

Pengukuran Daya Listrik menggunakan Penguat *Common Emitter* dan Komparator

Arif Wahyu Wibowo, Ibrahim Nawawi, Dwi Novianto*
Program Studi Teknik Elektro, Universitas Tidar, Magelang, Indonesia

Article Info

Article history:

Submitted December 25, 2022

Accepted January 18, 2023

Published January 24, 2023

Keywords:

Alat ukur daya,
ZMPT101B,
SCT013-005,
common emitter,
zero crossing

Power meter,
ZMPT101B,
SCT013-005,
common emitter,
zero crossing

ABSTRACT

Penelitian ini merancang alat ukur daya listrik satu fase. Variabel yang diukur adalah tegangan, arus, frekuensi, faktor daya, daya semu, daya aktif dan daya reaktif. ZMPT101B dan SCT013-005 digunakan sebagai transduser tegangan dan arus. Luaran transduser dikuatkan dengan Penguat *Common Emitter*. Frekuensi diukur dengan metode *Zero Crossing* sedangkan beda fase diukur dengan membandingkan gelombang tegangan dan arus dengan rangkaian komparator dan XOR. Hasil pengukuran, dibandingkan dengan hasil pengukuran Power Quality Hioki 3286. Dari pengujian, diperoleh persentase rata-rata galat (*error*) tegangan 0,26%, arus 2,44%, frekuensi 0,32% dan beda fase sebesar 7,19%. Selain dibandingkan dengan alat ukur acuan, hasil pengukuran juga dibandingkan dengan hasil perhitungan dengan persentase galat rata-rata daya semu 0,44%, daya aktif 0,8% dan daya reaktif sebesar 0,44%.

This research designed a single-phase electric power meter. The variables measured are voltage, current, frequency, power factor, apparent power, active power and reactive power. ZMPT101B and SCT013-005 are used as voltage and current transducers. The output of the transducer is boosted with a Common Emitter Amplifier. Frequency is measured by the Zero Crossing method while the phase difference is measured by measuring the surge voltage and current with a circuit comparator and XOR. The measurement results were compared with the Hioki 3286 Power Quality measurement results. From the tests, the average percentage error was 0.26%, current was 2.44%, frequency was 0.32%, and phase difference was 7.19%. Apart from being compared with a reference measuring instrument, the measurement results are also compared with the calculation results with an average percentage error of 0.44% apparent power, 0.8% active power and 0.44% reactive power.



Corresponding Author:

Dwi Novianto
Program Studi Teknik Elektro, Universitas Tidar, Magelang
Jl. Kapten Suparman No. 39 Magelang 56116 Indonesia
Email: *nopi.jte@untidar.ac.id

1. PENDAHULUAN

Listrik merupakan kebutuhan yang tak bisa lepas dari kehidupan manusia. Energi listrik sangat dibutuhkan dalam berbagai sektor, di antaranya yaitu sektor rumah tangga, industri, bisnis dan umum. Peralatan rumah tangga hampir semuanya memiliki komponen elektronik di dalamnya, tentunya hal tersebut memerlukan energi listrik [1]. Energi tersebut dipakai untuk melakukan usaha atau kerja sehingga dapat menghasilkan gerak, panas, suara, atau cahaya. Daya listrik yang diserap setiap perangkat elektronik mempunyai besar yang berbeda-beda [2]. Hal tersebut terjadi karena perbedaan beban pada perangkat tersebut. Beban pada perangkat elektronika dapat digolongkan menjadi tiga jenis. Beban tersebut antara lain beban yaitu beban resistif, beban kapasitif, dan beban induktif. Sifat dari beban-beban tersebut dapat mempengaruhi besar daya listrik dan efisiensinya. Sesuai dengan kajian teori daya listrik, daya listrik dibagi menjadi tiga yaitu daya semu (VA), daya aktif (Watt) dan daya reaktif (VAR). Ketiga jenis daya listrik ini dapat dinyatakan dalam segitiga daya, di mana antara daya nyata dan daya reaktif akan membentuk sebuah sudut θ yang nilainya mewakili jenis beban. Beban semakin bersifat induktif apabila nilai θ mendekati 90° , sebaliknya beban semakin kapasitif apabila nilai θ mendekati -90° [3].

Di samping itu, kebutuhan energi listrik selalu meningkat setiap tahun seiring dengan peningkatan penduduk, jumlah investasi, dan perkembangan teknologi. Energi listrik sudah dianggap kebutuhan pokok

karena besarnya manfaatnya pada kehidupan manusia. Namun, penyediaan energi sampai dengan tahun 2050 diperkirakan tetap didominasi oleh energi fosil batu bara yang tumbuh paling pesat [4]. Pemintaan energi listrik apabila tidak diikuti dengan ketersediaan sumber energi listrik akan menjadi masalah besar. Penghematan energi listrik merupakan salah satu cara untuk mengurangi penggunaan energi listrik dan dampak negatif terhadap lingkungan [5]. Maka dari itu diperlukan alat ukur yang dapat memudahkan pengguna mengetahui penggunaan listrik. Pada perkembangannya, kesediaan alat ukur daya listrik yang dapat menampilkan pengukuran daya listrik, faktor daya dan jenis beban yang sedang digunakan untuk pemakai daya 450 VA masih jarang, jika ada harganya masih tergolong mahal. Dengan beberapa masalah tersebut, pada penelitian ini merealisasikan alat ukur digital yang mampu mengukur daya listrik.

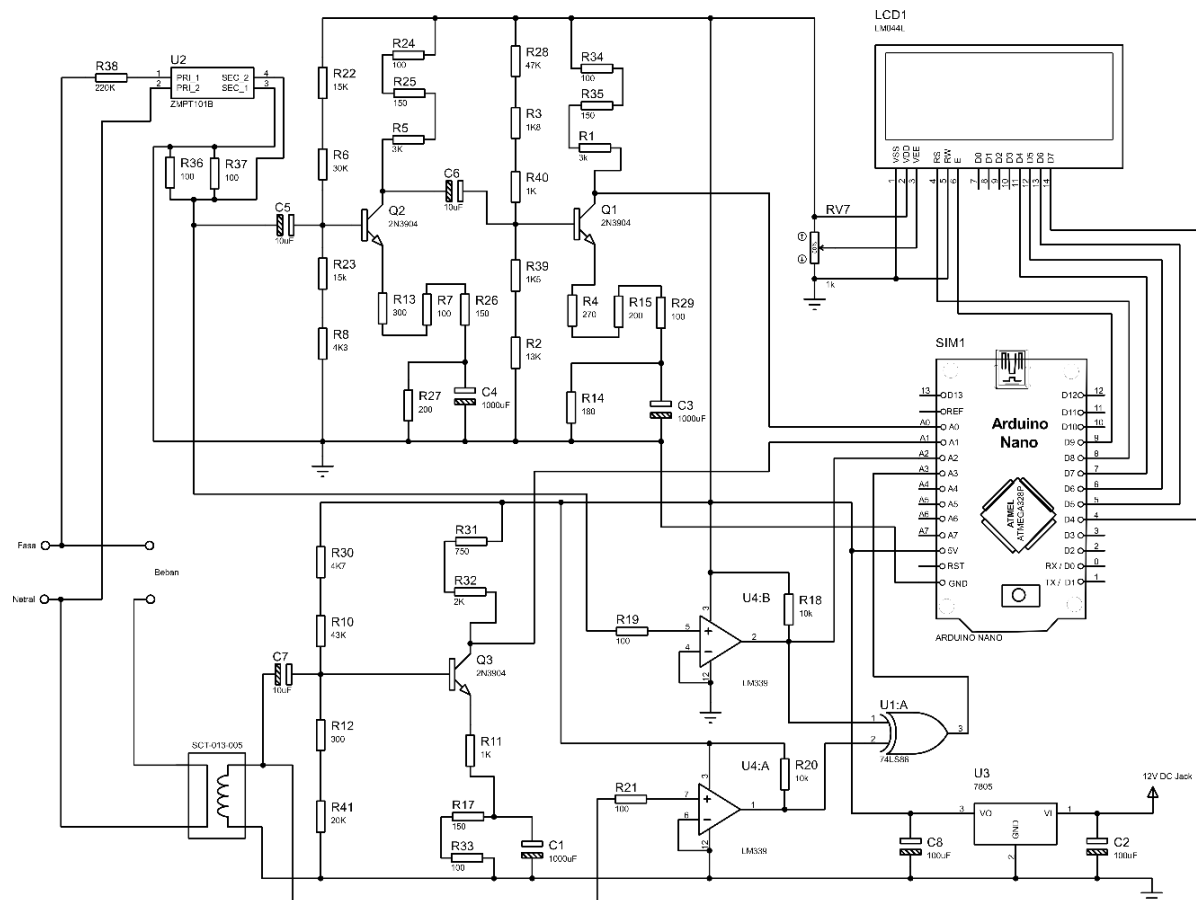
Pada penelitian sebelumnya tentang alat ukur daya listrik yang dilakukan oleh Nasibu, dkk. merancang perancangan *power meter* berbasis Arduino, namun hanya mengukur tegangan, arus, dan daya aktif. Sensor yang digunakan adalah sensor tegangan ZMPT101B dan sensor arus ZMCT103C. Pengujian hanya dilakukan dengan menggunakan beban resistif [6]. Sedangkan pada penelitian Arifin, dkk alat ukur daya yang dibuat dapat mengukur besaran tegangan, arus, faktor daya, dan daya aktif pada beban satu fase dengan menggunakan sensor tegangan ZMPT101B dan sensor arus ACS12. Namun, pada pengujian hanya dilakukan pada beban resistif [7].

Pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, komponen yang digunakan adalah mikrokontroler ATmega 328 dan Arduino Uno. Sensor tegangan pada penelitian sebelumnya berupa ZMPT101B dan transformator *step down* dengan pembagi tegangan, sedangkan sensor arus ZMCT103C dan ACS712 dengan beban uji menggunakan beban resistif. Pada penelitian ini menggunakan mikrokontroler Arduino Nano, sensor tegangan ZMPT101B karena ukurannya yang kecil, sensor arus menggunakan *non-invasive* SCT013 yang mudah dalam penggunaannya. Pendeteksi beda fase, frekuensi dan jenis beban menggunakan rangkaian komparator dan gerbang XOR. Sedangkan daya semu, daya aktif dan daya reaktif dihitung melalui perhitungan.

2. METODE PENELITIAN

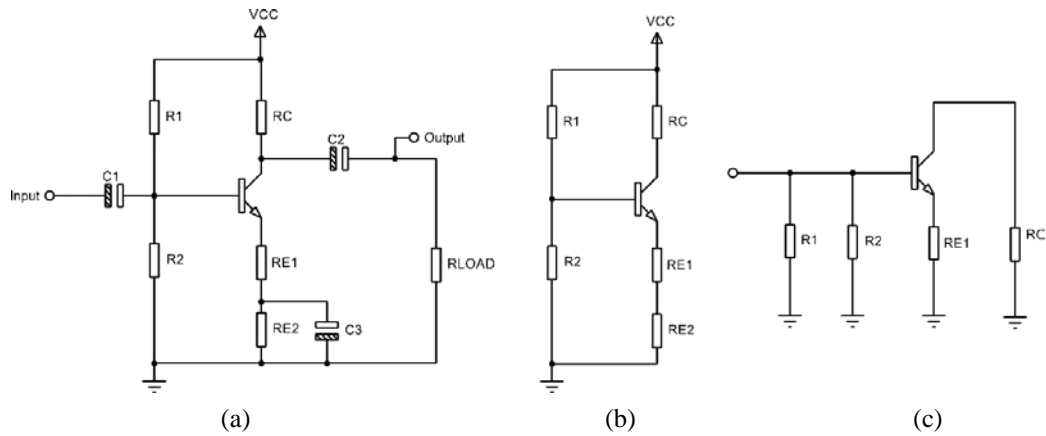
2.1 Rancangan Sistem

Rangkaian pada Gambar 1 memperlihatkan rangkaian skematis alat ukur daya listrik dengan Arduino Nano sebagai mikrokontroler. Regulator tegangan LM7805 digunakan untuk memberikan catu daya 5V pada alat ukur. Sensor tegangan ZMPT101B [8] dan sensor arus SCT013-005 [9] terhubung ke rangkaian beban satu fase.



Gambar 1. Rangkaian skematis alat ukur daya listrik

Keluaran dari kedua sensor terhubung dengan rangkaian penguat sinyal *common emitter*. Pada perancangan rangkaian penguat *common emitter* perlu mengetahui *datasheet* dari transistor yang digunakan, pada penelitian ini menggunakan transistor 2N3904 [10]. Pada rangkaian penguat *common emitter* seperti pada Gambar 2 (a), transistor tidak berdiri sendiri namun terdapat beberapa komponen pelengkap. Pada penelitian ini pelengkap yang digunakan pada rangkaian *common emitter* yaitu *voltage-divider bias*, *coupling capacitors*, *bypass capacitor* dan *swamping resistan* seperti gambar di atas. Rangkaian penguat *common emitter* pada Gambar 2 dapat dianalisis dc dengan menentukan nilai bias dc terlebih dahulu. Rangkaian ekuivalen dc didapat dengan melepas *coupling capacitor* dan kapasitor *bypass* serta menghilangkan resistor beban dan sumber sinyal seperti Gambar 2(b) [11]. Rangkaian penguat pada Gambar 2 (a) juga dapat dianalisis dengan analisis AC melalui rangkaian ekuivalen AC seperti pada Gambar (c).



Gambar 2. Rangkaian (a) *common emmitter*, (b) analisis DC, dan (c) analisis AC

Rangkaian ekuivalen AC didapat dengan mengganti sumber DC dengan *ground* dan kapasitor diganti dengan rangkaian tertutup karena X_c pada sinyal frekuensi dapat diabaikan atau sama dengan 0 Ohm [11]. Hasil analisis rangkaian tersebut menghasilkan Persamaan (1) hingga (10) berikut ini.

$$I_C \cong I_E \quad (1)$$

$$r'_e \cong \frac{25mV}{I_E} \quad (2)$$

$$R_{E1} \geq 10 \times r'_e \quad (3)$$

$$V_{RE1} = R_{E1} I_E \quad (4)$$

$$V_{RE2} = R_{E2} I_E \quad (5)$$

$$V_{sat} = V_{RE1} + V_{RE2} + V_{CE} \quad (6)$$

$$R_C = \frac{V_{RC}}{I_C} = \frac{V_{CC} - V_{sat}}{I_C} \quad (7)$$

$$R_2 \leq \frac{R_{inBase}}{10} = \frac{\beta_{dc}(r'_e + R_{E1} + R_{E2})}{10} \quad (8)$$

$$R_1 = \frac{V_{R1}}{I_{R1}} = \frac{V_{CC} - V_{RB}}{I_B + I_{R2}} = \frac{V_{CC} - (V_{BE} + V_{RE1} + V_{RE2})}{\frac{I_C}{\beta_{dc}} + \frac{V_{RB}}{R_2}} \quad (9)$$

$$A_V \max = \frac{R_C}{R_{E1} + r'_e} \quad (10)$$

Pada rangkaian *common emitter* dengan *double stage* penguatan sinyal dapat dicari dengan persamaan (11) berikut.

$$A_{Vtot} = A_{V1} \max \times A_{V2} \max = \frac{R_{C1} \parallel R_3 \parallel R_4 \parallel R_{inBase1}}{R_{E1} + r'_{e1}} \times \frac{R_{C2}}{R_{E3} + r'_{e2}} \quad (11)$$

Pada pengukuran tegangan ini diharapkan mampu mengukur hingga tegangan 240 Vrms, sedangkan spesifikasi sensor ZMPT101B hanya mampu dialiri arus maksimal sebesar 2 mArms dan disarankan arus sebesar $1 \text{ mArms} \leq I \leq 2 \text{ mArms}$ untuk mengukur tegangan lebih dari 220Vrms. Maka R_1 pada penelitian ini ditentukan 220K Ω sehingga dapat memenuhi spesifikasi arus yang disarankan dengan persamaan berikut.

$$I_{in} = \frac{V_{in}}{R_{in}} = \frac{240V_{rms}}{220K\Omega} = 1,09 \text{ mArms}$$

Keluaran sensor dapat diketahui dengan persamaan yang terdapat pada *datasheet* ZMPT101B [8] dengan nilai R_{out} ditentukan 50 Ω maka V_{out} dapat diketahui melalui perhitungan di bawah ini.

$$V_{out} = \frac{V_{in}}{R_{in}} \times R_{out} = 0,0545 \text{ Vrms} = 0,77 V_p$$

Rangkaian penguat sinyal pada sensor tegangan menggunakan rangkaian *common emitter* dengan *double stage*. Pada *datasheet* transistor 2N3904, diketahui bawah saat nilai I_C sama dengan 1 mA dan V_{CE} sama dengan 1 V sedangkan h_{fe} ditentukan 250, V_{CC} yang digunakan 5V V_{BE} sama dengan 0,7 V dan resistor *bypass* ditentukan 500 Ω . Nilai resistor yang digunakan pada rangkaian *common emitter* dicari dengan menggunakan Persamaan (1) sampai (10) sehingga diperoleh nilai resistor pada *stage 2* sebagai berikut.

$$r'_{e2} \cong 25 \Omega$$

$$R_{E3} = 250 \Omega$$

$$R_{C2} = 3250 \Omega$$

$$R_4 \leq 19375 \Omega \rightarrow R_4 \cong 19K3 \Omega$$

$$R_3 = 45028,641 \Omega \rightarrow R_3 \cong 45K\Omega$$

Nilai resistor pada *stage 1* seperti di bawah ini

$$r'_{e1} \cong 25 \Omega$$

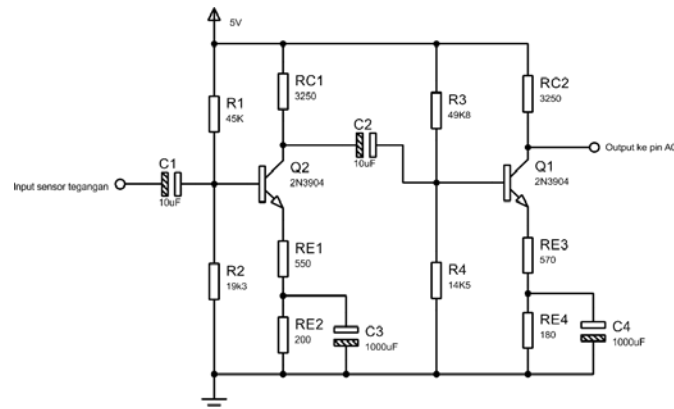
$$R_{E1} = 250 \Omega$$

$$R_{C1} = 3250 \Omega$$

$$R_2 \leq 19375 \Omega \rightarrow R_2 \cong 19K3 \Omega$$

$$R_1 = 45028,641 \Omega \rightarrow R_1 \cong 45K\Omega$$

Rangkaian *common emitter* dengan nilai resistor yang telah diperoleh disimulasikan pada *software* Proteus untuk mengatur penguatannya. R_2 , R_4 , R_{E2} dan R_{E4} diubah menjadi resistor variabel untuk mengatur penguatan sinyal serta mencegah gelombang sinyal terpotong. Rangkaian *common emitter* yang sudah diatur penguatannya adalah seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian penguat sinyal sensor tegangan

Rangkaian penguatan sebagaimana pada rangkaian Gambar 3 dapat diketahui besar penguatan sinyalnya yaitu sebagai berikut.

$$A_{V2} \max = \frac{R_{C2}}{R_{E1} + r'_{e1}} = 5,3$$

$$A_{V1} \max = \frac{R_{C1} \parallel R_3 \parallel R_4 \parallel R_{inBase1}}{R_{E1} + r'_{e1}} = 4,33$$

$$A_{Vtot} = A_{V1} \max \times A_{V2} \max = 22,97$$

Pada sensor arus SCT013-005 dapat mengukur arus 5 Arms dengan keluaran berupa tegangan 1 Vrms. Pada penelitian ini, arus maksimal yang dapat diukur dibatasi 2,25 Arms. Rangkaian penguat sinyal pada sensor arus menggunakan rangkaian *common emitter single stage*. Pada *datasheet* transistor 2N3904, diketahui bawah saat nilai I_C sama dengan 1 mA dan V_{CE} sama dengan 1 V sedangkan h_{fe} ditentukan 216, V_{CC} yang digunakan 5V, V_{BE} sama dengan 0,7 V dan resistor *bypass* ditentukan 1000 Ω . Nilai resistor yang digunakan pada rangkaian dicari dengan menggunakan Persamaan 1 sampai 10 sehingga diperoleh nilai resistor seperti di bawah ini.

$$r'_e \cong 25 \Omega$$

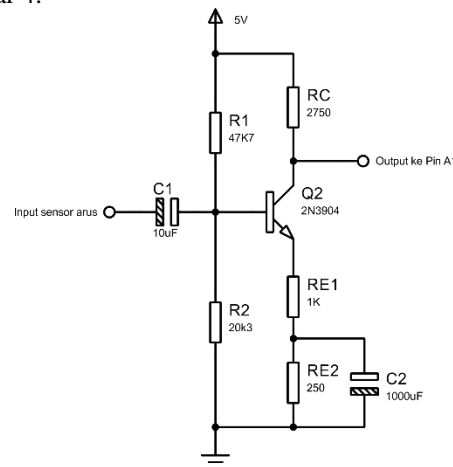
$$R_{E1} = 250 \Omega$$

$$R_C = 2750 \Omega$$

$$R_2 \leq 27540 \rightarrow R_2 \cong 27K5 \Omega$$

$$R_1 = 40431,76 \Omega \rightarrow R_1 \cong 40K5 \Omega$$

Rangkaian *common emitter* dengan nilai resistor yang telah diperoleh disimulasikan pada *software* Proteus untuk menguji keluaran sinyal penguatan. R_2 dan R_{E2} diubah menjadi resistor variabel untuk mengatur penguatan sinyal serta mencegah gelombang sinyal terpotong. Rangkaian *common emitter* yang sudah diatur penguatannya seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian penguat sinyal sensor arus

Rangkaian penguatan pada rangkaian Gambar 4 dapat diketahui besar penguatan sinyalnya yaitu sebagai berikut.

$$A_V \max = \frac{R_C}{R_{E1} + r'_e} = 2,64$$

Pin A0 dan A1 Arduino Nano terhubung dengan penguat sinyal tegangan dan arus berupa gelombang sinusoidal. Pengolahan ADC pada pin A0 dihasilkan nilai ADC saat gelombang sinusoidal mencapai nilai puncak atas dan bawah. Nilai yang dihasilkan tersebut proses untuk mengetahui besar tegangan. Pengolahan ADC pada pin A1 sama dengan pin A0 namun yang dihasilkan berupa besar arus yang mengalir pada beban.

Selain dikuatkan, luaran transduser dihubungkan ke rangkaian komparator seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Komparator dapat membandingkan dua buah tegangan dan mengubah keluaran untuk menunjukkan tegangan mana yang lebih besar antara keduanya. Prinsip kerja dari rangkaian komparator dapat terbagi menjadi dua bagian. Pertama adalah jika $V_{in}(+)$ atau nilai masukan pada kaki masukan positif lebih besar atau sama dengan dari $V_{in}(-)$ atau nilai masukan pada kaki masukan negatif, maka nilai V_{out} akan sama dengan nilai tegangan pada $V_{in}(+)$. Sedangkan jika $V_{in}(+)$ lebih kecil dari $V_{in}(-)$, maka nilai V_{out} atau keluarannya akan sama dengan nilai tegangan pada $V_{in}(-)$ [12].

Luaran dari komparator dimasukkan ke gerbang XOR pada IC SN74LS86N. Gerbang XOR mewakili Selektif OR di mana jika informasi tersebut memiliki logika yang sama, hasilnya akan menjadi logika 0 (*low*) dan sebaliknya dengan asumsi informasi tersebut adalah logika yang berbeda, hasilnya akan menjadi logika 1 (*high*) [13]. Pada penelitian ini gerbang XOR digunakan untuk menentukan sudut beda fase antara gelombang tegangan dan Arus AC. Penghitungan sudut beda fase (θ) antara dua gelombang tegangan dapat menggunakan persamaan seperti di bawah ini [14].

$$\theta = \frac{360^\circ}{T} \times Delay \tag{12}$$

dengan: T = Periode gelombang (s)

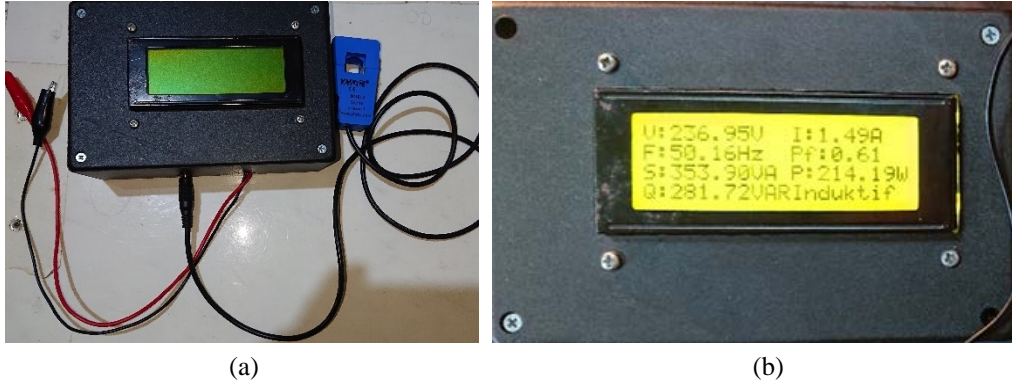
$Delay$ = Selisih waktu antara dua gelombang (s)

Keluaran komparator, dan gerbang XOR dihubungkan dengan pin A2 dan A3 berupa gelombang pulsa dengan nilai *high* dan *low* hasil metode *zero crossing*. Pengolahan ADC pada pin A2 diperoleh lama waktu pin A2 menerima masukan *high* yang kemudian diolah untuk menghasilkan besaran frekuensi. Sedangkan pada pin A3 seberapa lama waktu saat pin menerima masukan *high* digunakan untuk menentukan sudut beda fase. Kemudian pin A2 dan pin A3 dibandingkan untuk menentukan jenis beban. Setelah besar tegangan, arus, frekuensi dan sudut beda fase diperoleh maka faktor daya, daya semu dan daya reaktif dapat diketahui melalui perhitungan seperti pada [15] yang kemudian ditampilkan pada LCD.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Penelitian

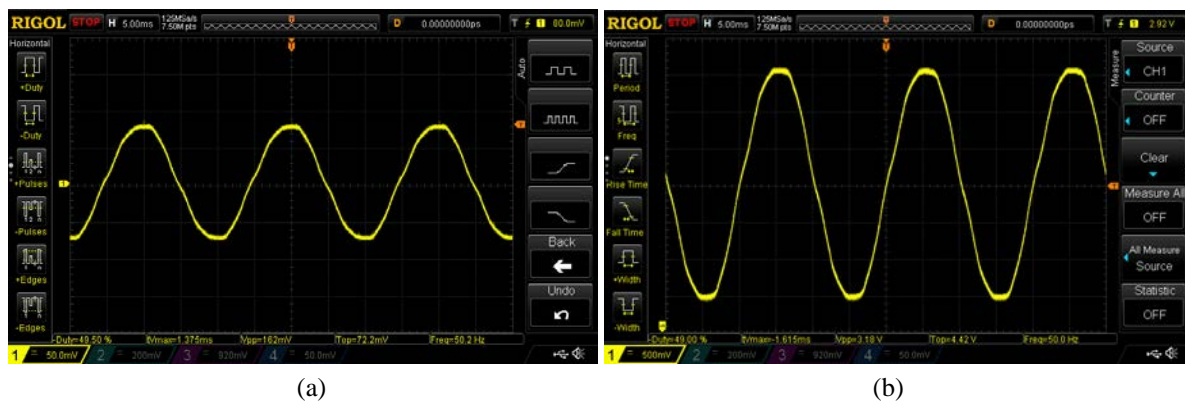
Hasil penelitian yang dilakukan berupa alat ukur daya listrik digital satu fase yang dapat menampilkan tegangan, arus, frekuensi, faktor daya, daya semu, daya aktif, daya reaktif dan jenis beban seperti pada Gambar 5. Alat yang dibuat memerlukan catu daya 12V dan dapat mengukur pada beban listrik satu fase 450VA.



Gambar 5. Tampilan (a) alat ukur daya listrik dan (b) tampilan alat ukur daya saat digunakan

3.1.1 Pengujian Penguat Sensor Tegangan

Pengujian keluaran sensor ZMPT101B dengan tegangan uji sebesar 237 Vrms dengan hasil keluaran sensor sebesar 72,2mV_p seperti pada Gambar 6(a), sedangkan Gambar 6(b) adalah hasil penguatan sensor tegangan menggunakan penguat *common emitter double stage* pada pengukuran tegangan 237 Vrms yaitu tegangan yang dikeluarkan oleh penguat sebesar 1,59 V_p.



Gambar 6. Keluaran penguat sensor tegangan (a) sebelum dan (b) sesudah penguatan

Pada perhitungan penguatan dengan keluaran sensor tegangan sebesar 72,2mV_p maka diperoleh penguatan sebagai berikut.

$$V_{out} = A_{Vtot} \times V_{sensor} = 1658,43 \text{ mV}_p = 1,658 \text{ V}_p$$

Maka dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan sebesar 4,12% antara perhitungan dan pengujian.

3.1.2 Pengujian Penguat Sensor Arus

Pengujian keluaran sensor saat digunakan untuk mengukur arus sebesar 2,25 Arms dengan keluaran sensor sebesar 0,6 V_p seperti pada Gambar 7(a). Gambar 7(b) adalah hasil penguatan tegangan sensor arus menggunakan penguat *common emitter* dengan arus uji 2,25 Arms yaitu sebesar 1,58 V_p.

Pada perhitungan penguatan dengan keluaran sensor arus sebesar 0,6 V_p, maka diperoleh penguatan sebagai berikut.

$$V_{out} = A_{Vmax} \times V_{sensor} = 2,64 \times 0,6 \text{ V}_p = 1,584 \text{ V}_p$$

Maka dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan sebesar 0,25% antara perhitungan dan pengujian.



Gambar 7. Keluaran penguat sensor arus (a) sebelum dan (b) sesudah penguatan

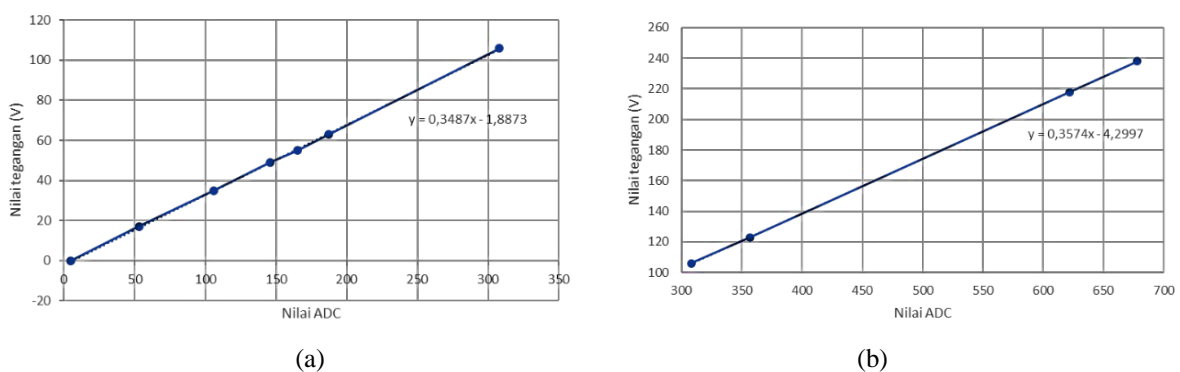
3.1.3 Pengujian Tegangan

Pengujian sensor tegangan dilakukan dengan membandingkan nilai tegangan yang terukur Digital Clap Meter DT3266L dengan nilai ADC yang didapat dari alat sensor tegangan. Nilai ADC didapat dari tegangan AC *peak to peak* keluaran penguat sensor tegangan. Keluaran penguatan berupa sinyal analog tersebut dikonversikan ke digital oleh ADC pada Arduino Nano sehingga didapat data seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai ADC pengukuran tegangan

Pengukuran	ADC	Digital Clap Meter (Vrms)
1	5	0
2	53	17
3	106	35
4	146	49
5	165	55
6	187	63
7	308	106
8	357	123
9	622	218
10	678	238

Pengujian arus dimulai dari 0 Vrms sampai 238 Vrms menghasilkan persamaan linier seperti grafik pada Gambar 8 yang dicari dengan metode regresi linier, di mana sumbu *x* adalah nilai ADC dan sumbu *y* adalah nilai tegangan Vrms. Persamaan linier $y = 0,3487x - 1,8873$ digunakan untuk mengukur arus dari 0 Vrms sampai 106 Vrms. Sedangkan persamaan linier $y = 0,3574x - 4,2997$ digunakan untuk mengukur tegangan di atas 106 Vrms. Penggunaan dua persamaan linier untuk meningkatkan akurasi dan menurunkan galat. Persamaan linier yang telah di dapat dimasukkan ke dalam program dan dilakukan pengujian galat dengan membandingkan hasil ukur Digital Clap Meter dengan alat ukur yang telah dibuat.



Gambar 8. Grafik nilai pengukuran tegangan dan luaran ADC

Pada Tabel 2 diketahui bahwa dalam pengukuran tegangan alat yang dibuat memiliki persentase galat tertinggi 0,46% dan terendah 0% dengan persentase galat rata-rata alat ukur yang dibuat adalah 0,26 %.

Tabel 2. Hasil pengukuran tegangan

No	Alat (Vrms)	Digital Clap Meter (Vrms)	Galat (Vrms)	Galat (%)
1	0	0	0	0
2	16,94	17	0,06	0,35
3	37,17	37	0,17	0,46
4	49,02	49	0,02	0,04
5	56	56	0	0
6	63,32	63	0,32	0,51
7	110,07	110	0,07	0,06
8	121,86	121	0,86	0,71
9	222,65	223	0,35	0,16
10	237,3	238	0,7	0,29
Rata – rata galat			0,25	0,26

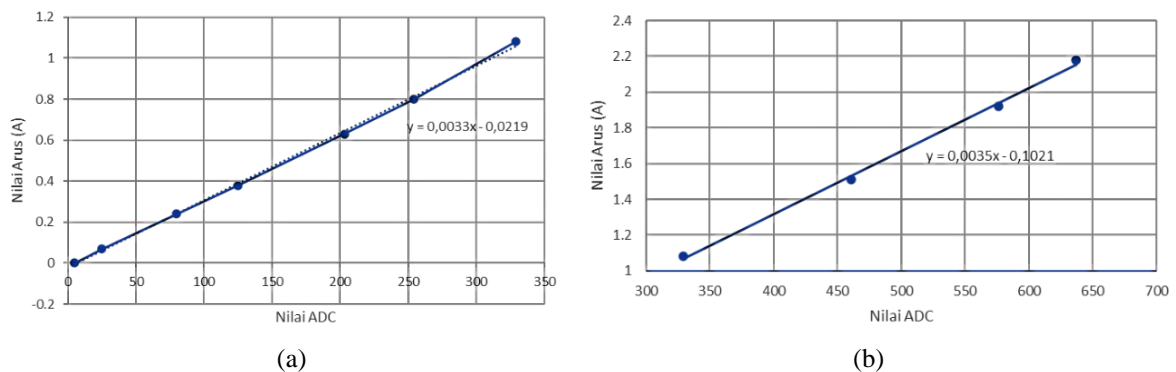
3.1.4 Pengujian Arus

Pengujian sensor arus dilakukan dengan membandingkan nilai arus yang terukur Digital Clap Meter DT3266L dengan nilai ADC yang didapat dari alat ukur yang dibuat. Nilai ADC didapat dari tegangan AC *peak to peak* keluaran penguat sensor arus. Keluaran penguatan berupa sinyal analog tersebut dikonversikan ke digital oleh ADC pada Arduino Nano sehingga didapat data seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai ADC pengukuran arus

Pengukuran	ADC	Digital Clap Meter (Arms)
1	5	0
2	25	0,07
3	80	0,24
4	125	0,38
5	203	0,63
6	254	0,8
7	329	1,08
8	461	1,51
9	576	1,92
10	637	2,18

Pengujian arus dimulai dari 0 sampai 2,18 Arms menghasilkan persamaan linier seperti grafik pada Gambar 9 yang dicari dengan metode regresi linier, di mana sumbu x adalah nilai ADC dan sumbu y adalah nilai arus. Persamaan linier $y = 0,0033x - 0,0219$ digunakan untuk mengukur arus dari 0 sampai 1,08 Arms. Sedangkan persamaan linier $y = 0,0035x - 0,1021$ digunakan untuk mengukur arus lebih dari 1,08 Arms. Penggunaan dua persamaan linier untuk meningkatkan akurasi dan mengurangi galat. Persamaan tersebut dimasukkan ke dalam program dan dilakukan pengujian galat dengan membandingkan hasil ukur Digital Clap Meter dengan alat ukur yang telah dibuat.



Gambar 9. Grafik nilai Arus dan luaran ADC

Pada Tabel 4 diketahui bahwa dalam pengukuran arus alat yang dibuat memiliki persentase galat tertinggi adalah 14,2% dan terendah adalah 0% dengan persentase galat rata-rata alat ukur yang dibuat adalah 2,44%.

Tabel 4. Hasil pengukuran arus

No	Alat (Arms)	Digital Clap Meter (Arms)	Galat (Arms)	Galat (%)
1	0	0	0	0
2	0,06	0,07	0,01	14,28
3	0,25	0,25	0	0
4	0,39	0,38	0,01	2,63
5	0,65	0,64	0,01	1,56
6	0,82	0,8	0,02	2,5
7	1,06	1,06	0	0
8	1,51	1,52	0,01	0,66
9	1,91	1,92	0,01	0,52
10	2,12	2,17	0,05	2,30
Rata – rata galat			0,012	2,44

3.1.5 Pengujian Frekuensi

Pengujian frekuensi dilakukan dengan membandingkan pengukuran frekuensi pada osiloskop dengan pengukuran alat yang dibuat dengan hasil sebagaimana Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Hasil pengukuran Frekuensi

Pengukuran	Osiloskop (Hz)	Alat (Hz)	Galat (Hz)	Galat (%)
1	50,2	49,87	0,33	0,65
2	50	49,87	0,13	0,26
3	50	49,87	0,13	0,26
4	50	50,16	0,16	0,32
5	50	49,88	0,12	0,24
6	50	50,16	0,16	0,32
7	50	50,15	0,15	0,3
8	50	50,16	0,16	0,32
9	50	50,16	0,16	0,32
10	50	50,15	0,15	0,3
Rata-rata galat			0,165	0,32

Dari Tabel 5 diketahui bahwa alat yang dibuat dalam pengukuran frekuensi memiliki persentase galat tertinggi 0,65% dan terendah 0,24% dengan persentase galat rata-rata 0,32%.

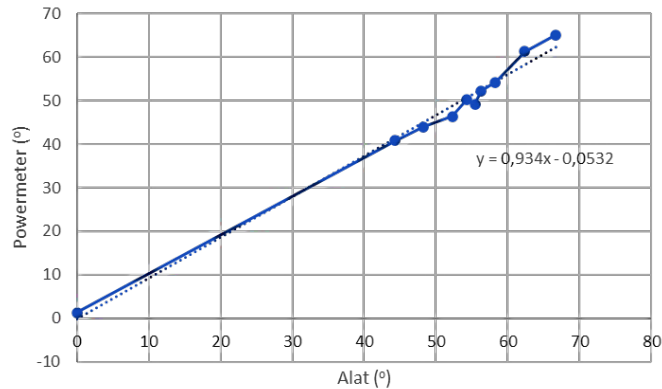
3.1.6 Pengujian Sudut Beda Fasa

Pengujian beda fase dilakukan dengan membandingkan sudut beda fase yang terukur Power Meter Hioki 3286 dengan beda fase yang terukur alat yang dibuat seperti pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil pengukuran sudut beda fasa

No	Beban	Beda fase (°)		Galat (°)	Galat (%)
		Alat	Power Meter		
1	Lampu bohlam 100 W + setrika	0,01	1,3	1,29	99,23
2	2 lampu bohlam 100 W + motor 0,18 kW	44,31	40,8	3,51	8,60
3	Lampu bohlam 60 dan 100 W + motor 0,18 kW	48,27	44	4,27	9,70
4	Lampu bohlam 100W + solder 40W + motor 0,18 kW	52,29	46,4	5,89	12,69
5	Lampu bohlam 60W + solder 40W + motor 0,18 kW	54,31	50,3	4,01	7,97
6	Lampu bohlam 100W + Motor 0,18 kW	55,43	49,2	6,23	12,66
7	Lampu bohlam 15W dan 60W + motor 0,18 kW	56,32	52,2	4,12	7,89
8	Lampu bohlam 60W + motor 0,18 kW	58,24	54,2	4,04	7,45
9	Lampu bohlam 15W + motor 0,18 kW	62,35	61,3	1,05	1,71
10	Motor 0,18 kW	66,67	65,1	1,57	2,41
Rata-rata galat				3,59	17,03

Hasil pengujian dicari persamaannya dengan metode regresi linier dengan hasil seperti grafik pada Gambar 10. Persamaan linier yang didapat yaitu $y = 0,934x - 0,0532$ yang kemudian dimasukkan ke dalam program Arduino.



Gambar 10. Grafik pengukuran sudut beda fase

Hasil pengujian beda fase dengan menggunakan persamaan linier seperti pada Tabel 7 dengan persentase galat tertinggi 47,69% dan terendah 1,43% dengan presentasi galat rata-rata adalah 7,19%.

Tabel 7. Hasil pengukuran sudut beda fasa setelah perbaikan

No	Beban	Beda fase (°)		Galat (°)	Galat (%)
		Alat	Power Meter		
1	Lampu bohlam 100 W + setrika	1,92	1,3	0,62	47,69
2	2 lampu bohlam 100 W + motor 0,18 kW	41,2	41,8	0,6	1,43
3	Lampu bohlam 60 dan 100 W + motor 0,18 kW	45	43,6	1,4	3,21
4	Lampu bohlam 100W + solder 40W + motor 0,18 kW	48,97	47	1,97	4,19
5	Lampu bohlam 60W + solder 40W + motor 0,18 kW	50,68	49,8	0,88	1,76
6	Lampu bohlam 100W + Motor 0,18 kW	50,68	49,9	0,78	1,56
7	Lampu bohlam 15W dan 60W + motor 0,18 kW	52,56	51,3	1,26	2,45
8	Lampu bohlam 60W + motor 0,18 kW	54,68	53,2	1,48	2,78
9	Lampu bohlam 15W + motor 0,18 kW	58,25	59,5	1,25	2,10
10	Motor 0,18 kW	60,14	63,1	2,96	4,69
Rata-rata galat				1,39	7,19

3.1.7 Pengukuran Daya Listrik

Pengukuran daya listrik yang terbagi menjadi pengukuran tegangan, arus, faktor daya, daya semu, daya aktif, daya reaktif dan jenis beban dilakukan dengan menggunakan beberapa beban. Faktor daya, daya semu, daya aktif, daya reaktif didapatkan dari perhitungan. Hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 8.

Hasil pengukuran daya listrik seperti pada Tabel 8 berupa data hasil pengukuran daya semu, daya aktif dan daya reaktif dibandingkan dengan hasil perhitungan. Persentase galat pada pengukuran daya semu tertinggi 3,07% dan terendah 0,04% dengan persentase galat rata-rata adalah 0,44%. Persentase galat pada pengukuran daya aktif tertinggi 3,64% dan terendah 0,04% dengan presentasi galat rata-rata adalah 0,8%. Dibanding dengan penelitian lainnya [16], presentasi galat rata-rata daya aktif yang dihasilkan lebih rendah. Persentase galat pada pengukuran daya reaktif tertinggi 2,57% dan terendah 0% dengan presentasi galat rata-rata adalah 0,44%. Pada hasil pengukuran juga diketahui bahwa alat yang dibuat dapat mengetahui jenis beban yang sedang diukur. Pada hasil pengukuran tersebut galat perhitungan dapat terjadi karena terbatasnya alat ukur yang tidak dapat mengukur semua variabel yang diperlukan dalam perhitungan secara bersamaan di waktu yang sama.

Tabel 8. Hasil pengukuran daya

No	Beban	V	A	Hz	pf	VA			W			VAR			Jenis beban
						Hitung	Alat	Galat %	Hitung	Alat	Galat %	Hitung	Alat	Galat %	
1	Lampu bohlam 100 W + setrika	233,73	1,93	49,87	1,00	451,10	450,93	0,04	451,10	450,92	0,04	0	0	0	resistif
2	2 lampu bohlam 100 W + motor 0,18 kW	234,44	1,86	50,16	0,75	436,06	435,39	0,15	327,04	326,90	0,04	288,43	287,57	0,30	induktif
3	Lampu bohlam 60 dan 100 W + motor 0,18 kW	232,66	1,71	49,88	0,71	397,85	398,47	0,16	282,47	281,89	0,21	280,17	281,63	0,52	induktif
4	Lampu bohlam 100W + solder 40W + motor 0,18 kW	231,23	1,54	49,87	0,68	356,09	367,03	3,07	242,14	250,97	3,64	261,09	267,81	2,57	induktif
5	Lampu bohlam 60W + solder 40W + motor 0,18 kW	234,09	1,46	49,88	0,66	341,77	341,13	0,19	225,57	224,92	0,29	256,76	256,48	0,11	induktif
6	Lampu bohlam 100W + Motor 0,18 kW	231,94	1,47	49,88	0,66	340,95	340,30	0,19	225,03	224,34	0,31	256,15	255,88	0,10	induktif
7	Lampu bohlam 15W dan 60W + motor 0,18 kW	236,95	1,49	50,16	0,61	353,06	353,90	0,24	215,36	214,19	0,55	279,76	281,72	0,70	induktif
8	Lampu bohlam 60W + motor 0,18 kW	236,23	1,44	49,88	0,58	340,17	341,14	0,28	197,30	198,42	0,57	277,11	277,50	0,14	induktif
10	Motor 0,18 kW	231,94	1,21	50,16	0,47	280,65	279,84	0,29	131,90	130,21	1,28	247,72	247,70	0,01	induktif
11	Resistan 30 Ohm paralel dengan kapasitor 17µF	238,37	1,55	49,87	0,16	369,47	363,75	1,55	59,12	58,41	1,19	364,71	363,75	0,26	kapasitif
Rata-rata galat						0,57			0,80			0,44			

4. KESIMPULAN

Pengujian alat ukur daya listrik dengan menggunakan dua sensor utama yaitu sensor tegangan ZMPT101B dan sensor arus SCT013-005 yang dibandingkan dengan alat ukur acuan pada beberapa jenis beban uji. Hasil pengukuran diketahui bahwa alat dapat mengukur tegangan dari 0 Vrms sampai 238 Vrms dengan galat rata-rata ada 0,26 %. Pada pengukuran arus, alat dapat mengukur dari 0 Arms sampai 2,25 Arms dengan galat rata-rata 2,44%. Sedangkan pada pengujian frekuensi, alat dapat mengukur frekuensi 50 Hz dengan galat rata-rata 0,32% dan pengujian sudut beda fase dapat mengukur beda fase pada beban dengan hasil ukur dari 0° sampai 60,14° dengan galat rata-rata 7,19%. Sedangkan pada pengukuran daya listrik perbedaan hasil ukur dengan perhitungan menunjukkan adanya galat. Hasil pengujian alat yang dibuat dapat mengukur daya semu dari 279,84 VA sampai 450,93 VA dengan galat rata-rata 0,44%, daya aktif daya 130,21 W sampai 450,92 W galat rata-rata 0,8%, daya reaktif 0 VAR sampai 287,57 VAR dengan galat rata-rata 0,44%. Pada hasil pengukuran juga diketahui bahwa alat yang dibuat dapat mengetahui jenis beban yang sedang diukur. Dari pengujian tersebut dapat diketahui bahwa alat yang dirancang dapat mengukur daya listrik pada beban listrik satu fase 450VA dengan baik walau masih terdapat kekurangan. Saran pada pengembangan selanjutnya ada beberapa hal yang dapat diperbaiki dari penelitian ini yaitu penambahan filter pada sensor untuk mengurangi gangguan harmonik pada saat mengukur beban non linier yang dapat menyebabkan kesalahan pada pengukuran. Kemudian penambahan perangkat IoT untuk memudahkan pengguna mengukur daya listrik.

REFERENSI

- [1] A. Khair, H. Ashari, dan Sanatang, "Studi Prediksi Penggunaan Energi Listrik di Desa Sangleponan Kabupaten Enrekang Dengan Menggunakan Metode Moving Average (MA)," *Jurnal Media Elektrik*, vol. 18, no. 2, hal. 63–68, 2021. <https://doi.org/10.26858/metrik.v18i2.21089>
- [2] Syahrir Abdussamad, "Implementasi Pengukuran Beban Resistif pada Lampu Pijar," *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 4, no. 1, hal. 83–86, 2022. <https://doi.org/10.37905/jjee.v4i1.12064>

- [3] I. Kartika, "Analisa Rugi-Rugi Daya Diakibatkan Arus Kapasitif," *Jurnal Surya Energy*, vol. 1, no. 2, hal. 100–111, 2017. <https://doi.org/10.32502/jse.v1i2.600>
- [4] Wibowo, Suriyan Arif, and Jaka Windarta. "Pemanfaatan Batubara Kalori Rendah pada PLTU untuk Menurunkan Biaya Bahan Bakar Produksi," *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, vol.1, no. 3, pp. 100-110, 2020. <https://doi.org/10.14710/jebt.2020.10029>
- [5] B. Maharmi, T. Kardova, dan Ermawati, "Analisa Konsumsi Energi Listrik Rumah Dengan Kendali Otomatis," *SainETIn (Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri)*, vol. 2, no. 2, hal. 37–43, 2018. <https://doi.org/10.31849/sainetin.v2i2.1622>
- [6] I. Z. Nasibu, W. Musa, dan A. R. Haras, "Rancang Bangun Power Meter Berbasis Arduino," *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 4, no. 1, hal. 114–118, 2022. <https://doi.org/10.37905/jjee.v4i1.10768>
- [7] N. Arifin, R. S. Lubis, dan M. Gapy, "Rancang Bangun Prototype Power Meter 1 Fasa Berbasis Mikrokontroler Atmega328P," *KITEKTRO: Jurnal Online Teknik Elektro*, vol. 4, no. 1, hal. 13–22, 2019.
- [8] Q. Z. L. Electronic, "ZMPT101B Current-type Voltage Transformer," Qingxian Zeming Langxi Electronic.
- [9] YHDC, "Split core current transformer Model : SCT013-005," Yhdc, 2010.
- [10] Korea Electronics, "2N3904 Epitaxial Planar NPN Transistor," Korea Electronics, 2002.
- [11] T. L. Floyd, *Electronic Device*, 2012.
- [12] J. Jumrianto dan R. Royan, "Proteus ISIS simulation for power factor calculation using zero crossing detector," *Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology*, vol. 12, no. 1, hal. 28–37, 2021. <https://doi.org/10.14203/j.mev.2021.v12.28-37>
- [13] A. H. Saptadi, "Emulasi Gerbang Logika Tunggal Multifungsi Menggunakan Mikropengendali Atmega8a," *Media ElektriKa*, vol. 10, no. 2, hal. 20–25, 2017. <https://doi.org/10.26714/me.v10i2.3305>
- [14] A. M. T. I. Al-naib dan B. A. Hamad, "A Cost-Effective Method for Power Factor Metering Systems," *International Journal of Electrical and Computer Engineering Systems*, vol. 13, no. 5, hal. 409–415, 2022. <https://doi.org/10.32985/ijeces.13.5.8>
- [15] E. N. Mbinkar, D. A. Asoh, dan S. Kujabi, "Microcontroller Control of Reactive Power Compensation for Growing Industrial Loads," *Energy and Power Engineering*, vol. 14, hal. 460–476, 2022. <https://doi.org/10.4236/epe.2022.149024>
- [16] Agustianingsih, W.N., F. Kurniawan, and P. Setiawan. "Analisis Ketepatan Pengukur Daya dan Faktor Daya Listrik Berbasis Arduino Uno R3 328P," *Aviation Electronics, Information Technology, Telecommunications, Electricals, Controls (AVITEC)*, vol. 3, no. 1, hal 15-26. 2020. <http://dx.doi.org/10.28989/avitec.v3i1.794>