

Modul Pembelajaran Karakteristik Arus Asut Motor Induksi Rotor Sangkar 3 Fasa Dengan Model Pengasutan Langsung (Dol) Dan Star-Delta

Irman*¹, Latifah ², Hadi Sugiarto ³

^{1,2,3} Jurusan Elektro, Politeknik Negeri Pontianak, Pontianak

e-mail: *irmanpolnep@gmail.com, ²latifahpolnep1@gmail.com

Abstrak

Salah satu jenis motor induksi 3 fasa adalah motor induksi rotor sangkar. Motor ini banyak digunakan di industri karena konstruksinya sederhana dan harganya dan perawatannya relative murah. Namun dalam pemakaiannya terdapat permasalahan awal yaitu lonjakan arus asut yang besar pada saat start. Arus asut motor yang besar adalah akan menyebabkan kedip tegangan (Voltage Sags). Gangguan ini dapat merusak perangkat digital ataupun elektronik yang mengendalikan motor tersebut.

Dalam pembelajaran mata kuliah motor listrik, karakteristik pengasutan motor seperti diatas hanya disampaikan secara teoritis. Untuk itu penelitian ini yaitu dengan modul pembelajaran dimaksudkan agar mahasiswa dapat melihat dan menguji langsung besarnya arus asut motor, serta diharapkan mahasiswa dapat terbantu dalam memahami tentang arus asut motor 3 phasa. Dari hasil kuisioner yang diberikan pada 49 orang mahasiswa (2 kelas) yang telah ikut serta menggunakan modul pembelajaran tersebut sebagai responden, didapat bahwa untuk pertanyaan 1, 47 orang (95,92%) menyatakan bahwa modul pembelajaran ini sangat diperlukan, 2 orang (4,08%) menyatakan cukup diperlukan. Untuk pertanyaan kedua, 43 orang (87,76 %) menyatakan bahwa modul pembelajaran sangat membantu dan memudahkan mahasiswa dalam memahami apa itu Pengasutan Bintang-Segitiga, dan mengapa harus dilakukan pengasutan Bintang-Segitiga terhadap motor induksi rotor sangkar tiga fasa; 6 orang (12,24 %) menyatakan cukup membantu, dan tidak ada (0%) yang menyatakan kurang membantu dan tidak membantu. Sedangkan untuk pertanyaan ketiga, seluruh responden (100%) menyatakan bahwa job-sheet dari modul ini sangat mudah diikuti untuk pelaksanaan praktikum.

Kata kunci : Arus Asut, Bintang-Segitiga, Direct on Line, Kedip Tegangan.

Abstract

One type of 3-phase induction motor is a cage rotor induction motor. This motor is widely used in industry because of its simple construction and relatively cheap price and maintenance. But in its use there is an initial problem, namely a large surge in starting current at the time of starting. The large starting current of the motor will cause voltage sags. This disturbance can damage digital or electronic devices that control the motor.

In learning electric motor courses, the characteristics of motor starting as above are only conveyed theoretically. For this reason, this research, namely with a learning module, is intended so that students can see and test directly the amount of motor starting current, and it is hoped that students can be helped in understanding the 3-phase motor starting current. From the results of the questionnaire given to 49 students (2 classes) who had participated in using the learning module as respondents, it was found that for question 1, 47 people (95.92%) stated that this learning module was very necessary, 2 people (4.08%) stated that it was quite necessary. For the second question, 43 people (87.76%) stated that the learning module was very helpful and made

it easier for students to understand what a Star-Triangle Assignment is, and why a Star-Triangle Assignment should be done to a three-phase cage rotor induction motor; 6 people (12.24%) stated that it was quite helpful, and no one (0%) stated that it was less helpful and not helpful. As for the third question, all respondents (100%) stated that the job-sheet of this module is very easy to follow for practicum implementation.

Keywords: Starting Current, Star-Triangle, Direct on Line, Voltage Flicker.

1. PENDAHULUAN

Salah satu jenis motor induksi 3 fasa adalah motor induksi rotor sangkar. Motor ini banyak digunakan di industri karena konstruksinya sederhana dan harganya dan perawatannya relative murah. Namun dalam pemakaiannya terdapat permasalahan awal yaitu lonjakan arus asut yang besar pada saat start.

Karakteristik motor induksi telah distandarisasi oleh NEMA (National Electrical Manufacturers Association) berdasarkan karakteristik torsinya, dan di klasifikasikan kedalam kelas A, B, C dan D. (Heri Haryanto.2014).

Arus asut paling tinggi yang dihasilkan oleh motor induksi 3 fasa 1,5 kW adalah pada saat motor diasut dengan rangkaian segitiga yaitu sebesar 3,9 A. Hal ini dikarenakan saat rangkaian delta motor mengalami kenaikan arus saat berada di arus nominalnya yakni 2,3 A. (Dwi.K dan Supardi, 2022)

Pengukuran arus asut motor induksi 3 fasa dengan kapasitas 1HP dengan metode pengasutan langsung (Direct on Line) hubungan segitiga lebih besar nilai arusnya sebesar 21% dari menggunakan metode pengasutan Bintang-Segitiga, dan besar nilai tegangan drop lebih besar menggunakan metode pengasutan langsung hubungan segitiga sebesar 0,6% dari penggunaan metode bintang-segitiga (Johnson.S, 2023).

Menurut M. Kuraish Shihab (2018) Arus asut dari motor induksi 3 fasa saat tanpa beban maupun berbeban hampir sama yaitu 8,94788 A atau sekitar 7 (tujuh) kali arus nominalnya (1,3 A) pada saat tanpa beban.

Menurut Yandri (2011) motor berkapasitas besar akan memiliki arus asut yang lebih besar dibandingkan motor berkapasitas kecil. Sistem pengasutan untuk motor 7,5HP dapat berupa pengasutan langsung, namun lebih baik jika digunakan pengasutan bintang-Segitiga.

Menurut Nur Cahaya Edi Wibowo (2014) pemilihan mode starting sangatlah penting, hal ini untuk mencegah kerusakan motor karena lonjakan arus starting yang begitu besar dan mengakibatkan penurunan tegangan sesaat (voltage dip) pada jaringan instalasi listrik. Pada pengasutan langsung DOL (direct on line) memberikan nilai arus starting yang paling tinggi yaitu mencapai 5,8 kali arus nominal motor.

Dalam merencanakan suatu instalasi ataupun sistem kendali untuk motor induksi rotor sangkar 3 fasa, salah satu karakteristik motor yang harus diperhitungkan adalah besarnya arus asut motor. Menurut Yandri (2011) biasanya sebuah motor induksi 3 fasa dapat menarik arus sekitar 5 – 7 kali dari arus nominalnya selama pengasutan, hal ini dapat mengganggu jaringan dan dapat merusak motor itu sendiri.

Salah satu gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik akibat arus asut motor yang besar adalah akan menyebabkan kedip tegangan (Voltage Sags). Gangguan ini merupakan gangguan transien pada sistem tenaga listrik yaitu adanya kenaikan atau penurunan tegangan sesaat (selama beberapa detik) pada jaringan sistem (Tawarno, 2018). Gangguan ini dapat merusak perangkat digital ataupun elektronik yang mengendalikan motor tersebut.

Menurut Johnson (2020) Pengopersian sebuah motor listrik meliputi start, running dan stop. Keberhasilan pengoperasian sebuah motor induksi 3 fasa tidak hanya starting performance.

Berdasarkan uraian diatas, arus asut motor adalah salah satu karakteristik yang harus diperhatikan dalam perancangan instalasi dan sistem kendali untuk motor induksi 3 fasa. Oleh karena itu untuk

mendukung dan mempermudah mahasiswa dalam memahami secara spesifik tentang arus asut pada motor induksi, maka diperlukan adanya sebuah model pembelajaran berupa modul praktik karakteristik arus asut motor induksi 3 fasa.

2. METODE

Penelitian ini dimaksudkan untuk pengembangan modul pembelajaran tentang karakteristik motor induksi rotor sangkar 3 fasa khususnya karakteristik arus asut motor. Untuk itu metode yang diterapkan dalam penelitian ini adalah : pembuatan modul, pengujian modul, evaluasi efektivitas modul dalam pembelajaran.

Motor Induksi

Motor listrik memiliki fungsi merubah energi listrik menjadi energi mekanik berupa energi putar. Motor induksi terdiri dari dua komponen utama yaitu rotor yang merupakan bagian berputar dan stator yang merupakan bagian diam. Rotor adalah bagian yang berputar dan berbentuk silinder dan terpasang pada poros motor. Rotor dapat berupa jenis rotor sangkar tupai (squirrel cage) atau rotor belitan (wound rotor). Rotor jenis sangkar tupai lebih banyak digunakan karena konstruksinya lebih sederhana dan lebih tahan lama. Stator adalah bagian yang diam dan mengelilingi rotor. Stator terdiri dari rangka besi yang memiliki slot-slot untuk menempatkan kumparan.

Diantara stator dan rotor terdapat celah udara yang sangat kecil, biasanya hanya beberapa milli-meter. Celah udara ini sangat penting karena mempengaruhi motor dan karakteristik torsinya.

Pada motor induksi, rotor tidak mendapatkan energi listrik secara langsung, melainkan secara induksi.



Gambar 1. Konstruksi Motor Induksi

Motor Induksi 3 Fasa

Motor induksi merupakan motor arus bolak-balik (AC) yang paling luas digunakan khususnya di kalangan industri, karena desainnya yang sederhana, harganya murah, kemudahan akses dan kemampuannya untuk langsung terhubung ke sumber daya AC (Yang.J & Zhang.L, 2022).

Penamaannya berasal dari kenyataan bahwa arus rotor motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar stator (Zuhal 1991).

Ketika stator dihubungkan dengan sumber tegangan A tiga fasa, arus tiga fasa akan mengalir melalui kumparan stator. Setiap kumparan fasa terdistribusi dan tersusun sedemikian rupa untuk menghasilkan distribusi fluks magnet yang sinusoidal. Arus tiga fasa yang mengalir pada kumparan stator ini akan menghasilkan fluks bolak-balik pada masing-masing kumparan. Interaksi fluks dari setiap fasa akan menciptakan medan putar. Medan putar ini bergerak dengan kecepatan sinkron yang ditentukan oleh frekuensi sumber dan jumlah kutub motor. Kecepatan medan putar ini akan menginduksikan arus pada rotor melalui induksi elektromagnetik. Arus yang terinduksi pada rotor akan berinteraksi dengan medan magnet stator sehingga menghasilkan gaya elektromagnetik yang menyebabkan rotor berputar.

Putaran rotor selalu lebih lambat dari medan putar stator, perbedaan kecepatan putar ini disebut slip. Slip inilah yang akan menghasilkan torsi.

Konstruksi motor induksi 3 fasa terdiri dari dua bagian, yaitu: bagian stator dan bagian rotor. Stator adalah bagian motor yang diam terdiri: badan motor, inti stator, belitan stator, *bearing*, dan terminal hubung. Bagian rotor adalah bagian motor yang berputar, terdiri atas rotor sangkar, dan poros rotor. Konstruksi motor induksi tidak ada bagian rotor yang bersentuhan dengan bagian stator, karena dalam motor induksi tidak ada komutator dan sikat arang.

Kecepatan motor induksi dipengaruhi oleh banyaknya kutub pada statornya dan frekuensi sumber tegangan yang dirumuskan dalam persamaan berikut :

$$n_s = 120 f / P$$

keterangan :

n_s = Kecepatan medan putar stator

f = Frekuensi Jala-Jala

P = Jumlah Kutub

Starting Motor Induksi 3 Fasa

Saat motor induksi di *start* secara langsung, arus awal motor besarnya antara 500% s/d 700% dari arus nominal. Ini akan menyebabkan rugi tegangan yang besar pada pasokan tegangan listrik. Untuk motor daya kecil sampai 5 kW, arus *starting* tidak berpengaruh besar terhadap rugi tegangan. Pada motor dengan daya diatas 30 kW sampai dengan 100 kW akan menyebabkan rugi tegangan yang besar dan menurunkan kualitas listrik dan pengaruhnya pada penerangan yang berkedip (*flicker*). (Aditya Bakti: 2010)

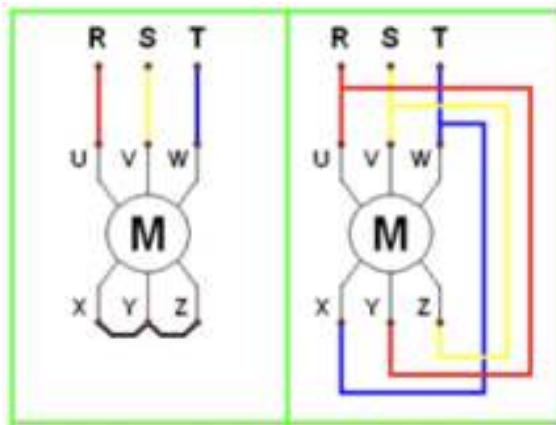
Starting motor induksi adalah cara menjalankan pertama kali motor, tujuannya agar arus *starting kecil* dan rugi tegangan masih dalam batas toleransi. Ada beberapa cara teknik pengasutan, di antaranya:

1. DOL (*Direct On Line*)
2. Y/D (*Start-Delta*)

Jenis *Starting* Motor Induksi

1. *Starting Direct On Line* (DOL)

Direct On Line starter merupakan *starting* langsung. motor yang akan dijalankan langsung di *switch On* ke sumber tegangan jala-jala sesuai dengan besar tegangan nominal motor. Artinya tidak perlu mengatur atau menurunkan tegangan pada saat *starting*. Besar arus *starting* berkisar antara 5-7 kali arus nominal.



Gambar 2. Motor hunga Bintang dan Delta Untuk Starting Langsung

2. Star-Delta Starter

Jenis *starter* ini mengurangi lonjakan arus dan torsi pada saat *start*. Tersusun atas 3 buah *contactor* yaitu *Main Contactor*, *Star Contactor* dan *Delta Contactor*, *Timer* untuk pengalihan dari *Star* ke *Delta* serta sebuah *overload relay*. Pada saat *start*, *starter* terhubung secara *Star*. Gulungan stator hanya menerima tegangan sekitar 0,578 (seper akar tiga) dari tegangan *line*. . Jadi arus dan torsi yang dihasilkan akan lebih kecil dari pada *DOL Starter* (Schneider, 2006).

Pembuatan Modul

Modul pembelajaran yang dibuat pada penelitian ini adalah pengembangan dari modul pembelajaran sistem kendali elektromekanik, yaitu melengkapi modul tersebut dengan alat ukur: Ampere-meter, Volt-meter, dan Cosφ-meter serta motor Induksi 3 fasa (380-660V).



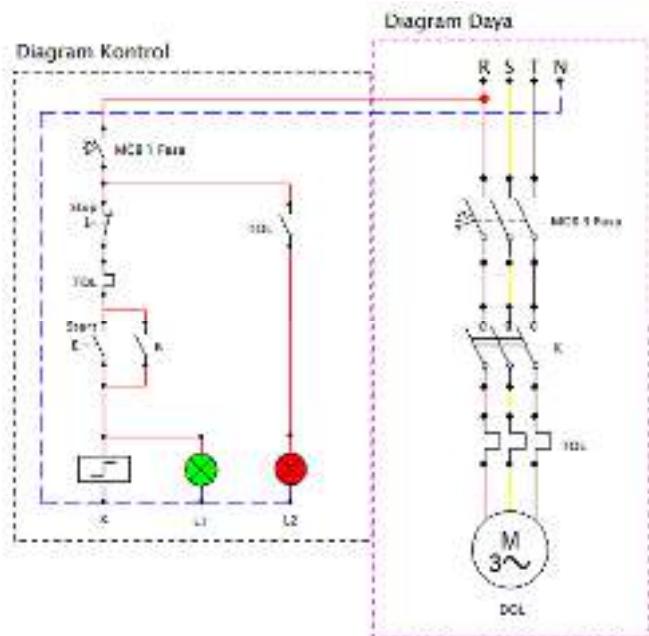
Gambar 3. Modul Pembelajaran

Pengujian Modul

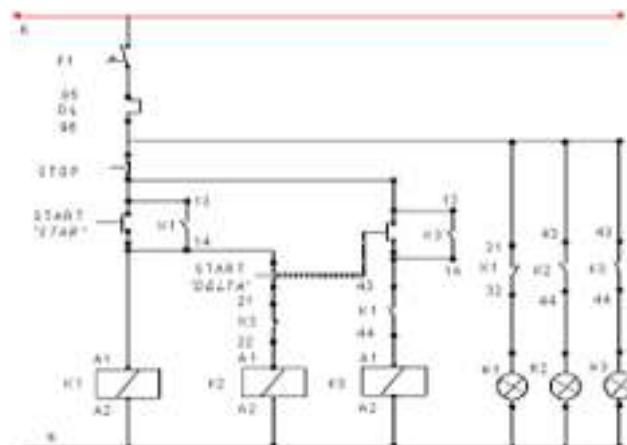
Pengujian modul akan dilakukan terhadap mahasiswa semester IV untuk melihat efektivitas modul pembelajaran melalui : Praktikum dan membuat kuisioner tentang efektivitas modul terhadap tingkat pemahaman mahasiswa dalam proses pembelajaran dengan adanya modul tersebut.

Praktikum yang dilakukan meliputi pengukuran arus asut, tegangan dan faktor daya untuk metode-metode pengasutan :

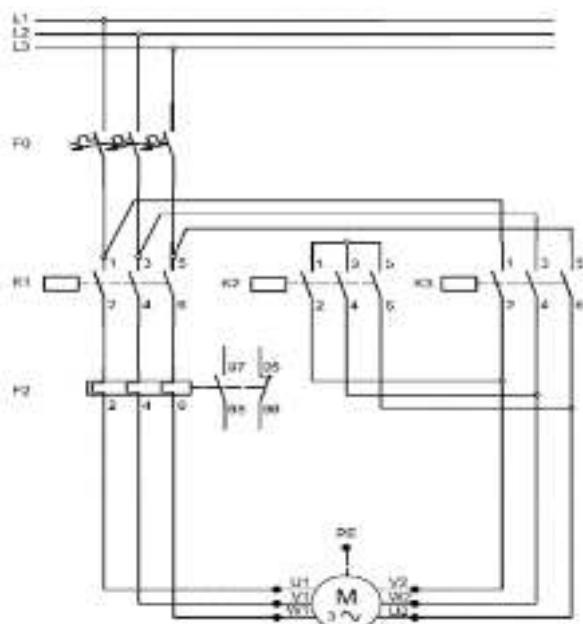
- Metode pengasutan langsung DOL dengan motor dihubung Bintang
- Metode pengasutan langsung DOL dengan motor dihubung Segitiga
- Metode pengasutan Bintang-Segitiga.



Gambar 4. Metode pengasutan langsung DOL



Gambar 5. Rangkaian Kontrol Pengasutan Bintang-Segitiga



Gambar 6. Rangkaian Daya Pengasutan Bintang-Segitiga



Gambar 7. Pengujian Modul

Evaluasi efektivitas Modul

Untuk melihat manfaat modul terhadap efektivitas pembelajaran dilakukan dengan memberikan beberapa pertanyaan kepada mahasiswa dalam bentuk kuisioner. Dari hasil kuisioner yang diberikan pada 49 orang mahasiswa (2 kelas) yang telah ikut serta menggunakan modul pembelajaran tersebut.

Tahapan Penelitian

Secara umum tahapan-tahapan yang dilakukan dalam pelaksanaan penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir berikut :



Gambar 8. Diagram alir Tahapan Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Yang Dicapai

3.1 Hasil Pengujian Rangkaian Pengasutan

Arus pada motor induksi 3 fasa hubungan bintang lebih kecil dari pada arus saat dihubung segitiga (delta), terutama saat motor pertama kali dinyalakan. Dengan kata lain arus asut motor hubung bintang lebih kecil dari arus asut hubung delta. Oleh karena itu salah satu metode pengasutan motor induksi 3 fasa untuk mengatasi arus asut motor yang ukup besar adalah dengan pengasutan bintang-segitiga. Adapun sistem kerja dari pengasutan Bintang-Segitiga adalah pada saat motor dinyalakan, kumparan motor dihubungkan dalam hubungan bintang untuk membatasi arus asut menjadi sepertiga dari hubungan delta. Setelah motor mencapai putaran yang memadai, rangkaian bintang dilepas, dan motor diubah ke konfigurasi delta. Konfigurasi delta memungkinkan motor beroperasi dengan efisiensi yang lebih tinggi

3.2 Hasil Kuisioner

Hasil kuisioner yang diberikan pada 49 orang mahasiswa (2 kelas) yang telah ikut serta menggunakan modul pembelajaran tersebut didapat data sebagai berikut :

Tabel 1. Hasil Kuisioner Pengujian Modul

No.	Pertanyaan	Jawaban			
		Sangat	Cukup	Kurang	Tidak
1.	Apakah modul pembelajaran ini diperlukan dalam mendukung penyampaian materi pembelajaran	47 orang (95,92%)	2 orang (4,08%)	-	-

pada mata kuliah Mesin-Mesin Listrik Arus Bolak-Balik ?		43 orang	6 orang	-	-
2.	Apakah modul pembelajaran ini membantu saudara dalam memahami karakteristik motor induksi 3 fasa, khususnya dalam pengasutan BIntang-Segitiga ?	(87,76%)	(12,24%)		
3.	Apakah Job-sheet modul ini untuk pelaksanaan praktikum mudah untuk dikuti dan dilaksanakan ?	49 orang	-	-	-



Gambar 9. Efektivitas Modul Terhadap Proses Pembelajaran

Pembahasan

Dari hasil kuisioner yang diberikan pada 49 orang mahasiswa (2 kelas) yang telah ikut serta menggunakan modul pembelajaran tersebut sebagai responden, didapat bahwa untuk pertanyaan 1, 47 orang (95,92%) menyatakan bahwa modul pembelajaran ini sangat diperlukan, 2 orang (4,08%). Untuk pertanyaan kedua, menyatakan cukup diperlukan. 43 orang (87,76 %) menyatakan bahwa modul pembelajaran sangat membantu dan memudahkan mahasiswa dalam memahami apa itu Pengasutan Bintang-Segitiga, dan mengapa harus dilakukan pengasutan Bintang-Segitiga terhadap motor induksi rotor sangkar tiga fasa. 6 orang (12,24 %) menyatakan cukup membantu, dan tidak ada (0%) yang menyatakan kurang membantu dan tidak membantu. Sedangkan untuk pertanyaan ketiga, seluruh responden (100%) menyatakan bahwa job-sheet dari modul ini sangat mudah diikuti untuk pelaksanaan praktikum. Dengan demikian modul pembelajaran ini cukup efektif sebagai pendukung proses pembelajaran mata kuliah motor listrik 3 fasa khusus dalam mengetahui karakteristik arus asut motor.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil dari pengujian modul pembelajaran terhadap 49 orang mahasiswa sebagai responden, dapat disimpulkan bahwa :

1. Rangkaian pengasutan Bintang Segitiga dirancang untuk mengatasi arus asut yang tinggi saat pertama kali dinyalakan.
2. Modul pembelajaran ini sangat diperlukan dalam mendukung penyampaian materi pembelajaran pada mata kuliah Mesin Listrik Arus Bolak-Balik (59,92 %)
3. Modul pembelajaran ini sangat membantu dalam memahami karakteristik motor induksi 3 fasa, khususnya dalam pengasutan Bintang-Segitiga (87,76 %).
4. Job-sheet modul pembelajaran ini mudah untuk dikuti dan dilaksanakan dalam kegiatan praktikum (100%)
5. Modul pembelajaran ini cukup efektif sebagai penunjang mahasiswa dalam pembelajaran mata kuliah motor listrik khususnya tentang materi karakteristik arus asut motor.

Adapun saran yang dapat diberikan yaitu Modul pembelajaran ini secara jumlah belum sebanding dengan jumlah mahasiswa, sehingga efektivitas pembelajaran belum optimal untuk jumlah keseluruhan mahasiswa. Untuk itu modul pembelajaran ini dapat dikembangkan dan ditingkatkan jumlahnya untuk mendukung peningkatan proses pembelajaran di Jurusan Teknik Elektro, dan khususnya Program Studi Teknik Listrik..

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dwi Kurniawan & Supardi, 2014, Perbandingan Torsi Start dan Arus Start Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Sakelar Star-Delta dan Autotransformator, Jurusan Teknik Elektro Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya
- [2] Dwipayana, 2016, Analisis Kedip Tegangan Akibat Gangguan Hubung Singkat Pada Penylang Abang di Karangasem, Jurnal SPEKTRUM, Vol.3, No.2
- [3] Heri Haryanto, 2014, Analisis Karakteristik Motor Induksi Tiga Fasa XYZ Standar NEMA, Jurnal Setrum, Vol.3 No.1, h.35
- [4] M. Kuraish Shihab, 2018, Analisis Arus Starting dan Torsi Pada Motor Induksi Tiga Fasa Terhadap Pemasangan Kapasitor Secara Real Time Berbasis ATMEGA 2560, Jurnal Dielektrika, Vol.5 No.2 h 99-107
- [5] Nur Cahyo Edy Wibowo, 2014, Analisa Starting Motor Induksi 3 Fasa Dengan Menggunakan Program di PT.Madubaru Yogyakarta, Jurnal Elektrikal, Vol.1 No.1 h 91-100
- [6] Tawarno & Musyahar.G, 2018, Mereduksi Kedip Tegangan Akibat Pengasutan Motor Induksi, Jurnal Cahaya Bagaskara, Vol.3 No.1
- [7] Yandri, 2011, Penentuan Parameter dan Arus Asut Motor Induksi Tiga Fasa, Jurnal ELKHA Vol.3 No.2 h.43
- [8] Yang.J & Zhang.L, 2022, Recent Advances in Variable Speed Drive Technologies For Industrial Applications. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 69(5), 3716-3726
- [9] Zuhal, 1995, Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya, Gramedia, Edisi ke-5 h.101