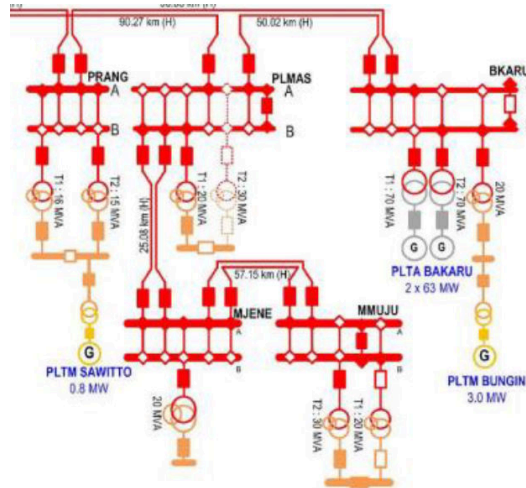
2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan mulai dari bulan Maret – Oktober 2021. Tempat penelitian ini dilakukan dengan mengambil data dari Sub Sistem Bakaru Sulawesi Selatan.

¹ Korespondensi penulis: Andarini Asri, Telp 082191972288, andariniasri@gmail.com

A. Single Line Diagram

Rancangan penelitian ini menggunakan data sub Sistem Bakaru untuk simulasi pada penelitian ini. Sub Sistem Bakaru terdiri dari 1 Pembangkit Listrik Tenaga Air yaitu PLTA Bakaru dengan kapasitas 2x63 MW dan 2 Pembangkit Listrik Mikro Hidro yaitu PLTM Sawitto dengan kapasitas 0.8 MW dan PLTM Bungin dengan kapasitas 3 MW. Single line Sub Sistem Bakaru adalah sebagai berikut :



Gambar 1. Single Line Diagram Sub Sistem Bakaru

B. Turbin Angin

Pembangkit listrik angin terdiri dari turbin angin, pembangkit asynchronous dan pitch kontrol. Karakteristik turbin angin dinyatakan sebagai:

$$P_m = C_p (\lambda, \beta) \rho A / 2 V^3 \tag{1}$$

yang mana P_m adalah tenaga mekanik yang dihasilkan oleh turbin angin dalam watt, C_p adalah koefisien kinerja turbin, ρ adalah kerapatan udara dalam kilogram per meter kubik. A adalah luas sapuan turbin dalam meter persegi, V adalah kecepatan angin bebas dalam meter per detik, λ adalah perbandingan tip speed, β adalah sudut pitch baling-baling dalam derajat. Rating daya turbin angin untuk simulasi adalah 1,5 MW.

C. Generator Diesel

Generator Diesel menggunakan generator sinkron dengan sistem eksitasi dan pengaturan governor. Rating daya generator diesel untuk simulasi adalah 1 MW. Pada tahap ini dilakukan pemodelan sistem sekaligus memasukkan data dalam bentuk Single line diagram. Pemodelan sistem dilakukan agar dapat dilakukan analisis Power Flow dan Transient Stability.

Hasil dari simulasi Power Flow digunakan untuk mengetahui aliran daya pada Single line diagram dan menganalisis skema operasi yang digunakan. Aliran daya pada sistem ini menjadi acuan dalam menentukan studi kasus transien yang dilakukan dengan mempertimbangkan kategori pembebanan dan sebagai acuan dalam pelepasan beban (memilih beban yang harus dilepas) saat terjadi gangguan transien agar sistem tetap dalam keadaan stabil.

Dari simulasi sistem, selanjutnya akan didapatkan hasil yang akan dianalisis. Proses simulasi dilakukan dengan 4 kasus, yaitu hilangnya sistem PLN, kehilangan tenaga angin, kehilangan tenaga diesel dan hubung singkat pada salah satu bus beban. Data yang akan dianalisis adalah respon dari kestabilan transien pada sistem kelistrikan di Sub Sistem Bakaru Sulawesi Selatan berupa respon frekuensi dan respon tegangan yang nantinya dijadikan referensi untuk mendapatkan sistem yang stabil sesuai dengan standar. Apabila keadaan sistem belum stabil maka perlu dilakukan mekanisme pelepasan beban (Pelepasan beban) sesuai studi kasus yang telah direncanakan.

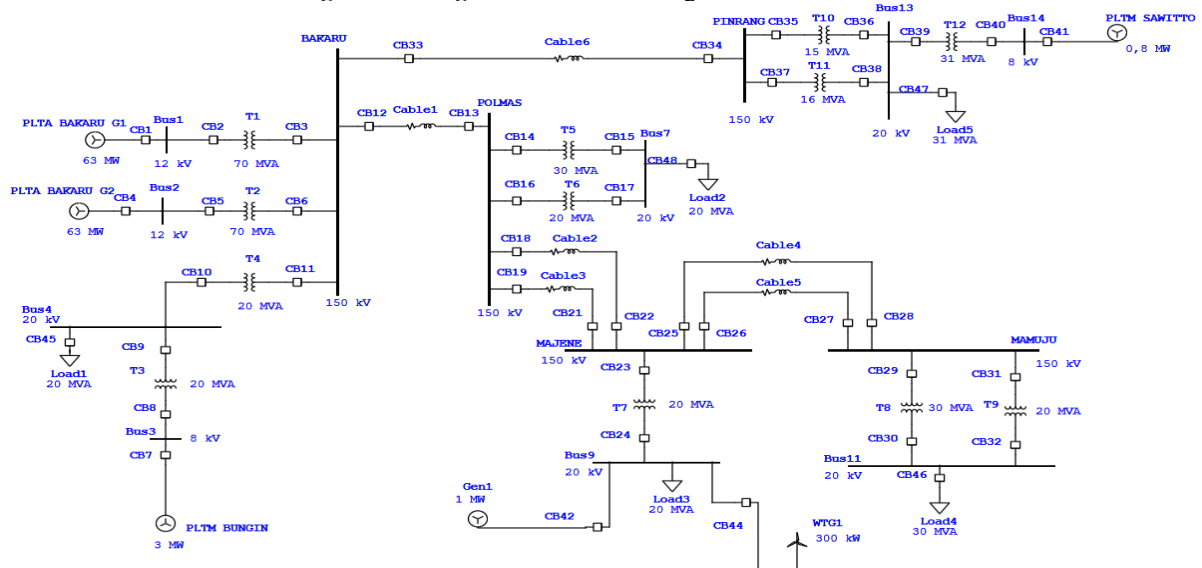
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi yang akan diujikan adalah kondisi sistem sebelum penambahan unit Hibrid Turbin Angin-Diesel. Setelah didapatkan bus paling sensitif, maka dapat dilakukan penambahan Hibrid Turbin Angin-Diesel. Hasil dari penempatan unit Hibrid Turbin Angin-Diesel yang baik adalah dengan semakin kecilnya nilai Voltage Index (VI) sehingga proses ini akan terus berulang ketika dilakukan penambahan Hibrid Turbin Angin-Diesel berdampak pada penurunan nilai VI. Dari perhitungan bus paling sensitif berdasarkan gradien pada masing-masing bus, dari hasil perhitungan didapatkan bus Majene memiliki nilai gradient terbesar yang menunjukkan

bahwa bus Majene adalah bus yang paling sensitif. Sehingga evaluasi kestabilan dapat dilakukan dengan mengujikan bus tersebut yang memiliki nilai *VI* terendah akan ditetapkan sebagai lokasi penempatan unit Hibrid Turbin Angin-Diesel. Dimana Hibrid Turbin Angin-Diesel ini dipasang pada sisi distribusi, maka Hibrid Turbin Angin-Diesel ini dipasang pada bus 9.

Hasil yang dicapai pada penelitian ini, diantaranya pemodelan Sub Sistem Bakaru dengan pembangkit turbin angin dan generator *diesel*. Proses simulasi yang telah dilakukan untuk 4 kasus, yaitu Sub Sistem bakaru kehilangan sumber PLN berupa PLTA Bakaru G2, kehilangan tenaga angin, kehilangan tenaga *diesel*, dan hubung singkat pada salah satu bus.

A. Pemodelan Sistem Bakaru dengan Pembangkit Hibrid Turbin angin-Diesel



Gambar 2. Sistem Bakaru dengan Pembangkit Hybrid Turbin angin-Diesel

Dari Gambar 2 di atas, terlihat bahwa Sistem Bakaru telah terkoneksi dengan pembangkit terbaru yaitu turbin angin dan generator *diesel*.

B. Studi Kasus Kestabilan Transien

Pada simulasi ini, akan dianalisa kestabilan transien dan mekanisme pelepasan beban di Sub Sistem Bakaru, dengan beberapa kasus sebagai berikut:

- 1) *Grid Outage*, pada studi kasus ini terdapat salah satu PLTA yang tiba-tiba lepas dari sistem saat sedang terinterkoneksi.
- 2) Turbin angin *Outage*, pada studi kasus ini terjadi pelepasan salah satu pembangkit energi terbarukan yaitu turbin angin.
- 3) Pembangkit *Diesel Outage*, pada studi kasus ini terjadi pelepasan salah satu pembangkit energi terbarukan yaitu pembangkit *diesel*.
- 4) Hubung singkat pada salah satu bus, pada kasus ini terjadi hubung singkat 3 fasa pada salah satu bus yaitu bus 8 kV.

Tabel 1. Studi Kasus Kestabilan Transien

No.	Kasus	Operasi Pembangkitan	Keterangan
1.	PLTA Bakaru G2 <i>Off</i>	5	PLTA Bakaru G2 <i>outage</i> dari sistem
2.	Turbin angin <i>Off</i>	5	Turbin angin <i>outage</i> dari sistem
3.	Generator <i>Diesel Off</i>	5	Generator <i>Diesel outage</i> dari sistem

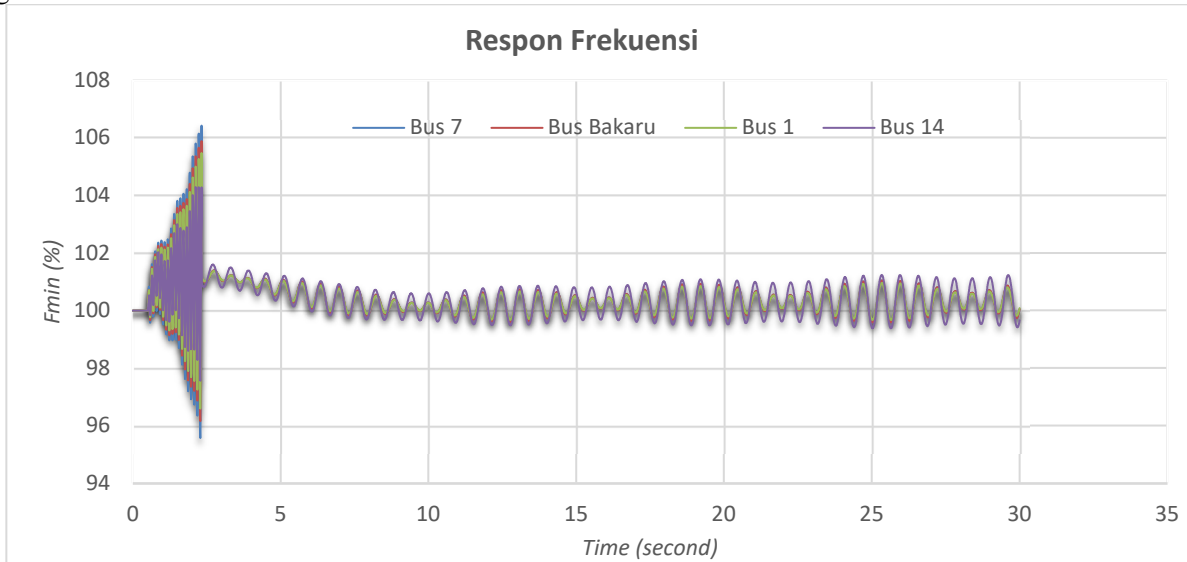
Berdasarkan Tabel 1, pada keempat studi kasus dari sistem, bus yang digunakan sebagai parameter kestabilan transien sistem adalah:

- 1) Bus Bakaru merupakan bus yang mewakili tegangan 150 kV
- 2) Bus 1 merupakan bus yang mewakili tegangan 12 kV di Plant 1
- 3) Bus 7 merupakan bus yang mewakili tegangan 20 kV di Plant 2
- 4) Bus 14 merupakan bus yang mewakili tegangan 8 kV di Plant 3

C. Hasil Simulasi Kestabilan Transien

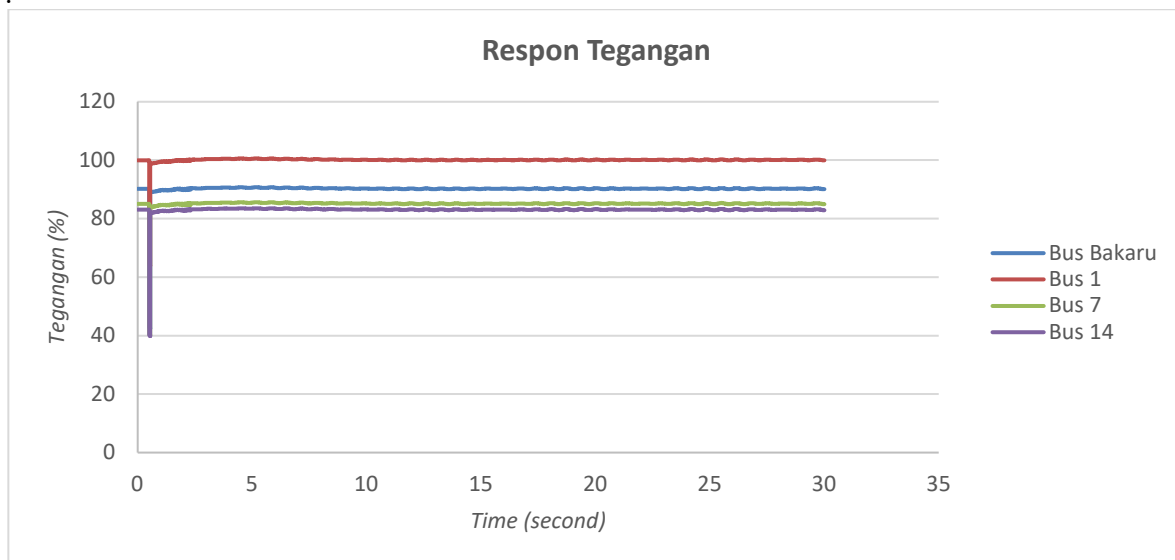
Pada sub bab ini akan dijelaskan mengenai hasil dari analisa kestabilan transien untuk setiap studi kasus yang telah ditentukan. Hasil yang akan dianalisis meliputi respon frekuensi dan respon tegangan dari masing-masing bus yang telah ditentukan sebelumnya.

Pada studi kasus ini akan dilakukan simulasi kestabilan transien untuk studi kasus grid *outage*, dimana PLTA Bakaru G1 akan *outage* dari sistem. PLTA disimulasikan *outage* saat 0.5 detik setelah sistem bekerja dengan total waktu simulasi selama 30 detik.



Gambar 3. Respon Frekuensi pada saat PLTA Bakaru G2 *outage* dari Sistem

Gambar 3 menunjukkan bahwa frekuensi bus pada masing-masing bus level tegangan mengalami penurunan, namun sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya. Penurunan frekuensi terendah mencapai 95.6% pada detik ke-2.5. Sistem kembali normal pada 99.8% dari frekuensi normal. Saat penurunan terjadi disebabkan karena suplai daya yang hilang dari PLTA G2 sebesar 63 MW. Penurunan frekuensi masih diperkenankan pada kondisi 95.6% dari frekuensi normal. Kondisi ini masih aman berdasarkan pada standar ANSI/IEEE C37.106-1987.



Gambar 4. Respon Tegangan pada saat PLTA Bakaru G2 *outage* dari Sistem

Dari Gambar 4 terlihat bahwa saat terjadi pelepasan Generator *Diesel*, respon tegangan pada bus 1 tidak mengalami drop tegangan namun pada masing-masing parameter bus tegangan mengalami *drop* tegangan yaitu sebesar 90% pada Bus Bakaru, 85% pada Bus 7, dan 83% pada Bus 14. Penurunan tegangan terjadi disebabkan

karena beban-beban pada sistem tidak tersuplai secara penuh. Berdasarkan hasil simulasi dengan 4 kasus, maka didapatkan rekapitulasi hasil dari simulasi tersebut:

Tabel 2. Rekapitulasi Simulasi 4 Kasus

Kasus	f min (%)	f steady state (%)	ID Bus	Vmin (%)	V steady state (%)	Kondisi	
						f	V
PLTA G2 out	95.6	99.8	Bus 1	64	100	√	√
			Bakaru	42.1	90		√
			Bus 7	40	85		X
			Bus 14	40	83		X
Wind Turbine out	91	98	Bus 1	64	99	√	√
			Bakaru	47	95		√
			Bus 7	44.2	89.5		X
			Bus 14	44	87.5		X
Diesel out	98.5	99	Bus 1	64	99	√	√
			Bakaru	46.2	94		√
			Bus 7	44.1	87.5		X
			Bus 14	44	86.5		X
Hubung Singkat	95.5	98	Bus 1	93.1	100	√	√
			Bakaru	87	95		√
			Bus 7	82	90		√
			Bus 14	80.2	87.5		X

Tabel 2 menyajikan hasil rekapitulasi data dari 4 kasus yang telah disimulasikan, dari keempat kasus yang telah disimulasikan, keempatnya mengalami *drop* frekuensi namun masih range aman sesuai standar-standar ANSI/IEEE C37.106-1987 yaitu PLTA G2 *out* sebesar 95.6%, Turbin angin *out* sebesar 91%, *Diesel out* sebesar 98.5% dan hubung singkat sebesar 95.5%. Untuk respon tegangan dari keempat kasus di atas, keempat kasus tersebut mengalami penurunan tegangan hingga yang terendah pada saat *steady state* adalah 83% dari tegangan nominal.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari hasil penelitian ini adalah: 1) Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa untuk kasus lepasnya generator, lepasnya satu pembangkit tidak menyebabkan sistem lepas sinkron. Karena ketika generator lepas, daya supply yang hilang dapat dibackup oleh sistem interkoneksi; 2) Dari ketiga kasus yang telah disimulasikan, keempatnya mengalami *drop* frekuensi namun masih range aman sesuai standar standar ANSI/IEEE C37.106-1987 yaitu 95.6%, 91%, 98.5% dan 95.5%; 3) Untuk respon tegangan dari ketiga kasus di atas, keempat kasus tersebut mengalami penurunan tegangan hingga yang terendah 83%. Untuk itu perlu dilakukan *setting* rele pengaman *under voltage*.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Farrokhbadi *et al.*, "Microgrid stability definitions, analysis, and examples," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 35, no. 1, pp. 13–29, 2019.
- [2] A. Fathy, K. Kaaniche, and T. M. Alanazi, "Recent approach based social spider optimizer for optimal sizing of hybrid PV/wind/battery/diesel integrated microgrid in aljouf region," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 57630–57645, 2020.
- [3] K. M. Cheema and K. Mehmood, "Improved virtual synchronous generator control to analyse and enhance the transient stability of microgrid," *IET Renew. Power Gener.*, vol. 14, no. 4, pp. 495–505, 2020.
- [4] D. Huang, S. Zhao, Y. Zhang, and H. He, "An Real-Time Emergency Control Method Based On Unbalanced Transient Energi Function," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 645, no. 1, p. 12038.
- [5] A. Fathurochman, "Analisis Stabilitas Transien Dan Tegangan Pada Sistem Tenaga Listrik Akibat

- Instalasi Pembangkitan Terdistribusi,” 2016.
- [6] R. S. Anwar, “Analisis Stabilitas Transien Dan Mekanisme Pelepasan Beban Akibat Penambahan Pembangkit 1x26, 8 MW Pada Sistem kelistrikan PT. Petrokimia Gresik.” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
 - [7] R. S. Ruzi, “Analisis dan Evaluasi Kestabilan Tegangan dengan Metode Continuation Power Flow (CPF) pada Sistem *Microgrid*.” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2016.
 - [8] A. F. Juwito, S. Pramonohadi, and T. Haryono, “Optimalisasi energi terbarukan pada pembangkit tenaga listrik dalam menghadapi desa mandiri energi di Margajaya,” *Semesta Tek.*, vol. 15, no. 1, 2012.
 - [9] S. Andi, “Virtual Inertia Control (VIC) Berbasis Superconducting Magnetic Energi Storage (SMES) Untuk Memperbaiki Kestabilan Frekuensi Diakibatkan Penetrasi Pembangkit Energi Baru Terbarukan.” Universitas Pertamina, 2020.
 - [10] S. Xia, S. Bu, J. Hu, B. Hong, Z. Guo, and D. Zhang, “Efficient transient stability analysis of electrical power sistem based on a spatially paralleled hybrid approach,” *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 15, no. 3, pp. 1460–1473, 2018.
 - [11] N. Hatziargyriou *et al.*, “Definition and classification of power sistem stability revisited & extended,” *IEEE Trans. Power Syst.*, 2020.
 - [12] IEEE, “Guide for Abnormal Frequency Protection for Power Generating Plants,” *IEEE Std. C37.106-2003*, 1987.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang dan Pusat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (P3M) atas dukungan dana yang diberikan.