

SIMULASI KOMPOR INDUKSI MENGGUNAKAN METODE *PULSE-FREQUENCY MODULATION* (PFM) DENGAN KONTROL *RULE-BASED ALGORITHM* DAN INTERUPSI GANGGUAN UNDER VOLTAGE

Karimatun Nisa', Hendik Eko Hadi Suharyanto, Aswin Wafi Kurniawan, Sutedjo, Luki Septya Mahendra^{*)}

Departemen Teknik Elektro, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya,
Jl. Raya ITS, Keputih, Kec. Sukolilo, Surabaya, Indonesia

^{*)E-mail:} lukiseptya@pens.ac.id

Abstrak

Sesuai dengan arahan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) diperlukan suatu teknologi untuk meningkatkan elektrifikasi dan konsumsi listrik. Elektrifikasi ini bisa diterapkan di rumah tangga. Salah satunya di dalam penggunaan teknologi kompor induksi. Kompor induksi sebenarnya sudah banyak digunakan di lingkungan rumah tangga untuk memasak. Namun kualitas suplai listrik masih terdapat gangguan berupa *under voltage* di tegangan rendah, khususnya di pedesaan. Berdasarkan masalah tersebut, penelitian ini mendesain *single phase full bridge series resonant inverter* sebagai suplai frekuensi tinggi pada kompor induksi yang disimulasikan pada *software* PSIM. Nilai komponen pada resonansi seri ditentukan melalui pengukuran terlebih dahulu pada nilai induktor di *coil* pemanas yang ada di pasaran. Selanjutnya pengontrolan panas kompor induksi dilakukan dengan mengatur sinyal frekuensi *switching* pada inverter dengan metode *Pulse-Frequency Modulation* (PFM). Dimana jika sinyal frekuensi *switching* semakin mendekati frekuensi resonansinya, maka semakin tinggi arus luaran yang dihasilkan. Besarnya frekuensi resonansinya adalah 40 kHz. Dalam upaya menjaga performa kompor induksi dari gangguan *under voltage*, maka dikontrol menggunakan Algoritma *Rule-Based*. Sehingga bisa bekerja dengan sama baiknya saat terjadi gangguan maupun saat tidak terjadi gangguan *under voltage*.

Kata kunci: Kompor induksi, *Single phase full bridge series resonant inverter*, *Under voltage*, PFM, Algoritma *Rule-Based*

Abstract

In accordance with the direction of the Indonesian Ministry of Energy and Mineral Resources, a technology is needed to increase electrification and electricity consumption. This electrification can be applied in households. One of them is in the use of induction stove technology. Induction stoves have actually been widely used in households for cooking. However, the quality of the electricity supply still has interference in the form of under voltage at low voltages, especially in rural areas. Based on this problem, this study designed a single phase full bridge series resonant inverter as a high frequency supply on an induction stove that is simulated in PSIM software. The component value in the series resonance is determined by measuring the inductor value in the heating coil that available on the market. Furthermore, the induction stove heat control is carried out by adjusting the switching frequency signal on the inverter using the Pulse-Frequency Modulation (PFM) method. Where if the switching frequency signal is closer to its resonant frequency, the higher the output current produced. The magnitude of the resonance frequency is 40 kHz. In an effort to maintain the performance of the induction stove from under voltage interference, it is controlled using the Rule-Based Algorithm. So that it can work equally well when there is interference or when there is no under voltage interference.

Keywords: Induction stove, *Single phase full bridge series resonant inverter*, *Under voltage*, PFM, *Rule-Based Algorithm*

1. Pendahuluan

Sesuai dengan arahan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) diperlukan suatu teknologi untuk meningkatkan elektrifikasi dan konsumsi listrik. Pada

tahun 2021 konsumsi listrik per kapita Indonesia mengalami peningkatan sebesar 1.109 kWh per kapita. Nilai ini setara dengan 92,22 % dari target yang ditetapkan pada tahun 2021 yakni sebesar 1.203 kWh kapita [1]. Peningkatan ini selanjutnya bisa mendorong keberlanjutan

elektrifikasi. Elektrifikasi bisa diterapkan di rumah tangga. Salah satunya di dalam penggunaan teknologi kompor induksi. Manfaat dasar kompor induksi dibandingkan dengan kompor gas atau listrik tradisional adalah efisiensi, keamanan, kecepatan dan pengendalian [2]. Kompor induksi sebenarnya sudah banyak dilakukan penelitian. Seperti pada penelitian [3], penulis melakukan penelitian kompor induksi dengan sumber solar sel untuk suplai inverter model *half bridge*. Penelitian ini membandingkan daya dari panjang *coil* pemanas yang digunakan. Dimana hasilnya menunjukkan bahwa semakin panjang lilitan *coil* pemanas maka semakin besar nilai induktansi dan daya yang dihasilkan. Sedangkan pada penelitian [4], peneliti melakukan perancangan alat kompor induksi dengan *series resonant inverter* model *full bridge* dengan membandingkan besar penggunaan daya dari tiga sinyal frekuensi *switching*. Dimana dengan frekuensi lebih tinggi bisa murunkan daya pemakaian. Namun penelitian ini suhu yang dihasilkan masih tanpa kontrol, sehingga hanya menguji dengan tiga sinyal frekuensi tetap. Pengontrolan suhu dapat dikontrol dengan pengaturan sinyal frekuensi atau *Pulse-Frequency Modulation* (PFM) juga dilakukan pada penelitian [5], Kontrol PFM dilakukan dengan kontrol *Fuzzy* untuk mengatur besarnya suhu yang dihasilkan dari *single phase full bridge series resonant inverter*. Besarnya sinyal frekuensi *switching* antara 20-50 kHz dengan menggunakan suplai listrik jala-jala.

Namun terkadang kualitas suplai listrik masih terdapat gangguan berupa *under voltage* di tegangan rendah. Hal ini bisa terjadi salah satunya karena jarak terlalu jauh, antara rumah dan gardu. Dengan begitu jaringan kurang stabil yang membuat tegangan mengalir secara tidak rata. Seperti di pedesaan yang jarak antar rumah cukup jauh. Gangguan ini dapat menyebabkan penurunan performa pada peralatan kelistrikan. Salah satu penelitian yang dilakukan [6] mengangkat topik tentang ini. Peneliti merancang pengaturan suhu oven menggunakan logika kontrol *Fuzzy*. Selain diuji di tegangan normal, penelitian tersebut juga menguji pada tegangan *under voltage* 198 V. Gangguan pada sumber masukan dapat mempengaruhi kinerja dari mesin oven cat saat tanpa kontrol. Sedangkan saat menggunakan kontrol, performa yang di hasilkan cukup sama baiknya saat sumber suplai normal. Algoritma untuk kontrol bisa bermacam-macam, salah satunya seperti algoritma *Rule-Based* yang dilakukan oleh penelitian [7], [8]. Peneliti menggunakan algoritma *Rule-Based* untuk sistem manajemen energi pada mikrogrid. Penggunaan energi dikontrol agar lebih efisien. Dari penelitian ini didapatkan bahwa algoritma *Rule-Based* bisa digunakan dalam mengambil keputusan dari suatu kondisi.

Berdasarkan penelitian-penelitian yang sudah ada, penelitian ini mendesain *single phase full bridge series resonant inverter* sebagai suplai frekuensi tinggi pada kompor induksi yang disimulasikan pada *software* PSIM. Besarnya nilai komponen pada resonansi seri ditentukan melalui pengukuran terlebih dahulu pada nilai induktor di

coil pemanas yang ada di pasaran. Selanjutnya pengontrolan panas kompor induksi dilakukan dengan mengatur sinyal frekuensi *switching* pada inverter dengan metode PFM. Dimana jika sinyal frekuensi *switching* semakin mendekati frekuensi *resonansinya*, maka semakin tinggi arus luaran yang dihasilkan. Frekuensi resonansinya sendiri diset 40 kHz. Disisi lain untuk menjaga performa kompor induksi dari gangguan *under voltage* maka dikontrol menggunakan Algoritma *Rule-Based*. Agar bisa bekerja dengan sama baiknya saat tidak terjadi gangguan maupun saat terjadi gangguan *under voltage*.

2. Metode

2.1. Prinsip Pemanasan Induksi

Pertama, Prinsip kerja kompor induksi adalah pemanasan induksi. Ada gulungan kawat tembaga dengan panci feromagnetik yang diletakkan di atasnya. Kompor induksi tidak menghasilkan panas sendiri. Arus dengan frekuensi tinggi mengalir melalui kumparan induksi, yang menghasilkan medan elektromagnetik bolak-balik [9]. Arus bolak-balik yang diterapkan dalam kumparan induksi menghasilkan medan magnet di sekitarnya. Medan magnet yang dihasilkan memiliki frekuensi yang sama dengan arus kumparan. Kekuatan medan magnet bergantung pada arus yang diterapkan pada kumparan induksi, bentuk kumparan, dan jarak dari kumparan. Selama pemanasan, selain arus *Eddy*, panas juga dapat dihasilkan pada bahan magnet karena efek histeresis. Arus *Eddy* yang dihasilkan oleh medan magnet, selanjutnya memanaskan wajan dan makanan [10].

2.2. Single Phase Full Bridge Series Resonant Inverter

Kompor induksi tidak menghasilkan panas sendiri. Arus dengan frekuensi tinggi mengalir melalui kumparan induksi. Sehingga memerlukan rangkaian inverter resonansi seri untuk menghasilkan arus dengan frekuensi tinggi. Rangkaian inverter resonansi seri adalah salah satu aplikasi dari *resonant converter*. Pada *series resonant inverter*, induktor dan kapasitor diletakkan secara seri dengan beban resistor. Proses penyaklaran akan menghasilkan tegangan berbentuk kotak dan nilai induktor-kapasitor dipilih dengan frekuensi resonansi sama dengan frekuensi *switching*. Gambar 1 adalah rangkaian *single phase full bridge series resonant inverter*. Ketika rangkaian bekerja pada frekuensi resonansi, arus keluaran sistem maksimum. Karena nilai tahanan konstan, daya keluaran akan semakin besar dengan arus yang lebih besar. PFM adalah metode yang cocok untuk pengaturan daya. Arus keluaran diatur dengan variabel frekuensi *switching*. Gambar 2 menggambarkan hubungan tersebut antara frekuensi *switching* dan arus keluaran. Menurut Gambar 2, arus keluaran berkurang seiring dengan frekuensi *switching* menjauh dari frekuensi resonansi.

Dengan *full bridge series resonant inverter*, frekuensi dapat dikontrol untuk memperoleh arus keluaran yang berbeda. Dan strategi kontrol ini memiliki keuntungan, antara lain respons dinamis cepat, kontrol sederhana, rendah harmonisa, dan berbiaya rendah. Besarnya frekuensi resonansi dapat dihitung melalui Persamaan (1) [11].

$$f_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

Dimana f_R adalah frekuensi resonansi. Pada saat resonansi, nilai impedansi pada induktor dan kapasitor sama dengan nol sehingga beban yang muncul adalah resistansi saja. Nilai L dan C didesain dari rangkaian resonansi seri. Dimana pada penelitian ini nilai L diambil dari nilai coil yang ada di pasaran, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3. Selanjutnya besar f_R didesain sebesar 40 kHz. Sehingga nilai C dapat ditentukan dari persamaan (2) [11].

$$C = \frac{1}{(2\pi f_R)^2 L} \quad (2)$$

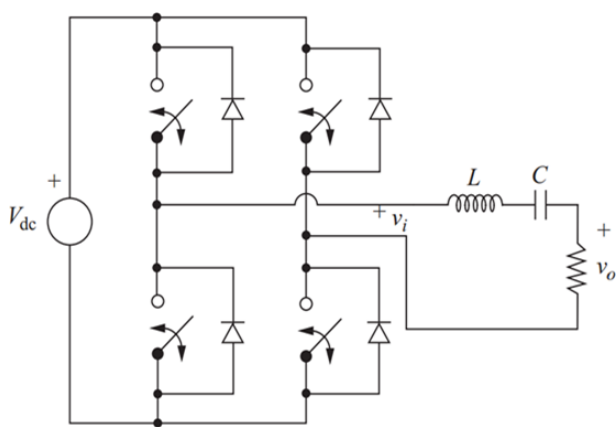
Besarnya tegangan output inverter gelombang tegangan kotak dari $\pm V_{dc}$ ditunjukkan pada persamaan (3).

$$V_o = \frac{4V_{dc}}{\pi} \quad (3)$$

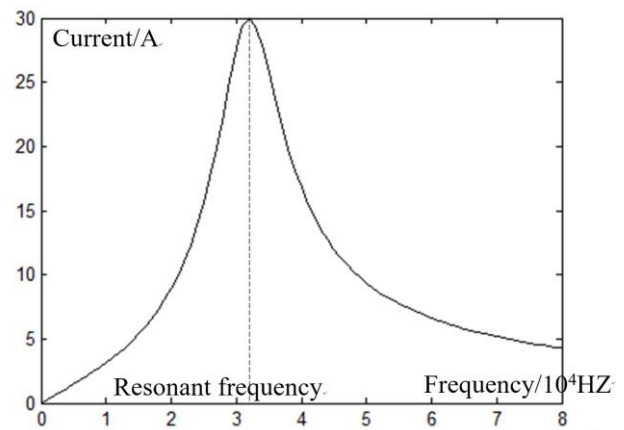
Sehingga nilai R pada output adalah persamaan (4) [4].

$$R = \frac{2V_s^2}{\pi^2 P} \quad (4)$$

Dimana V_o adalah tegangan output inverter. V_{dc} adalah tegangan masukan inverter berupa tegangan DC. R adalah tahanan output. V_s adalah tegangan maksimum sekunder dari transformator, dan P adalah daya yang ditentukan atau didesain. Sehingga pada penelitian ini dapat didata nilai parameter yang digunakan melalui Tabel 1. Rangkaian *Single Phase Full Bridge Series Resonant Inverter* dapat dilihat pada Gambar 1. Hubungan antara frekuensi switching dan arus dapat dilihat pada Gambar 2. Pengujian Induktor dapat dilihat pada Gambar 3



Gambar 1. Rangkaian *Single Phase Full Bridge Series Resonant Inverter* [12]



Gambar 2. Hubungan antara frekuensi switching dan arus [9]



Gambar 3. Pengujian Induktor

Nilai parameter single phase full bridge series resonant inverter dapat dilihat pada Tabel 1

Tabel 1. Nilai Parameter *Single Phase Full Bridge Series Resonant Inverter*

Parameter	Nilai
P	400 W
V_s	$110 \cdot \sqrt{2} = 155,56 \text{ V}$
V_{dc}	155,56 V
f_R	40 kHz
L	97,5 μH
C	162,374 nF
R	12,27 Ohm
V_o	198,16 V
f_s	45 kHz, 50 kHz, 60 kHz, 70 kHz

2.3. Under Voltage

Suatu sistem kelistrikan yang diutamakan adalah kualitas suplai listrik. Namun terkadang terjadi penurunan kualitas yang tidak bisa dipastikan kapan dan dimana kualitas tersebut menurun. Kualitas suplai listrik sangat dipengaruhi oleh adanya gangguan pada sistem tersebut [13]. Salah satunya adalah gangguan Under Voltage yang merupakan

turunnya besar tegangan yang nilainya dibawah dari 90% besar tegangan nominal dan berlangsung lebih dari satu menit [14].

2.4. Algoritma Rule-Based

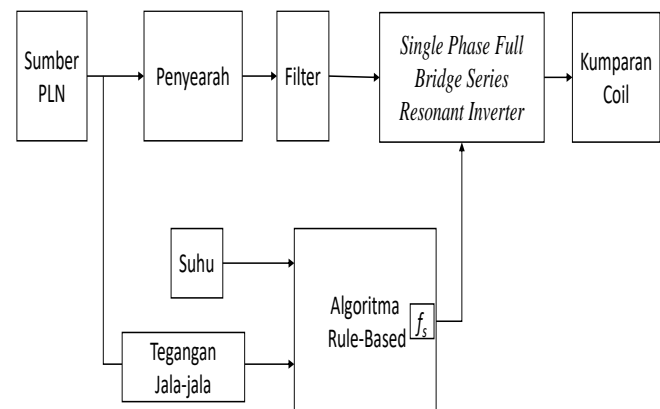
Algoritma *rule-based* adalah algoritma yang digunakan untuk proses pemberian *rule* (aturan) pada suatu sistem yang akan diimplementasikan [15]. Algoritma *Rule-Based* digunakan sebagai sekumpulan dari *rule IF-THEN*. Pada dasarnya ada dua jenis sistem *rule-based* yang berbeda dalam bidang kecerdasan buatan, yaitu: Sistem produksi (yang menggunakan *rule IF-THEN* untuk memperoleh tindakan dari suatu kondisi) dan Sistem pemrograman logika (yang menggunakan *rule* kesimpulan jika kondisi untuk menarik kesimpulan dari kondisi). Namun yang digunakan pada penelitian ini adalah sistem produksi, dimana untuk mengambil tindakan kontrol PFM dari kondisi tegangan suplai dan suhu.

2.5. Diagram Blok Sistem

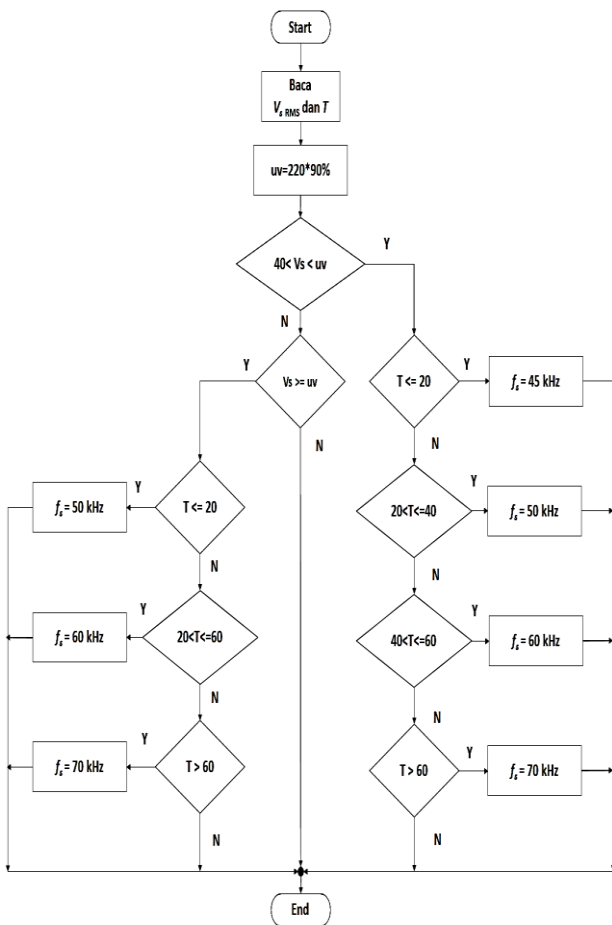
Pada Gambar 5 merupakan diagram blok sistem yang dijadikan sebagai acuan untuk disimulasikan pada PSIM. Secara garis besar pada blok diagram, kompor induksi dirancang dengan menggunakan sumber jala-jala PLN 220 V_{ac} yang nantinya tegangan diturunkan oleh *transformator* menjadi 110 V_{ac} sebagai masukan tegangan untuk rangkaian *fullbridge rectifier* dan *filter RC*. Penurunan tegangan oleh *transformator* bertujuan agar tegangan pada sistem yang nantinya masuk ke inverter tidak terlalu besar. Untuk dapat mengontrol arus keluaran, maka dilakukan pengaturan sinyal frekuensi *switching*. Besar frekuensi yang digunakan untuk sinyal frekuensi *switching* adalah 45 kHz, 50 kHz, 60 kHz dan 70 kHz. Sinyal frekuensi *switching* yang terkontrol dengan metode PFM ini dikirimkan ke MOSFET *series resonant inverter*. Arus dengan frekuensi tinggi yang dihasilkan inverter selanjutnya dialirkan ke kumparan *coil*. Kontrol pengaturan yang digunakan pada penelitian ini menggunakan Algoritma *Rule-Based*. Yaitu dengan input suhu (T) dan tegangan jala-jala (V_s) untuk menjaga performa arus output saat tegangan jala-jala normal maupun saat terjadi gangguan *under voltage*. *Flowchart* Algoritma *Rule-Based* yang digunakan untuk kontrol arus keluaran inverter ditunjukkan pada Gambar 6.

Flowchart Algoritma *Rule-Based* yang digunakan untuk kontrol keluaran arus inverter dimulai dari pembacaan tegangan suplai dari jala-jala ($V_{s\ RMS}$) dan pembacaan suhu (T). Selanjutnya mendefinisikan *under voltage* (uv) dengan

90% dari besar tegangan nominal 220 V. Lalu menyaring apakah tegangan kurang dari uv atau tidak. Jika dibawah tegangan uv dan masih diatas 40 V, maka masuk ke pengondisian frekuensi *switching* (f_s). Jika kondisi suhu T kurang dari 20 °C maka f_s diset 45 kHz (mendekati frekuensi resonansi) karena perlu arus besar untuk memulai pemanasan dari nol dan kondisi tegangan yang *under voltage*. Jika kondisi suhu T diantara 20-40 °C maka f_s dinaikkan ke 50 kHz untuk efisiensi daya. Jika kondisi suhu T diantara 40-60 °C maka f_s dinaikkan menjadi 60 kHz untuk efisiensi daya. Jika T sudah diatas 60 °C maka f_s dinaikkan ke f_s ke maksimum (70 kHz). Namun jika kondisi tegangan normal, maka pengondisian f_s akan berbeda. Dimana jika suhu T dibawah 20 °C maka f_s diset 50 kHz karena tegangan sumber telah nominal. Jika kondisi suhu T diantara 20-60 °C maka f_s dinaikkan lagi ke 60 kHz untuk efisiensi daya. Jika T sudah diatas 60 °C maka f_s dinaikkan ke f_s ke 70 kHz. Saat tegangan suplai kurang dari 40 V maka, akan diartikan sistem *off*. Setelah pengondisian f_s maka sistem akan kembali membaca masukkan suhu dan tegangan jala-jala kembali.



Gambar 5. Blok diagram sistem



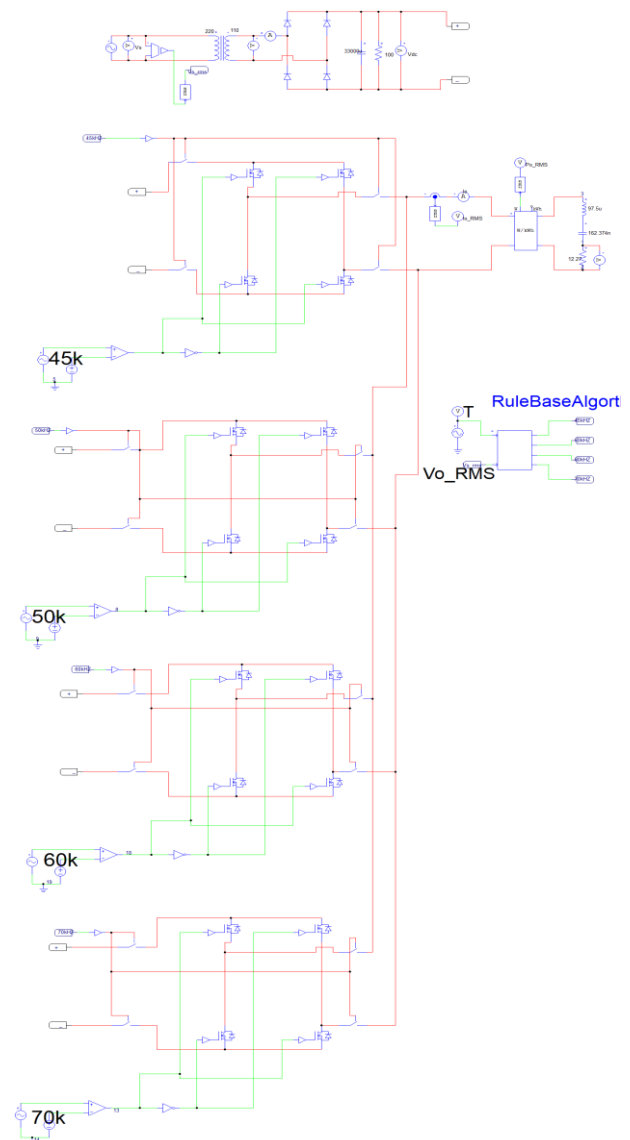
Gambar 6. Algoritma *Rule-Based* pada sistem

3. Hasil dan Pembahasan

Pada bab ini akan menampilkan hasil dan pembahasan dari desain kompor induksi menggunakan algoritma *rule-based* untuk kontrol FPM, dengan membandingkan hasil kerja saat tegangan normal dan saat terjadi gangguan *under voltage* di *software* PSIM.

3.1. Rangkaian Pada Simulasi PSIM

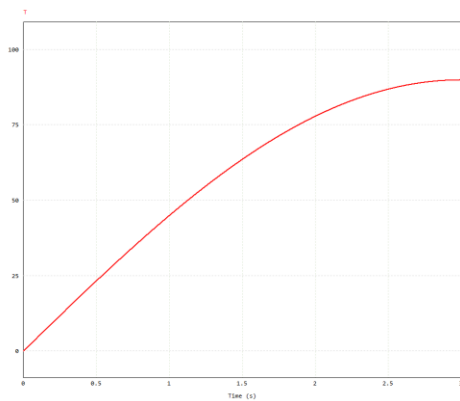
Simulasi dilakukan pada *software* PSIM. Simulasi dilakukan sedikit berbeda karena PSIM tidak bisa membuat output frekuensi untuk sinyal frekuensi *switching*. Sehingga rangkaian menjadi seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Rangkaian *single phase full bridge inverter* dibagi menjadi 4 untuk mewakili tiap frekuensi *switching* yang digunakan untuk PFM. Yaitu 45 kHz, 50 kHz, 60 kHz dan 70 kHz. Suhu sebagai Input Algoritma *Rule-Based* diasumsikan adalah pembacaan suhu antara 0-90 °C, yang ditampilkan pada Gambar 8.



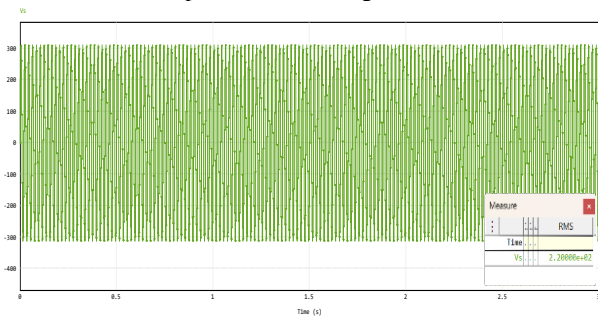
Gambar 7. Rangkaian sistem pada PSIM

3.2. Hasil Simulasi Saat Tegangan Suplai Normal

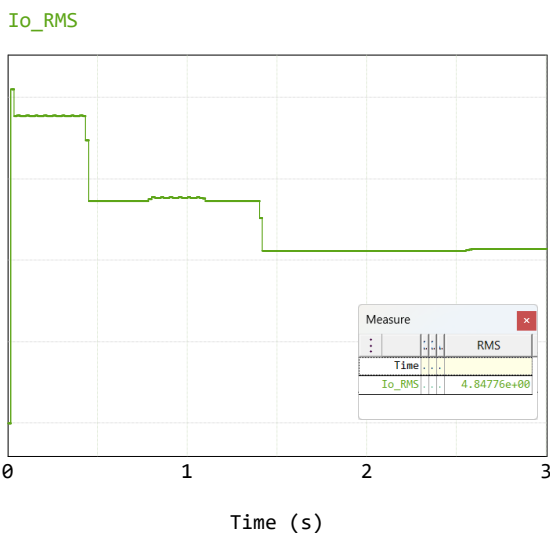
Pada sub-bab ini akan mendiskusikan hasil dari simulasi saat tegangan suplai normal. Input suhu untuk lagoritma *rule-based* ditunjukkan pada Gambar 8. Tegangan suplai ini ditunjukkan pada Gambar 9 dengan nilai tegangan 220V. Hasil dari simulasi ditunjukkan pada Gambar 10 untuk arus output RMS dan Gambar 11 adalah untuk daya *output* RMS. Dimana arus *output* RMS terjadi perubahan sesuai perubahan frekuensi *switching* dari akibat perubahan kondisi suhu menggunakan metode PFM yang dikontrol oleh Algoritma *Rule-Based*.



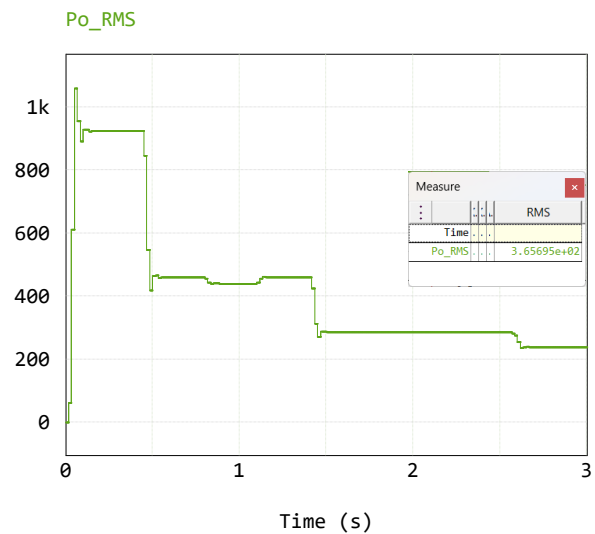
Gambar 8. Input Suhu untuk Algoritma Rule-Based



Gambar 9. Tegangan suplai saat tidak ada gangguan



Gambar 10. Perubahan arus output RMS sesuai perubahan frekuensi switching

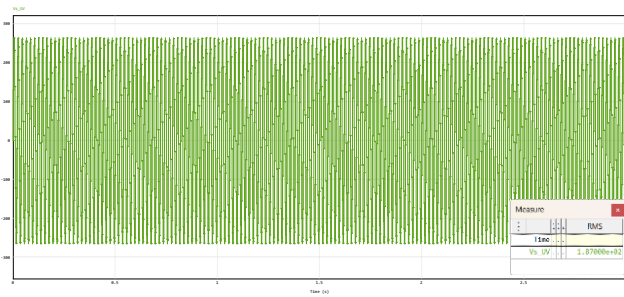


Gambar 11. Perubahan daya output RMS sesuai perubahan arus output

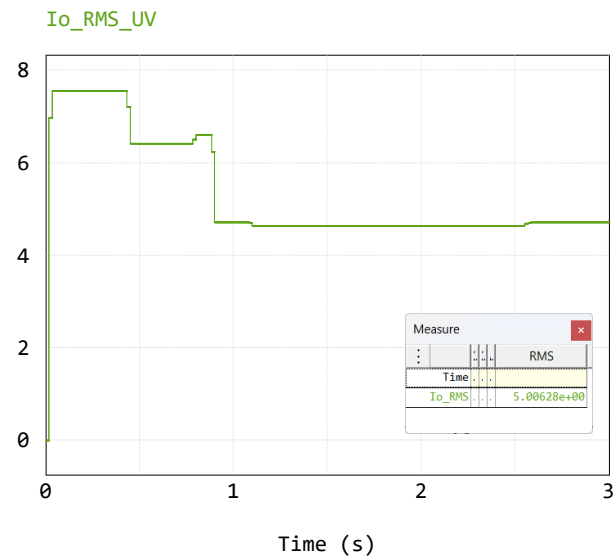
Dari hasil simulasi yang dilakukan dapat dilihat bahwa frekuensi *switching* mempengaruhi nilai keluaran arus. Terlihat bahwa hasil keluaran arus yang dihasilkan inverter sesuai dengan *rule* yang diberikan. Saat suhu awal pembacaan masih dibawah 20°C dan dengan tegangan normal, frekuensi *switching* hanya diset 50 kHz. Jika diperhatikan, semakin besar nilai frekuensi *switching* (yaitu saat 70 kHz), maka nilai arus yang dihasilkan akan semakin kecil, sebesar 4,25 A. Hal ini karena nilai frekuensi *switching* menjauhi frekuensi resonansinya. Daya yang diserap juga menjadi kecil, sebesar 278 W.

3.3. Hasil Simulasi Saat Terjadi Gangguan Under Voltage

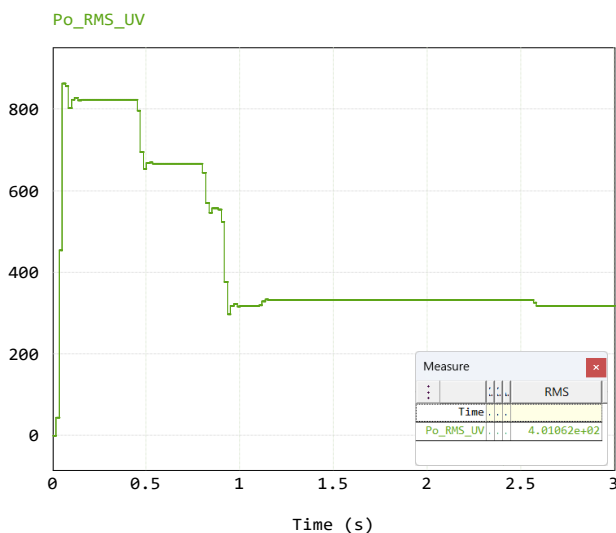
Pada sub-bab ini akan mendiskusikan hasil dari simulasi saat tegangan suplai terjadi gangguan *under voltage*. Tegangan suplai ini ditunjukkan pada Gambar 12 dengan nilai tegangan RMS 187 V atau 80% dari tegangan nominal. Hasil dari simulasi ditunjukkan pada Gambar 13 untuk arus output RMS dan Gambar 14 untuk daya output RMS. Dimana arus output RMS terjadi perubahan sesuai perubahan frekuensi *switching* dari akibat perubahan kondisi suhu. Pada saat diberikan gangguan *under voltage*, sistem akan menjalankan pengondisian frekuensi *switching*. Yaitu diatur 45 kHz (mendekati frekuensi resonansi) karena perlu arus besar untuk memulai pemanasan dari nol dan kondisi tegangan yang *under voltage*. Sehingga daya yang dibutuhkan besar, mencapai 824 W.



Gambar 12. Tegangan suplai saat *under voltage* sebesar 80% dari tegangan nominal



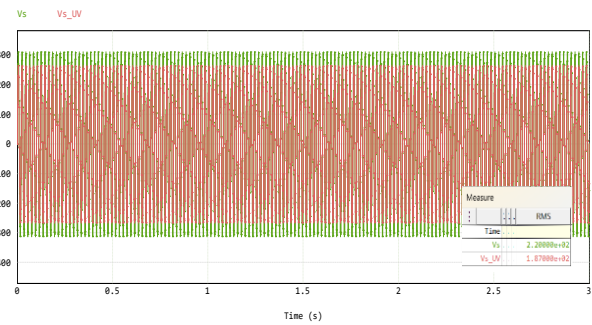
Gambar 13. Perubahan arus *output* RMS sesuai perubahan frekuensi *switching* saat gangguan *under voltage*



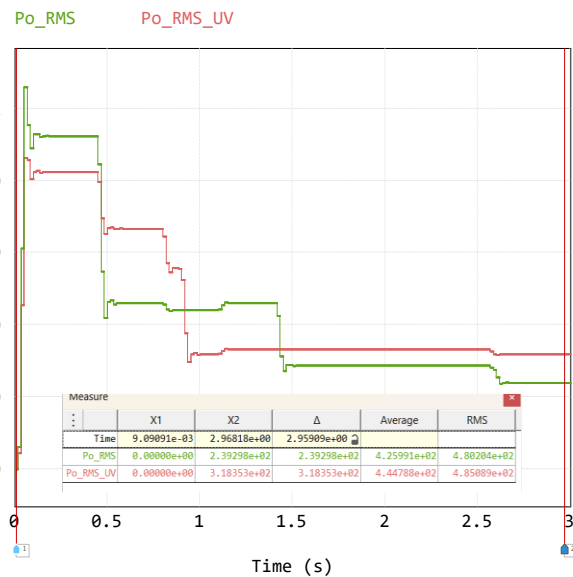
Gambar 14. Perubahan daya *output* RMS sesuai perubahan arus *output* saat gangguan *under voltage*

3.4. Perbandingan Hasil Simulasi

Dari kedua hasil simulasi dibandingkan performanya melalui perbandingan penyerapan daya rata-rata antara saat inverter kondisi normal dan saat ada gangguan *under voltage*. Dengan data suhu tetap pada Gambar 8 dan suplai tegangan di ditampilkan pada Gambar 15. Hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 16 untuk daya *output* rata-rata yang diserap.



Gambar 15. Perbandingan tegangan suplai saat kondisi normal dan *under voltage*



Gambar 16. Perbandingan rata-rata daya *output* yang diserap saat kondisi normal dan *under voltage*

Dari hasil simulasi yang dilakukan, Algoritma *Rule-Based* bisa digunakan untuk mengambil tindakan berupa kontrol PFM dari kondisi tegangan suplai dan suhu. Hal ini berdasarkan hasil daya *output* rata-rata untuk kondisi tegangan suplai normal, yang sebesar 426 W. Sedangkan saat kondisi tegangan suplai mengalami gangguan *under voltage*, sebesar 444 W. Selisih daya *output* rata-rata yang kecil ini, yaitu sebesar 18 W, menunjukkan sistem bekerja sama baiknya. Baik dalam kondisi normal maupun dalam gangguan *under voltage*.

4. Kesimpulan

Penelitian desain kompor induksi menggunakan algoritma *rule-based* untuk kontrol FPM, dengan membandingkan hasil kerja saat tegangan normal dan saat terjadi gangguan *under voltage* di software PSIM telah dilakukan. Rangkaian *single phase full bridge inverter* dibagi menjadi 4 untuk mewakili tiap frekuensi *switching* yaitu 45 kHz, 50 kHz, 60 kHz dan 70 kHz. Suhu dan tegangan suplai menjadi kondisi yang digunakan untuk mengambil tindakan oleh Algoritma *rule-based* yang berupa PFM. Dari hasil yang didapatkan, semakin nilai frekuensi *switching* menjauhi frekuensi resonansi maka nilai arus yang dihasilkan akan semakin kecil. Sehingga saat diberikan gangguan *under voltage*, frekuensi *switching* harus mendekati frekuensi resonansinya untuk menghasilkan arus yang lebih besar. Tujuannya untuk menjaga performa yang dihasilkan sama baiknya meskipun terjadi *under voltage*. Hal ini berdasarkan hasil daya *output* rata-rata untuk kondisi tegangan suplai normal, yang sebesar 426 W. Sedangkan saat kondisi tegangan suplai mengalami gangguan *under voltage*, sebesar 444 W. Selisih daya *output* rata-rata kecil, yaitu sebesar 18 W (4,22%), menunjukkan sistem bekerja sama baiknya meskipun terjadi gangguan *under voltage*.

Referensi

- [1] H. B. Nurjaman and T. Purnama, "Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sebagai Solusi Energi Terbarukan Rumah Tangga," *Jurnal Edukasi Elektro*, vol. 6, no. 2, pp. 136–142, 2022, [Online]. Available: <https://journal.uny.ac.id/index.php/jee>
- [2] M. E. Tulu and D. Yildirim, "Induction cooker design with quasi resonant topology using jitter drive method," in *2013 12th International Conference on Environment and Electrical Engineering*, 2013, pp. 1–6. doi: 10.1109/EEEIC.2013.6549590.
- [3] M. Wahyu Aminullah and dan Dina Fitria, "PERANCANGAN KOMPOR LISTRIK BERBASIS PANEL SURYA TERHADAP PENGARUH PANJANG COIL," 2022.
- [4] T. Mahardika and A. Warsito, "Perancangan Inverter Fullbridge Resonansi Seri Frekuensi Tinggi Untuk Aplikasi Induction Cooker," *Jurnal TRANSIENT*, vol. 2, no. 4, 2013.
- [5] Z. Dong, Y. Li, S. Zhang, and F. Shang, "Fuzzy temperature control of induction cooker," in *IECON 2017 - 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 2017, pp. 3051–3056. doi: 10.1109/IECON.2017.8216515.
- [6] Y. C. ARIF, R. P. EVININGSIH, and A. A. WIDYANTO, "Pengaturan Suhu Ruangan Oven Pengereng Cat Panel Box menggunakan Logika Kontrol Fuzzy," *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, vol. 11, no. 2, p. 364, Apr. 2023, doi: 10.26760/elkomika.v11i2.364.
- [7] N. Mahmudah *et al.*, "Prediction of PV Power Output and Battery Charging Conditions on OFF Grid Systems MicroHydro Pantai Bantul Yogyakarta Using Rule-Based Algorithm," in *Proceedings of the International Conference on Applied Science and Technology on Engineering Science 2023 (iCAST-ES 2023)*, 2024, pp. 1032–1043. doi: 10.2991/978-94-6463-364-1_94.
- [8] L. Mahendra, V. Lystianingrum, and A. Priyadi, "Energy Management Design for Industrial Demand Considering PV Power Prediction and Battery SOC," in *2020 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA)*, 2020, pp. 357–362. doi: 10.1109/ISITIA49792.2020.9163787.
- [9] Z. Dong, Y. Li, S. Zhang, and F. Shang, "Fuzzy Temperature Control of Induction Cooker."
- [10] H. M. El-Mashad and Z. Pan, "Application of Induction Heating in Food Processing and Cooking," *Food Engineering Reviews*, vol. 9, no. 2, pp. 82–90, 2017, doi: 10.1007/s12393-016-9156-0.
- [11] S. Anggara, A. Herawati, I. Priyadi, and I. Novia Anggraini, "Analisis Perubahan Besaran Listrik Pada Pemanas Induksi Menggunakan Inverter Setengah Jembatan," *Jurnal Amplifier*, vol. 10, no. 1, 2020.
- [12] D. W. Hart, *Power Electronics*. Tata McGraw-Hill, 2011.
- [13] F. Gali Siringoringo, A. Sofwan, and dan Agung Nugroho, "Over/Under Voltage Relay Menggunakan Mikrokontroler Pada Tegangan 1 Fasa 220Vac," *Jurnal TRANSIENT*, vol. 8, no. 1, 2019, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/transient>
- [14] A. Asri, "Analisis Perbaikan Tegangan Akibat Under Voltage Dengan Menggunakan Tap Changer dan Capacitor Bank Pada Sistem IEEE 9 Bus," *Jurnal MEDIA ELEKTRIK*, vol. 20, no. 2, 2023.
- [15] A. Aranta, F. Bimantoro, I. Putu, and T. Putrawan, "Penerapan Algoritma Rule Base Dengan Pendekatan Hexadesimal Pada Transliterasi Aksara Bima Menjadi Huruf Latin," *JTIKA*, vol. 2, no. 1, pp. 130–141, 2020.