

## Monitoring Kualitas Daya Listrik Berbasis *Internet of Things* Pada Panel Kontrol Motor

### *Internet of Things Based Electrical Power Quality Monitoring On the Motor Control Panel*

Hatib Setiana<sup>1</sup>, Muhammad Hasan Zein<sup>2</sup>, Isdawimah<sup>3</sup>, Opi Isra Yuspita<sup>4</sup>, Aditya Alfian<sup>5</sup>

<sup>1245</sup>Program Studi Teknik Otomasi Listrik Industri, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. DR. G.A. Siwabessy, Kampus Universitas Indonesia Depok 16425

<sup>3</sup>Program Studi Magister Terapan Teknik Elektro, Program Pascasarjana, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. DR. G.A. Siwabessy, Kampus Universitas Indonesia Depok 16425

[hatib.setiana@elektro.pnj.ac.id](mailto:hatib.setiana@elektro.pnj.ac.id)

#### ABSTRAK

Kualitas daya yang baik penting untuk menjaga kinerja optimal, efisiensi produk, dan operasi industri yang aman. Motor induksi tiga fasa yang umum digunakan di industri dapat mempengaruhi kualitas daya karena menyebabkan distorsi harmonik arus dan penurunan kualitas daya listrik. Dibutuhkan sebuah sistem monitoring yang dapat memantau kualitas daya listrik dalam waktu singkat dan dimanapun. Pada penelitian ini dibuat sebuah alat monitoring kualitas daya listrik berbasis IoT pada panel kontrol motor yang menitikberatkan pengujian pada ketidakseimbangan arus dan THDI. Monitoring dilakukan pada sebuah panel kontrol motor yang melayani 4 buah motor induksi tiga fasa. Dimana 3 motor menggunakan penyulutan DOL sedangkan 1 motor lagi menggunakan *star-delta*. Pengujian dilakukan pada kondisi motor nonaktif dan beroperasi bersamaan. Alat monitoring yang dibuat berhasil menampilkan data dengan latensi 0,5 detik dan *error* rata-rata 3,5%. Hasil analisis menunjukkan bahwa motor induksi berpengaruh terhadap ketidakseimbangan arus dan THD arus. Semakin banyak motor induksi yang dihubungkan pada sistem, maka semakin rendah nilai faktor daya dan THDI netralnya. Ketidakseimbangan arus maksimum di setiap fasa adalah  $R=7.25\%$ ,  $S=4.64\%$  dan  $T=4.35\%$ , yang menghasilkan arus pada titik netral.

Kata kunci: ketidakseimbangan arus, kualitas daya listrik, monitoring, motor induksi, THD arus

#### ABSTRACT

*Good power quality is important to maintain optimal performance, product efficiency, and safe industrial operations. Three-phase induction motors which are commonly used in industry can affect power quality because they cause harmonic current distortion and decrease electrical power quality. A monitoring system is needed that can monitor the quality of electrical power in a short time and anywhere. In this research, an IoT-based electrical power quality monitoring tool was created on the motor control panel which focuses on testing current imbalance and THDI. Monitoring is carried out on a motor control panel that serves 4 three-phase induction motors. Where 3 motors use DOL ignition while 1 motor uses star-delta. The test was carried out when the motor was disabled and operating simultaneously. The monitoring tool created successfully displays data with a latency of 0.5 seconds and an average error of 3.5%. The analysis results show that the induction motor has an effect on current imbalance and current THD. The more induction motors connected to the system, the lower the power factor and neutral THDI values. The maximum current unbalance in each phase is  $R=7.25\%$ ,  $S=4.64\%$ , and  $T=4.35\%$ , which results in a current at the neutral point.*

*Keywords: current unbalance, induction motor, monitoring, power quality, THD current*

## **1. PENDAHULUAN**

Dalam industri, keandalan, efisiensi, dan keamanan operasi adalah kunci kesuksesan dalam sebuah sistem listrik. Oleh karena itu, memastikan kualitas daya listrik yang baik sangat penting untuk menjaga kinerja optimal peralatan[1]. Upaya untuk memantau, menganalisis, dan meningkatkan kualitas daya listrik harus dilakukan secara teratur untuk memastikan keberhasilan dan keberlanjutan operasi industri[2]. Kualitas daya listrik yang baik sangat penting untuk menjaga efisiensi, produktivitas, dan keselamatan operasi industri.

Motor induksi tiga fasa menjadi beban yang umum ditemui pada industri[3]. Penggunaan motor induksi secara masal dapat berdampak pada kualitas daya listrik industri terkait. Motor listrik induksi tiga fasa memiliki karakteristik yang dapat menyebabkan distorsi harmonisa arus[4] dan penurunan faktor daya dalam sistem kelistrikan[5][6]. Daya reaktif yang timbul akibat penggunaan motor induksi tidak berkontribusi pada kerja yang dilakukan oleh motor[7]. Hal ini menyebabkan pemborosan energi dan biaya yang lebih tinggi dalam sistem kelistrikan[8]. Dampak-dampak ini dapat menyebabkan berbagai masalah dalam kualitas daya listrik secara keseluruhan.

Beban listrik dari motor induksi, yang tergolong sebagai beban nonlinear juga merupakan penyebab terjadinya gelombang pada frekuensi-frekuensi tinggi, yang merupakan kelipatan dari frekuensi dasarnya selama pengoperasian dan penggunaannya. Fenomena ini dikenal sebagai "harmonisasi" dan memiliki akar yang mendalam dalam sifat alamiah beban motor induksi[9]. Karena peran motor induksi yang substansial dalam industri, monitoring kualitas daya listrik menjadi hal yang sangat krusial demi menjaga kinerja peralatan listrik, meningkatkan efisiensi energi, dan mencegah kerusakan perangkat elektronik[10].

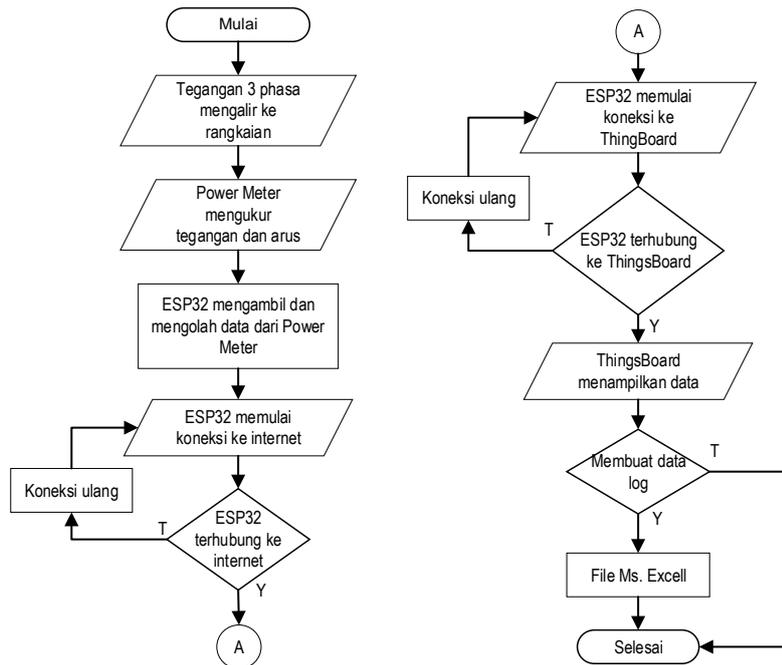
Penelitian sebelumnya telah dilakukan analisa tentang kualitas daya listrik[11]. Namun, pada penelitian tersebut masih menggunakan komunikasi dengan perangkat keras saja sehingga terdapat Batasan jarak pada pemantauannya. Seiring berkembangnya penggunaan internet telah membawa era baru dalam pengiriman data dan informasi. *Internet of Things* muncul menjadi sistem yang dapat menyajikan komunikasi data dari jarak jauh[12]. Dengan memanfaatkan kecanggihan ini, pemantauan dapat dilakukan secara rutin dari manapun selama terhubung ke jaringan internet. Sistem juga memuat *data log* sebagai bahan evaluasi kualitas daya listrik yang dipantau.

Pada penelitian tersebut juga belum menampilkan nilai arus pada penghantar netral, THD arus dan nilai ketidakseimbangan arus pada penggunaan motor induksi tiga fasa. Pembebanan yang tidak merata pada sistem penyulang tiga fasa dapat menyebabkan ketidakseimbangan arus pada rangkaian listrik. Ketidakseimbangan ini akan menimbulkan adanya arus pada penghantar netral (IN). Nilai arus netral dipengaruhi seberapa besar perbedaan nilai-nilai arus pada tiap fasa. Semakin besar arus netral IN yang mengalir di penghantar netral maka semakin besar juga *losses* pada penghantar netral dan mengakibatkan efisiensi menjadi turun[13]. Timbulnya arus pada penghantar juga akan menyebabkan timbul harmonisa arus, sebagaimana harmonisa pada gelombang tegangan. Harmonisa ini juga bisa meningkatkan *losses* pada sistem kelistrikan[14].

Pada penelitian ini akan dibuat alat pemantauan dan analisa kualitas daya listrik berbasis IoT pada beban MCC yang akan memuat nilai arus netral, THD arus dan ketidakseimbangan arus. Dengan jurnal ini diharapkan dapat menghadirkan sistem pemantauan yang dapat diakses dimana saja dan pengetahuan mengenai pengaruh pengoperasian motor induksi tiga fasa pada sistem kelistrikan tiga fasa[15].

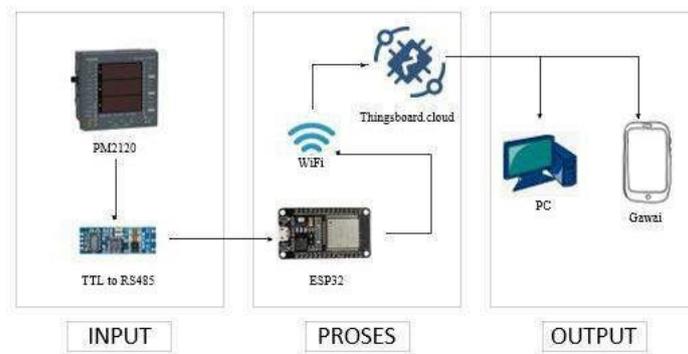
## **2. METODE PENELITIAN**

Metode penelitian yang diterapkan adalah merancang bangun sistem pemantauan kualitas daya listrik untuk motor dengan berbagai peyulutan. Hasil pengukuran yang didapatkan akan dibandingkan dengan standar sesuai ketentuan yang berlaku. Tahapan penelitian pertama yang dilakukan yaitu perancangan panel monitoring kualitas daya listrik. Lalu membuat program ESP32 untuk pengambilan data. Selain itu juga dibuat tampilan pada ThingsBoard. Tahapan selanjutnya yaitu mengkoneksikan ESP32 dengan ThingsBoard. Lalu dilanjutkan dengan pengujian sistem dan pengambilan data. Diagram alir cara kerja alat dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Cara Kerja Alat

Alat dirancang bangun untuk memantau kualitas daya listrik 3 fasa sehingga diperlukan suatu sumber 3 fasa pada sisi *incoming*. PM2120 akan mendeteksi besaran dasar berupa tegangan dan arus untuk diolah dan ditampilkan pada layar *power meter*. Selain itu, PM2120 juga dapat menampilkan besaran-besaran listrik seperti tegangan, arus, frekuensi, faktor daya, *unbalance*, dan harmonisa. Mikrokontroler ESP32 akan menarik data dari PM2120 melalui komunikasi *Modbus RTU RS485*. Perangkat IoT yang digunakan pada panel ini yaitu ThingsBoard. Data telemetri dari *power meter* dikirimkan secara *real-time* dengan menggunakan protokol MQTT ke *server* ThingsBoard untuk pemantauan dan analisis kualitas daya listrik. *Dashboard* dan data kualitas daya listrik pada ThingsBoard dapat diakses menggunakan *link* yang telah terintegrasi. Blok diagram sistem ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Blok

Komunikasi antara ESP32 dengan ThingsBoard perlu diatur dengan pemrograman agar besaran-besaran listrik pada PM2120 dapat ditampilkan pada *dashboard* ThingsBoard. Besaran-besaran listrik yang ditampilkan pada *dashboard* pada ThingsBoard yaitu *Voltage R-N, Voltage S-N, Voltage T-N, Voltage R-S, Voltage S-T, Voltage T-R, Current R, Current S, Current T, Power Factor R, Power Factor S, Power Factor T, Voltage Chart, Current Chart, THD R-N, THD S-N, THD T-N, THD R-S, THD S-T THD T-R, THD R, THD S, THD T, Total Active Power, Total Reactive Power, Total Apparent Power, Unbalance R-S, Unbalance S-T, Unbamance T-R, Unbalance R, Unbalance S, Unbalance T, dan Timeseries Table*.

## Monitoring Kualitas Daya Listrik Berbasis...

Data log pada ThingsBoard dapat diunduh yang berupa dokumen tabel yang dapat dibuka di Microsoft Excel. Data yang telah di-export akan diolah menggunakan aplikasi Microsoft Excel untuk dapat diamati perubahan nilainya. Selain itu, penggunaan aplikasi tersebut memudahkan pembuatan grafik serta penentuan nilai terendah, tertinggi dan rata-rata dalam suatu pengujian.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Power Meter telah dibandingkan pembacaannya dengan Power Quality Analyzer PQ3198. Dari pengujian tersebut didapatkan error pembacaan PM2120 terhadap PQ3198 adalah 0,18% untuk tegangan, 2,62% untuk arus, 8,34% untuk faktor daya, 0,91% untuk THD tegangan dan 5,43% untuk THD arus. Sehingga rata-rata error pembacaan adalah sebesar 3,5%. Hasil pembacaan tersebut akan ditampilkan melalui dashboard ThingsBoard sebagaimana pada Gambar 3.



Gambar 3. Dashboard ThingsBoard

## Monitoring Kualitas Daya Listrik Berbasis...

Pada pengiriman datanya terdapat jeda waktu antara tampilan *display Power Meter* dengan tampilan pada *dashboard ThingsBoard*. Terdapat latensi sebesar 0,5 detik antara keduanya. Hal ini juga menyebabkan alat yang dibuat tidak dapat merekam *event* yang terjadi dalam kurun waktu kurang dari 1 detik.

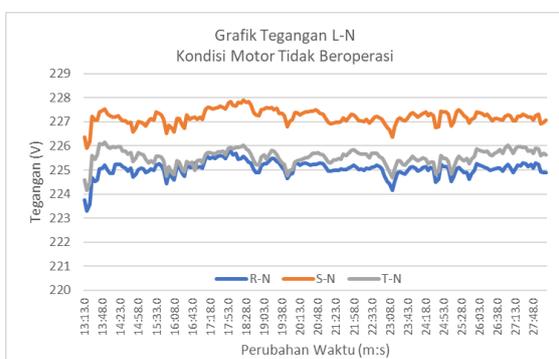
Alat monitoring kualitas daya listrik akan dipasang pada sebuah panel kontrol motor yang mendapat suplai dengan tegangan 3 fasa. Panel melayani kontrol dan daya untuk 4 buah motor induksi tiga fasa, dimana terdiri dari 3 buah motor yang diasut menggunakan penyulutan DOL dan sebuah motor menggunakan penyulutan star-delta dengan spesifikasi sesuai dengan Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Beban

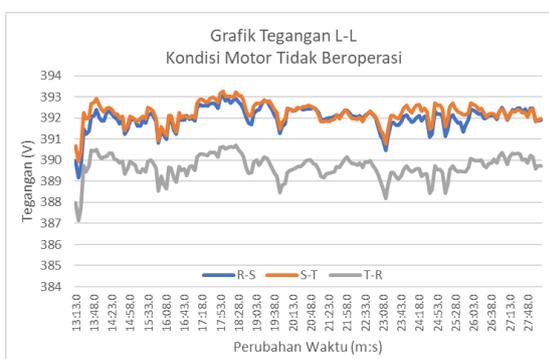
Motor	In (A)	P (W)
DOL1	1,85	1,5k
DOL2	0,73	0,6k
DOL3	2,72	2,2k
Y/D	4,95	4k

### A. Pengujian Tanpa Motor Beroperasi

Pengujian tanpa motor beroperasi dilakukan untuk mendapatkan data awal saat kondisi tiap fasa tanpa pembebanan. *Power Meter* akan bekerja sebagai sensor tegangan, dimana tegangan tiap fasa terhubung ke *power meter* melalui terminal V1, V2, V3 dan V4. Pengujian dilakukan selama 15 menit dengan interval 5 detik. Pengujian dilakukan untuk mendapatkan nilai tegangan fasa terhadap netral, fasa terhadap fasa, THD tegangan antar fasa dengan fasa, THD tegangan antar fasa dengan netral, frekuensi dan ketidak seimbangan tegangan.

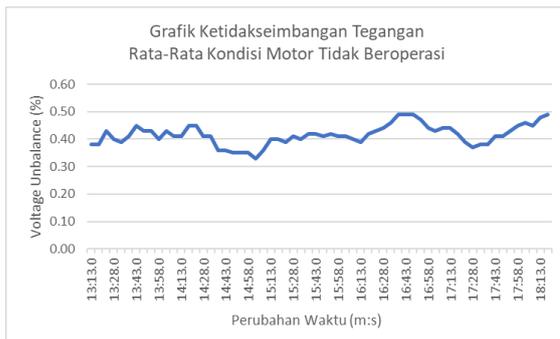


Gambar 4. Tegangan L-N Tanpa Motor

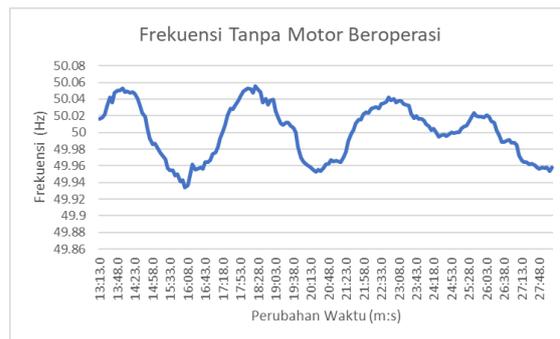


Gambar 5. Tegangan L-L Tanpa Motor

Pada Gambar 4 menampilkan grafik tegangan antara fasa dengan netral. Sedangkan Gambar 5 menampilkan grafik tegangan antara fasa dengan fasa. Pada grafik tegangan fasa terhadap netral nilai tegangan R-N lebih rendah dibanding tegangan T-N maupun S-N. Pada gambar juga menampilkan nilai tegangan T-R lebih rendah dibanding tegangan R-S maupun S-T. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor di antaranya distribusi beban yang tidak merata pada panel lain. Jika beban listrik tidak terdistribusi secara merata antara tiga fasa, maka resistansi pada masing-masing fasa akan berbeda. Ketika beban lebih besar pada fasa R, maka akan terjadi penurunan tegangan pada fasa R.

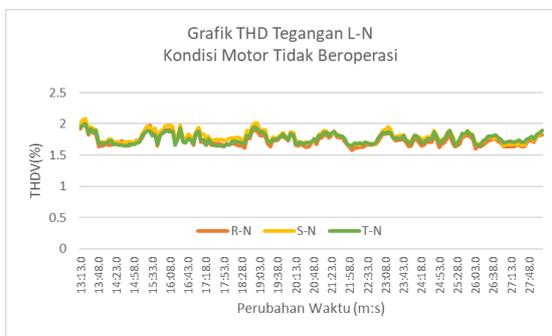


Gambar 6. Ketidakeimbangan Tegangan Tanpa Motor

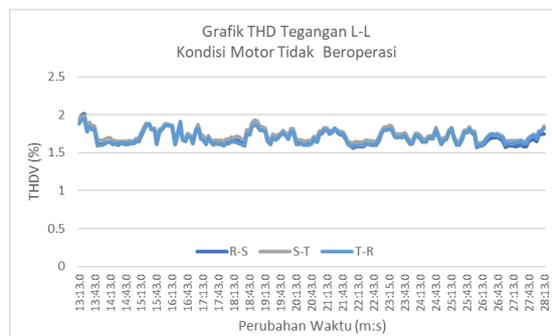


Gambar 7. Frekuensi Tanpa Motor

Meski memiliki nilai tegangan yang berbeda, ketidakseimbangan tegangan, sebagaimana pada Gambar 6, relatif rendah dengan nilai terbesar 0.49%. Ketika nilai ketidakseimbangan tegangan kecil, artinya perbedaan tegangan antar fasa dalam sistem tiga fasa tidak terlalu besar, dampaknya tidak terlihat atau signifikan. Namun, tetap ada beberapa efek yang dapat terjadi pada sistem tiga fasa akibat ketidakseimbangan tegangan. Gambar 7 menampilkan grafik frekuensi yang terlihat fluktuatif namun tidak terjadi perubahan nilai yang terlalu memengaruhi kerja sistem. Nilai yang terekam selama pengujian memiliki nilai terendah 49.933Hz dan tertinggi 50.055Hz. nilai tersebut bahkan kurang dari 1% dari frekuensi nominal sistem yaitu 50Hz. Hal ini sejalan dengan SNI 04-6507-2000 yang mengatur frekuensi listrik di Indonesia dengan menetapkan nilai frekuensi yang digunakan dalam sistem kelistrikan. Standar ini menetapkan frekuensi listrik konvensional yang digunakan di Indonesia adalah 50 Hz.



Gambar 8. THDV L-N Tanpa Motor

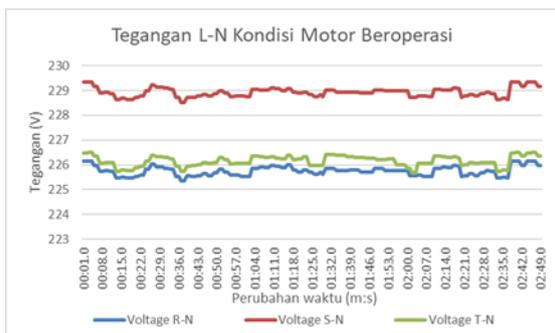


Gambar 9. THDV L-L Tanpa Motor

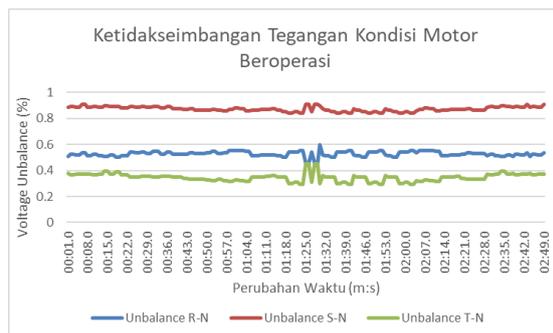
8 menampilkan grafik THDV L-N pada kondisi panel tanpa pengoperasian motor. Nilai harmonisa dari ketiga tegangan relatif mirip, hal ini menunjukkan tidak adanya ketimpangan penggunaan komponen yang menimbulkan harmonisa pada suatu fasa di panel kontrol. Nilai maksimal THD yang muncul saat pengujian tanpa beban yaitu sebesar 2.085%. Gambar 9 menampilkan grafik THDV L-L pada kondisi tanpa beban. Nilai THDV L-L tertinggi tercatat di hubungan R-S pada nilai 2.02%. Kedua grafik harmonisa tanpa beban masih berada di bawah standar IEEE Std 519 yang mengatur tentang batas nilai harmonisa pada sistem distribusi daya listrik. Batas umum yang diizinkan adalah total distorsi harmonisa (THD) tegangan sebesar 5%. Hal ini dapat mengindikasikan jika tegangan yang mengalir pada bengkel semester 3 distribusi daya dan peralatan listrik beroperasi dengan baik serta normal tanpa mengalami gangguan akibat distorsi harmonisa tegangan.

**B. Pengujian Motor Beroperasi**

Pengujian dilakukan untuk mengetahui pengaruh pembebanan motor induksi tiga fasa terhadap kualitas daya suatu sistem daya listrik. Motor akan dinyalakan keempatnya namun pada selang waktu yang berbeda. Motor yang dioperasikan berupa 3 motor dengan pengasutan DOL dan sebuah motor dengan pengasutan *star-delta*. Nilai variabel diambil pada *interval* satu detik selama 3 menit.

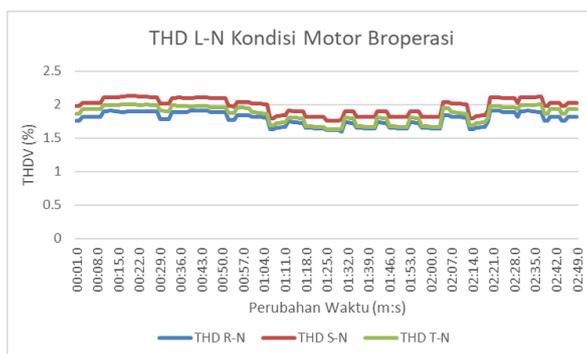


Gambar 10. Tegangan L-N Kondisi Motor Beroperasi



Gambar 11. Grafik Ketidakseimbangan Tegangan Kondisi Motor Beroperasi

Gambar 10 menampilkan grafik perubahan nilai tegangan terhadap waktu selama pengujian berlangsung. Berdasarkan IEEE 1159-1995, batas nilai tegangan yang diizinkan adalah +5% dan -10%. Karena Indonesia memiliki nilai tegangan standar fasa dengan netral 220V, maka nilai yang diperbolehkan adalah 198V – 231V. Selama pengujian berlangsung didapatkan nilai terendah pada sisi R-N senilai 225,35V dan nilai tertinggi pada sisi S-N senilai 228,5V. Nilai menunjukkan bahwa selama pengujian dengan motor beroperasi tidak terjadi kenaikan atau penurunan tegangan yang menyebabkan nilai tegangan menjadi *overvoltage* ataupun *undervoltage*. Gambar 11 menunjukkan grafik ketidakseimbangan tegangan selama pengujian berlangsung. Menurut standar NEMA, persentase ketidakseimbangan tegangan tidak boleh lebih besar dari 5%. Dari percobaan didapatkan bahwa nilai ketidakseimbangan tegangan tertinggi ada pada fasa S-N dengan nilai 0.91% dan nilai terendah pada fasa T-N dengan nilai 0.29%. Hal ini menunjukkan ketidakseimbangan tegangan masih berada dalam standar meski pada kondisi pengoperasian motor.



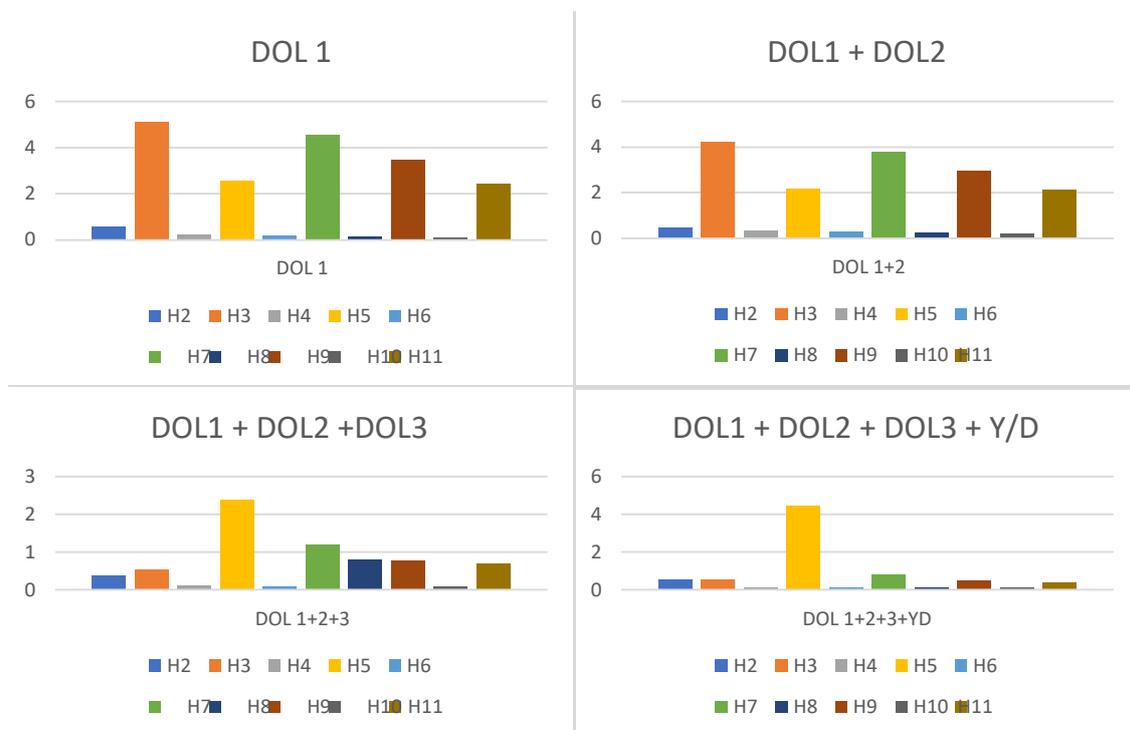
Gambar 12. THDV Motor Beroperasi

Gambar 12 merupakan grafik yang dihasilkan selama pengujian berlangsung. Mengacu pada IEEE standar 519-2014, batas THDV untuk tegangan dibawah 1kV adalah 8% dengan harmonisa individunya 5%. Didapatkan bahwa THDV tertinggi timbul bernilai 2.13% pada sisi S-N, sedangkan terendahnya di R-N bernilai 1.6%. Nilai ini masih berada di bawah standar 8% dan menunjukkan bahwa gelombang tegangan masih berada pada bentuk fundamentalnya. Dari pengujian ini pula menunjukkan jika penggunaan motor induksi tiga fasa tidak memengaruhi THDV. Karena pada bengkel listrik semester 3 tidak menggunakan motor-motor yang penyulutannya dilakukan dengan rangkaian penyearah seperti VFD atau VSD.



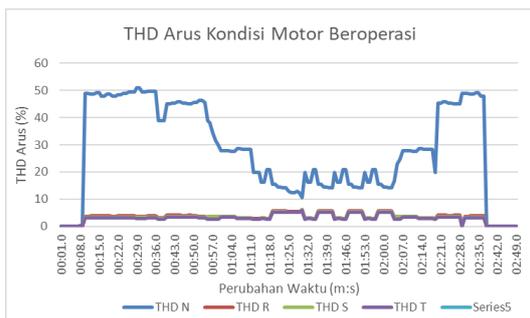
Gambar 13. Arus Motor Beroperasi

Gambar 13 merupakan grafik arus yang dibentuk selama pengujian berlangsung. Selama pengujian dilakukan timbul arus netral yang diakibatkan perbedaan nilai pembebanan pada tiap fasa. Nilai tertinggi arus netral yang terbaca sebesar 1.48A, terendah 0A dengan rata-rata 0.13A. Nilai arus netral tertinggi yang terdeteksi terjadi karena adanya penyulutan motor. Menurut edaran PT. PLN (Persero) No.17 Tahun 2014. Persentase besar arus netral (% terhadap beban) berkategori baik jika di bawah 10%. Jika mengambil nilai rata-rata selama pengujian, hal ini masih tergolong baik karena kenaikan nilai hanya terjadi sesaat saja. Nilai 0A yang muncul pada sisi netral tidak berarti 0 mutlak namun telah melalui pembulatan dari sisi sensor. Hal ini dapat terlihat melalui adanya harmonisa pada penghantar netral.

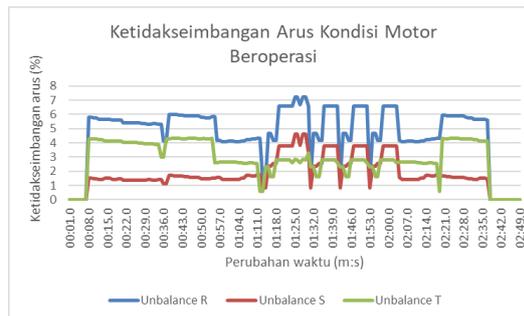


Gambar 14. Spektrum THDI

Gambar 14 menampilkan spektrum THDI pada penggunaan motor induksi 3 fasa. Awalnya pada penggunaan motor DOL1 dan DOL2, harmonisa tertinggi timbul pada orde ke-3, namun setelah ditambahkan beban motor DOL3 dan Y/D harmonisa tertinggi timbul pada orde ke-5. Pada penggunaan 4 motor secara bersamaan juga menurunkan distorsi harmonisa orde lainnya.



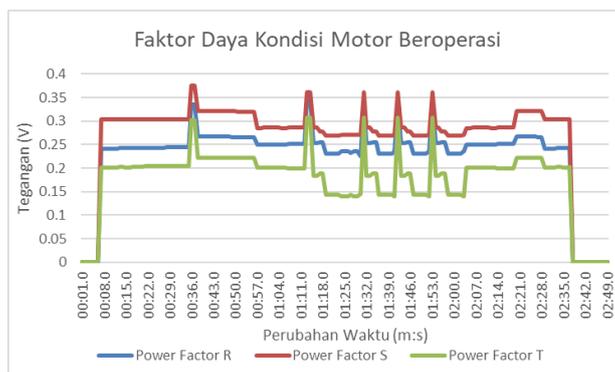
Gambar 15. THDI Motor Beroperasi



Gambar 16. Ketidakseimbangan Arus Motor Beroperasi

Gambar 15 menyajikan grafik perubahan THD arus terhadap penghantar R, S, T dan netral selama pengujian. Berdasarkan Nilai THD arus fasa tertinggi bernilai 6.1% dan terendah bernilai 0.13%, keduanya terjadi pada fasa S. Sedangkan, sisi netral menunjukkan nilai yang sangat besar. Nilai THD netral yang timbul mencapai 50.80% dengan rata-rata 31.61% diakibatkan kecilnya nilai arus sehingga sensor mendeteksi perubahan yang sangat signifikan pada gelombang arus netral. Penurunan nilai THD arus terjadi ketika kondisi 4 motor beroperasi. Hal ini timbul akibat penurunan orde harmonisa orde ganjil lainnya selain pada orde dominannya, pada hal ini orde ke-5.

Gambar 16 merupakan grafik perubahan ketidakseimbangan selama motor beroperasi. Menurut edaran PT. PLN (Persero) No.17 Tahun 2014. Persentase ketidakseimbangan arus berkategori baik jika di bawah 10%. Berdasarkan Nilai ketidakseimbangan arus tertinggi timbul pada fasa R dengan nilai 7,25% dan terendah pada fasa T dengan nilai 0.58%. Jika dibandingkan dengan nilai standar di atas, nilai ini tergolong baik. Hal ini disebabkan minimnya beban satu fasa yang terhubung pada panel kontrol motor sehingga pembebanan pada tiap fasa kondisi motor beroperasi retailif stabil.



Gambar 16. Faktor Daya Motor Beroperasi

Gambar 16 menampilkan grafik faktor daya selama pengujian. IEEE Std 519 menetapkan batas nilai faktor daya dalam sistem kelistrikan berkisar antara 0,85 hingga 0,95 tergantung kondisi yang terjadi. Berdasarkan Tabel 10 nilai faktor daya tertinggi adalah 0.34 terjadi di fasa R dan terendah 0.14 pada fasa T. Nilai ini berada di bawah standar yang ditetapkan dan berpotensi meningkatkan daya yang dibutuhkan motor. Kecilnya nilai faktor daya disebabkan penggunaan motor induksi tiga fasa dengan perbandingan yang lebih besar dibandingkan beban lainnya. Motor induksi sendiri merupakan jenis beban yang bersifat induktif dan dapat menyebabkan *lagging* pada gelombang arus sehingga menurunkan nilai faktor daya sistem kelistrikan. Semakin banyak penggunaan beban induktif pada sistem juga mengakibatkan menurunnya nilai faktor daya.

#### 4. SIMPULAN

Alat monitoring kualitas daya listrik berbasis IoT berhasil dibuat dengan rata-rata error pembacaan sebesar 3,5%. Data yang dikirimkan ke ThingsBoard memiliki latensi sebesar 0,5-1 detik sehingga kurang dapat menangkap kejadian berskala lebih kecil dari 1 detik. Analisa beban menunjukkan beban motor induksi tiga fasa memengaruhi nilai ketidakseimbangan arus hingga 7.5% dan THD arus fasa sampai 6,1%. THD arus netral menurun ketika keempat motor dioperasikan. Semakin banyak beban induksi yang terhubung pada sistem daya listrik menyebabkan penurunan nilai faktor daya. Faktor daya terendah yang timbul selama pengujian bernilai 0.14 pada fasa R. Ketidakseimbangan arus tertinggi yang timbul masih berkategori baik. Ketidakseimbangan arus menyebabkan timbulnya arus pada titik netral. Nilai arus Netral tertinggi yang timbul sebesar 1,48A terjadi saat pengasutan motor 2 kecepatan. Secara keseluruhan, nilai yang timbul masih berada pada rentang standat yang berlaku.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. M. Yudha, "Kualitas Daya Listrik Pengaruh Dan Penanganannya," *Desiminasi Teknol.*, vol. 5, no. 2, pp. 17–26, 2017.
- [2] D. Handarly and J. Lianda, "Sistem Monitoring Daya Listrik Berbasis IoT (Internet of Thing)," *JEECAE (Journal Electr. Electron. Control. Automot. Eng.)*, vol. 3, no. 2, pp. 205–208, 2018, doi: 10.32486/jeecae.v3i2.241.
- [3] D. Novianto, E. Zondra, and Y. Hazra, "Analisis Efisiensi Motor Induksi Tiga Fasa Sebagai Penggerak Vacuum Di PT. Pindo Deli Perawang," *SainETIn J. Sains ...*, vol. 4, no. 2, pp. 73–80, 2022, doi: 10.31849/sainetin.v6i2.9734.
- [4] R. Istomo and N. Tomy, "Analisis Pengukuran Dan Perhitungan Total Harmonic Distortion (Thd) Pada Beban Non Linier," *128 J. Elektro*, vol. 2, no. 3, pp. 1–8, 2018.
- [5] E. D. Yanto and I. Pakaya, "Simulasi Kompensator Aktif Faktor Daya 3 Fasa Dengan Kontrol Arus dan Tegangan Di PT Vale Indonesia Menggunakan Metode Proportional Integral," *AITEL(Artikel Ilmiah Teknik Elektro)*, vol. 1, no. 1, 2019.
- [6] Manan Ginting, "Perbaikan Faktor Daya Motor Induksi Tiga Fase," *Warta Teknologi Industri*, vol. XXI, no. 1, 2014.
- [7] A. R. Sultan and A. Gaffar, "Kajian Eksperimental Pengaruh Pembebanan Terhadap Faktor Daya Motor Induksi," *Semin. Nas. Has. Penelit. ...*, vol. 2019, pp. 20–25, 2019, [Online]. Available: <http://jurnal.poliupg.ac.id/index.php/snp2m/article/download/1770/1614>
- [8] Atmam, E. Zondra, and Zulfahri, "Analisis Penggunaan Energi Listrik Pada Motor Induksi Satu Fasa Dengan Menggunakan Inverter," *SainETIn*, vol. 1, no. 2, pp. 1–8, 2017, doi: 10.31849/sainetin.v1i2.207.
- [9] I. N. Duarsana, I. W. Rinas, and I. W. Arta Wijaya, "Analisa Unjuk Kerja Motor Induksi 3 Fasa Terhadap Pengaruh Harmonisa (Thd) Dengan Penambahan Filter Aktif Menggunakan Matlab," *J. SPEKTRUM*, vol. 8, no. 1, p. 123, 2021, doi: 10.24843/spektrum.2021.v08.i01.p14.
- [10] F. I. Pasaribu, "Beban Non Linier dan Analisa Harmonisa," *J. Elektro dan Telekomunikasi*, vol. 5, no. 1, pp. 29–34, 2021.
- [11] W. M. Nabilah *et al.*, "Analisa Kualitas Dan Pengaturan Alarm," *Prosiding Seminar Nasional Teknik Eelektro*, vol. 6, 2021.
- [12] K. E. Susilo, Amar Ma'ruf, and Rangsang Purnama, "Rancang Bangun Alat Monitoring Tegangan," *J. Sist. Komput. dan Kecerdasan Buatan*, vol. 5, no. 1 September 2021, pp. 81–86, 2021.
- [13] I. G. Budiyasa, I. W. Artha Wijaya, and T. G. Indra Partha, "Rugi – Rugi Daya Akibat Pengaruh Ketidak Seimbangan Beban Terhadap Arus Netral Pada Efektifitas Penggunaan Daya Terpasang," *J. SPEKTRUM*, vol. 8, no. 1, p. 260, 2021, doi: 10.24843/spektrum.2021.v08.i01.p29.
- [14] R. Dhavitra, F. Firdaus, and F. Feranita, "Analisis Dampak Total Harmonic Distortion Terhadap Losses Dan Derating Pada Transformator Distribusi Di Fakultas Teknik Universitas Riau," *J. FTEKNIK*, vol. 2, no. 1, pp. 1–16, 2015.
- [15] H. Hilmansyah, A. W. Aditya, and F. A. Laksono, "Sistem Monitoring Daya Listrik Gedung Terpadu Politeknik Negeri Balikpapan Berbasis Internet of Things (IoT)," *J. Teknol. Terpadu*, vol. 10, no. 2, pp. 164–170, 2022.