Rancang Bangun Modul Pengukuran Energi Listrik Tidak Langsung Menggunakan Kwh Dan Kvarh Meter

Candra Irawan[1,*], Yudi Prana Hikmat[2], Hari Purnama[3]

[1,2,3]Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail: [1,]candra.irawan.20@polban.ac.id; [2]yudipranahikmat@yahoo.com; [3]haripoernama@gmail.com*

ABSTRAK

Energi listrik merupakan kebutuhan pokok masyarakat. Pihak penyedia (PLN) menetapkan aturan pembayaran energi listrik dalam rentang waktu satu bulan. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam pembayaran energi listrik yaitu mengenai beban-beban yang besar terutama beban induktif yang digunakan juga berpengaruh terhadap faktor daya, dan juga pemakaian biaya kVARh meter. Maka dari itu dibuat penelitian mengenai rancang bangun modul pengukuran energi listrik secara tidak langsung disamping untuk merealisasikan metode pengukuran yang diperlukan untuk mengukur arus dan atau tegangan yang besar selain itu juga untuk kebutuhan proses belajar bagi mahasiswa. Tahapan yang digunakan dalam penyusunan penelitian ini yaitu mengidentifikasi masalah, melakukan studi literatur, menentukan rumusan masalah dan tujuan kemudian merancang konsep pembuatan alat, menentukan dan melakukan pengadaan peralatan yang akan digunakan dan terakhir menganalisis alat dan membuat kesimpulan. Dari penelitian ini didapat hasil bahwa modul pengukuran energi listrik tidak langsung dapat berfungsi dengan baik dan lebih efektif ketika dilakukan dengan beban yang besar kemudian didapat hasil pengujian pemakaian kWh/bulan yang terhitung ketika dibebani resistif yaitu 91,51 kWh, pemakaian kVARh/bulan yaitu 12,94 kVARh, ketika dibebani induktif pemakaian kWh/bulan yaitu 29,09 kWh, pemakaian kVARh/bulan yaitu 18,14 kVARh dan ketika dibebani resistif-induktif pemakaian kWh/bulan yaitu 106,77 kWh pemakaian kVARh/bulan yaitu 21,68 kVARh.

Kata Kunci

Pengukuran tidak langsung, kWh meter, kVARh meter, dan Pemakaian kWh kVARh meter

1. PENDAHULUAN

Energi listrik sudah menjadi kebutuhan pokok bagi masyarakat. Pihak penyedia (PLN) menetapkan aturan pembayaran energi listrik dalam rentang waktu satu bulan. Besarnya energi listrik yang harus dibayar oleh pelanggan dihitung berdasarkan jumlah energi listrik yang sudah digunakan. Pihak penyedia (PLN) menetapkan satuan ukur energi listrik yaitu kWh (*kilo Watt hour*), atau yang kita kenal meter energi kWh sebagai alat ukurnya.[1]

Hal-hal yang harus diperhatikan dalam pengukuran energi listrik yaitu mengenai beban-beban yang besar terutama beban induktif yang digunakan juga berpengaruh terhadap faktor daya, dan juga pemakaian biaya kVARh meter, sehingga dalam praktiknya dalam pengukuran beban besar tersebut harus menggunakan metode pengukuran yang bisa melindungi alat ukur dari kerusakan.[2]

Maka dari itu di dalam tugas akhir ini penulis akan merancang bangun modul pengukuran energi listrik metode tidak langsung untuk mengetahui pemakaian kWh meter dan kVARh meter dan juga digunakan untuk proses praktikum mahasiswa berdasarkan *jobsheet* yang telah dibuat.[3]

2. LANDASAN TEORI

2.1 Alat Pengukur dan Pembatas (APP)

(APP) atau kepanjangan dari Alat Pengukur dan Pembatas Listrik adalah komponen yang fungsinya untuk mengukur dan membatasi dalam pemakaian energi listrik yang digunakan oleh konsumen.

Pengukuran merupakan suatu proses yang berfungsi untuk mengetahui besarnya pemakaian energi listrik dalam rentang waktu tertentu.

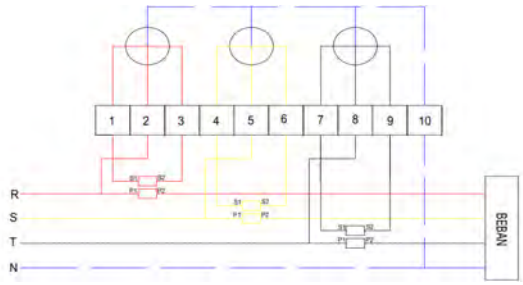
Pembatas adalah berfungsi untuk membatasi pemakaian energi listrik sesuai dengan daya tersambung dari pihak penyedia (PLN). Alat pembatas yang digunakan yaitu pemutus tenaga (MCCB) atau (MCB) [4]

2.2 Pengukuran Energi Listrik Tidak Langsung

Metode pengukuran energi listrik tidak langsung pada praktiknya digunakan untuk pengukuran yang rentang dayanya besar dan tegangannya tinggi kemudian di dalam teknis instalasinya meter kWh disambungkan melewati alat penunjang yaitu (PT) *potential transformers* dan atau (CT) *current transformers* yang disambungkan ke sumber listrik kemudian menuju beban tujuannya untuk memperkecil besaran arus dan besaran tegangan sebelum masuk ke komponen pengukuran [5].

Metode *metering* pada meter kWh pada sistem pengukuran tidak langsung ini terdiri dari:

a) Pembacaan langsung, yaitu pembacaan kWh meter sesuai dengan pengukuran yang disambungkan secara langsung.
b) Pembacaan semi langsung, yaitu pembacaan pada kWh meter harus dikonversikan terlebih dahulu dengan perbandingan (CT).
c) Pembacaan tidak langsung, yaitu dalam pembacaan harus dikonversikan dengan pengaturan rasio (CT) dan (PT).



Gambar 2. 1 Pengukuran Tidak Langsung
(Sumber: digambar ulang oleh penulis dari (PLN Pengawatan Meter Energi))

2.3 Beban Listrik

Beban listrik merupakan komponen listrik yang mengkonsumsi daya sehingga dapat menghasilkan pembacaan pada alat ukur daya, pada penerapannya konsumen kategori beban listrik terdiri dari beban listrik resistif, beban listrik induktif dan beban listrik kapasitif.

2.3.1 Beban Listrik Resistif (R)

Beban listrik resistif (R) merupakan komponen yang terdiri dari tahanan, contohnya pijar, dan *instrument* pemanas (*heater*).

Gambar 2. 2 Fasor arus terhadap tegangan pada beban listrik resistif

2.3.2 Beban Listrik Induktif (L)

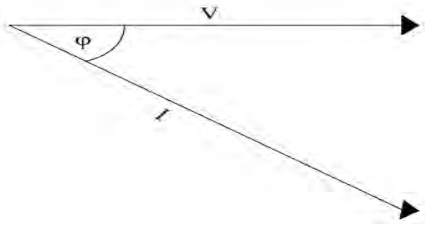
Beban lstrik induktif (L) merupakan beban listrik yang komponen penyusunnya adalah kumpulan konduktor yang dililit, contohnya seperti: transformator, koil, solenoida dll.

Komponen listrik ini mengkonsumsi daya listrik aktif dan daya listrik reaktif.

Untuk menghitung reaktansi induktansi (X_L), dapat menggunakan rumus:

$X_L = 2\pi \times f \times L$ ……..……..……..(II. 1)

Keterangan
X_L = Reaktansi induktansi (Ohm)
F = Frekuensi (Hz)
L = Induktansi (Henry)



Gambar 2. 3 Fasor arus dan tegangan pada beban listrik induktif

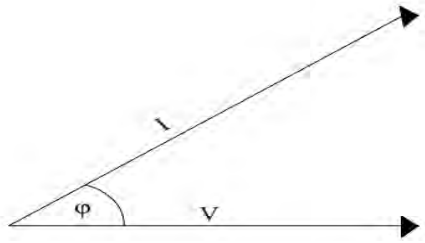
2.3.3 Beban Listrik Kapasitif (C)

Beban listrik kapasitif (C) merupakan komponen listrik yang mempunyai sifat kapasitansi berfungsi sebagai cadangan energi listrik yang disimpan berasal dari pengisian elektris pada suatu rangkaian listrik.

Untuk menghitung reaktansi kapasitansi (X_C) dapat menggunakan rumus:

$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$……..……..
(II. 2)

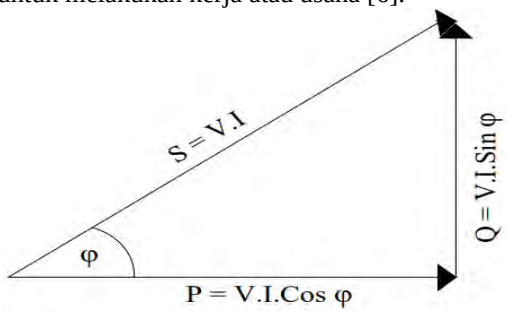
Keterangan:
X_C = Reaktansi kapasitansi (Ohm)
f = Frekuensi (Hz)
C = Kapasitansi (Farad)



Gambar 2. 4 Fasor arus dan tegangan pada beban kapasitif

2.4 Daya Listrik

Daya listrik merupakan energi yang digunakan untuk melakukan kerja atau usaha [6].



Gambar 2. 5 Grafik segitiga daya

2.4.1 Daya Listrik Aktif

Daya listrik aktif adalah daya yang terpakai untuk melakukan energi yang sebenarny, P merupakan simbol dari daya listrik aktif dan W atau watt adalah satuannya [7].

Rumus daya listrik aktif

$P_{1\,fasa} = V \times I \times Cos\,\varphi$….....(II. 3)

$P_{3\,fasa} = V \times I \times Cos\,\varphi \times \sqrt{3}$…….……(II. 4)

Keterangan:
P = Daya Aktif (Watt)
V = Tegangan (Volt)
V_L = Tegangan Line (Volt)
I = Arus (Ampere)
I_L = Arus Line (Ampere)
Cos φ = Faktor daya

2.4.2 Daya Listrik Reaktif

Daya listrik reaktif merupakan energi listrik yang digunakan oleh beban reaktif dan kemudian dikembalikan ke sumbernya. Daya reaktif umumnya disimbolkan oleh Q dan satuan ukurnya VAR. Contoh daya listrik reaktif antara lain *ballast*, trafo, motor listrik, dan sejenisnya.

$Q_{1\,fasa} = V \times I \times Sin\,\varphi$……..……...(II.5)

$Q_{3\,fasa} = V \times I \times Sin\,\varphi \times \sqrt{3}$…….....(II.6)

Keterangan:
Q = Daya Reaktif (Watt)
V = Tegangan (Volt)
V_L = Tegangan Line (Volt)
I = Arus (Ampere)
I_L = Arus Line (Ampere)
Sin φ = Faktor daya

2.4.3 Daya Listrik Semu

Daya listrik semu merupakan total dari jumlah vektor antara daya listrik aktif dengan daya listrik reaktif di dalam sistem arus listrik bolak balik, Daya listrik semu disimbolkan dengan S dan satuan ukurnya Volt Ampere (VA).

$S = V \times I$……..…….....(II.7)

$S = V \times I \times \sqrt{3}$…..……..….....(II.8)

2.5 Faktor Daya

Faktor daya (cos φ) dapat didefinisikan sebagai pembagian antara daya listrik aktif (Watt) dan daya listrik semu (VA) yang digunakan dalam sistem arus bolak balik, atau sebagai perbedaan sudut fasa antara arus dan tegangan yang dinyatakan dalam cos φ [13].

Faktor daya = $\frac{P}{S}$…….....(II.9)

Faktor daya yang ideal adalah ketika nilainya mendekati 1.

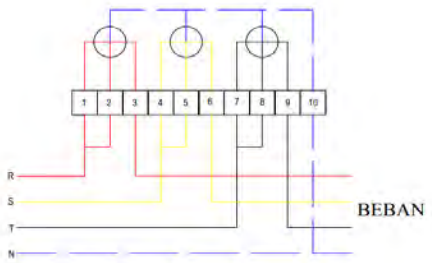
2.6 KWh Meter

KWh meter adalah sebuah perangkat untuk mengukur energi listrik, terdiri dari jenis statik tiga fase. Dalam kategori ini, kWh meter statik memanfaatkan elemen *solid state* untuk menghasilkan *output* sesuai dengan energi yang diukur. Lebih lanjut, kWh meter ini berfungsi sebagai alat penghitung untuk mengukur kerja listrik selama periode waktu tertentu, menggunakan prinsip induksi [7][9].

Prinsip kerjanya adalah menggunakan induksi medan magnet ketika kumparan arus dan kumparan tegangan dialiri arus dan tegangan maka piringan akan berputar dan roda gigi akan mencatat nilai daya aktif [11].

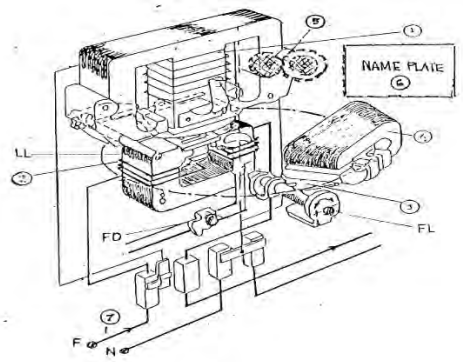
Terdapat dua jenis meter kWh yang digunakan yaitu sebagai berikut:

1) kWh meter 1 fasa
2) kWh meter 3 fasa



Gambar 2. 6 Pengawatan kWh meter 3 fasa
(Sumber: digambar ulang oleh penulis dari (PLN Pengawatan Meter Energi))

2.6.1 Bagian-Bagian kWh Meter



Gambar 2. 7 Bagian-bagian kWh Meter
(Sumber: PLN, Teori dasar kWh)

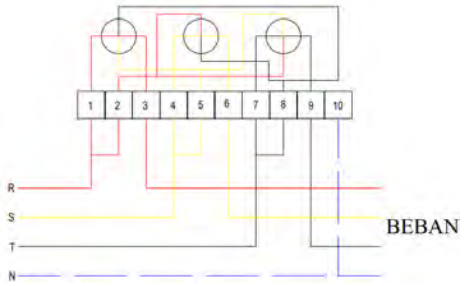
Bagian-bagian kWh meter 1 dan 3 fasa diantaranya:

1) Kumparan Tegangan
2) Kumparan Arus
3) Piringan KWh Meter
4) Rem Magnet KWh Meter
5) *Register* dan Roda Gigi
6) *Nameplate* KWh Meter
7) Blok Terminal

2.7 KVARh Meter

Meter KVARh adalah sebuah perangkat pengukur listrik yang digunakan untuk mengetahui daya listrik reaktif satuannya Volt Ampere/jam atau kilo Volt Ampere Reaktif Hour. Kumparan tegangan disambungkan secara paralel dengan kumparan arus.

Prinsip kerja dari kVARh meter cenderung sama dengan kWh meter yaitu dengan menggunakan sifat induksi medan magnet.



Gambar 2. 8 Pengawatan kVARh meter 3 fasa
(Sumber: digambar ulang oleh penulis dari (PLN Pengawatan Meter Energi))

Komponen-komponen kVARh memiliki beberapa bagian yang mirip dengan kWh meter, perbedaannya hanya pada pengukuran daya reaktif. Hal ini dapat dicapai dengan menginstalasi kumparan tegangan dalam hubung bintang, sementara kumparan arus dihubung seri.

2.8 Transformator Arus (CT)

Transformator arus berfungsi untuk memperkecil besaran arus besar menjadi besaran arus kecil untuk pengukuran dalam hal ini untuk pengukuran yang masuk ke alat pengukur kWh meter, kVARh meter, cos φ meter, dan ampere meter.

Sebelum dipasang pada APP TR Pengukuran Tidak Langsung, transformator arus harus melewati uji jenis (*type test*) yang sesuai [5].

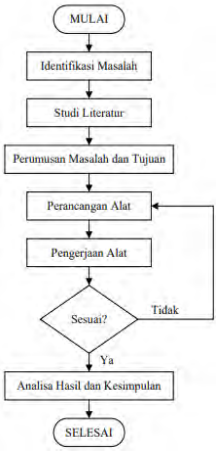
2.9 Perhitungan Pemakaian Energi Listrik

Perhitungan pemakaian energi listrik dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Pemakaian biaya kWh meter
   $P = V \times I \times \cos \varphi$
   $kVARh = Q \times t$
2. Pemakaian biaya kVARh meter
   $Q = V \times I \times \sin \varphi$
   $kVARh = Q \times t$

3. METODOLOGI

Diagram alir dalam penelitian ini:



Gambar 3.1 Diagram Alir

Metodologi dalam pembuatan modul ini dimulai dari mengidentifikasi masalah yaitu mengenai kWh meter dan kVARh meter 3 fasa analog, menggunakan metode pengukuran energi listrik tidak langsung, kemudian melakukan studi literatur dari buku-buku, standar, jurnal, prosiding dll dari internet maupun dari perpustakaan, masuk pada bagian perumusan masalah dan tujuan dari rancang bangun modul ini yaitu merancang bangun dan membuat jobsheet tentang pengukuran energi listrik tidak langsung juga pemakaian kWh dan kVARh pada rentang waktu tertentu setiap bulannya.

Perancangan alat yaitu tahapan ini dimulai degan penentuan spesifikasi alat secara keseluruhan, menentukan layout keseluruhan, pembuatan rangka, pengadaan komponen dan pembuatan *Bill of Quantity*.

Kemudian masuk ke pengerjaan alat yang dilakukan dengan memasang setiap komponen, menginstalasi pengkabelan hingga tuntas, setelah dilakukan pengerjaan langkah selanjutnya dilakukan uji fungsi alat secara keseluruhan, Tahap selanjutnya yaitu dilakukan pengujian apakah hasilnya sudah sesuai dengan *jobsheet* yang merujuk pada *jobsheet* sebelumnya atau tidak apabila tidak maka harus dilakukan *trouble shooting* alat apabila sudah sesuai maka dilakukan pembuatan analisis hasil dan terakhir yaitu dilakukan pengambilan kesimpulan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Spesifikasi Alat Pengukuran Energi Listrik Tidak Langsung

Berdasarkan tahapan yang sudah dilakukan sesuai dengan metodologi, maka spesifikasi alat secara keseluruhan dapat diketahui sebagai berikut:

1. Sumber tegangan 3 fasa yaitu 220/380 Volt.
2. Arus maksimal yang mengalir yaitu 5,5 Ampere.
3. Frekuensi 50 Hz.
4. Lilitan CT sebanyak 15x sehingga rasionya 10/5 A

4.2 Langkah Pengujian

1. Persiapkan bahan-bahan dan semua peralatan yang akan digunakan.
2. Rangkai peralatan dan komponen sesuai dengan rangkaian alat uji.
3. Setelah alat dirangkai, cek kembali rangkaian.
4. Sambungkan dengan sumber 3 fasa tegangan 380 V.
5. Sambungkan beban resistif dan induktif menggunakan kabel penghubung.
6. Hidupkan sumber dan pastikan kondisi cos phi meter, ampere meter, kWh meter, kVARh meter dan voltmeter membaca nilai yang terukur.
7. Lihat piringan kWh dan kVARh meter ketika tanda hitam pas pada bagian tengah alat ukur. Hitung jumlah piringan dalam waktu 5 menit dengan menggunakan *stopwatch* secara bersamaan.
8. Lakukan kembali seperti poin 5 dengan mengubah beban secara bergantian antara beban resistif, induktif dan resistif-induktif.

4.3 Tabel Hasil Percobaan

Tabel hasil percobaan ketika kWh dan kVARh meter dibebani selama 5 menit dan dihitung putaran dari kWh dan kVARh secara manual dilihat dengan langsung dengan mata.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian

Beban	V (V)	I (A)	Cos φ	C1 Put/kWh	N1 (Put)	C2 Put/kVArh	N2 (Put)	t (s)
R	380	2,35	0,99	360	46	800	0	300
L	380	0,87	0,85	360	5	800	31	300
R-L	380	2,77	0,98	360	51	800	30	300

4.4 Tabel Hasil Perhitungan

Hasil dari tabel dibawah ini diperoleh dari proses perhitungan dari hasil percobaan dengan perhitungan daya aktif, daya reaktif, konversi waktu ke bulan, pemakaian kWh meter, dan pemakaian kVARh meter.

Tabel 4.1 Hasil Perhitungan

Beban	P (W)	Q (VAR)	t (h)	Pemakaian kWh/bulan	Pemakaian kVARh/bulan
R	1531,25	216,54	59,76	91,51	12,94
L	486,72	303,49	59,76	29,09	18,14
R-L	1786,69	362,80	59.,76	106,77	21,68

4.5 Contoh Perhitungan

Diambil salah satu contoh perhitungan dengan menggunakan beban induktif yaitu sebagai berikut:

1. $P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi$
   $= \sqrt{3} \times 380 \times 0{,}87 \times 0{,}85$
   $= 486{,}72$ Watt
2. $Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \varphi$
   $= \sqrt{3} \times 380 \times 0{,}87 \times 0{,}53$
   $= 303{,}49$ VA
3. $T = 5 \text{ menit} \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ menit}}$
   $= 0{,}083$ hours
   t1 bulan $= 0{,}83 \text{ h} \times 24 \text{ h} \times 30$ hari
   $= 59{,}76$ hours
4. $kWh = P \times t$
   $= 486{,}72 \times 59{,}76$
   $= 29086{,}38$ Wh
   $= 29{,}09$ kWh
5. $kVARh = Q \times t$
   $= 303{,}49 \times 59{,}76$
   $= 18136{,}56$ Wh
   $= 18{,}14$ kWh

4.6 Analisis Tabel

Berdasarkan data hasil pengujian dan perhitungan dapat diambil analisis meliputi:

1. Ketika dibebani beban resistif nilai pemakaian kWh/bulan dengan asumsi pemakaian 5 menit setiap harinya yaitu 91,51 kWh dan pemakaian kVARh yaitu 12,04 kVARh.
2. Ketika dibebani beban induktif nilai pemakaian kWh/bulan dengan asumsi pemakaian 5 menit setiap harinya yaitu 29,09 kWh dan pemakaian kVARh yaitu 18,14 kVARh.
3. Ketika dibebani beban resistif-induktif nilai pemakaian kWh/bulan dengan asumsi pemakaian 5 menit setiap harinya yaitu 106,77 kWh dan pemakaian kVARh yaitu 21,68 kVARh.
4. Pemakaian kWh dan kVRh berbanding lurus dengan beban yang terpasang artinya semakin banyak beban yang terpasang maka semakin banyak pemakaian kWh dan kVARh yang dihasilkan.

5.KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan maka dapat disimpulkan:

1. Dalam perancangan modul praktikum ini telah berhasil diuji fungi alat secara keseluruhan berjalan dengan baik sehingga modul pengukuran energi listrik tidak langsung dapat digunakan untuk proses praktikum.
2. Berdasarkan hasil pengujian pemakaian kWh/bulan yang terhitung ketika dibebani beban resistif yaitu 91,51 kWh, pemakaian kVARh/bulan yaitu 12,94 kVARh, ketika dibebani beban induktif pemakaian kWh/bulan yaitu 29,09 kWh, pemakaian kVARh/bulan yaitu 18,14 kVARh dan ketika dibebani beban resistif-induktif pemakaian kWh/bulan yaitu 106,77 kWh pemakaian kVARh/bulan yaitu 21,68 kVARh.

UCAPAN TERIMAKASIH

Tim peneliti mengucapkan terimakasih kepada Politeknik Negeri Bandung, Melalui keputusan direktur Politeknik Negeri Bandung atas bantuan pendanaan biaya penelitian tugas akhir mahasiswa program sarjana terapan dan diploma III nomor B/275/PL1/HK.02.00/2023 kelompok A1.

DAFTAR PUSTAKA

[1] F. S. Lukman, H. Mubarak, and Cholish, "Analisis Error Kwh Meter Tiga Fase Terhadap Kesalahan Pengawatan Pada Pengukuran Tidak Langsung," *Konferensi Nasional Sosial dan Engineering Politeknik Negeri Medan Tahun 2022*, pp. 839–848, 2022.

[2] F. Kurniadi, "Redesain penampang kabel wiring APP pelanggan TM untuk perbaikan akurasi pengukuran kWh," *ENERGI & KELISTRIKAN*, vol. 12, no. 2, pp. 165–169, Dec. 2020, doi: https://doi.org/10.33322/energi.v12i2.1173.

[3] Muhammad and A. Budiman, "Pengujian Ketelitian KWH Meter Analog Dan KWH Meter Digital Menggunaakan Beban Induktif," Jan. 2018.

[4] PT PLN (Persero), *Alat Pengukur, Pembatas Dan Perlengkapannya Bagian 1: App TR Pengukuran Langsung Fase Tiga Untuk Pelanggan 3,9 kVA s/d 41,5 kVA*. Jl. Trunojoyo Blok M-1/135, Kebayoran Baru Jakarta Selatan 12160, 2012, pp. 1–45.

[5] PT PLN (Persero), *Alat Pengukur, Pembatas Dan Perlengkapannya Bagian 2: APP TR Pengukuran Tidak Langsung Fase Tiga Untuk Pelanggan 53 kVA s/d 197 kVA*. Jl. Trunojoyo Blok M-1/135, Kebayoran Baru Jakarta Selatan 12160, 2012, pp. 1–45.

[6] Muhamad Suryanto and Tri Rijanto, "RANCANG BANGUN ALAT PENCATAT BIAYA PEMAKAIAN ENERGI LISTRIK PADA KAMAR KOS MENGGUNAKAN MODUL GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS(GSM) 800L BERBASIS ARDUINO UNO," vol. 8, no. 1, Jan. 2019.

[7] D. A. Putra and R. Mukhaiyar, "Monitoring Daya Listrik Secara Real Time," *Voteteknika*

(Vocational Teknik Elektronika dan Informatika), vol. 8, no. 2, p. 26, Aug. 2020, doi: https://doi.org/10.24036/voteteknika.v8i2.109138.

[8] *PUIL 2020*.

[9] I. Chairunnisa and W. Wildian, "Rancang Bangun Alat Pemantau Biaya Pemakaian Energi Listrik Menggunakan Sensor PZEM-004T dan Aplikasi Blynk," *Jurnal Fisika Unand*, vol. 11, no. 2, pp. 249–255, Apr. 2022, doi: https://doi.org/10.25077/jfu.11.2.249-255.2022.

[10] Fadlih Abdi Pratama, "REAL TIME DATA LOGGER UNTUK KWH METER DIGITAL TIGA FASA BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT) DAN CLOUD STORAGE," Apr. 2021.

[11] J. SON, "Analisa Data Hasil Pengukuran Beban Motor Listrik 1 Fasa pada kWh Analog dan kWh Digital," *Electrician*, vol. 15, no. 3, pp. 181–191, Sep. 2021, doi: https://doi.org/10.23960/elc.v15n3.2219.

[12] D. A. Putra and R. Mukhaiyar, "Monitoring Daya Listrik Secara Real Time," *Voteteknika (Vocational Teknik Elektronika dan Informatika)*, vol. 8, no. 2, p. 26, Aug. 2020, doi: https://doi.org/10.24036/voteteknika.v8i2.109138.

[13] Yendi Esye and Sigit Dwi Lesmana, "ANALISA PERBAIKAN FAKTOR DAYA SISTEM KELISTRIKAN," vol. 11, no. 1, pp. 103–113, Mar. 2021.