

Implementasi Sistem Monitoring Penggunaan Energi pada Pengasutan Motor Induksi 3 Fasa Berbasis HMI-PowerTag

Toto Tohir, Endang Habinuddin, Sofyan Muhammad Ilman[#],
Febi Ariefka Septian Putra

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung
Jl. Gegerkalong Hilir, Bandung Barat, Indonesia
[#]sofyan.muhammad@polban.ac.id

Abstrak

Teknologi pada saat ini telah berkembang sangat pesat, hal tersebut terbukti dengan adanya sistem pemantauan jarak jauh menggunakan kabel maupun nirkabel untuk menjamin sistem yang dapat bekerja dengan optimal. Salah satunya adalah pemantauan pada sistem pengendalian motor induksi untuk berbagai aplikasi kebutuhan di industri maupun komersial. Dengan demikian maka parameter-parameter kelistrikan yang ada pada sistem kendali maupun motor penggerak dapat terpantau dengan akurat secara *real-time*. Untuk memenuhi kebutuhan monitoring tersebut maka akan dirancang dan diimplementasikan monitoring penggunaan energi dengan menggunakan HMI- PowerTag. PowerTag sebagai pengolahan data pengukuran pada motor induksi tiga fasa dari sensor. Tujuan penelitian ini adalah merancang alat yang dapat membaca informasi energi, arus, tegangan, daya, faktor daya secara *real time* dan hasil pembacaan dapat termonitoring pada aplikasi HMI *ecostructure commision*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semua parameter kelistrikan pada motor induksi tiga fasa dapat termonitoring dengan menampilkan nilai secara *realtime* dengan HMI. Selain menggunakan powerTag sebagai pengolahan data energi dan HMI sebagai fasilitas pemantauan parameter kelistrikan, *power quality analyzer* dapat mencuplik grafik pada pengukuran tegangan, arus, dan faktor daya dalam skema motor tanpa beban dan berbeban.

Kata kunci: PowerTag, HMI, motor induksi

Abstract

Technology at this time has developed very rapidly, this is evidenced by the existence of a remote monitoring system using wired or wireless to ensure that the system can work optimally. One of them is monitoring the induction motor control system for various industrial and commercial applications. Thus, the electrical parameters in the control system and the driving motor can be monitored accurately in real-time. To meet these monitoring needs, monitoring of energy use will be designed and implemented using HMI-PowerTag. PowerTag as measurement data processing on three-phase induction motors from sensors. The purpose of this research is to design a tool that can read information on energy, current, voltage, power, power factor in real time and the results of the readings can be monitored on the HMI ecostructure commission application. The test results show that all electrical parameters on a three-phase induction motor can be monitored by displaying values in real time with the HMI. In addition to using powerTag as energy data processing and HMI as a facility for monitoring electrical parameters, a power quality analyzer can sample graphs on measurements of voltage, current and power factor in no-load and loaded motor schemes.

Keywords: PowerTags, HMI, induction motors

I. PENDAHULUAN

Menurut data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) penggunaan energi listrik per tahun selalu mengalami peningkatan. Penggunaan energi digunakan di berbagai sektor

industri, rumah tangga, komersil, transportasi dan sektor lainnya. Di akhir tahun 2010 penggunaan untuk energi listrik mencapai 90.35 milyar BOE (*barrel of oil equivalents*) [1]. Berdasarkan data tersebut, dalam mewujudkan optimasi penggunaan energi yang lebih baik diperlukan sebuah sistem

yang dapat mengetahui perilaku konsumsi energi di berbagai sektor tersebut. Maka dari itu sistem monitoring energi (EMS) menjadi sebuah solusi untuk melakukan pemantauan real-time penggunaan energi di setiap beban pada sektor tersebut [2]-[3]. Energy Monitoring System (EMS) merupakan sebuah teknologi penunjang untuk memantau konsumsi energi listrik. Sistem ini dibuat untuk mempermudah pemantauan dan pencatatan yang selama ini dilakukan secara manual. Sistem ini menggunakan sebuah sensor energi listrik yang di pasang pada setiap kontrol panel dan terhubung pada perangkat beban listrik yang digunakan [4]-[8].

Proses monitoring energi merupakan langkah awal untuk konservasi dan mekanisme kontrol. Proses monitoring dirancang pada penelitian tersebut menggunakan Schneider PowerTag sebagai sensor utamanya. Bentuknya yang kecil dan kemampuan mengirimkan data secara wireless merupakan keunggulan utama dari sensor tersebut [9]. Sistem pengukuran energi listrik yang dapat mengirimkan data secara *wireless*. Penerapan dari sistem ini menggunakan Schneider PowerTag sebagai sensor monitoring energi listrik. Sistem ini diujicobakan pada sebuah lini industri manufaktur yang telah menerapkan teknologi industri 4.0. Nantinya, data akan dikirim ke server lokal perusahaan dan diolah terlebih dahulu sehingga hasil akhirnya adalah data yang akan tampil dengan melakukan scan pada QR yang telah tersedia [10]. Performa motor tiga fasa dapat dimonitor secara real-time dengan bantuan dari sensor arus ACS-712 berbasis Arduino UNO dan menggunakan Thingspeak sebagai platform IoT [11]. Penelitian mengenai monitoring motor induksi tiga fasa dengan menggunakan PLC. Sistem monitoring dibuat *low-cost* dan efisien sehingga dapat diterima oleh pasar industri. Monitoring dan kontrol beberapa perangkat pengaman dibuat agar dapat membuat sebuah sistem pengaman untuk motor induksi tiga fasa sehingga tidak cepat rusak. Pembuatan sistem dan pemanfaatan sensor masih menggunakan sensor berkabel (*wired*) [12]-[13]. Penerapan teknologi terbaru untuk dapat mengoptimalkan pemanfaatan energi listrik harus segera dilakukan dengan alasan harga listrik yang semakin meningkat dan produksi listrik yang terus bertambah akan menghasilkan polusi yang besar pada proses pembangkitan energi listrik [14]. Analisis pemakaian energi listrik pada rumah tangga. Menurut penelitian tersebut, adanya peningkatan yang sangat pesat dalam pemakaian energi listrik dalam satu dekade ke belakang yang menyebabkan pencemaran terhadap lingkungan dalam proses pembangkitan listrik dan mulai

menipisnya bahan baku pembangkitan energi listrik dengan cara konvensional, mendorong agar pemakaian energi listrik pada rumah tangga dapat diefisienkan [15]. Protokol komunikasi Zigbee telah ada sejak tahun 1998 dan telah distandarisasi sejak 2003 merupakan sebuah teknologi pengiriman data *low-cost* dan *low-power* sehingga sangat cocok untuk diterapkan. Pada penelitian Herath dkk telah berhasil membuat sebuah sistem yang dapat digunakan untuk dapat mengambil data dari power meter dan menampilkan data tersebut pada komputer dengan menggunakan GUI berbasis C#. Sistem tersebut mengirim dan menerima data secara real-time sehingga tidak ada jeda antara data yang berada pada power meter dengan data yang berada pada komputer [16]. Sistem Modbus dapat mempermudah komunikasi antar perangkat yang berada di industri walaupun dengan merk yang berbeda. Penggunaan protokol komunikasi Modbus juga disebutkan dapat membuka peluang industri untuk dapat menyesuaikan dengan revolusi industri 4.0 yang kemudian hari sistem industri dapat dikembangkan menjadi suatu sistem wireless [17]. Sistem untuk pemantauan dan pengendalian motor induksi tiga fasa merupakan peranan penting dalam industri maupun penggunaan komersil. Tujuannya adalah memantau parameter-parameter listrik yang ada pada pengendalian motor tersebut seperti, arus, tegangan, faktor daya, suhu, dan kecepatan. Parameter tersebut dapat dipantau menggunakan pengontrolan digital dan dapat dikontrol menggunakan komunikasi konvensional maupun nirkabel [18]-[19]. Selain parameter kelistrikan dalam pengendalian motor, parameter lainnya dapat dipantau salah satunya adalah mekanisme penuaan motor induksi yang dapat diamati dengan tandanya getaran yang cukup besar [20]-[22].

Pada penelitian ini penulis menyajikan desain dan implementasi sistem monitoring penggunaan energi pada pengasutan D.O.L bintang (Y) dan bintang delta (Y-D) motor induksi tiga fasa berbasis powertag dengan tujuan alat ini dapat memantau informasi parameter kelistrikan seperti arus, tegangan, daya, faktor daya, dan energi dan memiliki keunggulan yaitu parameter kelistrikan pada motor induksi dapat terpantau secara *real time* melalui aplikasi HMI *ecostructure commission* sedangkan fasilitas untuk mencuplik grafik tegangan, arus, faktor daya menggunakan *power quality analyzer*. Dalam penelitian ini powertag digunakan sebagai monitoring parameter kelistrikan pada motor induksi yang mana pada umumnya powertag hanya digunakan sebagai sistem penerangan.

II. METODE PENELITIAN

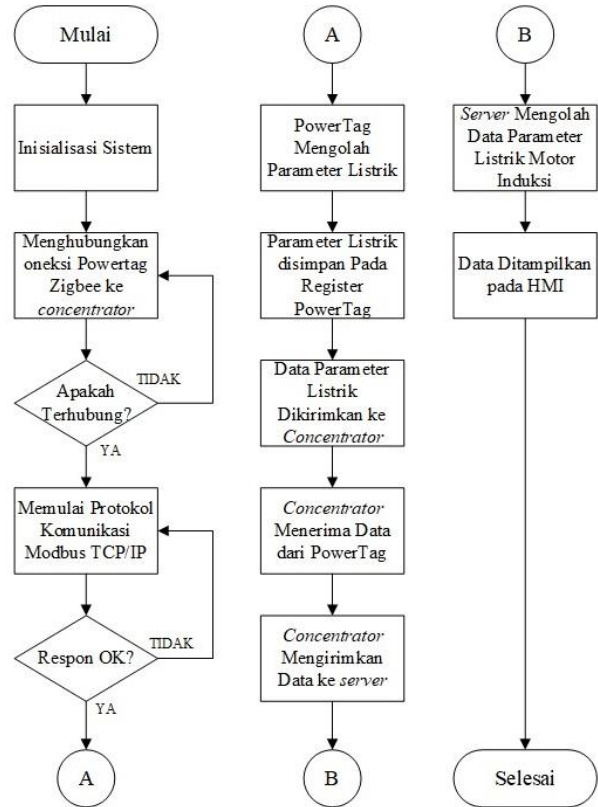
Pada metode yang akan dilaksanakan dalam penelitian ini adalah mendesain sistem dari simulator dengan menentukan spesifikasi dari tipe powerTag yang akan dijadikan objek implementasi sistem tersebut, kemudian setelah dilakukan proses desain tahap selanjutnya adalah pengujian pada simulator yang telah didesain. Metode akan dibagi menjadi dua yaitu desain rangkaian daya dan kendali pengasutan Y-D dan D.O.L (*Direct On-Line*) Y. Diagram alir berikut menggambarkan sistem kerja dari sistem monitoring yang akan didesain.

Gambar 1 menunjukkan kerangka solusi permasalahan dalam perancangan simulator sistem monitoring dilakukan untuk memastikan semua keperluan awal sistem dapat dipenuhi sebelum sistem dioperasikan. Kemudian PowerTag A9MEM akan memulai koneksi ke *concentrator* dengan menggunakan protokol komunikasi Zigbee secara wireless. Jika koneksi tersebut belum berhasil maka akan terus diulang sampai berhasil terhubung. Kemudian pada sisi *concentrator* mulai membuka jalur Modbus TCP/IP yang terhubung ke server. Setelah PowerTag dan *concentrator* saling terhubung, PowerTag akan mulai melakukan sensing serta mengolah data tersebut dan disimpan pada memori register. Data parameter yang sudah didapatkan akan segera dikirimkan ke *concentrator* dan *concentrator* akan menerima data tersebut untuk kemudian diteruskan ke server. Data yang sudah diterima server kemudian akan diolah oleh perangkat lunak HMI dan proses akhirnya adalah menampilkan data tersebut pada HMI.

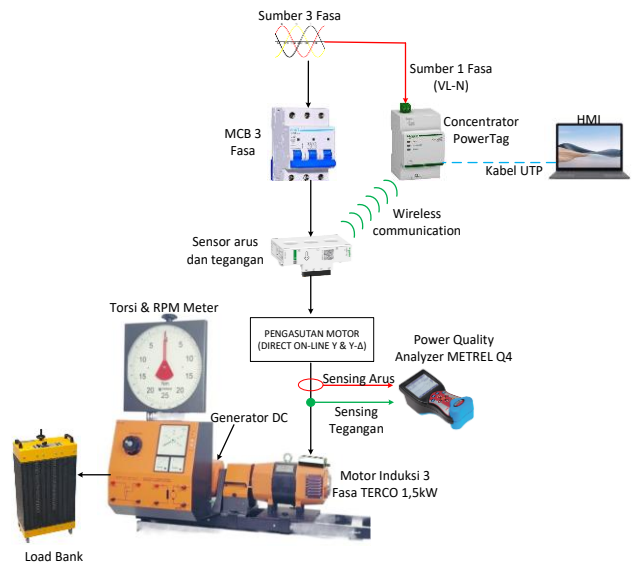
A. Pengasutan Motor Induksi Tiga Fasa Y-D

Pada penelitian ini data yang akan diolah adalah data dari hasil pengujian motor induksi 3 fasa menggunakan simulator yang telah dirancang, lalu parameter arus, tegangan, daya, energi, faktor daya dilihat melalui *software ecostruxure commission* atau menyalin IP address dari PowerTag, kemudian IP tersebut dikutip didalam web internet sehingga seluruh parameter pengukuran kelistrikan motor induksi 3 fasa muncul. Kemudian data tersebut dibandingkan dengan alat ukur dari eksternal akan dilihat akurasi pengukurannya. Langkah awal adalah menentukan spesifikasi dari komponen-komponen yang akan di pasang pada simulator monitoring kendali motor induksi tersebut, yaitu menentukan rating MCB sebagai proteksi pengaman hubung singkat, kontaktor kendali yang dipakai pada penghasutan motor induksi 3 fasa, menentukan thermal overload untuk proteksi beban lebih pada motor. Kemudian melakukan pengujian

pengasutan motor induksi (pengasutan Y-D dan DOL) dengan melihat arus starting masing-masing pengasutan, kemudian memonitoring tegangan antar fasa-fasa, arus perfasa, faktor daya, daya aktif, daya reaktif dan daya semu pada motor induksi.

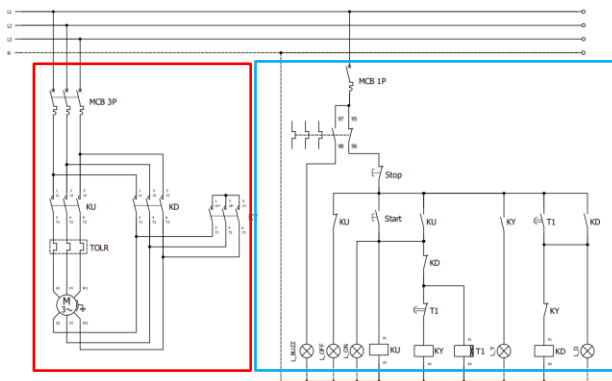


Gambar 1. Diagram alir sistem monitoring

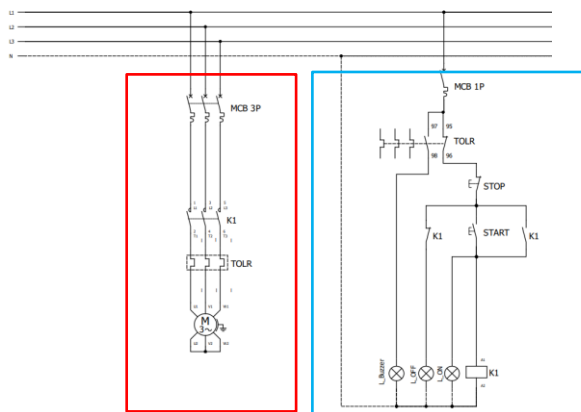


Gambar 2. Desain arsitektur sistem

Gambar 2 merupakan desain arsitektur sistem keseluruhan dari simulator monitoring penggunaan energi pada kendali motor induksi 3 fasa. Sumber jala-jala berasal dari jaringan sistem 3 fasa AC, yang kemudian dibagi menjadi dua suplai yaitu, 1 fasa untuk sumber tegangan *concentrator* PowerTag dan sumber 3 fasa untuk beban motor induksi. Kendali motor dapat berupa Y-D (way-segitiga) atau DOL (direct online) yang merupakan jenis pengasutan motor. Sistem pengan hubung singkat yang menggunakan MCB kemudian aliran daya akan melewati sensor arus dan tegangan yang merupakan satu kesatuan dari perangkat PowerTag, dimana tegangan dan arus beban akan disensing yang kemudian data dikirimkan melalui komunikasi tanpa kabel (*wireless*) menuju *concentrator* PowerTag yang kemudian data akan diolah dan dikirimkan ke PC/laptop menggunakan kabel UTP. Parameter kelistrikan seperti tegangan antar fasa, arus perfasa, daya aktif, daya reaktif, daya semu, faktor daya, energi akan terbaca di layar PC menggunakan *software ecostruxture commision*.



Gambar 3. Rangkaian daya (kotak merah) dan rangkaian kontrol (kotak biru) pengasutan Y-D



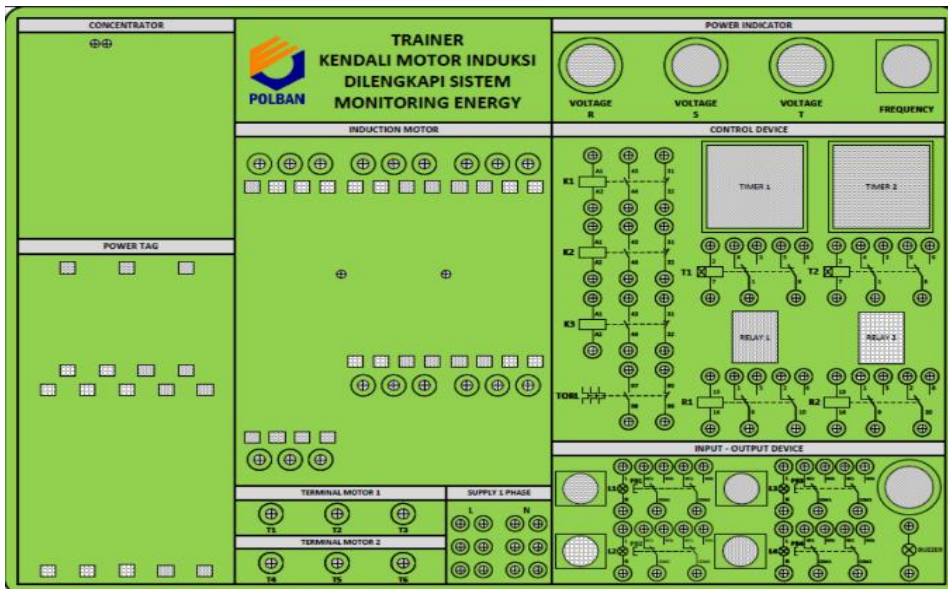
Gambar 4. Rangkaian Daya (kotak merah) dan Rangkaian Kontrol (kotak biru) Pengasutan D.O.L (Y)

Gambar 3 merupakan rangkaian daya dan kontrol dari Y-D yang digunakan untuk pengasutan motor induksi 3 fasa. Pada teknik pengasutan ini di fungsikan sebagai mengurangi arus mula ketika motor mulai dijalankan. Pada rangkaian daya terdapat MCB 3 fasa sebagai pengaman atau proteksi hubung singkat pada beban, Thermal Overload Relay (TOLR) yang merupakan proteksi motor listrik dari beban berlebih ketika motor induksi di beri beban, KD (Kontaktor Delta) yang merupakan rangkaian untuk pengasutan Delta, sedangkan KY (kontaktor Hubungan Y) merupakan kontaktor yang dirangkai dengan hubungan Y atau bintang. KU (kontaktor utama) yang digunakan sebagai pemutus dan penghubung dari suplai utama menuju motor, T1 (timer) berfungsi sebagai pewaktu pengalihan hubungan Y ke hubungan D dengan durasi waktu 3 detik. Start dan stop berfungsi sebagai push button dalam pengoperasian awal dan menghentikan operasi dari motor induksi.

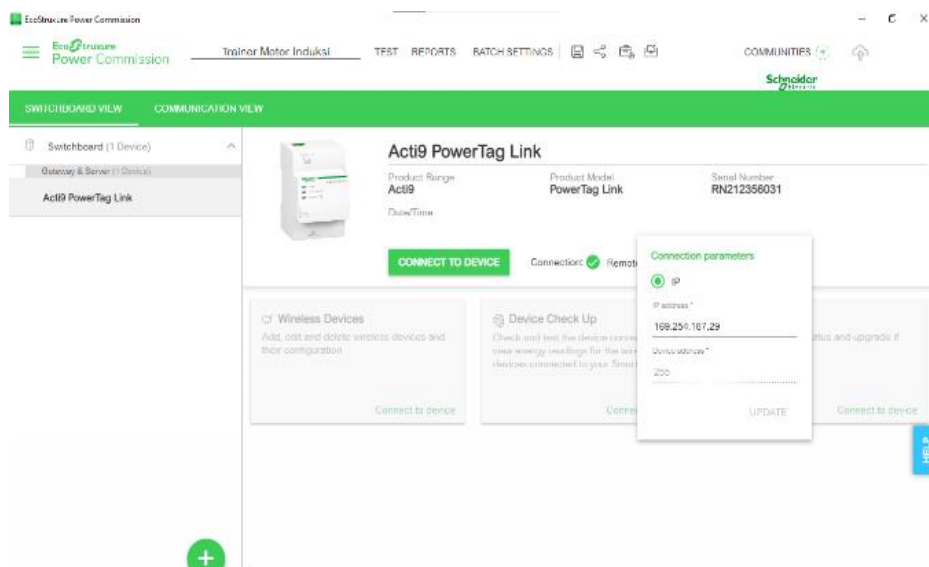
B. Pengasutan Motor Induksi Tiga Fasa D.O.L (Y)

Pada teknik pengasutan ini aliran daya dari sumber akan masuk ke proteksi hubung singkat (MCB 3 fasa) yang kemudian diteruskan ke kontaktor utama (satu buah), kontaktor tersebut akan di aktifkan oleh pusj button START. Untuk TOLR difungsikan sebagai proteksi beban lebih pada motor. Gambar 4 merupakan rangkaian daya dan kontrol dari pengasutan D.O.L (Y) yang untuk pengasutan motor induksi 3 fasa. Dari gambar rangkaian tersebut, rangkaian yang sudah didesain akan di implementasikan kedalam modul simulator yang didalamnya terdapat komponen-komponen utama dan komponen pendukungnya, gambar berikut merupakan tampilan utama dari simulator beserta dengan tata letak komponennya.

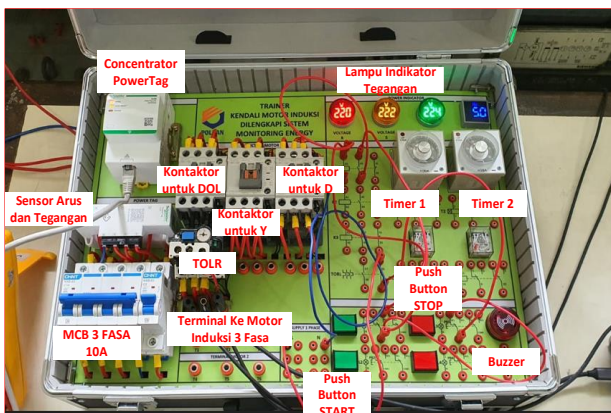
Gambar 5 merupakan *layout* tata letak dari simulator monitoring energi motor. Dimana komponen-komponen yang dipakai akan diletakkan sesuai desain yang telah dibuat. Pada simulator yang di desain pada koper ini dilengkapi dengan indikator tegangan per fasanya dengan lampu indikator. Gambar 6 merupakan tampilan utama dari *software* monitoring energi, dengan langkah awal yaitu dengan menentukan jenis komunikasi yang akan dipakai. Gambar 7 merupakan hasil implementasi dari modul simulator sistem monitoring yang di dalamnya terdapat rangkaian kontrol dan daya pada koneksi D.O.L (Y) dan Start Delta (Y-D). Selain itu, pada koper simulator ini terdapat komponen-komponen pendukung seperti PowerTag, MCB, Kontaktor, TOLR, *Push Button*, Relay, *Timer*, dan *Buzzer*.



Gambar 5. Layout modul simulator monitoring penggunaan pada kendali motor induksi 3 fasa



Gambar 6. Tampilan awal HMI *ecostructure commision*

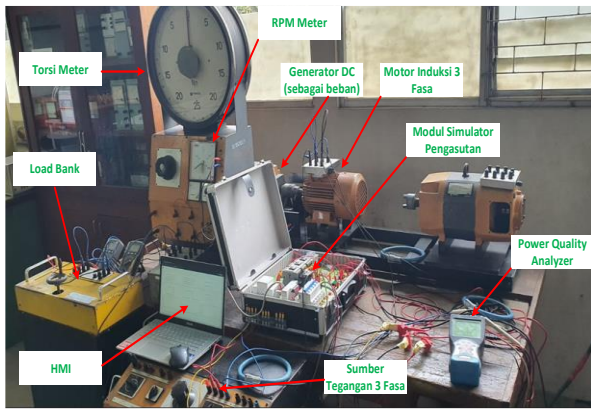


Gambar 7. Implementasi sistem monitoring

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk melihat kinerja dari sistem monitoring dan kendali pengasutan yang telah diusulkan, maka pengujian dibagi menjadi dua macam yaitu, pengujian pengasutan D.O.L (Y) pada motor induksi tiga fasa dan pengasutan Y-D pada motor induksi tiga fasa tanpa beban dan berbeban.

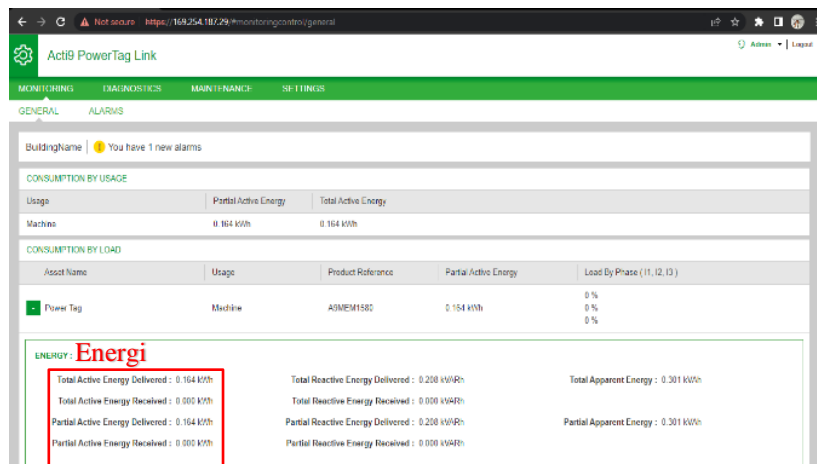
Gambar 8 merupakan monitoring dari pengujian motor induksi 3 fasa tanpa beban. Pengujian dilakukan dengan jenis pengasutan D.O.L (Y) sebagai tahap awal. Parameter kelistrikan dari motor akan terbaca di PC dan dibandingkan dengan alat ukur yang terpasang secara eksternal.



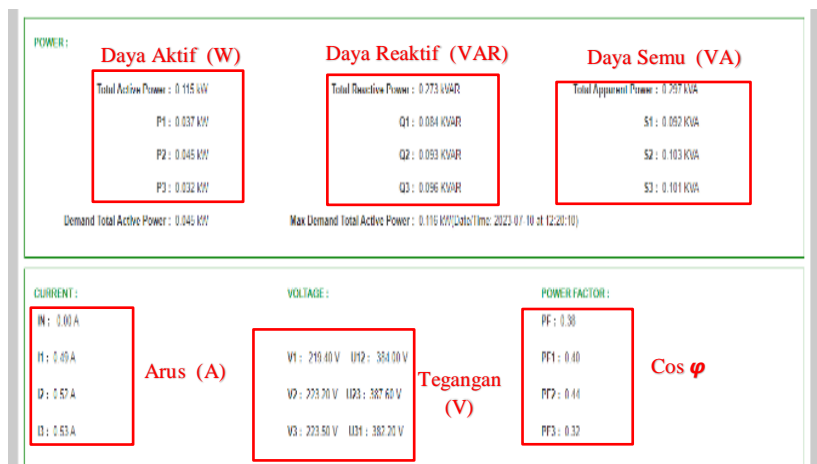
Gambar 8. Pengujian motor induksi 3 fasa dengan monitoring HMI

A. Pengujian Motor Induksi dengan Pengasutan D.O.L (Y) Tanpa Beban

Pada pengujian ini adalah untuk mengetahui besarnya arus *steady state* dan monitoring parameter kelistrikan motor dengan memasukan IP address pada web. Pengujian ini dilakukan dengan sesuai dengan rangkaian yang terdapat pada Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 9. Hasil monitoring energi motor tanpa beban dengan pengasutan D.O.L (Y)

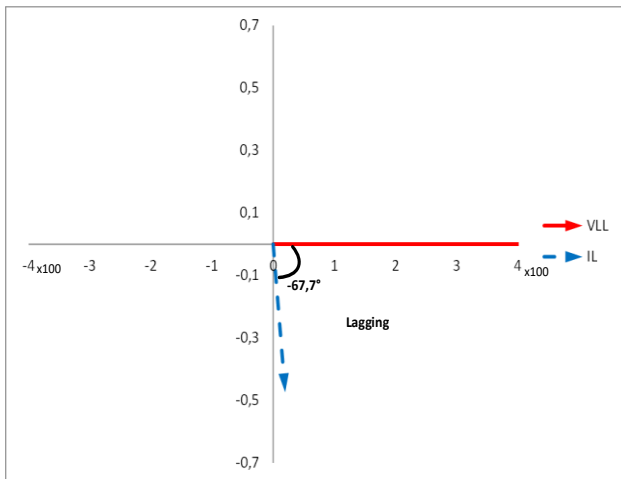


Gambar 10. Hasil monitoring daya, arus dan tegangan tanpa beban dengan pengasutan DOL

Berdasarkan pada Gambar 9 dan Gambar 10 menunjukkan bahwa besarnya arus per fasa dan tegangan antar fasa mendekati seimbang atau tidak mengalami masalah pada motor yang diuji. Secara matematis besarnya rata-rata tegangan 3 fasa pada motor adalah.

$$V_{rata-rata\ 3\phi} = \frac{V_{RS} + V_{ST} + V_{TR}}{3} \quad (1)$$

Dari persamaan (1) besarnya V_{RS}, V_{ST}, V_{TR} adalah 384 V, 387,6 V dan 382,2 V, Maka besarnya $V_{rata-rata\ 3\phi}$ adalah 384,4 volt, kemudian dari perhitungan tersebut akan diperoleh nilai absolut dari deviasi maksimum dari tegangan rata-rata, yaitu.



Gambar 11. Diagram fasor tegangan dan arus

$$V_{Deviasi} = V_{rata-rata\ 3\phi} - V_{fasa\ terendah} \quad (2)$$

Maka besarnya persentase tegangan *unbalance* adalah.

$$V_{unbalance} = \frac{V_{Deviasi}}{V_{rata-rata\ 3\phi}} \times 100\% \quad (3)$$

Dari persamaan (2) besarnya $V_{Deviasi}$ adalah 2,2 V dan dari persamaan (3) besarnya ketidakseimbangan beban sangat kecil adalah 0,57%. Sedangkan untuk besarnya faktor daya/ $\cos \varphi$ secara matematis adalah.

$$\cos \varphi = \frac{P_{3\phi}}{S_{3\phi}} \quad (4)$$

Dari persamaan (4) merupakan perhitungan nilai faktor daya, dimana $P_{3\phi}$ adalah daya aktif tiga fasa, dan $S_{3\phi}$ daya semu (VA). Nilai tersebut yang di hasilkan sangat rendah sebesar 0,57% dikarenakan motor dalam keadaan tanpa beban. Kemudian pada gambar dibawah ini merupakan diagram fasor antara tegangan dan arus.

Gambar 11 menggambarkan fasor tegangan dan arus dari hasil pengujian motor induksi. Menunjukkan bahwa sifat beban induktif yang artinya arus tertinggal terhadap tegangan (*lagging*). Kemudian kecepatan motor yang diperoleh ketika dalam keadaan *steady state* digambarkan pada pengujian berikut.



Gambar 12. Hasil monitoring kecepatan motor tanpa beban dengan pengasutan D.O.L

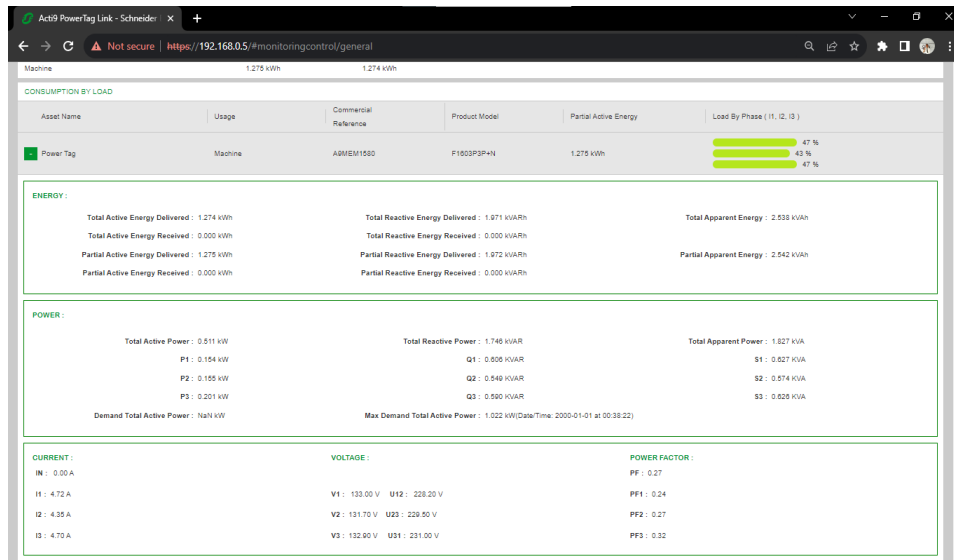
Gambar 12 menunjukkan pengujian kecepatan motor tanpa beban dengan menggunakan tachometer dengan hasil 1490 RPM.

B. Pengujian Motor Induksi dengan Pengasutan Y-D Tanpa Beban

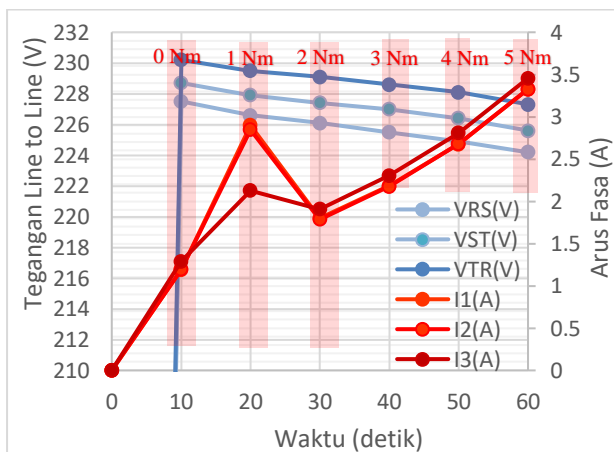
Pada Pengujian tahap ini dengan menggunakan pengasutan Y-D, yang mana rangkaian sesuai dengan Gambar 4. Berdasarkan Gambar 14 menunjukkan hasil monitoring pengukuran arus perfasa, tegangan antar fasa, daya aktif total, daya reaktif, daya semu dan faktor daya pada motor induksi 3 fasa. Pada pengujian ini awal mula motor berputar dengan konfigurasi Y, setelah 10 detik kemudian konfigurasi berubah menjadi D.

C. Pengujian Motor Induksi dengan Pengasutan D.O.L (Y) Berbeban

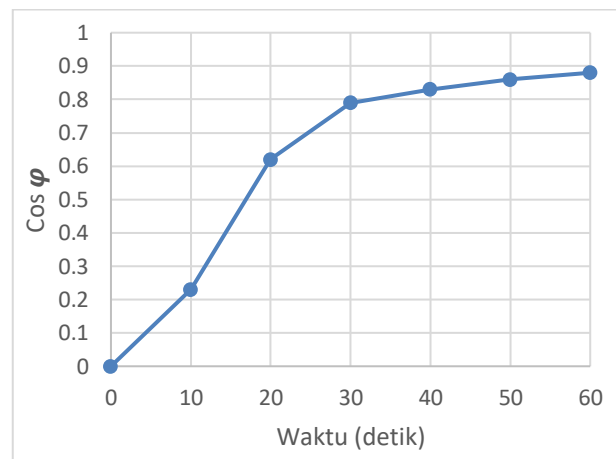
Pada pengujian ini motor induksi akan dilakukan pembebanan dengan generator DC yang dikopel dengan motor. Keluaran generator akan dipasang *load bank* sebagai pembebanannya. Torsi meter akan mengukur besarnya pembebanan yang diberikan. Dan ketika dilakukan skema pengujian ini seiring dengan penambahan beban, maka arus input motor induksi akan naik, dan tegangan akan turun. Berikut merupakan hasil pengujian *logger* arus fasa dan tegangan antar fasa pada motor induksi ketika dilakukan pembebanan dengan menggunakan alat ukur *power quality analyzer*.



Gambar 13. Hasil monitoring arus, tegangan, daya, faktor daya energi motor tanpa beban dengan pengasutan Y-D



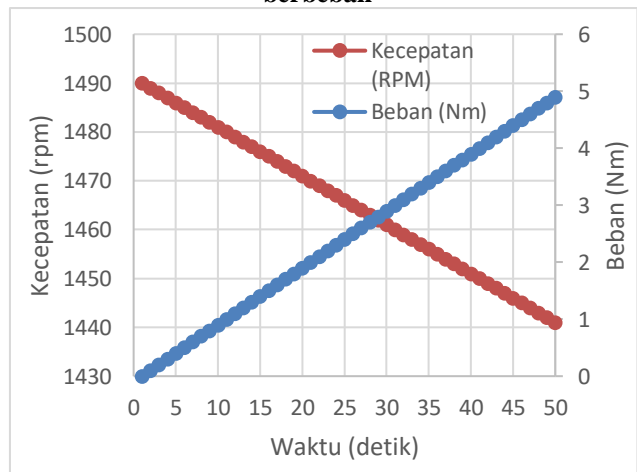
Gambar 14. Pengujian arus dan tegangan ketika motor berbeban pengasutan D.O.L (Y)



Gambar 15. Pengujian faktor daya ketika motor berbeban

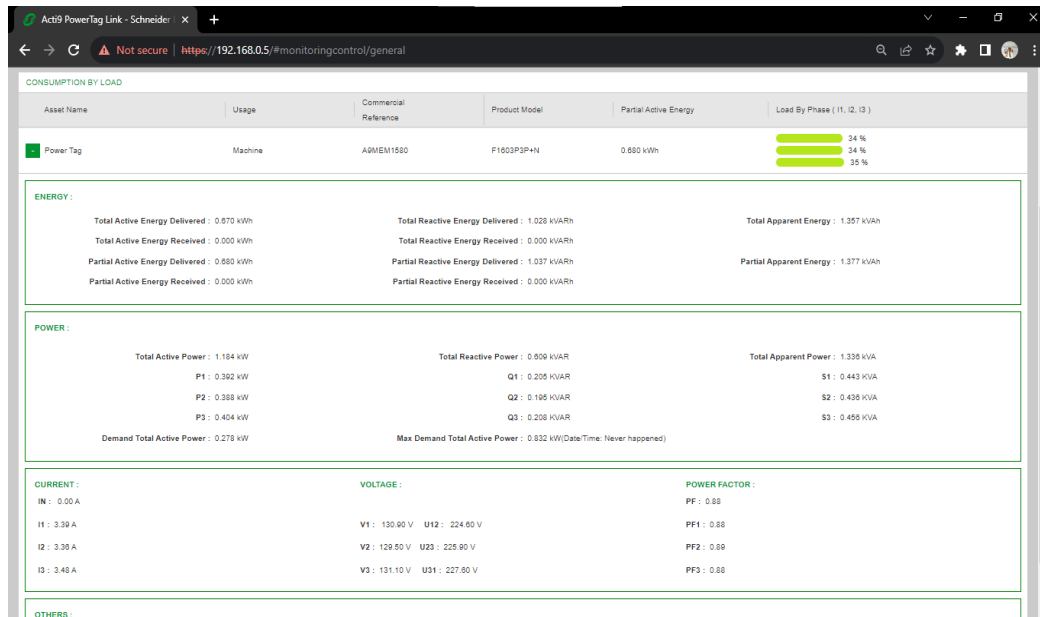
Gambar 14 menunjukkan pengujian profil grafik tegangan dan arus pada kondisi motor berbeban. Grafik berwarna biru merupakan tegangan antar fasa, sedangkan grafik warna merah merupakan arus fasa. Motor dibebani dari 1-5 Nm dengan pencuplikan data tegangan dan arus setiap 10 detik. Karakteristik dari tegangan dan arus berbanding terbalik, ketika beban motor dinaikkan, maka arus akan naik dan tegangan akan turun.

Gambar 15 menunjukkan pengujian profil grafik faktor daya pada kondisi motor berbeban. Ketika motor dilakukan pembebanan, maka faktor daya akan cenderung naik. Hasil pengukuran kecepatan motor dengan pembebanan dapat terlihat pada Gambar 16. Gambar 16 Merupakan hasil pengujian kecepatan motor ketika kondisi berbeban. Beban diberikan 1-5 Nm. Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa pembebanan motor berbanding terbalik dengan kecepatan motor, ketika



Gambar 16. Pengujian kecepatan motor berbeban

pembebanan semakin besar maka kecepatan motor akan semakin merunun. Untuk hasil monitoring HMI arus, tegangan, dan faktor daya dengan skema motor berbeban yang dibebani sebesar 5 Nm adalah pada Gambar 17.

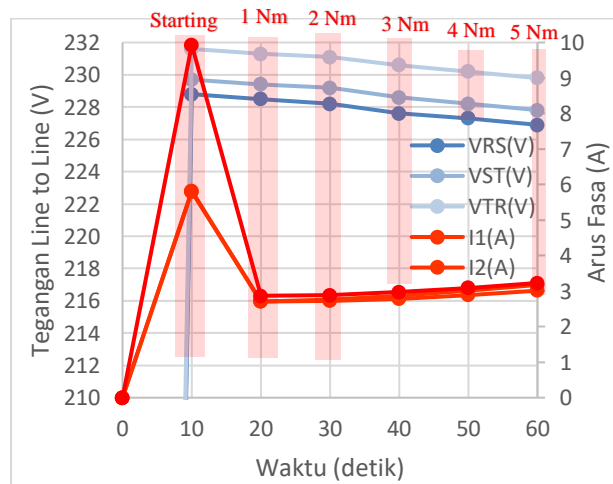


Gambar 17. Hasil monitoring arus, dan tegangan dengan beban 5 Nm

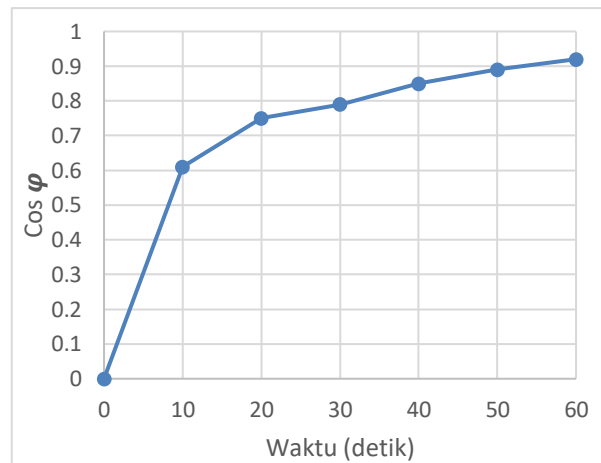
D. Pengujian Motor Induksi dengan Pengasutan Y-D Berbeban

Pengujian ini motor induksi akan dilakukan pembebanan dengan generator DC yang dikopel dengan motor. Keluaran generator akan dipasang *load bank* sebagai pembebanannya dengan pengasutan konfigurasi Y-D. Pada grafik dibawah ini merupakan hasil *logger* arus fasa dan tegangan antar fasa pada motor induksi ketika dilakukan pembebanan dengan menggunakan alat ukur *power quality analyzer*.

Gambar 18 menunjukkan pengujian profil grafik tegangan dan arus pada kondisi motor berbeban dengan konfigurasi pengasutan Y-D. Grafik berwarna biru merupakan tegangan antar fasa, sedangkan grafik warna merah merupakan arus fasa. Motor dibebani dari 1-5 Nm dengan pencuplikan data tegangan dan arus setiap 10 detik.

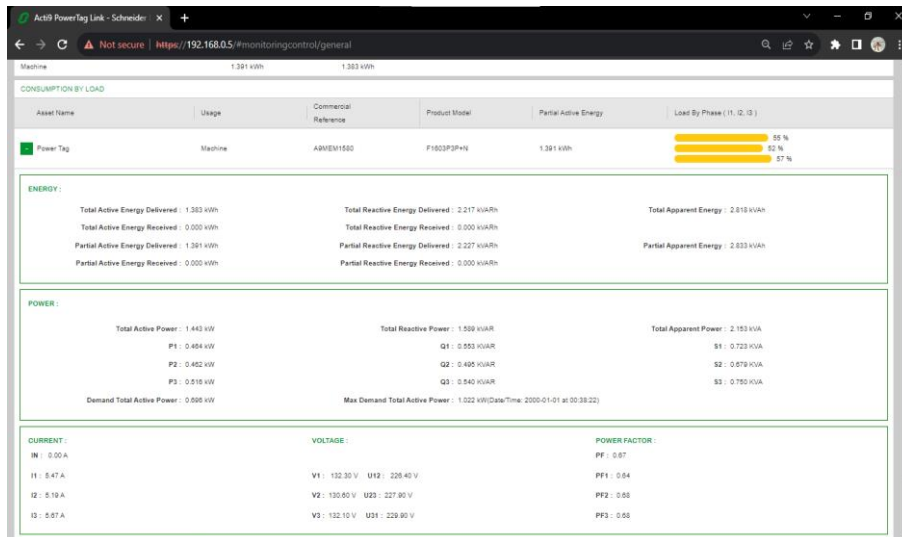


Gambar 18. Pengujian arus dan tegangan ketika motor berbeban pengasutan Y-D



Gambar 19. Pengujian faktor daya ketika motor berbeban

Gambar 19 menunjukkan profil grafik faktor daya pada kondisi motor berbeban konfigurasi Y-D. Ketika motor dilakukan pembebanan, maka faktor daya akan naik. Untuk hasil monitoring HMI arus, tegangan, dan faktor daya dengan skema motor berbeban yang dibebani sebesar 5 Nm ditunjukkan pada Gambar 20.



Gambar 20. Hasil monitoring arus, dan tegangan dengan beban 5 Nm pengasutan Y-D

IV. KESIMPULAN

Monitoring penggunaan energi, daya, arus, tegangan dan faktor daya telah berhasil dirancang dan diimplementasikan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semua parameter kelistrikan pada motor induksi tiga fasa dapat termonitoring dengan menampilkan nilai secara *realtime* dengan HMI. Selain menggunakan powerTag sebagai pengolahan data energi dan HMI sebagai fasilitas pemantauan parameter kelistrikan, power quality analyzer dapat mencuplik grafik pada pengukuran tegangan, arus, dan faktor daya dalam skema motor tanpa beban dan berbeban. Ketika dalam kondisi tanpa beban besarnya faktor daya menurun karena pengaruh dari arus magnetisasi dari motor induksi dan ketika kondisi berbeban faktor daya akan naik dengan nilai 0,92 ketika beban 5 Nm dengan konfigurasi Y-D. Rencana penelitian selanjutnya adalah dengan menambahkan pengasutan motor induksi menggunakan *star-delta closed transition with two directions of rotation*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Politeknik Negeri Bandung yang telah memberikan bantuan dalam penelitian ini, berupa dana yang bersumber dari DIPA dengan *roadmap* penelitian Politeknik Negeri Bandung Tahun 2022/2023 skema Penelitian Madya Utama sehingga penelitian dapat diselesaikan dengan baik.

REFERENSI

[1] Tim Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional, "Indonesia Energy Out Look 2019," vol. 53, no. 9, 2019, pp. 1689–1699.

[2] M. Jalali and O. Alizadeh-Mousavi, "Application of Real-Time Distribution Grid Monitoring for Grid Forecasting and Control Considering Incomplete Information of Resources Behind-the-Meter," IEEE Open Access J. Power Energy, vol. 9, no. March, pp. 308–318, 2022, doi: 10.1109/OAJPE.2022.3195755.

[3] J. R. Guardarrama, R. C. S. Freire, and O. H. Areu, "A Proposed Wireless System to Real Time Monitoring in Power Transformer," IEEE Lat. Am. Trans., vol. 14, no. 4, pp. 1570–1574, 2016, doi: 10.1109/TLA.2016.7483484.

[4] A. M. Al-Ghaili, H. Kasim, N. M. Al-Hada, B. N. Jorgensen, M. Othman, and W. Jihua, "Energy Management Systems and Strategies in Buildings Sector: A Scoping Review," IEEE Access, vol. 9, pp. 63790–63813, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3075485.

[5] M. O. Sonnaillon, G. Bisheimer, C. De Angelo, and G. O. Garcia, "Online sensorless induction motor temperature monitoring," IEEE Trans. Energy Convers., vol. 25, no. 2, pp. 273–280, 2010, doi: 10.1109/TEC.2010.2042220.

[6] A. Pellegrino, V. R. M. Lo Verso, L. Blaso, A. Acquaviva, E. Patti, and A. Osello, "Lighting Control and Monitoring for Energy Efficiency: A Case Study Focused on the Interoperability of Building Management Systems," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 52, no. 3, pp. 2627–2637, 2016, doi: 10.1109/TIA.2016.2526969.

[7] M. A. Hannan et al., "A review of internet of energy based building energy management systems: Issues and recommendations," IEEE Access, vol. 6, pp. 38997–39014, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2852811.

[8] R. Shipman and M. Gillott, "SCENE Things: IoT-based Monitoring of a Community Energy Scheme," Future Cities and Environment, vol. 5, no. 1, p. 6, Feb. 2019, doi: 10.5334/fce.64.

[9] M. Shahabuddin, R. Dudhe, A. Surendran, A. Ravi, and L. Zabala, "Performance study and analysis of smart and smallest energy management system," in

- 2021 International Conference on Computational Intelligence and Knowledge Economy (ICCIKE), Dubai, United Arab Emirates, Mar. 2021, pp. 329–333. doi: 10.1109/ICCIKE51210.2021.9410781.
- [10] T. T. Amici, P. H. Filho, and A. B. Campo, “Augmented Reality Applied to a Wireless Power Measurement System of an Industrial 4.0 Advanced Manufacturing Line,” in 2018 13th IEEE International Conference on Industry Applications (INDUSCON), São Paulo, Brazil, Nov. 2018, pp. 1402–1406. doi: 10.1109/INDUSCON.2018.8627301.
- [11] T. A. Khan, F. A. Shaikh, S. Khan, and M. F. Siddiqui, “Real-Time Wireless Monitoring for Three Phase Motors in Industry: A Cost-Effective Solution using IoT,” in 2019 IEEE International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Application (ICSIMA), Kuala Lumpur, Malaysia, Aug. 2019, pp. 1–5. doi: 10.1109/ICSIMA47653.2019.9057343.
- [12] G. Pavithra and Vinayak. V. Rao, “Remote Monitoring and Control of VFD fed Three Phase Induction Motor with PLC and LabVIEW software,” in 2018 2nd International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC)I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC), 2018 2nd International Conference on, Palladam, India, Aug. 2018, pp. 329–335. doi: 10.1109/I-SMAC.2018.8653657.
- [13] D. Kumar, A. Basit, A. Saleem, and E. G. Abbas, “PLC based monitoring protection of 3-phase induction motors against various abnormal conditions,” 2019 2nd Int. Conf. Comput. Math. Eng. Technol. iCoMET 2019, vol. 2, no. 2, pp. 1–6, 2019, doi: 10.1109/ICOMET.2019.8673497.
- [14] Ç. Iris and J. S. L. Lam, “A review of energy efficiency in ports: Operational strategies, technologies and energy management systems,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 112, pp. 170–182, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.rser.2019.04.069.
- [15] Z. Guo, K. Zhou, C. Zhang, X. Lu, W. Chen, and S. Yang, “Residential electricity consumption behavior: Influencing factors, related theories and intervention strategies,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, pp. 399–412, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.rser.2017.07.046.
- [16] H. M. K. K. M. B. Herath, S. V. A. S. H. Ariyathunge, and H. D. N. S. Priyankara, “Development of a Data Acquisition and Monitoring System Based on MODBUS RTU Communication Protocol,” *IJISRT*, vol. 5, no. 6, pp. 433–440, Jun. 2020, doi: 10.38124/IJISRT20JUN479.
- [17] M. Tabaa, B. Chouri, S. Saadaoui, and K. Alami, “Industrial Communication based on Modbus and Node-RED,” *Procedia Computer Science*, vol. 130, pp. 583–588, 2018, doi: 10.1016/j.procs.2018.04.107.
- [18] M. G. Ioannides, “Design and implementation of PLC-based monitoring control system for induction motor,” *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 19, no. 3, pp. 469–476, 2004, doi: 10.1109/TEC.2003.822303.
- [19] V. C. Khairnar and K. S. K., “Induction Motor Parameter Monitoring System using Zig bee Protocol & MATLAB GUI,” 2018 Fourth Int. Conf. Adv. Electr. Electron. Information, Commun. Bio-Informatics, vol. 4, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1109/AEEICB.2018.8480992.
- [20] D. Bayram and S. Seker, “Wavelet based trend analysis for monitoring and fault detection in induction motors,” *Work. Control Model. Power Electron.*, vol. 203, no. 15, pp. 1–4, 2014, doi: 10.1109/COMPEL.2014.6877194.
- [21] M. Tsyppkin, “Induction motor condition monitoring: Vibration analysis technique - Diagnosis of electromagnetic anomalies,” *IEEE AUTOTESTCON*, no. 1, pp. 1–7, 2017, doi: 10.1109/AUTEST.2017.8080483.
- [22] M. Wolkiewicz, G. Tarchala, T. Orłowska-Kowalska, and C. Kowalski, “Stator fault monitoring based on internal signals of vector controlled induction motor drives,” *IECON 2016 - 42nd Annu. Conf. IEEE Ind. Electron. Soc.*, no. 42, pp. 2951–2956, 2016, doi: 10.1109/IECON.2016.7793055.

