

PERFORMA MOTOR INDUKSI SATU FASA MENGGUNAKAN PENGGERAK MATRIK KONVERTOR PADA PERUBAHAN BEBAN

Setiyono, Joko Purnomo dan Ridwan

Universitas Gunadarma
Jl. Margonda Raya No. 100, Depok, Jawa Barat 16424
{setiyono, jokopurn, ridwan}@staff.gunadarma.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini memaparkan disain penerak motor induksi satu fasa menggunakan matrik konvertor melalui simulasi pemodelan. Tujuannya adalah untuk mengetahui watak dan karakteristik tegangan keluaran, kecepatan motor, torsi, dan indeks Total Harmonic Distortion (THD) terhadap perubahan beban. Metode yang digunakan yakni mendisain rancangan elektronik ke dalam model matlab Simulink kemudian disimulasikan dan dianalisis parameter parameter gelombang keluaran yang diuji. Hasil simulasi menunjukkan tegangan keluaran hampir berbentuk sinusoida namun masih memiliki kandungan total harmonisa yang cukup tinggi sebesar 103,52%. Hal ini dipengaruhi oleh jenis pulsa pengendali penyalaaan gerbang matrik konvertor. Sedangkan perubahan empat kondisi torsi beban ($1/4T$, $1/2T$, $3/4T$, T), semakin besar torsi beban maka kecepatan motor turun secara linier.

Kata Kunci : Motor Induksi Matrik Konvertor

1. PENDAHULUAN

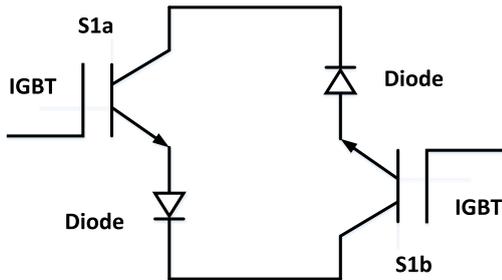
Mesin induksi baik motor induksi satu fasa maupun tiga fasa banyak digunakan di dunia industry, transportasi, perumahan dan tempat atau gedung komersial [1]. Disamping struktur dan bentuknya yang sederhana harganya juga terjangkau oleh masyarakat pengguna. Namun dibalik keunggulan yang ditawarkan mesin ini membutuhkan pengaturan kecepatan yang rumit karena nilai resistansi rotor yang non linier [2]. Berbeda dengan jenis mesin lainnya motor ini membutuhkan pengaturan frekuensi dari tegangan masukan yang mencatunya atau perubahan jumlah kutub yang membentuknya. Beberapa metode kendali frekuensi yang di ajukan seperti Inverter, cycloconverter dan Matrik converter untuk mengatasi permasalahan tersebut. Pada penelitian ini memilih penggunaan metode matrik converter sebagai penggerak motor induksi fasa tunggal. Matrik converter adalah sebuah pengubah AC ke AC yang efektif dan efisien yang memiliki tegangan keluaran dengan amplitude dan frekuensi berubah ubah tanpa DC link yang memiliki

aliran daya dua arah [3][4][5]. Cara ini merupakan terobosan untuk teknologi pada system transportasi, proses produksi, keberlangsungan industry dimasa depan [6]. Salah satu bagian utama dalam perancangan matrik converter adalah metode control penyalaaan gerbang terhadap saklar didalamnya. Banyak strategi modulasi dan kontrol telah diusulkan untuk konverter matriks. Umumnya, strategi modulasi dapat diklasifikasikan menjadi a. teknik skalar (misalnya, metode Venturini [7] b. metode PWM (berbasis operator dan SVM) [8][9][10], dan (c) strategi kontrol lainnya (seperti hysteresis kontrol arus [11], kontrol prediktif [12], kontrol mode geser (SMC) [13], kontrol torsi langsung (DTC) [14], metode difusi jaringan saraf [15], kontrol redaman aktif [16], dan PR pengontrol [17] [18]. Dibanding dengan penelitian lainnya, riset ini menggunakan kendali pulsa dengan lebar pulsa tetap sebagai pengatur penyalaaan gerbang saklar matrik converter.

Matrik Konverter

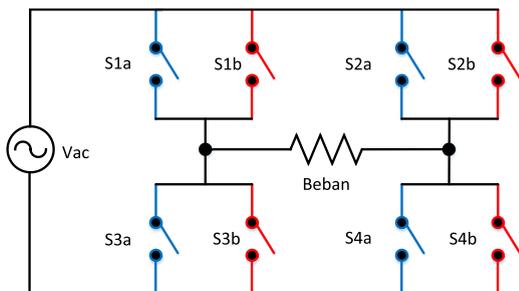
Konverter matriks satu fasa adalah topologi pengubah daya AC-AC

yang terdiri dari sakelar dua arah dengan pengaturan amplitude dan frekuensi pada sisi keluaran [19] [20]. Gambar 1 merupakan satu susunan pasangan saklar dua arah yang terdiri dari dua saklar IGBT dan 2 buah diode, sehingga untuk membentuk rangkaian matriks konverter satu fasa dibutuhkan 4 buah pasangan saklar dua arah [21].



Gambar 1. Susunan Saklar dua Arah

Gambar 1, di mana S1 disebutkan sebagai S1a & S1b, Sedangkan susunan saklar S2, S3, dan S4 merupakan rangkaian susunan saklar yang identic dengan saklar S1. Sebagai masukan Matriks converter dapat berupa tegangan AC atau DC tergantung pada penggunaan konverter matriks sebagai konverter elektronika daya tertentu.



Gambar 2. Matriks Konverter Fasa Tunggal

Tampak pada gambar 2 sebuah matriks converter satu fasa memiliki 4 saklar dua arah yang menghubungkan suplai input ke output beban. Sakelar dua arah merupakan susunan dua saklar semikonduktor dimana kombinasi saklar tersebut mampu menghantarkan arus di kedua arah sementara pada saat yang sama memblokir tegangan. Sebagai peralatan

elektronika daya Matriks converter dapat memiliki multi fungsi antara lain sebagai inverter, rectifier, cycloconverter, dual inverter, cycloinverter tergantung pengendalian kinerja pasangan saklar dua arah yang menyusunnya. Hubungan antara input dan output tegangan konverter matriks dapat dinyatakan sebagai persamaan (1). [22]

$$V_{out} = TV_{in} \quad 1$$

Dimana T menyatakan Fungsi alih dari konverter matriks, tegangan input V_{in} dan V_{out} sebagai tegangan keluaran. Topologi dapat diklasifikasikan menjadi dua macam yaitu direct dan indirect matriks converter [23].

Motor Induksi Satu Fasa

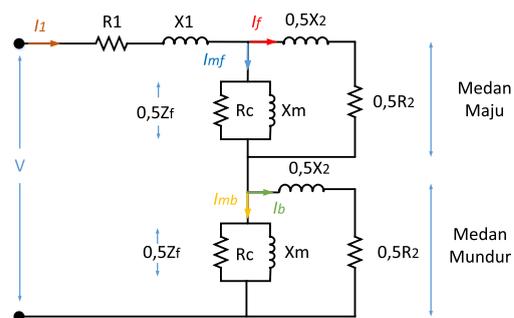
Motor induksi fasa tunggal memiliki konstruksi sederhana terdiri dari dua bagian utama yaitu stator dan rotor yang berguna untuk menimbulkan GGL (gaya gerak listrik) sebagai akibat interaksi kumparan stator dan rotor yang disuplai tegangan bolak balik. Kecepatan (n) rotor dapat diperoleh dalam dua mode operasi [24]:

Pada mode medan putar reverse (ϕ_b), rotor berputar dengan *slip* (s) berpijak pada medan putar maju sehingga kecepatan putar medan maju direpresentasikan persamaan (2):

$$n = 1 - s \quad 2$$

Mode saat Kecepatan relatif rotor dengan bertumpu pada medan putar mundur adalah $1+n$, atau nilai *slip* terhadap medan putar mundur diperoleh dengan persamaan (3):

$$1 + n = 2 - s \quad 3$$



Gambar 3. Rangkaian Ekvivalen Motor Induksi Saat Beroperasi

Gambar 3 adalah rangkaian ekvivalen motor induksi satu fasa dalam keadaan bekerja. Ketika bekerja medan putar stator terbagi menjadi 2 keadaan yaitu medan putar maju (ϕ_f) dan medan putar mundur (ϕ_b), dimana kedua medan putar akan mengimbangkan gaya geral listrik menuju rotor sehingga seakan akan nilai resitansi dan reaktansi terbagi setegahnya. Torsi yang dihasilkan dari kedua medan putar dinotasikan dengan persamaan (6)

$$T_f = \frac{1}{\omega_s} P_{gf} \quad 4$$

$$T_b = \frac{1}{\omega_s} P_{gb} \quad 5$$

$$T = T_f - T_b \quad 6$$

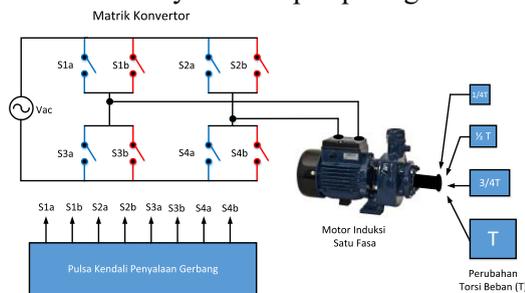
- T_f = Torsi medan putar maju
- T_b = Torsi medan putar mundur
- P_{gf}
= Rugi celah udara medan putar maju
- P_{gb}
= Rugi celah udara medan putar mundur
- ω_s = Kecepatan sinkron (rad/s)

Daya output motor ini bergantung pada jenis beban dapat dengan factor daya $\cos\theta$ di definisikan sebagai [25] persamaan 7 :

$$P = VI\cos\theta \quad 7$$

METODE PENELITIAN

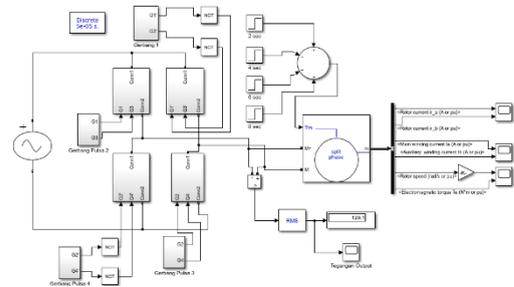
Penelitian ini dibangun dengan membuat disain rangkaian elektronik metric converter satu fasa terhubung dengan motor induksi satu fasa dengan variasi torsi (T) beban (T, 3/4T, 1/2T, dan 1/4T. Disain system tampak pada gambar 1.



Gambar 4. Disain Matrik Konverter Untuk Pengaturan Motor Induksi

Satu Fasa

Gambar 4 adalah rancangan system elektronik yang dibangun terdiri dari 4 (empat) bagian utama : a. Matrik Konverter fasa tunggal menggunakan 8 buah saklar mosfet, b. Unit pembangkit pulsa penyalaan gerbang, c. Motor Induksi satu Fasa, d. 4 buah simulator beban dengan nilai (1/4 T, 1/2T, 3/4 T dan T) dimana T adalah Torsi maksimum beban. Disain gambar 4 kemudian di modelkan kedalam tools matlab Simulink dan dijalankan untuk diambil data pengamatan seperti bentuk pulsa kendali penggerbangan saklar, bentuk gelombang tegangan keluaran, torsi beban dan kecepatan motor. Disain system di tunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Pemodelan Pengaturan Motor Induksi Satu Fasa Dengan Matrik Konverter

Gambar 5 adalah hasil pemodelan system yang dibangun menggunakan tools matlab Simulink.

Parameter Motor Induksi yang digunakan dalam simulasi tampak pada table 1.

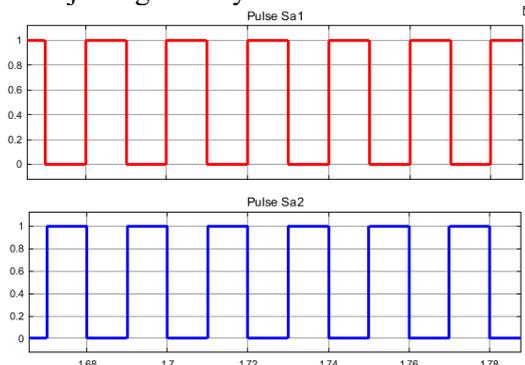
Tabel.1 Parameter teknis Motor Indukis Satu Fasa

Daya	1/4 HP
Tegangan	400 V
Frekuensi	50 Hz
Resistan dan Reaktan Stator	2,02 ohm , 7,4 mH
Resistan dan Reaktans Rotor	4,12 ohm 5,6 mH
Resistan bantu stator	7,14 ohm , 8,5 mH

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengamatan Pulsa Kendali Penyalaan Gerbang

Sinyal penggerbangan berupa deretan pulsa dengan amplitude 1 V, duty cycle 50% dengan frekuensi 50Hz. Karena tiap pasangannya bekerja secara komplementer (mode konduksi 180⁰) maka untuk menggerakkan pasangan saklar disampingnya cukup dengan memasang untai pembalik (gerbang NOT). Sehingga cukup dengan membangun 4 deretan pulsa dan 4 untai pembalik untuk melayani kinerja rangkaian system.

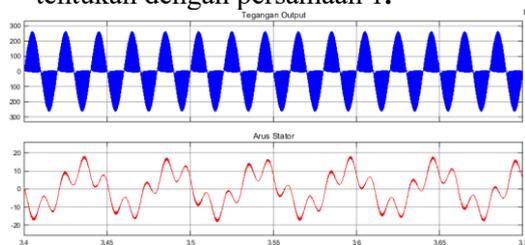


Gambar 6. Format Pulsa Penyalaan Gerbang Saklar Matrik Konverter

Gambar 6 merupakan format deretan pulsa penyulutan gerbang saklar matrik konverter S1a dan S1b. Untuk pulsa penyalaan saklar S2a, S2b, S3a, S3b, S4a dan S4b memiliki bentuk yang sama namun masing masing pasangan saklar berbeda fasa sejauh 180⁰. Pulsa penyulutan ini berpengaruh terhadap bentuk gelombang tegangan keluaran matrik konverter.

Pengamatan Tegangan Keluaran

Tegangan keluaran matrik converter secara matematis dapat di tentukan dengan persamaan 1.

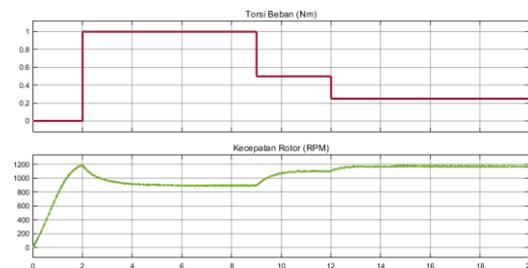


Gambar 7. Bentuk Gelombang Tegangan Keluaran Matrik Konverter dan Arus Stator

Gambar 7 merupakan pola gelombang tegangan keluaran matrik konverter dan arus stator . Format tegangan keluaran hampir menyerupai format sinusoida namun masih mengandung riak gelombang pada kedua siklus. Frekuensi gelombang tegangan keluaran sebesar 60 Hz dan amplitude maksimum 270V pada tegangan masukan 400 V Adanya riak gelombang ini mengakibatkan rugi rugi berupa panas pada motor. Arus stator motor tampak berupa gelombang sinusoida periodic yang terdistorsi mengikuti perubahan pola gelombang amplitude dan frekuensi tegangan keluaran .

Pengamatan kecepatan motor terhadap perubahan torsi beban

Torsi beban di uji dengan perubahan nilai terhadap waktu dari $t = 2$ ms sampai 12 ms.Persamaan 6 di gunakan untuk menghitung torsi beban dan pada simulasi diubah ubah nilainya sesuai waktu yang telah ditentukan.



Gambar 8 Pengaruh Perubahan Torsi Beban Terhadap Kecepatan Motor

Gambar 8 menunjukkan perubahan torsi beban terhadap waktu yang mengakibatkan terjadinya perubahan kecepatan motor. Ketika torsi beban maksimum ($T_{maks} = T$) pada waktu $t = 2 < t < 9$ ms kecepatan motor berada pada 898, 3 rpm. Kemudian torsi beban turun pada saat $9 < t < 12$ ms kecepatan berada pada 1110 rpm dan pada saat $t > 12$ ms kecepatan naik menjadi 1178 rpm. Oleh karena hal tersebut dapat disimpulkan kecepatan akan sebanding dengan perubahan torsi beban

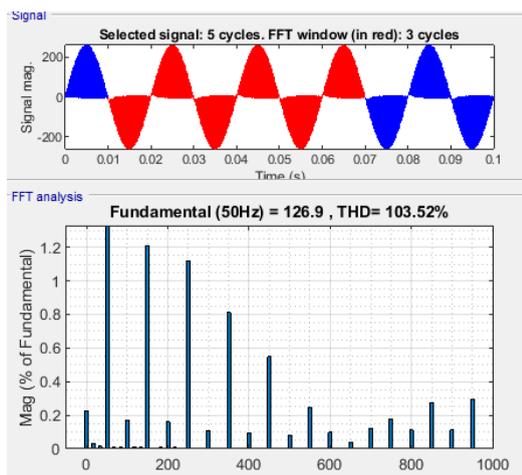
Tabel 2. Perubahan Torsi Beban Terhadap Kecepatan Motor

Torsi (Nm)	Kecepatan(Rpm)
1T	898,3
3/4T	1021
1/2T	1110
¼ T	1178

Motor induksi satu fasa memiliki torsi beban pada daya maksimum ¼ HP . Tabel 2 menjelaskan , ketika torsi beban berubah dari torsi maksimum (T) menuju (¼ T) kecepatan motor turun secara linier. Sehingga dapat dikatakan bahwa torsi beban motor induksi ini berbanding lurus dengan kecepatannya.

Perhitungan Nilai Indeks THD

Nilai THD digunakan untuk menyatakan seberapa besar kandungan harmonisa yang terdapat pada tegangan keluaran.



Gambar 9. Nilai Indeks THD tegangan Keluaran Matrik Konvertor Fasa Tunggal

Gambar 9 Nampak bahwa Tegangan keluaran matrik konvertor memiliki indeks THD yang cukup tinggi sebesar 103,52%. Amplitudo dan frekuensi gangguan berada pada frekuensi orde ke 3, 5, 7, 9, 11 (150 Hz, 250 Hz, 350 Hz, 450 Hz dan seterusnya)atau berada pada orde ganjil. Hal ini dipengaruhi oleh kinerja saklar Sa1 – Sa4b yang menggunakan pulsa penyalan dengan lebar pulsa tetap. Sehingga untuk menurunkan THD tersebut dan meningkatkan performa saklar matrik konvertor dapat menggunakan jenis

pengaturan lebar pulsa seperti PWM maupun SVPWM.

PENUTUP

Matrik Konverter yang dibangun berhasil mengubah format tegangan AC – AC yang memiliki dengan frekuensi yang bervariasi tergantung pola dan frekuensi sinyal control penyalan gerbang saklar . Pola penyalan gerbang dapat dibangun menggunakan deretan pulsa dengan lebar band tetap maupun terkendali . Bentuk tegangan keluaran , arus stator dan nilai indeks THD dipengaruhi oleh pola deretan pulsa penyalan gerbang saklar matrik converter . Sedangkan perubahan torsi beban berpengaruh terhadap kecepatan putar motor dan memiliki hubungan linier. Perubahan beban ini tidak mempengaruhi terhadap susunan saklar matrik converter namun saklar ini mempunyai andil besar dalam mensuplay kebutuhan energy beban melalui pengaturan penyulutan gerbang saklar. Penelitian ini baru pada tahap simulasi pemodelan akan tetapi model ini layak untuk diimplementasikan menjadi sebuah alat penggerak motor induksi dan sebagai referensi literature kepada peneliti lanjutan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Kurnia Pratama, E. Zondra, and H. Yuvendius, "Analisis Efisiensi Motor Induksi Tiga Fasa Akibat Perubahan Tegangan," *J. Sain, Energi, Teknol. Ind.*, vol. 5, no. 1, pp. 35–43, 2020.
- [2] K. R. S. Suda, E. Purwanto, B. Sumantri, H. H. Fakhruddin, and A. A. Muntashir, "PENGATURAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3 FASA DENGAN MENGGUNAKAN PEMODELAN SISTEM (DTC) DIRECT TORQUE CONTROL," vol. 18, no. 2, pp. 237–248, 2021.
- [3] A. Bento *et al.*, "On the potential contributions of matrix converters for the future grid operation, sustainable transportation and electrical drives innovation," *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 10, 2021, doi:

- 10.3390/app11104597.
- [4] JATI MENTARI PUTRI, PURWANTO ERA, SUMANTRI BAMBANG, and BASUKI GAMAR, "Matrix Converter sebagai Pengendali Kecepatan Motor Induksi 3 Fase dengan ISVM," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 8, no. 2, pp. 373–387, 2020, [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.26760/elkomika.v8i2.373>.
- [5] M. P. Chauhan and P. V Thakre, "Study of Matrix Converter for Motor Application : A Review," no. July, pp. 4915–4920, 2020.
- [6] D. Varajão and R. E. Araújo, "Modulation methods for direct and indirect matrix converters: A review," *Electron.*, vol. 10, no. 7, pp. 1–29, 2021, doi: 10.3390/electronics10070812.
- [7] G. BASUKI, E. PURWANTO, H. OKTAVIANTO, M. P. JATI, and M. A. B. NUGROHO, "Aplikasi Direct Matrix Converter pada Pengendali Kecepatan Motor Induksi 3 Fase menggunakan Modulasi Venturini," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 8, no. 3, p. 518, 2020, doi: 10.26760/elkomika.v8i3.518.
- [8] H. P. Nguyen, D. T. Nguyen, and M. T. Chau, "Carrier-based PWM Method for Indirect Matrix Converters based on Space Vector Analysis," *Int. J. Intell. Eng. Syst.*, vol. 13, no. 6, pp. 307–317, 2020, doi: 10.22266/ijies2020.1231.27.
- [9] S. Suresh Kumar Budi and M. Suneel Kumar, "Matrix converter control strategies and modulation techniques," *Int. J. Recent Technol. Eng.*, vol. 8, no. 2 Special Issue 8, pp. 1176–1182, 2019, doi: 10.35940/ijrte.B1033.0882S819.
- [10] A. V. Bondarev, S. V. Fedorov, and E. A. Muravyova, "Control Systems with Pulse Width Modulation in Matrix Converters," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 327, no. 5, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/327/5/052008.
- [11] J. Zhang, H. Yang, T. Wang, L. Li, D. G. Dorrell, and D. D. C. Lu, "Field-oriented control based on hysteresis band current controller for a permanent magnet synchronous motor driven by a direct matrix converter," *IET Power Electron.*, vol. 11, no. 7, pp. 1277–1285, 2018, doi: 10.1049/iet-pel.2017.0651.
- [12] S. H. Yusoff, N. S. Midi, S. Khan, and M. Tohtayong, "Predictive control of AC/AC matrix converter," *Int. J. Power Electron. Drive Syst.*, vol. 8, no. 4, pp. 1932–1942, 2017, doi: 10.11591/ijpeds.v8i4.pp1932-1942.
- [13] S. Pinto and J. Fernando Silva, "Robust Sliding Mode Control of Matrix Converters with Unity Power Factor," *Proceeding 9th Int. Conf. Power Electron. Motion Control. {EPE}-{PEMC} 2000.*, no. 2, p. CD-ROM, 2000.
- [14] K. S. Gaeid, A. M. Murshid, and Z. H. Salih, "Direct Torque Control of Induction Motor with Matrix Converter," *J. Eng. Sci. Technol. Rev.*, vol. 9, no. 2, pp. 50–58, 2016, doi: 10.25103/jestr.092.09.
- [15] H. H. Lee, P. Q. Dzung, L. M. Phuong, and L. D. Khoa, "A new artificial neural network controller for direct control method for Matrix converters," *Proc. Int. Conf. Power Electron. Drive Syst.*, no. December, pp. 434–439, 2009, doi: 10.1109/PEDS.2009.5385871.
- [16] P. Hokayem, T. Geyer, and N. Oikonomou, "Active damping for model predictive pulse pattern control," *2014 IEEE Energy Convers. Congr. Expo. ECCE 2014*, pp. 1220–1227, 2014, doi: 10.1109/ECCE.2014.6953540.
- [17] M. Jamil, "Voltage Control of Matrix Converter using Classical PI Controller," no. Dmc, 2021.
- [18] K. Rajani, K. Rachananjali, K. Bala Krishna, and V. S. L. Tirumala, "Speed control of 1 ϕ induction motor using 1 ϕ matrix converter," *Int. J. Control Theory Appl.*, vol. 9,

- no. 29, pp. 267–271, 2016.
- [19] S. Sonar, “Commutation issues in Single Phase Matrix Converter,” *Int. J. Recent Technol. Eng.*, vol. 8, no. 5, pp. 1715–1719, 2020, doi: 10.35940/ijrte.e6258.018520.
- [20] M. Rivera, S. Rojas, C. Restrepo, J. Muñoz, C. Baier, and P. Wheeler, “Control techniques for a single-phase matrix converter,” *Energies*, vol. 13, no. 23, pp. 1–15, 2020, doi: 10.3390/en13236337.
- [21] S. Subha, “Realization of AC-AC converter using matrix converter,” *World Appl. Sci. J.*, vol. 29, no. 9, pp. 1117–1122, 2014, doi: 10.5829/idosi.wasj.2014.29.09.1402.
- [22] E. V. S. Sneha and M. Sajin, “Design and Simulation of Single Phase Matrix Converter as a Universal Converter,” *Int. J. Eng. Res. Technol.*, vol. 2, no. 11, pp. 1471–1474, 2013.
- [23] K. T. Maheswari, R. Bharanikumar, and S. Bhuvanewari, “A review on matrix converter topologies for adjustable speed drives,” *Int. J. Innov. Technol. Explor. Eng.*, vol. 8, no. 5, pp. 53–57, 2019.
- [24] . A., . Z., and U. Situmeang, “Analisis Pengaruh Perubahan Besaran Kapasitor Terhadap Arus Start Motor Induksi Satu Fasa,” *SainETIn*, vol. 1, no. 1, pp. 1–8, 2017, doi: 10.31849/sainetin.v1i1.164.
- [25] A. Asok Kumar and G. R. Bindu, “Analysis of single phase induction motor and switched reluctance motor with a view of energy conservation,” *Int. J. Appl. Eng. Res.*, vol. 10, no. 1, pp. 2049–2065, 2015.