

**SISTEM *PHOTOVOLTAIC* BERBASIS ANFIS UNTUK
PERBAIKAN KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN PADA
SALURAN DISTRIBUSI TIGA FASA**

SKRIPSI

**Sebagai Persyaratan Guna Meraih Gelar Sarjana
Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Malang**



Disusun oleh:

MUH. RIDHO DWI RAMADHAN

201810130311201

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG**

2024

LEMBAR PERSETUJUAN

SISTEM *PHOTOVOLTAIC* BERBASIS ANFIS UNTUK PERBAIKAN KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN PADA SALURAN DISTRIBUSI TIGA FASA

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana (S1)
Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Malang

Disusun Oleh:

Muh. Ridho Dwi Ramadhan


201810130311201


Tanggal Ujian : 12 Januari 2024

Diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing I

Pembimbing II


Dr. Machmud Effendy, S.T., M.Eng.
NIDN. 0715067402


Amrul Faruq, M.Eng., Ph.D.
NIDN. 0718028601

LEMBAR PENGESAHAN

SISTEM *PHOTOVOLTAIC* BERBASIS ANFIS UNTUK PERBAIKAN KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN PADA SALURAN DISTRIBUSI TIGA FASA

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana (SI)
Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Malang

Disusun Oleh:

Muh. Ridho Dwi Ramadhan

201810130311201

Tanggal Ujian : 12 Januari 2024

Periode Wisuda : 1

Disetujui Oleh:

- 
1. Dr. Machmud Effendy, S.T., M.Eng. (Pembimbing I)
NIDN. 0715067402
- 
2. Amrul Faruq, M.Eng., Ph.D. (Pembimbing II)
NIDN. 0718028601
- 
3. Ir. Diding Suhardi, M.T. (Penguji I)
NIDN. 0706066501
- 
4. M. Chasran Hasani, S.T., M.T. (Penguji II)
NIDN. 0007086808



Mengetahui,
Program Studi

Khushol Hidayat, S.T., M.T.
NIDN. 0723108202

LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muh. Ridho Dwi Ramadhan

Tempat / Tgl. Lahir : Makassar / 03 Januari 2000

NIM : 201810130311201

Fakultas / Jurusan : TEKNIK / ELEKTRO

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tugas Akhir saya dengan judul "SISTEM PHOTOVOLTAIC BERBASIS ANFIS UNTUK PERBAIKAN KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN PADA SALURAN DISTRIBUSI TIGA FASA" beserta seluruh isinya adalah karya saya sendiri dan bukan merupakan karya tulis orang lain, baik sebagian maupun seluruhnya, kecuali dalam bentuk kutipan yang telah disebutkan sumbernya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar – benarnya. Apabila kemudian ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya ini, atau klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya saya ini maka saya siap menanggung segala bentuk resiko / sanksi yang berlaku.

Malang Januari 2024
Yang Membuat Pernyataan



(Muh. Ridho Dwi Ramadhan)

Mengetahui,

Dosen Pembimbing I

Dr. Machmud Effendy, S.T., M.Eng.
NIDN. 0715067402

Dosen Pembimbing II

Amrul Faruq, M.Eng., Ph.D.
NIDN. 0718028601

ABSTRAK

Saluran distribusi berperan penting sebagai penghubung antara pusat pembangkitan gardu induk dengan beban. Pada sistem kelistrikan tiga fasa, sering terjadi permasalahan ketidakseimbangan beban yang berdampak buruk terhadap kualitas listrik yang diterima beban. Beberapa faktor penyebab ketidakseimbangan tersebut yaitu ketidakmerataan pembagian beban antar fasa R, S, T dan waktu pengoperasian beban tiap fasa yang tidak selalu sama. Penelitian ini menyajikan pengembangan sistem *photovoltaic* (PV) sebagai alat kompensator untuk mengatasi ketidakseimbangan beban ketika aktifnya beban dinamis pada saluran distribusi. Sistem PV dengan kombinasi ANFIS (*Adaptive Neuro Fuzzy Inference System – Proportional Integral*) pada pengontrolan inverternya akan bekerja secara aktif mengkompensasi ketidakseimbangan beban dengan menginjeksikan daya yang dihasilkan ke saluran distribusi. Hasil simulasi dari penelitian ini menunjukkan keberhasilan sistem PV dalam mengkompensasi ketidakseimbangan beban yang terjadi. Faktor ketidakseimbangan yang diperoleh sebelum dikompensasi antar fasa R, S, T berturut – turut yaitu 16.47%, 1.49%, dan 14.97% dan sesudah dikompensasi menghasilkan nilai berturut – turut 0,3%, 0.7% dan 0,3% sesuai standar ketidakseimbangan beban yang diijinkan yaitu sebesar 3% mengacu pada aturan NEMA-MG 1 (*The National Electrical Manufacturer's Association*).

KATA KUNCI :

Saluran Distribusi; Sistem PV; Ketidakseimbangan Beban; Pengontrolan Inverter; ANFIS

ABSTRACT

Distribution channels play an important role as a link between the main substation generation center and the load. In three-phase electrical systems, load imbalance problems often occur which have a negative impact on the quality of electricity received by the load. Several factors cause this imbalance, namely the uneven distribution of the load between the R, S, T phases and the operating time of the load for each phase which is not always the same. This research presents system development photovoltaic (PV) as a compensator tool to overcome load imbalances when dynamic loads are active on distribution channels. A PV system with ANFIS combination (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System – Proportional Integral) when controlling the inverter, will work actively to compensate for load imbalances by injecting the resulting power into the distribution channel. The simulation results from this research show the success of the PV system in compensating for load imbalances that occur. The unbalance factors obtained before compensation between phases R, S, T are respectively 16.47%, 1.49% and 14.97% and after compensation produce values respectively 0.3%, 0.7% and 0.3% according to load imbalance standards The allowable amount is 3% referring to NEMA-MG 1 rules (The National Electrical Manufacturers Association).

KEYWORDS :

Distribution channel; PV System; Load Imbalance; Inverter Controlling; ANFIS

LEMBAR PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, segala puji dan syukur kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang senantiasa memberikan kemudahan dan petunjuk dalam pengerjaan tugas akhir ini.
2. Ketua Jurusan Teknik Elektro Bapak Khusnul Hidayat, S.T., M.T. dan Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Ibu Merinda Lestandy, S.Kom, M.T. beserta seluruh staf Teknik Elektro.
3. Bapak Machmud Effendy, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing 1 dan Bapak Amrul Faruq, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing 2 yang selalu memberikan semangat, motivasi, bimbingan, dan pengarahan secara langsung kepada peneliti.
4. Kepada Kedua orang tua saya sudah yang mampu bersabar dan selalu memberi semangat, motivasi, dukungan dan doa kepada saya sampai sekarang. Terimakasih atas kerja kerasnya dalam membiayai perkuliahan ini hingga saya bisa mendapatkan gelar sarjana.
5. Kemudian untuk saudari kandung saya Kak Tiwi yang telah membantu support uang jajan dan mendoakan saya.
6. Kepada seluruh teman Angkatan 2018 Teknik Elektro yang telah menjadi teman yang baik selama saya berkuliah di Universitas Muhammadiyah Malang sampai sekarang.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur peneliti panjatkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang telah melimpahkan rahmat, taufik, beserta hidayah-Nya. Dan tidak lupa shalawat serta salam selalu tetap tercurahkan kepada Nabi Muhammad Shalallaahu Alaihi Wassalaam sehingga peneliti dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul :

“SISTEM *PHOTOVOLTAIC* BERBASIS ANFIS UNTUK PERBAIKAN KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN PADA SALURAN DISTRIBUSI TIGA FASA”

Penulisan tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Teknik di Universitas Muhammadiyah Malang, selain itu penulis berharap tugas akhir ini dapat memperluas pustaka dan pengetahuan utamanya dalam bidang elektronika dan informatika.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih banyak kekurangan dan keterbatasan. Oleh karena itu penulis mengharapkan saran yang membangun agar tulisan ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan ke depan.

Akhir kata semoga buku ini dapat bermanfaat di masa sekarang dan masa mendatang. Sebagai manusia yang tidak luput dari kesalahan, maka penulis mohon maaf apabila ada kekeliruan baik yang sengaja maupun yang tidak sengaja.

Malang, Januari 2024

Muh. Ridho Dwi Ramadhan

DAFTAR ISI

COVER	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
LEMBAR PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR PUSTAKA	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 RUMUSAN MASALAH	3
1.3 TUJUAN PENELITIAN	3
1.4 BATASAN MASALAH	3
1.5 MANFAAT PENELITIAN	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik	5
2.2 Ketidakseimbangan Beban	5
2.3 Photovoltaic (PV)	6
2.4 Maximum Power Point Tracking (MPPT)	8
2.5 DC to DC Boost Converter	9

2.6	Inverter	10
2.7	Filter	11
2.8	<i>PI Controller</i>	12
2.9	<i>Artificial Neuron Network Fuzzy Interface (ANFIS)</i>	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		15
3.1	Diagram Alir Penelitian.....	15
3.2	Rancangan Sistem	15
3.2.1	Perancangan Sumber Tegangan AC beserta Beban	16
3.2.2	Perancangan Sistem PV terhubung <i>Boost Converter</i>	17
3.2.3	Perancangan Pengontrolan Inverter	20
3.2.4	Perancangan Filter.....	21
3.2.5	Perancangan Kontrol ANFIS	21
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		23
4.1	Kondisi Sebelum dan Sesudah Terhubungnya Sistem PV	23
4.1.1	Kondisi Faktor Ketidakseimbangan (UF%).....	25
4.1.2	Kondisi Total Harmonic Distortion (THD)	26
4.2	Performa Sistem PV pada saat Mengkompensasi Ketidakseimbangan .	29
4.2.1	Perbandingan Hasil Kontrol Inverter menggunakan PI dengan ANFIS.	31
BAB V PENUTUP		33
5.1	Kesimpulan.....	33
5.2	Saran.....	33

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Vektor Diagram Arus [11].....	5
Gambar 2.2 Rangkaian Ekuivalen Surya [13].....	7
Gambar 2.3 Prinsip Dasar MPPT dalam Sistem Konversi PV [14].....	8
Gambar 2.4 Bagan Alur Algoritma P&O MPPT [14].....	9
Gambar 2.5 Rangkaian Boost Converter [15].....	10
Gambar 2.6 Rangkaian Grid terhubung Inverter dengan Filter LCL [18].....	11
Gambar 2.7 Diagram Blok PI Controller [21].....	13
Gambar 2.8 Skema Arsitektur Kontrol ANFIS [22].....	13
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	15
Gambar 3.2 Diagram Blok Penelitian.....	16
Gambar 3.3 Pemodelan Simulink Saluran Distribusi 3 Fasa.....	16
Gambar 3.4 Pemodelan Simulink Sistem PLTS terhubung Saluran Distribusi ..	17
Gambar 3.5 Grafik Daya, Tegangan dan Arus PV.....	17
Gambar 3.6 Pemodelan Simulink Kontrol Pulse Boost dengan MPPT.....	18
Gambar 3.7 Pemodelan Simulink Rangkaian Boost Converter.....	19
Gambar 3.8 Pemodelan Simulink Inverter terhubung dengan Kontrol.....	20
Gambar 3.9 Pemodelan Skema Kontrol Inverter.....	20
Gambar 3.10 Model Struktur ANFIS.....	22
Gambar 3.11 Kontrol Inverter dengan ANFIS.....	22
Gambar 4.1 Kondisi Tegangan Beban pada Saluran Distribusi Sebelum Sistem PV Terhubung.....	23
Gambar 4.2 Kondisi Tegangan Beban pada Saluran Distribusi Sesudah Sistem PV Terhubung.....	24
Gambar 4.3 Kondisi THD /Fasa (a), (b), (c) Sebelum di Kompensasi.....	27
Gambar 4.4 Kondisi THD /Fasa (a), (b), (c) Sesudah di Kompensasi.....	28
Gambar 4.5 Grafik Tegangan VDC Ketika Terhubung Jaringan.....	29
Gambar 4.6 Kondisi Tegangan Injeksi Sistem PV.....	30
Gambar 4.7 Kondisi Tegangan Beban Sesudah Terhubung Sistem PV menggunakan Kontrol PI.....	31
Gambar 4.8 Kondisi Tegangan Beban menggunakan Kontrol ANFIS pada Waktu (t) 1.8 sampai 2.....	32

Gambar 4.9 Kondisi Tegangan VDC saat Menggunakan Kontrol PI 32



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Parameter Sumber dan Beban	17
Tabel 3.2 Parameter Sistem PV	18
Tabel 4.1 Hasil Sebelum dan Sesudah Kompensasi Sistem PV.....	29



DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. K. Sinha, M. Gogoi, U. K. Bargary, P. Hojai, and B. Pradhan, "Design of controller for power quality management in presence of unbalanced load integrated with solar PV," *Proceeding IEEE Int. Conf. Green Comput. Commun. Electr. Eng. ICGCCEE 2014*, 2014, doi: 10.1109/ICGCCEE.2014.6922396.
- [2] H. Arghavani, "24 th International Conference on Electricity Distribution Paper 0129 UNBALANCED CURRENT BASED TARRIF 24 th International Conference on Electricity Distribution Paper 0129 Average of Three Phases ' Values," *Cired 2017*, no. June, pp. 12–15, 2017.
- [3] E. A. Hakim, T. Al Ghufuran, M. Effendy, and N. Setyawan, "MPPT Menggunakan Algoritme Particle Swarm Optimization dan Artificial Bee Colony," *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 9, no. 2, pp. 218–224, 2020, doi: 10.22146/jnteti.v9i2.81.
- [4] H. S. Kamil, D. Mat Said, M. W. Mustafa, M. Reza Miveh, and S. M. Hussin, "Control Strategy for a Three-Phase Four-leg Grid Connected PV Inverter under Unbalanced Faults," *2018 IEEE 7th Int. Conf. Power Energy, PECon 2018*, pp. 13–18, 2018, doi: 10.1109/PECON.2018.8684184.
- [5] M. Zainuddin and H. Annur, "Optimal Placement and Sizing PLTS on grid Pada Sistem Distribusi Radial Menggunakan Metode Algoritma Genetika Multi-Constraint," *J. Rekayasa Elektr.*, pp. 1–6, 2018.
- [6] V. F. Pires, O. Husev, D. Vinnikov, and J. F. Martins, "A control strategy for a grid-connected PV system with unbalanced loads compensation," *Proc. - 2015 9th Int. Conf. Compat. Power Electron. CPE 2015*, pp. 154–159, 2015, doi: 10.1109/CPE.2015.7231065.
- [7] J. Restrepo, X. Dominguez, J. Barzola, and I. Quinde, "Inverter Control for Power Injection from PV Sources in Microgrids under Unbalanced Power Grid and Load Conditions," *2018 IEEE 3rd Ecuador Tech. Chapters Meet. ETCM 2018*, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1109/ETCM.2018.8580306.

- [8] S. K. Asok, P. Baburaj, P. Jayaprakash, and C. M. Nirmal Mukundan, "Proportional Resonant Based Current Control of Three-Phase Single Stage Grid Connected PV System," *2018 Int. Conf. Control. Power, Commun. Comput. Technol. ICCPCCT 2018*, pp. 506–511, 2018, doi: 10.1109/ICCPCCT.2018.8574236.
- [9] F. A. H. Fayumi, D. F. U. Putra, and N. K. Aryani, "Rekonfigurasi Dinamis Jaring Distribusi Radial 20 kV Teluk Betung untuk Meningkatkan Profil Tegangan dengan Mempertimbangkan Gangguan Saluran dan Injeksi Renewable Energy," *J. Tek. ITS*, vol. 11, no. 2, pp. 5–11, 2022, doi: 10.12962/j23373539.v11i2.92298.
- [10] F. Satriawan, "Studi Kualitas Daya Listrik di Gedung Pasca Sarjana Universitas PGRI Semarang," vol. 1, no. 2, pp. 25–31, 2022.
- [11] A. S. A. Ektianto and A. Darwanto, "Analisis Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator Distribusi Di PT . PLN (Persero) Rayon Cepu," *SIMETRIS*, vol. 15, no. 1, pp. 35–42, 2021.
- [12] S. Soedibyo and D. Hendrawati, "Desain Sistem Hibrid Photovoltaic-Baterai Menggunakan Bi-Directional Switch Untuk Catu Daya Kelistrikan Rumah Tangga 900Va ...," *Pros. SNST ...*, pp. 97–102, 2016, [Online]. Available: https://www.publikasiilmiah.unwahas.ac.id/index.php/PROSIDING_SNST_FT/article/view/1564.
- [13] J. Dhillon, A. Unni, and N. Singh, "Design and Simulation of a PV System with Battery Storage Using Bidirectional DC-DC Converter Using Matlab Simulink," no. August, pp. 1–5, 2023, doi: 10.1109/stpes54845.2022.10006623.
- [14] M. A. E. Eid, "22nd International Middle East Power Systems Conference, MEPCON 2021 - Proceedings," *22nd Int. Middle East Power Syst. Conf. MEPCON 2021 - Proc.*, no. D, 2021.
- [15] S. E. Babaa, G. El Murr, F. Mohamed, and S. Pamuri, "Overview of Boost Converters for Photovoltaic Systems," *J. Power Energy Eng.*, vol. 06, no. 04, pp. 16–31, 2018, doi: 10.4236/jpee.2018.64002.

- [16] M. ISLAMMUDDIN, N. ANANG, and A. M. WAN MUDA, “Modeling and Simulation of 1.8 Kw Grid-Connected Photovoltaic System Using Matlab,” *Univ. Malaysia Teren. J. Undergrad. Res.*, vol. 3, no. 4, pp. 7–20, 2021, doi: 10.46754/umtjur.v3i4.233.
- [17] M. L. Kolhe and M. J. M. A. Rasul, “3-Phase grid-connected building integrated photovoltaic system with reactive power control capability,” *Renew. Energy*, vol. 154, pp. 1065–1075, 2020, doi: 10.1016/j.renene.2020.03.075.
- [18] E. Demir, O. Gulbudak, and M. Gokdag, “Performance Evaluation of Three-Phase Grid Connected Inverter with Various Control Methods,” vol. 11, no. 2, pp. 163–171, 2023, doi: 10.17694/bajece.1174749.
- [19] M. Flota-Bañuelos, H. Miranda-Vidales, B. Fernández, L. J. Ricalde, A. Basam, and J. Medina, “Harmonic Compensation via Grid-Tied Three-Phase Inverter with Variable Structure I&I Observer-Based Control Scheme,” *Energies*, vol. 15, no. 17, pp. 1–19, 2022, doi: 10.3390/en15176419.
- [20] W. J. Praiselin and J. B. Edward, “Voltage Profile Improvement of Solar PV Grid - Connected Inverter with Micro Grid Operation using PI Controller,” *Energy Procedia*, vol. 117, pp. 104–111, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.05.112.
- [21] S. S. Kumar, R. Ramkumar, S. Sivarajeswari, D. Ramya, T. Subburaj, and M. Sankoh, “Performance Enhancement of a Three Phase Boost-Cascaded Fifteen Level Inverter Using the PI Controller,” *Math. Probl. Eng.*, vol. 2022, pp. 1–17, 2022, doi: 10.1155/2022/3888571.
- [22] M. Singh and A. Chandra, “Real-time implementation of ANFIS control for renewable interfacing inverter in 3P4W distribution network,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 60, no. 1, pp. 121–128, 2013, doi: 10.1109/TIE.2012.2186103.



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO & D3 TEKNIK ELEKTRONIKA
Jl. Raya Tlogomas 246 Malang 65144 Telp. 0341 - 464318 Ext. 129, Fax. 0341 - 460782

FORM CEK PLAGIASI LAPORAN TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa : Muh. Ridho Dwi Ramadhan
NIM : 201810130311201
Judul TA : Sistem *Photovoltaic* Berbasis ANFIS Untuk Perbaikan Ketidakseimbangan Beban Pada Saluran Distribusi Tiga Fasa

Hasil Cek Plagiarisme dengan Turnitin

No.	Komponen Pengecekan	Nilai Maksimal Plagiasi (%)	Hasil Cek Plagiasi (%) *
1.	Bab 1 – Pendahuluan	10 %	2 %
2.	Bab 2 – Studi Pustaka	25 %	4 %
3.	Bab 3 – Metodologi Penelitian	35 %	0 %
4.	Bab 4 – Pengujian dan Analisis	15 %	0 %
5.	Bab 5 – Kesimpulan dan Saran	5 %	0 %
6.	Publikasi Tugas Akhir	20 %	8 %

Mengetahui,

Dosen Pembimbing I,

(Machmud Effendy, S.T., M.T.)
NIDN. 0715067402

Dosen Pembimbing II,

(Amrul Faruq, S.T., M.Eng.)
NIDN. 0718028601