

Analisis Sistem Kontrol Kecepatan Motor Menggunakan Inverter LS-SV004IG5A-4 pada Mesin CNC

Vincentius Kristian Putra¹, Dian Budhi Santoso²

^{1,2}Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang; email: 2010631160030@student.unsika.ac.id; dian.budhi@ft.unsika.ac.id

[Dikirimkan: 16 Februari 2024, Direvisi: 17 Mei 2024, Diterima: 27 Mei 2024]

Corresponding Author: Vincentius Kristian Putra

INTISARI — Berkembangnya sejumlah industri otomotif di sektor kendaraan bermotor semakin menciptakan persaingan yang cukup kompetitif, maka dari itu kualitas dari produk yang dihasilkan dari suatu industri perlu diperhatikan. Produk yang presisi akan menaikkan kualitas dari produk tersebut. Inverter digunakan untuk mengontrol motor induksi yang kemudian akan digunakan untuk memutar *spindle* pada mesin CNC (*Computer Numerical Control*). Penggunaan CNC dalam pembuatan poros ulir tentu akan menghasilkan produk dengan tingkat ketelitian yang tinggi dan tentunya akan menghasilkan produk yang konsisten dengan kualitas yang sama. Dengan menerapkan inverter dan motor induksi pada mesin CNC, kecepatan dari motor induksi dapat diatur dan disesuaikan dengan jenis produk yang akan dibuat, sehingga akan menghasilkan produk yang berkualitas tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hasil nilai arus, tegangan, RPM (*Revolutions Per Minute*) pada motor induksi berdasarkan frekuensi, serta arus dan waktu yang dibutuhkan ketika akselerasi dan deselerasi. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapatkan bahwa semakin tinggi frekuensi yang digunakan, maka akan semakin tinggi pula tegangan yang dihasilkan, sedangkan untuk arus, output yang dihasilkan tidak stabil yang dapat disebabkan oleh kondisi beban yang terlalu berat, kerusakan pada bagian rotor atau stator, hingga kerusakan pada bearing motor induksi. Dengan menggunakan frekuensi tinggi sebesar 50 Hz, maka waktu yang dibutuhkan untuk berakselerasi selama 3.33 s dan waktu deselerasinya selama 3.07 s, namun sebaliknya, apabila menggunakan frekuensi rendah di 10 Hz, maka waktu yang dibutuhkan untuk berakselerasi menjadi lebih cepat di 1 s dan waktu untuk deselerasinya di 1.18 s.

KATA KUNCI —Motor induksi 3 Fasa, Inverter, Mesin CNC, RPM

I. PENDAHULUAN

Perkembangan industri otomotif di Indonesia, terutama dalam kendaraan bermotor, telah meningkatkan tingkat persaingan yang kompetitif. Berbagai macam produk unggulan di tawarkan oleh perusahaan otomotif untuk menarik pembeli yang tentunya berdampak pada industri pendukungnya yaitu seperti industri suku cadang, yang sangat terkait erat dengan industri otomotif. Terutama pada era globalisasi saat ini yang menjadikan persaingan di dunia bisnis menjadi semakin ketat, sehingga setiap aspek perlu dipertimbangkan, seperti menawarkan produk dengan kualitas terbaik [1]. Di dalam industri otomotif, peran sistem kontrol dalam mengendalikan sistem kecepatan menjadi hal yang sangat dibutuhkan. Sistem kontrol pada mesin digunakan untuk mengatur kinerja suatu sistem atau dapat dikatakan sebagai otak dari mesin. Sistem kontrol akan mengatur parameter pada mesin agar dapat menghasilkan proses yang diinginkan hanya dengan mengubah program pada PLC (*Programmable Logic Controller*) melalui *ladder diagram* tanpa mengubah instalasinya [2].

Dengan menggunakan sistem kontrol, mesin dapat bekerja secara otomatis dan akurat sesuai dengan desain yang telah dibuat melalui software [3]. Penggunaan CNC dalam pembuatan poros ulir tentu akan menghasilkan produk dengan tingkat ketelitian yang tinggi dan tentunya akan menghasilkan produk yang konsisten dengan kualitas yang sama [4]. Maka dari itu, salah satu komponen yang ada pada mesin CNC yang berguna untuk menghasilkan produk yang berkualitas, dibutuhkan motor induksi tiga fasa yang digunakan untuk mengatur kecepatan dari alat potong. Motor induksi tiga fasa banyak digunakan pada perusahaan otomotif dikarenakan perawatannya yang mudah, memiliki efisiensi yang tinggi, serta biayanya yang terjangkau [5]. Kecepatan dari motor induksi 3 fasa perlu dikontrol oleh sistem kontrol berupa PLC untuk mendapatkan hasil produk yang presisi. Sistem kontrol yang digunakan pada motor induksi tiga fasa akan dikontrol kecepatan putaran dan arus serta tegangan yang masuk ke motor oleh PLC, lalu untuk mengubah frekuensinya menggunakan inverter [6]. Perubahan frekuensi ini agar produk yang dihasilkan dapat sesuai dengan spesifikasi produk yang dibutuhkan.

Berdasarkan permasalahan tersebut, maka perlu dilakukan analisis sistem kontrol kecepatan motor menggunakan inverter pada mesin CNC guna meningkatkan efektivitas dan efisiensi produksi. Adapun penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai arus dan tegangan, serta RPM pada motor induksi yang diinput berdasarkan frekuensi. Pada penelitian ini akan dibahas juga mengenai arus dan waktu yang dibutuhkan ketika akselerasi dan deselerasi, yang di mana hal tersebut tidak dibahas pada penelitian sebelumnya, sehingga dapat mengetahui kebutuhan torsi yang akan digunakan dan dapat meningkatkan efisiensi dengan menggunakan inverter di mesin CNC. Penelitian ini sangat penting karena dapat meningkatkan presisi, sehingga dapat menaikkan kualitas produk yang dihasilkan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. MESIN CNC

Mesin CNC merupakan sebuah perangkat mesin yang dikendalikan menggunakan komputer melalui penggunaan bahasa numerik, yaitu perintah yang menggunakan dengan menggunakan bahasa digital untuk menggerakkan mesin. Sebagai contoh, apabila kita memasukkan perintah "M30" pada monitor mesin, spindel utama mesin akan berputar, sedangkan apabila kita memasukkan perintah "M05", spindel utama mesin akan berhenti berputar.

Mesin CNC pada dasarnya merupakan mesin otomatis yang bekerja berdasarkan pola benda kerja yang telah dirancang melalui software seperti Autocad. Sistem pada CNC terdiri dari tiga komponen utama, yaitu program yang isinya instruksi kerja, unit kontrol mesin MCU (Machine Control Unit), dan peralatan untuk memproses benda kerja. Dengan menggunakan sistem ini, mesin dapat bekerja secara otomatis dan akurat sesuai dengan desain yang telah dibuat melalui software [7]. Mesin CNC dapat menghasilkan produk dengan presisi tinggi yang tentunya dapat menaikkan kualitas produk dan meminimalisir biaya produksi.

B. MOTOR INDUKSI TIGA FASA

Motor induksi tiga fasa merupakan motor listrik dengan ukuran KVA yang berbeda-beda dan memiliki perancangan yang hampir sama dengan motor listrik lainnya. Motor induksi 3 fasa akan mengubah energi listrik menjadi energi mekanik dan proses tersebut dengan memanfaatkan medan listrik yang terjadi antara medan stator dan rotor yang memiliki gap atau celah yang sempit berkisar dari 0,4 mm sampai 4 mm [8]. Stator adalah bagian yang diam, memiliki kumparan yang berlapis-lapis, dan terdapat belitan stator yang ketika dialiri listrik akan menghasilkan fluks magnet. Rotor adalah bagian yang berputar dari motor yang dihubungkan dengan beban yang akan diputar dan shaft yang terpasang pada pusat rotor. Inti magnet dan slip ring pada rotor akan mengalirkan listrik DC yang menyebabkan adanya kutub magnet di rotor [7], [9]. Motor induksi tiga fasa dapat terjadi karena adanya arus yang mengalir pada rotor, arus yang terinduksi tersebut terjadi karena terdapat perbedaan relatif antara putaran poros pada rotor dengan medan putar pada stator. Kecepatan putar dari motor induksi tiga fasa dapat dipengaruhi oleh frekuensi.

Prinsip kerja pada motor induksi adalah ketika terjadinya induksi elektromagnetik yang disebabkan dari kumparan stator yang dihubungkan ke tegangan 3 fasa sehingga akan menghasilkan medan magnet yang berputar. Kemudian setelah itu terjadi gaya gerak listrik dari garis gaya fluks yang diinduksikan dari kumparan stator yang memotong kumparan rotor. Pada kumparan stator yang dihubungkan ke sumber tegangan tiga fasa akan menghasilkan medan magnet berputar. Medan magnet akan memotong kumparan rotor dan menginduksi tegangan dan arus. Lalu arus pada rotor berinteraksi dengan medan magnet stator dan menghasilkan gaya Lorentz yang memutar rotor [7], [10]-[11].

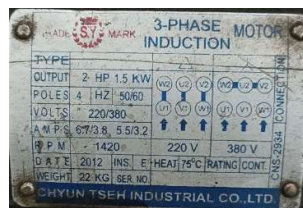
Saat sumber tegangan tiga fasa dihubungkan ke terminal stator, arus akan mengalir pada kumparan tegangan (stator), yang kemudian akan menghasilkan fluks, fluks pada stator biasanya konstan, Persamaan (1) merupakan rumus untuk menghitung kecepatan dari putaran stator, dengan ns adalah kecepatan putaran stator (rpm), f adalah frekuensi stator (Hz), dan P adalah jumlah kutub [12].

$$ns = \frac{120 \times f}{P} \quad (1)$$

Persamaan (2) merupakan rumus perbedaan kecepatan medan stator (ns) dan kecepatan putaran rotor (nr) dengan S adalah slip motor induksi (%). Hasil slip yang lebih tinggi menunjukkan bahwa rotor berputar lebih lambat daripada kecepatan idealnya dan akan meningkatkan arus rotor, sedangkan slip yang rendah menunjukkan bahwa rotor berputar lebih dekat dengan kecepatan idealnya dan akan meningkatkan efisiensi motor

$$S = \frac{ns - nr}{ns} \times 100\% \quad (2)$$

Apabila nilai ns sama dengan nilai nr , maka tegangan tidak akan terinduksi dan pada kumparan rotor tidak akan menghasilkan arus dan berarti tidak menghasilkan kopel, hal tersebut karena kopel pada motor akan terjadi apabila nilai ns lebih kecil dari nilai nr [13]. Kelebihan motor induksi tiga fasa adalah memiliki struktur yang kuat dengan konstruksi yang sederhana sehingga membuat motor induksi tiga fasa mudah dirawat dan diperbaiki, harganya terjangkau, dan memiliki efisiensi yang tinggi. Adapun kelemahannya yaitu kecepatannya yang tidak dapat diatur, putaran motor akan turun apabila beban yang diberikan terlalu berat, dan arus awal yang besar [5].



Gambar 1. Nameplate Spesifikasi Motor Induksi 3 Fasa yang digunakan

Spesifikasi motor yang digunakan untuk penelitian ini memiliki 4 kutub (poles), output yang dihasilkan adalah 2 HP 1.5 KW, menggunakan frekuensi 50 Hz/60 Hz, dapat menggunakan tegangan 220 V atau 380 V, menggunakan arus 6.7A (50Hz)/3.8(60Hz) untuk tegangan 220V dan arus 5.5A (50Hz)/3.2A (60Hz) untuk tegangan 380V, dan total RPM di 1420.

C. INVERTER LS SV004IG5A-4

Inverter merupakan alat elektronik yang berfungsi mengonversi tegangan DC menjadi tegangan AC dengan frekuensi tertentu, menghasilkan sinyal sinus setelah melewati proses pembentukan gelombang serta filter. Inverter mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC menggunakan sinyal kontrol PWM dengan frekuensi yang dapat diatur [14]. Inverter dapat diklasifikasikan sebagai

sumber tegangan (*Voltage Fed Inverter*) jika tegangan inputnya konstan, menghasilkan tegangan output AC dengan frekuensi dan amplitudo yang dapat dikontrol, dan sebagai sumber arus (*Current Fed Inverter*) jika arus inputnya konstan menghasilkan tegangan output AC dengan frekuensi yang dapat dikontrol, tetapi amplitudo tegangan output tergantung pada impedansi beban. Inverter dapat disebut sebagai *variable DC linked inverter* jika tegangan inputnya dapat diatur. Inverter berfungsi untuk mengubah kecepatan motor AC dengan cara mengubah frekuensi inputnya. Tegangan output pada amplitudo maupun frekuensinya harus stabil, distorsi yang dihasilkan harus rendah, dan tidak memiliki tegangan transien, untuk nilai tegangan dan frekuensinya dapat diatur [15]. Inverter terdiri dari beberapa komponen semikonduktor, seperti SCR, transistor, dan MOSFET sebagai saklar dan pengubah. Inverter juga terdiri dari beberapa rangkaian utama yaitu rangkaian penyearah yang digunakan untuk mengubah arus AC menjadi arus DC dan untuk menghilangkan riak di arus DC.

Inverter terbagi menjadi dua jenis berdasarkan penyesuaian tegangan dan frekuensi yang diatur, yaitu inverter Constant Voltage Constant Frequency (CVCF) yang menghasilkan tegangan dan frekuensi output yang konstan dan biasanya digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan tegangan dan frekuensi stabil, seperti penerangan dan elektronik, dan inverter dengan frekuensi dan tegangan output yang berubah-ubah yang biasanya digunakan pada penggerak motor listrik tiga fasa dengan sumber tegangan AC [16]. Inverter pada motor tiga fasa digunakan untuk mengatur kecepatan putaran motor dan mengontrol arus dan tegangan yang masuk ke motor.

Inverter LS SV004iG5A-4 adalah salah satu jenis inverter (pengubah frekuensi) buatan LS Industrial Systems yang banyak digunakan di industri untuk mengontrol kecepatan motor listrik. Spesifikasi inverter LS SV004iG5A-4 yang digunakan untuk penelitian ini memiliki kapasitas output sebesar 0.5 HP 0.4 kW dengan tegangan input 3 fasa AC 380-480V di frekuensi 50/60Hz, tegangan output di 3 fasa AC 380-480V, arus outputnya sebesar 2.5A, memiliki fitur keamanan proteksi *overload*, proteksi *ground fault*, proteksi *overvoltage*, proteksi *undervoltage*, proteksi *short circuit*, dan menggunakan komunikasi RS-485.

D. PROGRAMMABLE LOGIC CONTROL (PLC) Shihlin AXON-32MR-ES

PLC adalah alat yang dapat diprogram oleh bahasa pemrograman untuk menggantikan sistem pengendali konvensional. PLC beroperasi pada frekuensi tinggi untuk meminimalkan kehilangan energi [17]. PLC menggunakan bahasa pemrograman khusus, seperti *ladder logic*, function blok diagram, atau *structured text* yang digunakan untuk mengontrol input, output, dan berbagai perangkat yang terhubung dengannya. PLC akan mengoperasikan semua sistem yang memiliki output *device*, seperti membuat timer dan mengatur timer tersebut menjadi *on* atau *off* [18]. PLC menggantikan kabel, relay, *timer*, *counter*, dan komponen lainnya yang sebelumnya digunakan untuk otomatisasi, karena PLC mengintegrasikan semua komponen tersebut sehingga memungkinkan untuk melakukan program dengan lebih cepat dan efisien [19].

Hardware PLC terdiri dari *Central Processing Unit* (CPU), modul input/output, programmer, dan catu daya. CPU adalah otak dari PLC yang berguna untuk menjalankan program yang telah diprogram di dalamnya, misalnya menjalankan operasi aritmatika, menyimpan atau mengirim data [20]. Modul input/output berguna sebagai penghubung dari PLC dengan berbagai sensor dan aktuator atau peralatan input/output pada sistem operasi PLC. Programmer digunakan untuk berkomunikasi dengan PLC yang salah satu fungsinya untuk memprogram PLC. Catu daya akan digunakan untuk memberikan daya pada semua komponen di PLC [21].

PLC bekerja dengan menerima data dari *input*, memprosesnya, dan menghasilkan *output* untuk mengendalikan sistem [22]. Pada proses *input*, PLC akan menerima data dari sensor, sakelar, atau sensor dan sinyal kontrol akan meneruskan ke tahap proses. Pada tahap pemrosesan PLC akan mengolah data input berdasarkan program yang disimpan dalam memori. Pada tahap *output*, PLC akan menghasilkan sinyal kontrol untuk mengendalikan aktuator, motor, atau *output* lainnya [23].

PLC Shihlin AXON-32MR-ES dilengkapi dengan fitur-fitur keamanan seperti proteksi password dan proteksi program untuk memastikan keamanan sistem, kemudian fitur built-in RTC (*Real Time Clock*) dan *built-in counter/pulse output* yang memungkinkan PLC ini untuk digunakan dalam aplikasi yang lebih kompleks. PLC Shihlin AXON-32MR-ES menggunakan 32-bit ARM Cortex-M3 CPU dengan kecepatan pemrosesan 0.5 μ s/instruksi dengan total I/O sebanyak 16 input dan 16 output, menggunakan tegangan input AC 100-240V 50/60 Hz 50 VA dan tegangan output DC 30V/240VAC. *Software* yang digunakan untuk memprogram PLC Shihlin AXON-32MR-ES adalah GX Developer.

E. RELAY MY4N

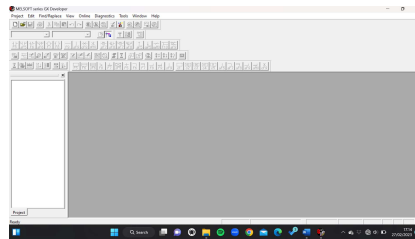
Relay adalah salah satu komponen elektrik yang bekerja ketika koil mendapat sumber arus AC atau DC. Kontak poin akan bergerak apabila koil pada relay telah bekerja, sehingga melalui kontak poin tersebut dapat bekerja dengan arus kecil tetapi dapat menghantarkan arus yang lebih besar [21]. Relay tersusun dari kumparan pegas, saklar yang terhubung ke pegas, dan 2 kontak normally close dan normally open. Relay bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik, ketika kumparan relay dialiri tegangan, maka akan terjadi aliran arus listrik pada kumparan yang kemudian menghasilkan medan magnet. Medan magnet akan menarik saklar *Normally Closed* (NC) ke *Normally Open* (NO), ketika tegangan dimatikan, maka medan magnet hilang dan pegas menarik kembali saklar ke posisi NC. Singkatnya, NC terjadi ketika relay tidak diaktifkan, ketika relay diaktifkan, kontak NC akan terputus. Berbeda dengan NC, NO terjadi ketika relay tidak diaktifkan, namun ketika relay diaktifkan, kontak NO akan terhubung [24].

Relay MY4N diproduksi oleh OMRON dan dilengkapi dengan LED *indicator* sebagai status yang menunjukkan relay tersebut aktif atau tidak. Relay MY4N ini juga dilengkapi dengan sistem penguncian mekanik. Relay MY4N menggunakan tegangan 24 DC dengan 4 kontak NO dan 4 NC, *rated current* sebesar 37.7 mA, *coil resistance* sebesar 636 Ω , *power consumption* sebesar 0.9 W, dan arus maksimum di 5A pada 30VDC.

F. GX Developer

GX-Developer adalah sebuah perangkat lunak dengan bahasa pemrograman ladder diagram yang digunakan untuk menulis dan mengubah program untuk mengendalikan PLC. Terdapat simbol perintah pemrograman, seperti input (X) yang digunakan untuk membaca sinyal dari sensor atau perangkat lain, output (Y) untuk mengirim sinyal ke aktuator, timer (T) untuk menghitung waktu

dalam program, dan counter (C) untuk menghitung jumlah pulsa dalam program. Lalu terdapat perintah logika dasar AND, OR, SET, RESET, PULSE. Dengan adanya software GX Developer, sistem produksi dan pemrosesan di industri dapat dikontrol melalui software ini [25].

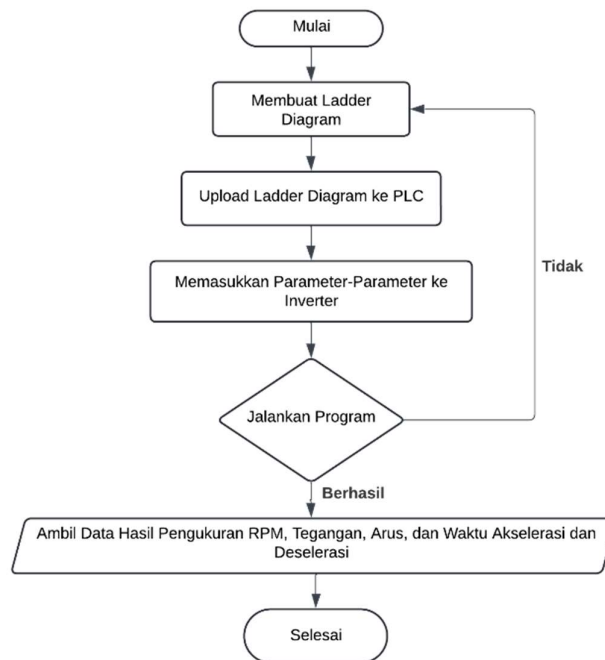


Gambar 2. Tampilan Awal GX-Developer

Penelitian yang dilakukan oleh Zulfikar (2019) mengenai penggunaan inverter 3G3MX2 yang digunakan untuk mengubah kecepatan putar motor induksi 3 fasa didapatkan hasil tegangan, arus, dan juga daya dari motor induksi 3 fasa dengan mengubah RPM berdasarkan frekuensi, semakin tinggi frekuensi yang diberikan, maka akan semakin cepat putaran motor yang dihasilkan. Pada penelitian ini akan ditambahkan data berupa arus dan waktu yang dibutuhkan ketika akselerasi dan deselerasi pada motor 3 fasa yang bertujuan untuk mengetahui kebutuhan torsi yang akan digunakan dalam pembuatan suatu produk serta dapat meningkatkan efisiensi, produk yang dihasilkan tentu akan menjadi presisi dan dapat menaikkan kualitas dari produk tersebut.

III. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan adalah studi literatur dan dengan pengambilan data yang dilakukan di laboratorium *repair* salah satu Industri di Jakarta.



Gambar 3. Flow Chart Alur Penelitian

Proses diawali dengan pembuatan ladder diagram menggunakan software GX-Developer, kemudian ladder diagram tersebut di *upload* ke PLC, setelah itu masukkan parameter ke inverter secara bertahap. Setelah ladder diagram di *upload* ke PLC dan memasukkan parameter ke inverter, langkah selanjutnya adalah menjalankan program yang telah dibuat pada ladder diagram, apabila program tersebut terdapat kesalahan atau tidak berhasil, maka perlu dilakukan pengecekan ulang di bagian ladder diagram, namun apabila program berhasil dijalankan, maka pengambilan data berupa RPM, tegangan, arus, dan waktu akselerasi dan deselerasi dapat dilakukan.

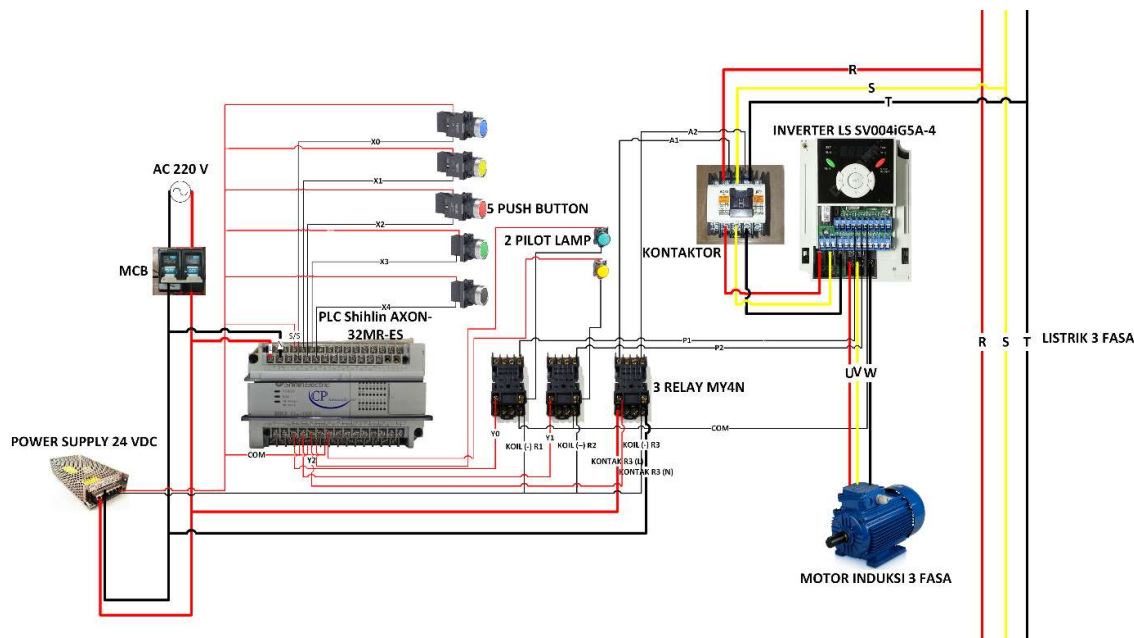
A. Setting Parameter pada Inverter LS SV004iG5A-4

Sebelum melakukan penelitian, diperlukan *setting* parameter yang terdapat pada inverter LS SV004iG5A-4. *Setting* parameter pada inverter LS SV004iG5A-4 bertujuan untuk mencocokkan karakteristik dari motor induksi, karena setiap motor induksi memiliki karakteristik yang berbeda. Adapun tujuan lainnya tentu untuk menghasilkan kinerja yang optimal, memaksimalkan efisiensi dari energi motor induksi, dan untuk melindungi motor dari lonjakan arus. Untuk waktu yang diatur pada inverter agar berakselerasi adalah 5 detik, berarti waktu yang dibutuhkan motor untuk mencapai perputaran yang telah ditentukan adalah 5 detik. Untuk waktu yang diatur pada inverter agar berdeselerasi adalah 10 detik, berarti waktu yang dibutuhkan motor untuk dapat berhenti dari yang semula kencang adalah 10 detik. Mode yang digunakan adalah untuk mengoperasikan terminal FX sebagai motor forward dan

RX sebagai motor reverse. Inverter digunakan untuk mengaktifkan inverter untuk menjalankan forward dan reverse sehingga diatur di F1. Untuk mencegah lonjakan arus, diatur di F54. Terakhir, untuk penyesuaian arus dapat diatur pada H33 dan diatur di 5.5 A sesuai pada spesifikasi motor.

B. Wiring Diagram Rangkaian Motor 3 Fasa dengan Inverter LS SV004iG5A-4

Pada desain yang terdapat pada Gambar 4 terlihat bahwa inverter difungsikan sebagai pengatur frekuensi untuk motor induksi, kecepatan dari motor induksi akan diatur oleh frekuensi dari inverter.



Gambar 4. Wiring rangkaian motor induksi tiga fasa dengan Inverter LS SV004iG5A-4

Rangkaian inverter yang akan digunakan untuk menggerakkan motor induksi memiliki wiring diagram seperti pada Gambar 6. Komponen yang digunakan adalah MCB, Power supply 24 VDC, PLC Shihlin AXON-32MR-ES, 3 Relay MY4N, 5 buah push button NO, Kontaktor, Inverter LS SV004iG5A-4, dan motor induksi 3 phase. Untuk tegangan yang digunakan adalah 220V dan 380V, tegangan 220V akan masuk melalui MCB dan akan tersalurkan ke PLC, Power supply, dan ke Relay 3 yang terhubung dengan koil kontaktor A1 dan A2. Kemudian output positif 24VDC dari Power supply akan tersalurkan ke semua tombol NO, S/S, dan ke COM (COM digunakan sebagai tegangan 24VDC untuk mengaktifkan output Y0-Y4 (Pada koil positif Relay dan LED) dan output negatif 24VDC akan masuk ke koil negatif relay. Tombol NO menggunakan input X0 hingga X4 pada PLC. Kemudian COM pada inverter masuk ke input COMMON pada Relay 1, 2, dan 3, kemudian output NO pada relay 1 masuk ke sinyal P1 dan output NO pada relay 2 masuk ke sinyal P2. Kemudian pada tegangan 380V akan masuk melalui input kontaktor dan outputnya akan masuk ke input power inverter, setelah itu output dari inverter akan masuk ke beban yaitu motor induksi 3 phase.

C. Ladder Diagram pada GX Developer

Untuk dapat mengaktifkan dan menonaktifkan sistem kontrol, tentunya diperlukan program yang digunakan untuk mengaktifkan dan menonaktifkan sistem kontrolnya, seperti untuk mengoperasikan push button NO, LED, relay, dan timer. Pada rangkaian yang telah dibuat, terdapat 6 buah push button NO, 6 buah relay, 2 buah LED yang nantinya akan dimasukkan ke dalam program PLC. Berikut ini adalah nama device yang digunakan dan pengimplementasiannya.

TABEL I
NAMA DEVICE YANG DIGUNAKAN DAN PENGIMPLEMENTASIANNYA

Nama Device pada PLC	Pengimplementasiannya
X0	Push button Forward Motor
X1	Push button Reverse Motor
X2	Push button Motor OFF
X3	Push button Ready ON Kontaktor
X4	Push button Ready OFF Kontaktor
X5	Push button Auto Multi-step
Y0	Motor Forward ON
Y1	Motor Reverse ON + Indikator LED

Y2	Kontaktor Ready ON
Y3	Indikator LED Motor Forward ON

Untuk mengaktifkan semua nama device di atas, diperlukan program yang akan digunakan sebagai sistem kontrolnya. Rung pada PLC adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan diagram tangga yang digunakan untuk merepresentasikan program yang akan dijalankan oleh PLC. Rung sendiri terdiri dari sejumlah kontak dan koil yang merepresentasikan input dan output yang terhubung ke PLC. Berikut ini adalah penjelasan mengenai rung yang digunakan

1) Rung Kontaktor

Pada rung ini terdapat push button X3 yang digunakan untuk menyalakan kontaktor, ketika push button X3 ditekan, relay Y2 akan menyala dan akan mengaktifkan kontaktor yang telah terhubung dengan tegangan 380V dan digunakan untuk menyalakan sistem kontrol Inverter dan motor induksi 3 phase. Terdapat syarat untuk sistem kontrol, kontaktor harus dalam kondisi nyala terlebih dahulu agar dapat mengoperasikan sistem kontrol. Lalu terdapat push button X4 yang digunakan untuk mematikan kontaktor yang berarti akan mematikan sistem kontrol juga.

2) Rung Forward

Rung forward terdapat push button X0 yang apabila ditekan, maka motor akan berputar maju (forward), pada rung ini terdapat syarat agar push button X0 dapat ditekan, yaitu dengan penambahan relay Y2 (sebagai kontaktor ready), jadi selama relay Y2 belum menyala, maka push button X0 tidak dapat ditekan, karena memang motor harus tersambung dulu dengan aliran listrik 380V, kemudian setelah itu dapat ditekan untuk push button X0. Y0 akan berfungsi sebagai saklar untuk menyalakan motor dengan kondisi forward, kemudian terdapat push button X2 yang apabila ditekan, maka akan mematikan motor dengan kondisi forward. Terdapat syarat kedua, apabila relay Y0 dalam kondisi ON (motor sedang dalam kondisi forward), maka push button X1 tidak dapat ditekan, untuk dapat menekan push button X1, maka harus mematikan dahulu fungsi dari motor forward dengan menggunakan push button X2, hal tersebut tentunya sebagai safety bagi motor induksi.

3) Rung Reverse

Pada rung reverse terdapat push button X1 yang apabila ditekan, maka akan menyalakan motor dengan kondisi reverse dan indikator LED, pada rung ini juga terdapat syarat agar push button X1 dapat ditekan, yaitu dengan penambahan relay Y2 (sebagai kontaktor ready), jadi selama relay Y2 belum menyala, maka push button X1 tidak dapat ditekan. Relay Y1 akan berfungsi sebagai saklar untuk menyalakan motor dengan kondisi reverse, kemudian terdapat push button X2 yang apabila ditekan, maka akan mematikan motor dengan kondisi reverse.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk membandingkan nilai tegangan, arus, dan RPM Aktual pada motor induksi tentunya harus melihat spesifikasi yang digunakan oleh motor induksi. Telah diketahui pada landasan teori mengenai spesifikasi motor yang digunakan yaitu RPM pada motor diketahui sebesar 1420 dengan frekuensi maksimal yang digunakan adalah 50 Hz. Dari kedua data tersebut dapat disimpulkan bahwa untuk setiap frekuensi 1 Hz didapatkan nilai 28.4 RPM. Oleh karena itu untuk pengecekan nilai aktualnya dibutuhkan 2 pengukuran, yaitu menggunakan display yang terdapat di display inverter dan menggunakan Tachometer. Berikut ini adalah data nilai tegangan, arus, dan RPM Aktual yang telah didapatkan.

TABEL II
DATA NILAI TEGANGAN, ARUS, DAN RPM AKTUAL

Frekuensi	Tegangan	Arus	RPM pada Inverter	RPM Aktual dengan Tachometer
	Tegangan Aktual Menggunakan Avometer	Arus Aktual Menggunakan Avometer		
10 Hz	66 V	1,56 A	300	297
15 Hz	86,7 V	1,43 A	450	447
20 Hz	110,4 V	1,56 A	600	597
25 Hz	133,3 V	1,53 A	750	746
30 Hz	155,6 V	1,5 A	900	896
35 Hz	177,9 V	1,36 A	1050	1046
40 Hz	199,6 V	1,67 A	1200	1196
45 Hz	221,1 V	1,36 A	1350	1346
50 Hz	243,4 V	1,36 A	1500	1496

Dari data perbandingan arus dan tegangan yang didapatkan, dapat disimpulkan bahwa frekuensi tinggi yang digunakan, akan menghasilkan tegangan yang semakin tinggi dan semakin rendah frekuensi yang digunakan akan menghasilkan tegangan yang rendah, seperti pada data di atas, ketika di frekuensi 10 Hz, tegangan outputnya sebesar 66V, namun ketika frekuensinya di angka 50 Hz, tegangan outputnya sebesar 243V. Sedangkan untuk arus, output yang dihasilkan tidak stabil, fenomena tersebut dapat terjadi karena beberapa faktor, seperti :

1. Kondisi beban yang terlalu berat dapat menyebabkan arus yang tidak stabil pada motor induksi 3 phase. Hal ini dapat terjadi karena beban yang terlalu berat dapat pada satu atau beberapa fase dapat menyebabkan arus yang tidak seimbang pada masing-masing fase. Ketika beban pada satu atau beberapa fase melebihi kapasitas maksimal yang dapat ditangani oleh motor, maka akan terjadi ketidakseimbangan antara arus pada setiap fase. Ketidakseimbangan arus ini dapat menyebabkan arus yang lebih besar pada salah satu fase dan arus yang lebih kecil pada fase lainnya sehingga pada grafik dapat terlihat bahwa arus di masing-masing frekuensi kadang memiliki nilai yang lebih besar ataupun sebaliknya.
2. Kerusakan pada bagian rotor atau stator juga dapat menyebabkan arus yang tidak stabil pada motor induksi. Kerusakan pada rotor dapat menyebabkan ketidakseimbangan beban antara masing-masing fase, sedangkan kerusakan pada stator dapat mempengaruhi impedansi pada masing-masing fase.
3. Kerusakan pada bearing motor induksi dapat menyebabkan ketidakstabilan arus, karena bearing di sini berfungsi untuk menyangga poros rotor dan memungkinkan rotor untuk berputar dengan bebas di dalam stator. Ketika terjadi kerusakan pada bearing, seperti aus atau keausan berlebihan, maka akan terjadi friksi yang lebih besar pada poros rotor. Hal ini dapat menyebabkan poros rotor tidak dapat berputar dengan bebas di dalam stator dan meningkatkan beban pada motor. Kondisi ini dapat menyebabkan terjadinya ketidakseimbangan arus pada setiap fase motor.

Kemudian pada grafik RPM pada motor induksi di atas disimpulkan bahwa semakin tinggi frekuensi yang diberikan, maka putaran RPM pada motor induksi juga akan semakin tinggi. Pada percobaan di atas tidak menggunakan frekuensi 5 Hz karena memang terlalu berat bagi motor induksi untuk menahan arus jika frekuensi yang digunakan terlalu kecil. Data yang didapat dari display di inverter terjadi perbedaan antara 3 – 4 RPM dari data dari tachometer. Perbedaan data yang terjadi pada display di inverter dengan yang menggunakan tachometer dapat disebabkan oleh beberapa hal, seperti tachometer yang digunakan bisa saja mengalami ketidakakuratan dalam pengukuran RPM atau bisa saja kertas reflector yang digunakan untuk pemantulan sinar infrared pada tachometer kurang baik dalam memberikan pantulan, kelebihan beban pada motor dapat menyebabkan RPM motor menurun, sehingga RPM yang diukur oleh tachometer tidak sesuai dengan kecepatan sebenarnya, dan kerusakan pada bagian motor seperti rotor, stator, atau juga bearingnya tentu dapat mempengaruhi RPM motor. Jika terdapat kerusakan pada bagian tersebut biasanya RPM motor dapat menurun atau bahkan motor tidak dapat berputar sama sekali.

Perhitungan RPM dapat menggunakan rumus dengan perhitungan rumus berdasarkan pembagian antara RPM yang tertera di spesifikasi pada motor dengan frekuensi maksimalnya yaitu 50 Hz. Diketahui dari spesifikasi motor bahwa jumlah kutubnya ada 4, sehingga dari rumus di atas didapat perhitungan sebagai berikut.

1. Frekuensi 10 Hz

$$n_s = \frac{120 \times f}{P} = \frac{120 \times 10}{4} = 300 \text{ Hz}$$

2. Frekuensi 15 Hz

$$n_s = \frac{120 \times f}{P} = \frac{120 \times 15}{4} = 450 \text{ Hz}$$

3. Frekuensi 20 Hz

$$n_s = \frac{120 \times f}{P} = \frac{120 \times 20}{4} = 600 \text{ Hz}$$

4. Frekuensi 25 Hz

$$n_s = \frac{120 \times f}{P} = \frac{120 \times 25}{4} = 750 \text{ Hz}$$

5. Frekuensi 30 Hz

$$n_s = \frac{120 \times f}{P} = \frac{120 \times 30}{4} = 900 \text{ Hz}$$

6. Frekuensi 35 Hz

$$n_s = \frac{120 \times f}{P} = \frac{120 \times 35}{4} = 1050 \text{ Hz}$$

7. Frekuensi 40 Hz

$$n_s = \frac{120 \times f}{P} = \frac{120 \times 40}{4} = 1200 \text{ Hz}$$

8. Frekuensi 45 Hz

$$n_s = \frac{120 \times f}{P} = \frac{120 \times 45}{4} = 1350 \text{ Hz}$$

9. Frekuensi 50 Hz

$$n_s = \frac{120 \times f}{P} = \frac{120 \times 50}{4} = 1500 \text{ Hz}$$

Dari analisis hasil perhitungan, disimpulkan bahwa perhitungan dengan rumus memiliki nilai yang sama dengan yang ada pada display di inverter, hal tersebut dapat terjadi karena inverter otomatis akan melakukan perhitungan, sehingga data yang tertera pada display inverter memiliki nilai yang sama dengan perhitungan rumus. Pada pengaplikasian di mesin CNC tentunya harus memikirkan pemilihan frekuensi yang tepat agar produk yang dihasilkan dapat memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan. Biasanya, pada proses pembubutan dengan permissalan gear ukuran kecil menggunakan frekuensi tinggi (misalnya 40 Hz) karena memang membutuhkan kecepatan RPM yang tinggi, namun apabila dengan gear ukuran besar menggunakan frekuensi rendah (misalnya 10 Hz) karena memang membutuhkan RPM yang rendah.

Akselerasi pada putaran motor induksi 3 phase merujuk pada kecepatan perubahan putaran pada motor induksi dari diam menuju kecepatan yang lebih tinggi. Akselerasi terjadi ketika tegangan dan frekuensi daya listrik yang diberikan ke motor berubah, sehingga medan magnetik di dalam motor berubah dan menyebabkan rotor motor berputar. Sedangkan deselerasi pada putaran motor induksi 3 phase merujuk pada kecepatan perubahan putaran pada motor induksi dari kecepatan tinggi menuju ke berhenti. Deselerasi terjadi ketika tegangan dan frekuensi daya listrik yang diberikan ke motor berubah, sehingga medan magnetik di dalam motor berubah dan menyebabkan rotor motor melambat atau berhenti. Untuk membandingkan waktu akselerasi dan deselerasi pada motor induksi dapat dilakukan dengan melihat pada display inverter diimbangi dengan mengukur waktu menggunakan stopwatch, jadi ketika putaran telah mencapai frekuensi yang telah ditentukan, maka akan didapatkan waktu akselerasi dan deselerasinya. Berikut ini adalah perbandingan waktu akselerasi dan waktu deselerasi yang didapatkan.

TABEL III
PERBANDINGAN WAKTU AKSELERASI DAN DESELERASI

Frekuensi	Waktu Akselerasi	Waktu Deselerasi
10 Hz	1.00 s	1.18 s
15 Hz	1.15 s	1.29 s
20 Hz	1.45 s	1.47 s
25 Hz	1.51 s	1.67 s
30 Hz	2.03 s	1.91 s
35 Hz	2.47 s	2.40 s
40 Hz	2.69 s	2.66 s
45 Hz	3.09 s	2.75 s
50 Hz	3.33 s	3.07 s

Pada data waktu akselerasi dan deselerasi di atas dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi frekuensi yang digunakan, maka akan semakin lama juga waktu akselerasi dan deselerasinya, namun sebaliknya, semakin rendah frekuensi yang digunakan, maka akan semakin cepat juga waktu akselerasi dan deselerasinya. Frekuensi yang diberikan ke motor induksi tentu akan berpengaruh pada waktu akselerasi dan deselerasi pada motor karena kecepatan putaran motor tergantung pada frekuensi yang diberikan. Ketika motor diberi sinyal dengan frekuensi yang lebih tinggi, maka kecepatan putaran motor akan meningkat dan tentunya juga akan semakin lama waktu yang dibutuhkan oleh motor induksi untuk mencapai akselerasinya. Selain itu, waktu akselerasi dan deselerasi pada motor juga dipengaruhi oleh beban yang diputar oleh motor. Semakin berat beban yang diputar, maka waktu akselerasi dan deselerasi pada motor akan semakin lama. Sehingga dalam pengaplikasiannya, kita harus memikirkan pemilihan frekuensi yang tepat agar waktu akselerasi dan deselerasi yang sesuai dengan beban yang diputar oleh motor induksi, karena jika salah dapat menyebabkan singkatnya umur pemakaian motor induksi.

TABEL IV
ARUS PUNCAK KETIKA AKSELERASI DAN DESELERASI

Frekuensi	Arus Akselerasi	Arus Deselerasi
10 Hz	1.56 A	1.36 A
50 Hz	1.7 A	1.46 A

Pada tabel 4 didapatkan data arus puncak ketika sedang melakukan akselerasi dan deselerasi. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa ketika frekuensi rendah (10 Hz), arus puncak ketika akselerasi lebih kecil yaitu 1,56 A dibandingkan ketika frekuensi tinggi (50 Hz) yaitu 1,7 A. Begitupun untuk waktu deselerasinya, ketika frekuensi rendah (10 Hz) juga memiliki nilai arus puncak yang lebih kecil yaitu 1,36 A dibandingkan dengan frekuensi tinggi (50 Hz) yaitu 1,46 A. Hal tersebut dapat terjadi karena pada frekuensi rendah, muatan listrik memiliki waktu yang lebih lama untuk mengalir melalui konduktor, sehingga menghasilkan arus yang lebih kecil. Sedangkan pada frekuensi tinggi, muatan listrik memiliki waktu yang lebih singkat untuk mengalir melalui konduktor, sehingga muatan dapat bergerak lebih cepat dan menghasilkan arus yang lebih besar. Jadi, semakin tinggi frekuensi, semakin banyak muatan listrik yang dapat mengalir melalui konduktor dalam waktu yang sama, sehingga menghasilkan arus yang lebih besar.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, penggunaan inverter untuk mengatur frekuensi sangat penting guna meningkatkan produk yang berkualitas. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian lain yang menunjukkan bahwa semakin tinggi frekuensi yang digunakan, maka akan semakin tinggi pula tegangan yang dihasilkan, namun sebaliknya, semakin rendah frekuensi yang digunakan, maka akan semakin rendah tegangan yang dihasilkan. Arus output yang dihasilkan tidak stabil. Dengan menggunakan frekuensi tinggi sebesar 50 Hz, maka waktu yang dibutuhkan untuk berakselerasi selama 3.33 s dan waktu deselerasinya selama 3.07 s, namun sebaliknya, apabila menggunakan frekuensi rendah di 10 Hz, maka waktu yang dibutuhkan untuk berakselerasi menjadi lebih cepat di 1 s dan waktu untuk deselerasinya di 1.18 s.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan dalam hasil penelitian ini.

REFERENSI

- [1] M. Z. Zainuddin, M. N. A. Baso, and Y. Luki, "Strategi Penerapan Segmentasi, Targeting, Positioning pada PT. Kumala Motor Sejahtera Abadi Kendari," *Sultra J. Econ. Bus.*, vol. 4, no. 2, pp. 86-97, 2023, doi: <https://doi.org/10.54297/sjeb.v4i2.511>.

- [2] A. A. Putra, M. Rifa'i, and H. K. Safitri, "Implementasi Sistem Kontrol Penggerak Motor Stepper pada Proses Molding Microplastic Berbasis PID menggunakan PLC dan Arduino," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 1, pp. 22–30, 2024, doi: <http://dx.doi.org/10.23960/jitet.v12i1.3601>.
- [3] M. Jufrizaldy, I. Ilyas, and M. Marzuki, "Rancang Bangun Mesin CNC Milling menggunakan System Kontrol Grbl Untuk Pembuatan Layout Pcb," *J. Mesin Sains Terap.*, vol. 4, no. 1, p. 37, 2020, doi: 10.30811/jmst.v4i1.1743.
- [4] E. Kurniawan, Syaifurrahman, and B. Jekky, "Rancang Bangun Mesin CNC Lathe Mini 2 Axis," vol. 4, no. 2, pp. 83–90, 2020, doi: <http://dx.doi.org/10.30588/jeemm.v4i2.769>.
- [5] Hamdani and A. Hasibuan, "Analisis Pengaruh Jatuh Tegangan Terhadap Kerja Motor Induksi Tiga Fasa Berbasis Matlab," *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro*, vol. 1, no. 2, pp. 70–76, 2019, doi: <https://doi.org/10.30596/rele.v1i2.3014>.
- [6] W. WISANTI, "Sistem Kontrol Kecepatan Motor 3 Fasa Dengan Smart Relay Zelio Dan Inverter Altivar," *J. INSTEK (Informatika Sains dan Teknol.*, vol. 7, no. 1, pp. 41–48, 2022, doi: 10.24252/instek.v7i1.27085.
- [7] Zulfikar, N. Evalina, A. Azis, and Y. T. Nugraha, "Analisis Perubahan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa dengan menggunakan Inverter 3G3MX2," vol. 2, no. 1, 2019, [Online]. Available: <https://jurnal.uisu.ac.id/index.php/semnastek/article/view/1308>
- [8] D. A. Prestanty and B. D. Cahyono, "Proses Pembangkit Listrik 15 Mw Pada Waste Heats Recovery System di PT. Cemindo Gemilang, Tbk.," *Jural Ris. Rumpun Ilmu Tek.*, vol. 1, no. 2, pp. 52–66, 2022, doi: 10.55606/jurritek.v1i2.398.
- [9] A. Nurhadi, M. J. Afroni, and B. D. Sulo, "Kontrol dan Monitoring Motor - Generator menggunakan PLC LS dan Inverter VF-S9," *Sci. Electro*, vol. 12, no. 1, pp. 10–17, 2019.
- [10] S. Duta Pratama and S. Afandi, "Modifikasi Sistem Kontrol Pada Motor 3 Fasa dengan Inverter," *J. Instrumentasi dan Teknol. Inform.*, vol. 5, no. 1, pp. 75–83, 2023, [Online]. Available: <https://jurnal.poltek-gt.ac.id/index.php/jiti/ProgramStudiD3TeknikElektronikaPoliteknikGajahTunggal>
- [11] A. T. Nugraha, R. Marjuki, D. I. Y. Agna, and F. Ivannuri, "Sistem Kontrol Tegangan pada Generator Induksi 3 Fasa dengan PLC Voltage," *Elektrise J. Sains dan Teknol. Elektro*, vol. 13, no. 01, pp. 21–33, 2023, doi: 10.47709/elektrise.v13i01.2347.
- [12] R. A. Rangkuti, Atmam, and E. Zondra, "Studi Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Variable Speed Drive (VSD) Berbasis Programmable Logic Controller (PLC)," *J. Tek.*, vol. 14, no. 1, pp. 121–128, 2020, doi: 10.31849/teknik.v14i1.2295.
- [13] J. Siburian, Jumari, and A. Simangunsong, "Studi Sistem Star Motor Induksi 3 Fasa dengan Metode Star Delta pada PT.Toba Pulp Lestari Tbk.," *J. Teknol. ENERGI UDA J. Tek. ELEKTRO*, vol. 9, no. 2, pp. 81–87, 2020, [Online]. Available: <https://ejournal.darmaagung.ac.id/index.php/teknologienergi/article/view/964>
- [14] I. Nugrahanto, G. P. Riatma, and A. D. Risdhayanti, "Perancangan Variable Frequency Drive (Vfd) Satu Fasa dengan menggunakan Metode Sinusoida Pulse Width Modulation Berbasis Mikrokontroler," *E-Link J. Tek. Elektro dan Inform.*, vol. 17, no. 2, pp. 32–34, 2022, doi: 10.30587/e-link.v17i2.4497.
- [15] Zulfikar, N. Evalina, and A. A., "Penggunaan Inverter 3G3MX2 Untuk Merubah Kecepatan Putar Motor Induksi 3 Fasa," *J. Electr. Technol.*, vol. 4, no. 2, pp. 93–96, 2019, [Online]. Available: <https://jurnal.uisu.ac.id/index.php/jet/article/view/1622>
- [16] A. T. Nguyen, S. W. Ryu, A. U. Rehman, H. H. Choi, and J. W. Jung, "Improved Continuous Control Set Model Predictive Control for Three-Phase CVCF Inverters: Fuzzy Logic Approach," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 75158–75168, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3081718.
- [17] Rimbawati, Cholish, E. Saputro, and P. Harahap, "Perancangan Sistem Kontrol Penstabil Tegangan Menggunakan PLC M221 Pada PLTMH Bintang Asih," *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro*, vol. 3, no. 2, 2021, doi: <https://doi.org/10.30596/rele.v3i2.6482>.
- [18] M. P. . Kawulur, M. Tumembow, and A. Polii, "Pembuatan Program Alat Penekan Briket dari Campuran Arang Tempurung dengan Limbah Kertas Menggunakan Programmable Logic Controller Nano V-5," *J. Mas. Nipake*, vol. 2, no. 2, pp. 44–55, 2022, [Online]. Available: <https://p3m.polimdo.ac.id/jurnal/index.php/MASINA-NIPAKE/article/view/88>
- [19] F. E. Ahmad and E. Fitriani, "Penggunaan Sistem Outseal PLC Pada Pemilah Otomatis Dan Penghitung Otomatis," *Bina Darma Conf. Eng. Sci.*, vol. 2, no. 2, pp. 27–39, 2020, [Online]. Available: <http://conference.binadarma.ac.id/index.php/BDCES>
- [20] Soleh Uddin, D. Alia, and D. D. Suharso, "Monitoring and Control of a Variable Frequency Drive Using Plc and Scada," *J. 7 Samudra*, vol. 8, no. 2, pp. 19–24, 2023, doi: 10.54992/7samudra.v8i2.119.
- [21] M. D. D. Rezaputra and M. R. A. Cahyono, "Perancangan Sistem Kontrol Otomatis Press Roll Berbasis PLC Mitsubishi Type-Q Pada Building Tire Machine," *Indones. J. Eng. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 92–101, 2021.
- [22] A. Supardi, U. Umar, I. Setiyoko, and M. Saifurrohman, "Rancang Bangun Sistem Kendali Dan Monitoring Kecepatan Motor Induksi Berbasis Programmable Logic Controller (PLC) Dilengkapi Layar Sentuh," *Emit. J. Tek. Elektro*, vol. 22, no. 1, pp. 65–72, 2022, doi: 10.23917/emit.v22i1.15784.
- [23] A. Setiawandira and Habibullah, "Sistem Pengontrolan Automatic Botol Minuman pada Mesin SMI Berbasis PLC Siemens S7-1200," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 4, no. 2, pp. 940–948, 2023, doi: <https://doi.org/10.24036/jtein.v4i2.522>.
- [24] B. W. Ermanda and U. Latifa, "Kendali Relay Otomatis dilengkapi Timer dan Deteksi Suhu menggunakan RTC DS3231," *Aisyah J. Informatics Electr. Eng.*, vol. 5, no. 2, pp. 120–126, 2023, doi: <https://doi.org/10.30604/jti.v5i2.139>.
- [25] B. Ismoyo, M. A. G. Irawan, and M. D. D. Rezaputra, "Modifikasi Press Tread Pada Mesin BMC 02.03 Assembly Green Tire Plant B," *J. Instrumentasi dan Teknol. Informastika*, vol. 3, no. 1, pp. 39–54, 2021, [Online]. Available: <https://jurnal.poltek-gt.ac.id/index.php/jiti/article/view/22>