

Perancangan *Phasor Measurement Unit* Menggunakan Arduino Mega 2560 sebagai Alat Pendeteksi Aliran Daya pada Saluran Distribusi Tiga Fasa

Agus Iqrammullah¹, Hafidh Hasan², Syukriyadin³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro dan Komputer, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No.7, Darussalam, Banda Aceh, 23111, Aceh, Indonesia

¹iqgram@mhs.unsyiah.ac.id

²hafidh.hasan@unsyiah.ac.id

³syukriyadin@unsyiah.ac.id

Abstrak— Penelitian ini bertujuan menghasilkan sebuah purwarupa alat monitoring daya pada sistem distribusi tiga fasa, purwarupa ini mengambil sample dan melakukan perhitungan terhadap gelombang tegangan, menggunakan prinsip vector space guna mendapatkan nilai dari beda fasa antara tegangan dari sumber tegangan yang mengalir pada saluran kirim menuju beban, selanjutnya dilakukan perhitungan guna mendapatkan nilai dari daya yang mengalir pada sistem distribusi, yang selanjutnya pembacaan tadi ditampilkan secara realtime dan disebut sebagai alat monitoring phasor atau phasor measurement unit (PMU), PMU pada penelitian ini sendiri merupakan purwarupa berbasis microcontroller yang mampu melakukan pengukuran terhadap besar daya listrik yang mengalir pada suatu jaringan distribusi, sudut, sekaligus juga mampu mengetahui arah aliran daya yang mengalir, bukan hanya sebatas pembacaan besarnya nilai daya seperti kebanyakan alat ukur yang ada saat ini, sehingga diharapkan alat ini kemudian dapat dipakai dan diaplikasikan pada sistem – sistem distribusi yang dimiliki oleh PT.PLN PERSERO.

Kata Kunci— Sistem Distribusi 3 fasa, *Phasor measurement unit* (PMU), Daya listrik, *Vektor space*, *microcontroller*.

I. PENDAHULUAN

Sistem kelistrikan tiga fasa adalah sistem kelistrikan yang paling banyak digunakan oleh PT.PLN PERSERO selaku perusahaan tunggal penyedia listrik Indonesia. Sistem kelistrikan tiga fasa diaplikasikan mulai dari pembangkitan, transmisi dan distribusi. Sistem distribusi sendiri memiliki beberapa jenis pemodelan atau topologi, diantaranya jaringan distribusi radial, jaringan distribusi loop, jaringan distribusi spindle, jaringan distribusi hantaran penghubung (*tie line*), dan jaringan distribusi gugus atau kluster [1].

Dari beberapa topologi jaringan distribusi terdapat beberapa pemodelan yang memiliki arah aliran daya yang tidak di ketahui secara pasti, misalnya topologi *radial* terdapat banyak percabangan pada topologi ini, sehingga

menyebabkan tidak diketahui secara pasti arah aliran daya yang mengalir pada sistem distribusi. Oleh karena itu digunakan Phasor Measurement Unit (PMU) sebagai alat monitoring daya. PMU sendiri merupakan peralatan yang mampu memberikan pengukuran fasor tegangan dan arus secara *real-time*. PMU dapat digunakan untuk monitoring daya pada sistem tenaga listrik. Penempatan PMU secara optimal pada topologi jaringan, dapat dijadikan sebagai alternatif alat monitoring, serta alat bantu untuk proses control, sehingga sistem tenaga listrik dapat diobservasi [2].

Selanjutnya kemampuan dari PMU itu digunakan sebagai acuan dalam perencanaan mempertahankan kestabilan pada jaringan distribusi, serta dapat mengurangi jumlah personel yang bertugas memonitoring jaringan distribusi secara manual, hal inilah yang menjadikan PMU sebagai peralatan yang dibutuhkan pada sistem kelistrikan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Transformasi Clarke dan Transformasi Park

Transformasi Clarke dan park digunakan pada perancangan kelas atas dalam analisis daya tiga fasa, arus dan tegangan direpresentasikan dalam bentuk space vector yang dimasukkan dalam bentuk tidak bergerak. transformasi ini dideskripsikan dengan transformasi d dan q [3].

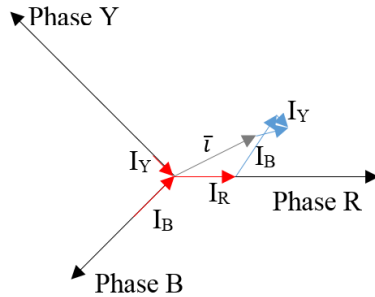
1) *Space Vector Tegangan*: Dengan melakukan pembagian sebuah vector ke komponen komponen yang lebih kecil ataupun sederhana, besaran vector akan lebih mudah dicari, besaran vector sendiri biasanya dihitung menggunakan rumus Pythagoras. Besaran ini disebut sebagai norm (dimana norm dari vector V dinotasikan sebagai $\|V\|$), dan merupakan besaran skalar [4]. yang menggambarkan panjang vector yang bersangkutan. Pada ruang tiga dimensi rumus norm sebuah vector adalah:

$$v_R = v_{R\max} \cdot \cos \omega t \quad (1)$$

$$v_Y = v_{Y\max} \cdot \cos \left(\omega t - 2\frac{\pi}{3} \right) \quad (2)$$

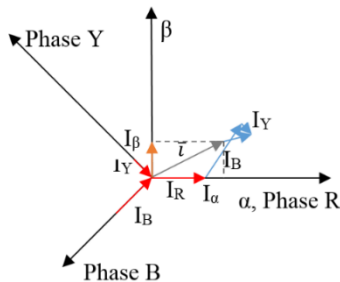
$$v_B = v_{B \max} \cdot \cos(\omega t - 4\frac{\pi}{3}) \quad (3)$$

Selain besarnya, komponen kedua dari vector yang tidak kalah pentingnya adalah arah/orientasi. Di ruang vector, orientasi dapat dinyatakan sebagai besar sumbu antara suatu vector dengan vector lain/sumbu dimensi. Sebagai contoh, di ruang dua dimensi, kita biasa menyatakan arah vector sebagai besar derajat antara vector tersebut dengan sumbu X positif ataupun sumbu Y positif [4]. Selanjutnya proyeksi tegangan space vector akan dijelaskan pada Gambar 1.



Gambar 1 Space vector tegangan 3 fasa dan proyeksi [5]

2) *Transformasi Clarke ($\alpha\beta$ transform)*: Space vector yang didefinisikan pada gambar 3 dapat dinyatakan menggunakan teori dua sumbu. Bagian real dari space vector ini sama dengan nilai sesaat komponen tegangan axis x (v_α) dan nilai imajinernya sama dengan komponen tegangan axis z, (v_β) [5]. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.

Gambar 2 Space vector tegangan pada bidang α, β [5]

Dengan demikian, *space vector* tegangan dalam koordinat menghasilkan persamaan (4).

$$V = (V_\alpha + jV_\beta) \quad (4)$$

Pada mesin tiga fasa simetris, garis tegangan axis V_α dan V_β adalah bentuk lain dari komponen arus dua fasa (fasa kuadran), yang secara langsung berhubungan dengan tegangan tiga fasa, atau dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$v_\alpha = k (V_R - \frac{1}{2}v_Y - \frac{1}{2}v_B) \quad (5)$$

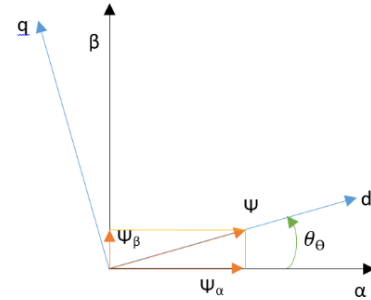
$$v_\beta = k \frac{\sqrt{3}}{2} (v_Y - v_B) \quad (6)$$

Dalam bentuk matriks, tegangan diam pada referensi stationer dari bentuk tegangan tiga fasa dapat ditulis sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = k x \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} v_R \\ v_Y \\ v_B \end{bmatrix} \quad (7)$$

Nilai yang direkomendasikan untuk k adalah

$$k = \frac{2}{3} \quad (8)$$



Gambar 3 Rotasi d-q pada kerangka acuan [5]

3) *Transformasi Park (dq transform)*: Sekarang sumbu x dan y diubah ke sumbu d dan q, dengan mengasumsikan ψ menjadi vektor sepanjang sumbu-d[5]. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.

Pada bidang (α, β)

$$V = V_\alpha + jV_\beta \quad (9)$$

Pada bidang (d, q)

$$V = V_d + jV_q \quad (10)$$

Sudut antar (α, β) dan (d, q) adalah θ

$$\sin \theta = \frac{v_\beta}{v_d} \quad (11)$$

$$\cos \theta = \frac{v_\alpha}{v_d} \quad (12)$$

Transformasi berikut terlibat karena sistem rotasi ortogonal d-q. Transformasi $\alpha - \beta$ ke d-q (transformasi Park), dimana [Matriks transformasi Park] = $[T_p]$.

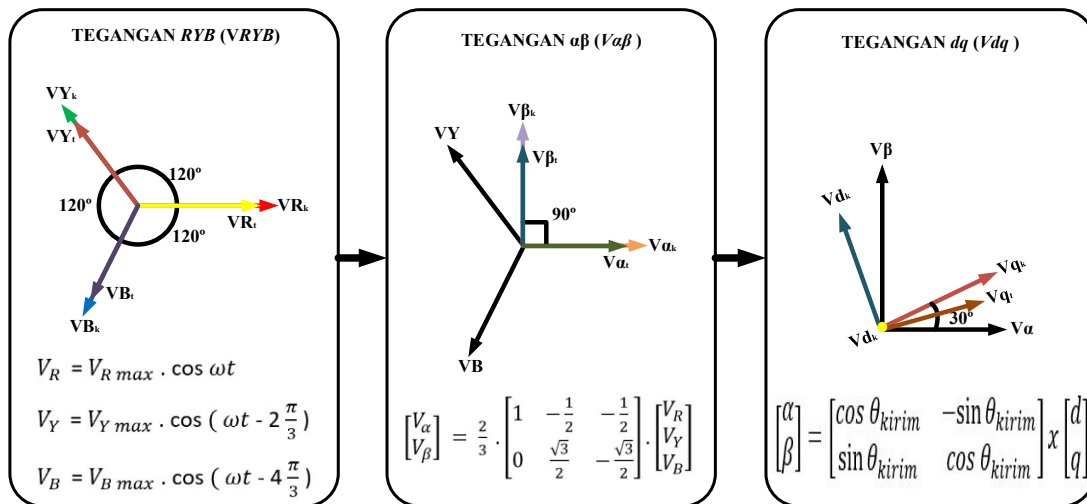
$$[T_p] = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (13)$$

Transformasi d-q ke $\alpha - \beta$ (invers transformasi park), dimana [Matriks transformasi Clarke] = [Invers matriks Park] = $[T_c]$.

$$[T_c] = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (14)$$

Maka transformasi (α, β) ke (d, q) dilakukan dengan persamaan 15.

$$\begin{bmatrix} d \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix} \quad (15)$$



Gambar 4. Alur transformasi Clarke dan Park.

Sedangkan transformasi dari (d,q) ke (α,β) dilakukan dengan :

$$\begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} d \\ q \end{bmatrix} \quad (16)$$

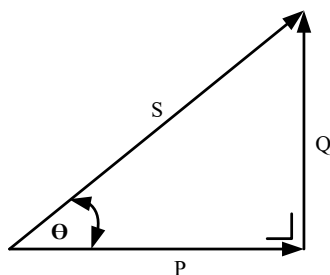
Selanjutnya untuk mengetahui tegangan total yang mengalir dapat digunakan persamaan persamaan berikut:

$$V_{\text{total}} = \sqrt{V_d^2 + V_q^2} \quad (17)$$

Secara keseluruhan, alur kerja dari transformasi clarke dan park adalah seperti Gambar 4.

B. Daya

Pada dasarnya untuk sistem tiga fasa Daya semu, daya aktif dan daya reaktif memiliki nilai frekwensi yang sama, hanya saja terdapat perbedaan fasa untuk ketiganya sebesar 120° pada masing masing fasa. Pada realitanya terdapat tiga jenis daya yang ada pada listrik yaitu daya real, daya reaktif dan daya semu, dan dapat didefinisikan menggunakan segitiga daya pada Gambar 5 [7].



Gambar 5 Segitiga daya [7]

Dari gambar 5 tersebut dapat dirumuskan persamaan daya matematisnya pada persamaan 18-21.

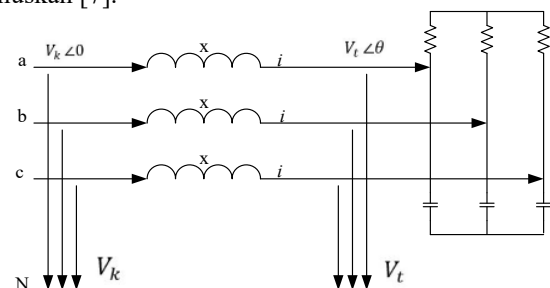
$$S = v_{\text{efektif}} \cdot I_{\text{efektif}} = P + jQ = I_{\text{efektif}}^2 \cdot Z \quad (18)$$

$$P = R_e [s] = v_{\text{efektif}} \cdot I_{\text{efektif}} \cos \theta \quad (19)$$

$$Q = I_m [s] = v_{\text{efektif}} \cdot I_{\text{efektif}} \sin \theta \quad (20)$$

$$S = v_{\text{efektif}} \cdot I_{\text{efektif}} \quad (21)$$

Sedangkan untuk mencari besarnya daya yang mengalir pada sistem 3 fasa hanya dengan menggunakan nilai tegangannya dapat dilakukan dengan menghitung nilai tegangan pada sisi kirim dan sisi terimanya atau dapat dirumuskan [7].



Gambar 6 Titik perhitungan daya menggunakan nilai tegangan

$$P = \frac{V_k V_t \sin \delta}{\omega_1 L} \quad (22)$$

$$Q = \frac{V_k^2 - V_k V_t \cos \delta}{\omega_1 L} \quad (23)$$

Untuk menentukan perbedaan sudut antara dua vector V_k (sisi kirim) dan V_t (sisi terima) dapat digunakan rumus 24.

$$\theta_{\text{ kirim}} = \tan^{-1} = \left(\frac{\beta_{\text{ kirim}}}{\alpha_{\text{ kirim}}} \right) \quad (24)$$

$$\theta_{\text{terima}} = \tan^{-1} = \left(\frac{\beta_{\text{terima}}}{\alpha_{\text{terima}}} \right) \quad (25)$$

Sehingga dapat dirumuskan nilai θ untuk sisi kirim dan sisi terima adalah dengan menggunakan persamaan 26.

$$\delta_{\text{daya}} = \theta_{\text{kirim}} - \theta_{\text{terima}} \quad (26)$$

C. Metode Kalibrasi

1) *Metode Regresi Linier*: Proses regresi adalah proses yang di gunakan untuk mendapatkan nilai efisiensi dari sebuah alat ukur, sehingga dapat diketahui seberapa presisi pengukuran yang dilakukan oleh suatu alat ukur tersebut, dalam penelitian ini ialah prototipe PMU. Bentuk persamaan regresi liniernya seperti pada persamaan 27.

$$Y = a + b X \quad (27)$$

Untuk mendapatkan nilai a dan b, perhitungan untuk analisis regresinya dapat dipermudah dengan penggunaan rumus 28 dan 29.

$$b = \frac{n(\Sigma xy) - (\Sigma x)(\Sigma y)}{n(\Sigma x^2) - (\Sigma x)^2} \quad (28)$$

$$a = \frac{\Sigma y - b(\Sigma x)}{n} \quad (29)$$

Koefisien determinasi atau (R^2) pada intinya bertujuan untuk mengukur seberapa jauh kemampuan model dalam menerangkan variasi akan variabel dependen. Nilai koefisien determinasi selalu berkisar antara nol dan satu. Nilai (R^2) yang mendekati nol berarti bernilai buruk sedangkan jika mendekati nilai satu, maka bernilai baik [8].

$$R = \frac{n(\Sigma xy) - (\Sigma x)(\Sigma y)}{\sqrt{n(\Sigma x^2) - (\Sigma x)^2} \sqrt{n(\Sigma y^2) - (\Sigma y)^2}} \quad (22)$$

dimana X merupakan pengukuran menggunakan alat ukur konvensional, Y adalah pembacaan nilai daya yang dilakukan prototipe, N menunjukkan sample data, dan Σ adalah jumlah data.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Perancangan Persamaan Matematika (PMU)

Pada perancangan persamaan matematika untuk prototipe PMU, dilakukan dua tahapan pengukuran dan perhitungan, sesuai dengan penempatan PMU yang diletakkan pada bagian sisi kirim dan sisi terima pada rangkaian pengujian, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.

Megacu pada rangkaian pengujian pada Gambar 7 selanjutnya dilakukan proses perhitungan transformasi clarke dan park untuk masing-masing sisi kirim dan sisi terimanya.

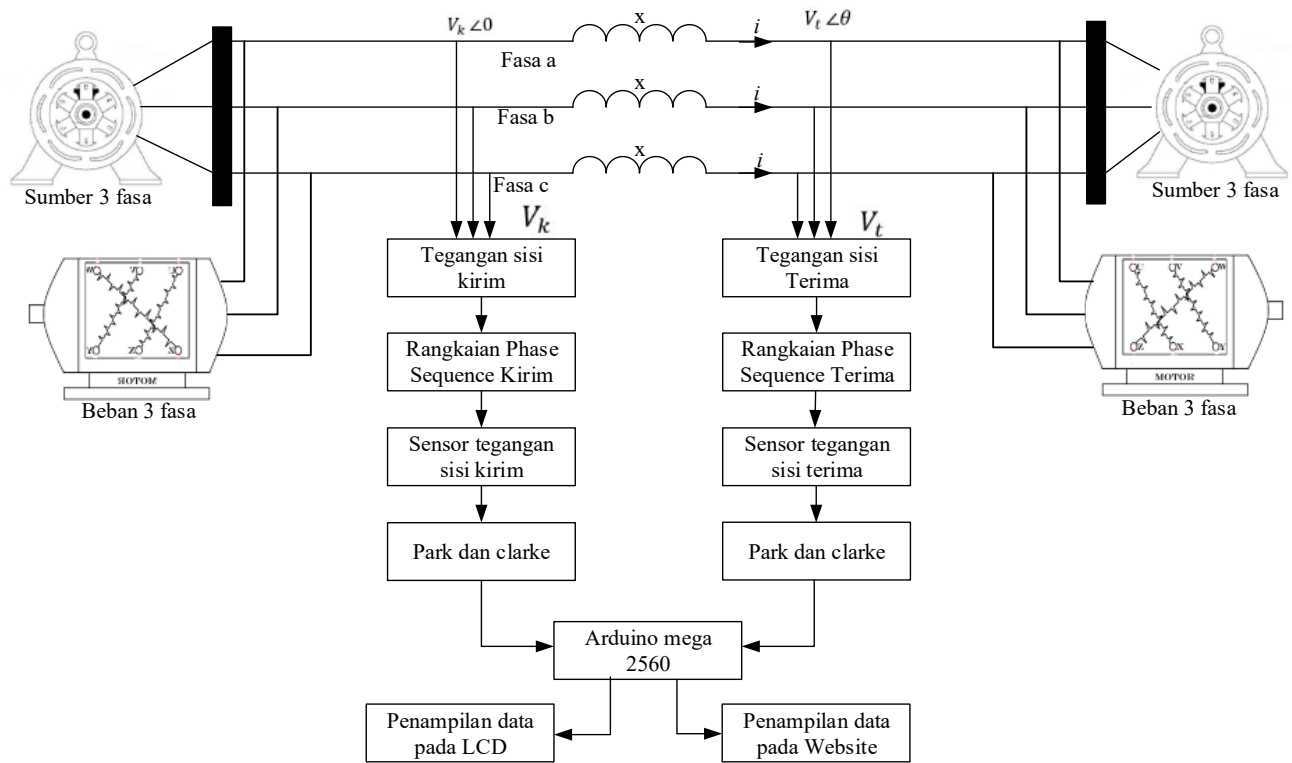
1) *Kerja sistem pengukuran PMU pada sisi kirim*: Pada pengukuran tegangan sisi kirim di lakukan 2 buah perhitungan, yaitu untuk mendapati nilai $V\alpha\beta$ menggunakan persamaan Transformasi Clarke, Secara sistem, *block* Transformasi Clarke dan park untuk sisi kirimnya dapat di lihat pada Gambar 8.

2) *Kerja sistem pengukuran PMU pada sisi terima*: Pengukuran nilai phasor yang dilakukan pada sisi terima dilakukan setelah tegangan kirim melewati nilai impedansi saluran. Hanya saja pada perhitungan nilai tegangan menggunakan transformasi park pada sisi terima dilakukan pergantian nilai untuk nilai $\sin \theta$ dan $\cos \theta$ terima dengan nilai $\sin \theta$ dan $\cos \theta$ kirim, hal ini di maksudkan agar besarnya nilai sudut yang terbentuk antara α dan β pada sisi terima sama dengan sisi kirim nya bernilai sama, agar terjadi hubungan sudut fasor untuk sisi kirim dan sisi terima, sehingga sistem bekerja pada nilai sudut fasor yang sama, selain itu, hal ini juga bertujuan agar ketika terjadi perubahan atau pergeseran sudut fasa pada sisi kirim dan terima hal tersebut dapat diamati. Sehingga ketika digambarkan secara kerja sistem, untuk perhitungan Transformasi Clarke dan park untuk sisi terimanya dapat dilihat pada Gambar 9.

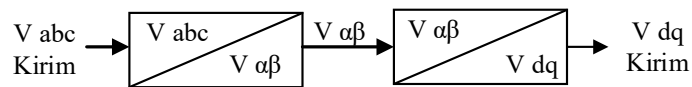
3) *Perhitungan Nilai daya Aktif (P) dan Daya Reaktif (Q)*: Perhitungan nilai daya hanya dapat dilakukan jika pemodelan untuk transformasi clarke dan park sisi kirim dan sisi terima telah selesai dilakukan, pemodelan tadi dimaksudkan agar didapati nilai phasor tegangan kirim dan terimanya. setelah nilai untuk phasor tegangan didapati, selanjutnya dilakukan perhitungan daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) yang secara *block* sistem, perhitungan daya dapat dilihat pada Gambar 10.

B. Perancangan Komponen Prototipe PMU

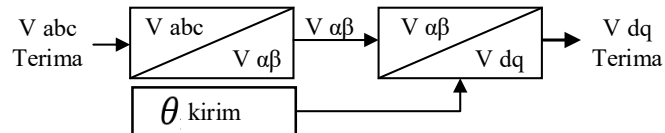
Prototipe PMU tersusun dari beberapa sensor, rangkaian elektronika dan mikrokontroller, Gambar 11 berikut menampilkan komponen penyusun dari prototipe PMU. Prototipe PMU tersusun dari sensor tegangan jenis ZMPT101B yang berfungsi sebagai komponen pembaca nilai tegangan, LCD IIC numerik 20x4 sebagai komponen penampil data, Arduino mega 2560 sebagai komponen pemrosesan data, dan ethernet shield sebagai media komunikasi dan pengiriman data.



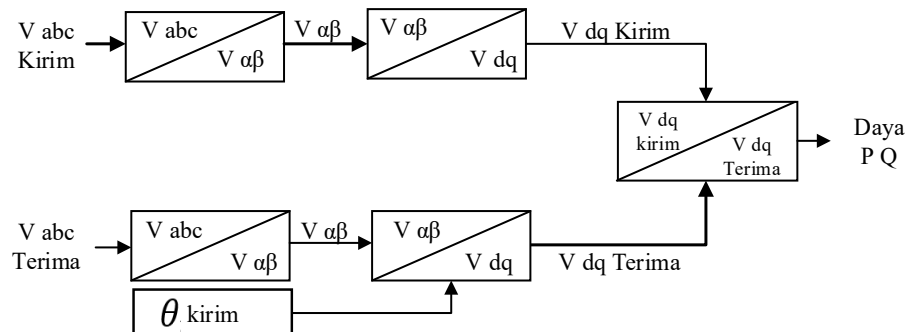
Gambar 7 Sistem Pengujian PMU



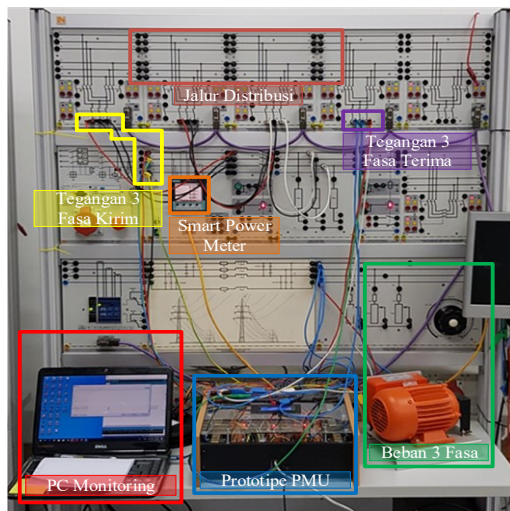
Gambar 8 Block kerja sistem pada sisi kirim



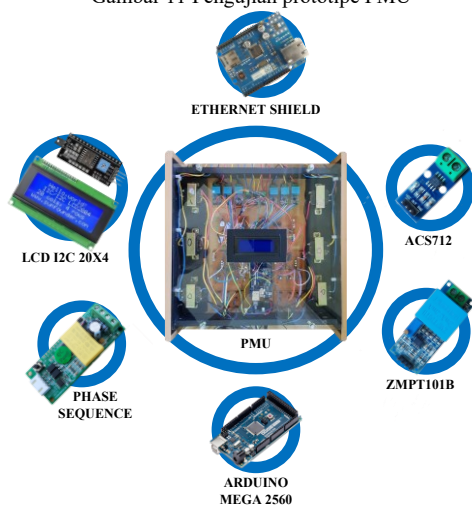
Gambar 9 Block kerja sistem pada sisi terima



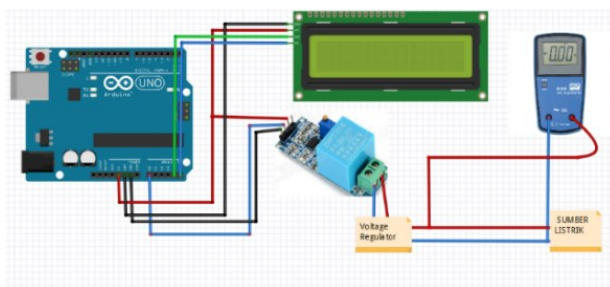
Gambar 10 Block sistem perhitungan daya



Gambar 11 Penguji prototype PMU



Gambar 12 Komponen prototype PMU



Gambar 13. Rancangan sensor tegangan ZMPT101B

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

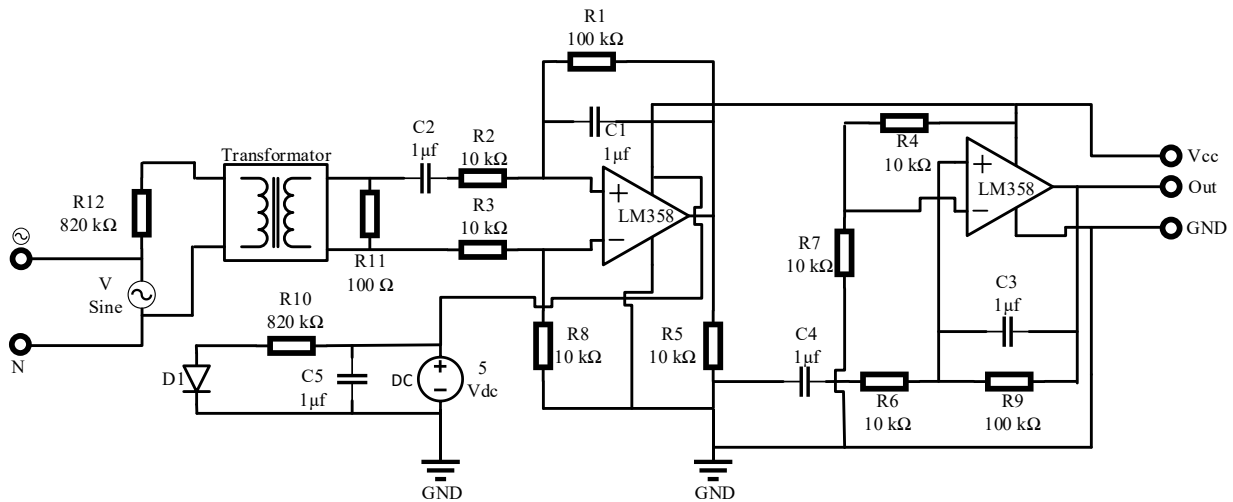
A. Metode Pengujian dan Pengambilan Data Prototype PMU

Sistem pengujian prototype PMU dilakukan dengan menggunakan modul praktikum jaringan distribusi yang ada pada laboratorium energi listrik, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, seperti tampak pada Gambar 11.

B. Proses Kerja dan Kalibrasi Komponen Penyusun Prototype PMU

Komponen penyusun prototype yang sebelumnya telah disebutkan pada gambar 12, bekerja berdasarkan fungsi komponennya, berikut merupakan proses tahapan kalibrasi dan cara kerja dari masing - masing komponen penyusun prototype PMU

1) *Sensor Tegangan ZMPT101B*: Pada tahap kalibrasi sensor tegangan, dilakukan proses perbandingan antara nilai yang dibaca oleh sensor Tegangan ZMPT101B dengan nilai yang ditampilkan alat ukur konvensional dalam hal ini menggunakan multimeter yang dilanjutkan dengan proses pengkalibrasian menggunakan *smart power meter*. Proses kalibrasi sendiri dilakukan guna melihat tingkat kepresisian dari hasil pengukuran yang dilakukan sensor Tegangan ZMPT101B. Kalibrasi untuk sensor Tegangan ZMPT101B dilakukan dengan cara memasang sensor Tegangan ZMPT101B dan voltmeter secara paralel terhadap kabel fasa dan netral, dengan beban - beban yang berbeda guna menghasilkan nilai tegangan yang berbeda pada saluran tersebut Untuk tiap-tiap jenis beban dilakukan pembacaan tegangan oleh sensor Tegangan ZMPT101B dan voltmeter. Nilai yang ditunjukkan haruslah tidak jauh berbeda dengan multimeter. Gambar 13 dan 14 menunjukkan rangkaian untuk kalibrasi sensor Tegangan ZMPT10 dan rangkaian ekivalennya. Pengujian sensor tegangan sendiri dilakukan cara membandingkan nilai yang ditampilkan oleh voltmeter dengan nilai yang dibaca oleh sensor tegangan, selanjutnya hasil yang didapat dari pembacaan nilai tegangan dari voltmeter maupun sensor tegangan dibuat pemodelan matematika untuk mengetahui keakuratan pembacaan nilai tegangan yang dilakukan oleh sensor menggunakan metode regresi linier. Berdasarkan data hasil proses kalibrasi sensor tegangan, dari percobaan kalibrasi yang dilakukan untuk sensor tegangan ZMPT101B didapati data seperti pada table 2.



Gambar 14. Rangkaian ekivalen sensor ZMPT101B

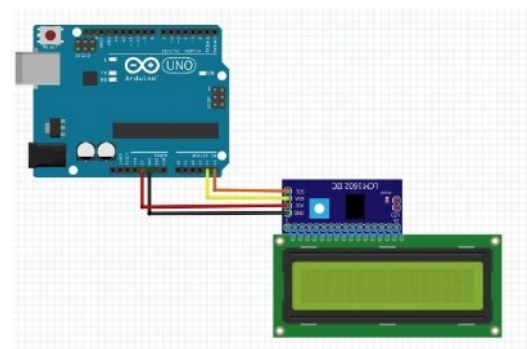
TABLE I
HASIL PENGUJIAN SENSOR ZMPT101B

Kode sensor	Galat pengukuran	Determinan (R^2)
A1	0.20%	1
A2	0.27%	0.9995
A3	0.24%	0.9985
A4	0.01%	1
A5	0.24%	0.9988
A6	0.2%	1

Dari hasil yang didapati pada percobaan ini, mengacu pada standart IEC No 13B-23 dapat disimpulkan bahwasannya penggunaan ZMPT101B sebagai alat pengukur nilai tegangan berada pada golongan 1 sehingga pengukuran yang dilakukan memiliki nilai pengukuran yang terbilang cukup presisi, sehingga dapat dijadikan sebagai alat ukur, maupun acuan pengukuran nilai tegangan yang akan diimplementasikan sebagai komponen penyusun prototipe PMU.

Proses eksekusi nilai tegangan sendiri dapat dilakukan ketika urutan fasa pada sistem pengujian sudah tepat dan sesuai urutan, hal inilah yang kemudian membuat proses pengukuran untuk nilai tegangan hanya akan berjalan ketika proses analisis urutan fasa yang dilakukan oleh rangkaian phase sequence telah selesai dilaksanakan.

2) *Perancangan LCD*: LCD disini dipakai sebagai media display, untuk menampilkan hasil dari nilai yang telah diproses oleh Arduino Mega 2560 hasil dari data yang didapat dari sensor sensor Tegangan ZMPT101B, Adapun perancangan LCD dapat dilihat pada Gambar 15. Dalam pemrograman menggunakan Bahasa C++ baris program yang dipakai sebagai pemanggil koefisien penampil data pada serta penampil alamat IIC LCD adalah seperti gambar 16.



Gambar 15 Perancangan LCD

Dari pengujian diketahui bahwasannya LCD I2C dapat menampilkan karakter data sesuai dengan letak dan jenis karakter data yang diinginkan, hal ini berarti LCD I2C dapat dijadikan komponen yang berfungsi sebagai penampil data hasil dari kalkulasi yang selanjutnya akan dilakukan oleh Arduino.

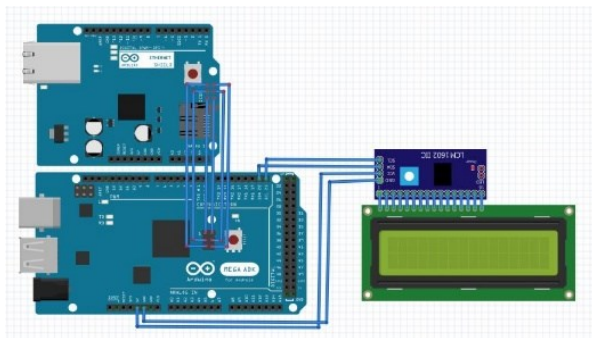
3) *Pertancangan Arduino Ethernet Shield*: Modul Arduino Ethernet Shield berfungsi sebagai komponen yang menghubungkan Arduino Mega 2560 dengan internet, serta dapat dipakai sebagai media penyimpanan data hasil pengukuran dengan cara menambahkan SD card yang telah portnya telah tersedia di modul Ethernet Shield. Gambar 17 merupakan perancangan untuk modul Arduino Ethernet Shield.

Dalam pemrograman menggunakan Bahasa C++ baris program yang dipakai sebagai pemanggil koefisien pengiriman data menggunakan *ethernet shield* ditampilkan pada gambar 18.

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C
  lcd(0x27,2,1,0,4,5,6,7,3, POSITIVE);
void setup() {
  Wire.begin();
  Serial.begin(9600);
  pinMode(input, INPUT);
  lcd.begin(20, 4); //SET 20*4
  lcd.setCursor(7, 0); //KOORDINAT LCD
  lcd.print("PHASOR");
  lcd.setCursor(4, 1);
  lcd.print("MEASUREMENT");
  lcd.setCursor(8, 2);
  lcd.print("UNIT");
  delay(2000);
  lcd.clear();
  while (!Serial);
  Serial.println("\nI2C Scanner");
}

void loop(){
  byte error, address;
  int nDevices;
  Serial.println("Scanning...");
  nDevices = 0;
  for(address = 1; address < 127; address++){
    Wire.beginTransmission(address);
    error = Wire.endTransmission();
    if (error == 0){Serial.print("ditemukan Perangkat
      i2C pada alamat 0x");
      if (address<16)
        Serial.print("0");
        Serial.print(address, HEX);
        Serial.println(" !");
        nDevices++;
      }
    else if (error==4){
      Serial.print("tidak ditemukan alamat 0x");
      if (address<16)
        Serial.print("0");
        Serial.println(address, HEX);
      }
    }
  }
  if (nDevices == 0)
    Serial.println("Tidak Ditemukan Alamat i2c\n");
  else
    Serial.println("selesai\n");
  delay(5000);
}
```

Gambar 16 Kode pemanggil koefisien penampil data dan alamat IIC LCD

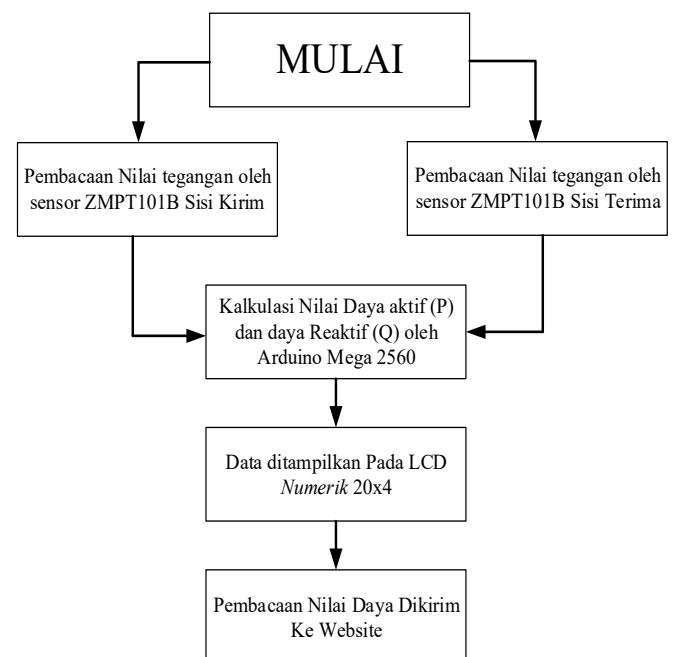


Gambar 17. Perancangan Ethernet Shield

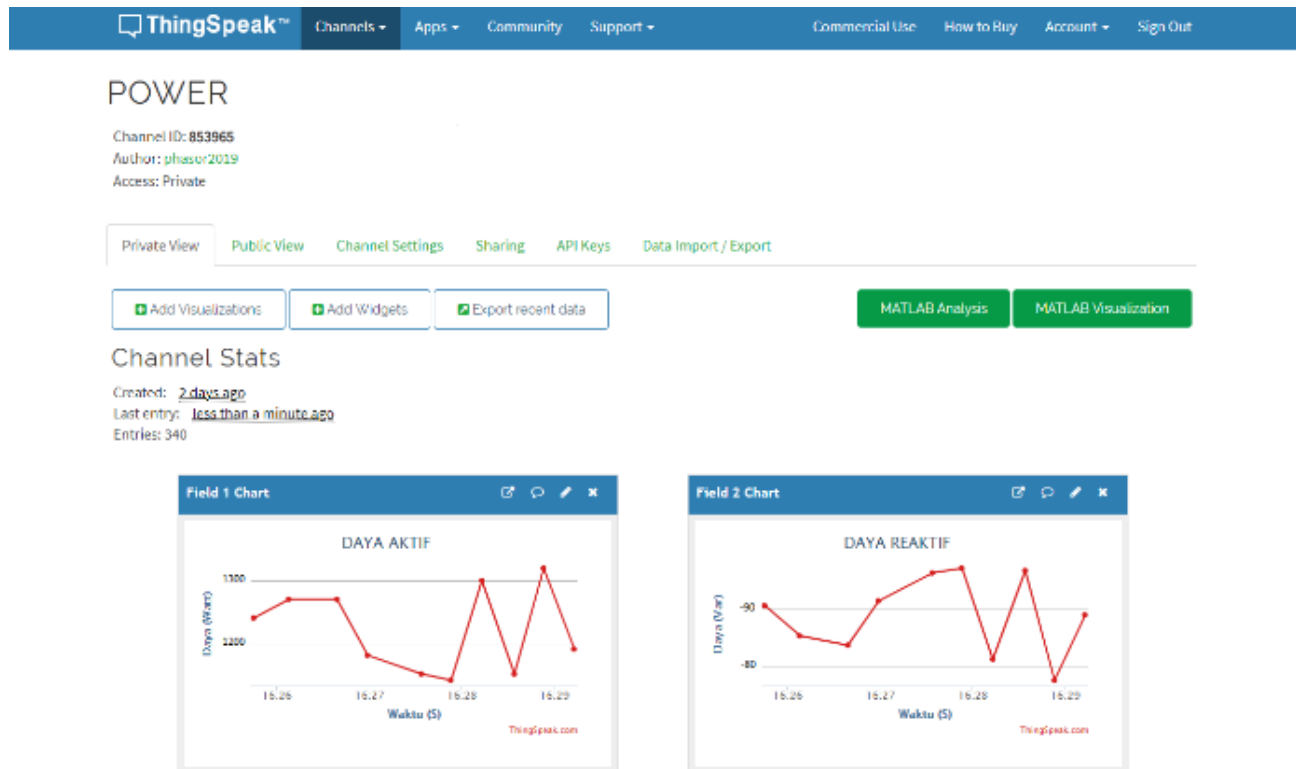
```
#include <SPI.h>
#include <Ethernet.h>
#include "EmonLib.h"
EnergyMonitor emon1, emon2, emon3;
byte mac[] = { 0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE,
0xED };
String apiKey1 = "CWp3U0ROCF0GGQ3X";
const char* server = "api.thingspeak.com";
IPAddress ip(192, 168, 0, 177);
IPAddress myDns(192, 168, 3, 99);
EthernetClient client;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  while (!Serial) {}
  void loop() {if (!client.connected()){ delay(500); }
  String postStr1 = apiKey1;
  postStr1 += "&field1=";
  postStr1 += String(Voltage1);
  postStr1 += "&field2=";
  postStr1 += String(Current1);
  postStr1 += "\r\n\r\n";
  client.print("POST /update HTTP/1.1\n");
  client.print("Host: api.thingspeak.com\n");
  client.print("Connection: close\n");
  client.print("X-THINGSPEAKAPIKEY: "+apiKey1+"\n");
  client.print("Content-Type: application/x-www-form-urlencoded\n");
  client.print("Content-Length: ");
  client.print(postStr1.length());
  client.print("\n\n");
  client.print(postStr1);
}
```

Gambar 18 Kode pemanggil koefisien pengiriman data menggunakan ethernet shield



Gambar 19 Logika pemrograman PMU



Gambar 20. Tampilan monitoring daya pada website Thingspeak.com

C. Logika Pemograman

Pada penelitian ini alur logika pemograman bekerja seperti pada Gambar 19.

D. Pengiriman Data Menggunakan Modul Ethernet Shield

Waktu kirim yang terjadi terhadap pembacaan nilai daya yang terbaca pada nilai digital Arduino dengan yang ditampilkan website *Thingspeak.com* tentunya akan menghasilkan jeda waktu atau *delay* dalam proses pengirimannya, perlu diperhatikan bahwasannya kemampuan pengiriman dan penyimpanan data yang dilakukan oleh ethernet shield tergantung kepada koneksi internet dan kehandalan Arduino dalam memproses program. Pada penelitian ini *delay* waktu untuk pengiriman data rata-rata mencapai 10,69 detik. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya *delay* yang menyebabkan kurang memadainya proses transfer data yang terjadi pada saat pengiriman data yang dilakukan bisa disebabkan oleh beberapa faktor yaitu:

- koneksi internet yang lambat
- flash memory arduino yang sudah melewati batas pemakaian
- Keterbatasan Arduino dalam memproses program

Gambar 20 merupakan tampilan website *thingspeak.com* yang telah dilakukan pengiriman data.

Untuk media penyimpanan data yang dilakukan pada perancangan prototipe PMU tidak dilengkapi dengan data logger khusus, hanya menggunakan flash memory Arduino

dan hanya mengandalkan logger yang ada pada channel *thingspeak.com*, berupa pembacaan nilai daya dan waktu data tersebut diunggah.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, Prototipe Phasor Measurement Unit dengan menggunakan teori perhitungan space vector dan mikrokontroler sebagai komponen penyusunnya, yang dirancang oleh penulis, merupakan sebuah alat ukur yang dapat diimplementasikan pada saluran distribusi kelistrikan, hal ini terbukti dari pengukuran dan monitoring yang dilakukan memiliki nilai kesalahan yang sangat kecil, jika dibandingkan dengan alat ukur konvensional lain. Selain itu prototipe PMU ini mampu melakukan monitoring secara *real time* baik secara langsung, maupun jarak jauh, dengan cara informasi monitoring PMU tadi dikirim ke suatu website tertentu, dalam penelitian ini pada website *thingspeak.com*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kepada Allah SWT yang selalu memberikan limpahan kasih sayang-Nya kepada penulis hingga akhirnya Karya Ilmiah ini dapat terselesaikan dengan baik. Terimakasih yang terdalem kepada Ayahanda Abdul Khalik dan Ibunda Nuraimah yang telah telah memberikan doa, materil, pikiran dan pengorbanan yang tidak ternilai harganya. Selanjutnya terimakasih kepada kakak penulis Kak deni Mahrani S.E, kak Desi Pertiwi S.Pd, dan Adik

penulis Putri Ayu A.Md.Bns., terimakasih kepada Bapak Hafidh Hasan S.T., M.T., dan Bapak Dr. Syukriyadin, S.T., M.T selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan banyak ilmu kepada penulis. Terimakasih kepada Bapak Dr. Nasaruddin, S.T., M.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro dan Komputer serta Bapak Zulhelmi, S.T., M.Sc selaku Koordinator Prodi Teknik Elektro, dan Seluruh Dosen juga Staff Jurusan Teknik Elektro dan Komputer.

REFERENSI

- [1] D.R. Syahputra, Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik. Yogyakarta: LP3M UMY Yogyakarta, 2017.
- [2] Yunan Helmy Amrulloh, "Penempatan Optimal Phasor Measurement Unit (PMU) dengan Integer Programming," JURNAL TEKNIK POMITS, vol. 2, no. phasor measurement unit (PMU), p. 5, 2013.
- [3] Indriarto Yuniantoro, "Model Vektor Tegangan Dalam Modulasi Vektor Ruang 3 Dimensi Pada Filter Aktif Sistem Tiga-Fasa," JETri, vol. 1, no. 1, pp. 1 - 1413, 2015.
- [4] Fairuz Astra Pratama, "Aplikasi Vector Space Model," Sekolah Teknik Elektro dan Informatika Institut Teknologi Bandung, vol. 1, no. 1, p. 6, 2015.
- [5] J. A. Edminister, Rangkaian Listrik. Jakarta, Indonesia: Ciracas, 2004.
- [6] Ali Abdul Hasan Abdul Zahra, "Studies Between Clarke Transformation and Symmetrical Components For Fault Analysis Of Power Distribution System Using PSCD," University Teknikal Malaysia Melaka, vol. 1, no. clarke and Park Transformation, p. 24, 2016.
- [7] P.E. Alexander kusconSc.D., Power Quality in Electrical System. united states of America: The McGraw-Hill Companies, 207.
- [8] Hafidh Hasan, "Improved Voltage Disturbance Rejection of Grid-connected VSC under Unbalanced Voltage Sag Based on Grid Dynamic Model," 3rd International Conference on Instrumentation Control and Automation (ICA), vol. 1, no. 1, pp. 1 - 6, 2013.
- [9] G. Maddala, "Introduction to Econometrics, 2 ed ,," New York, 1992.
- [10] Z. Muslimin, Rangkaian Listrik 1. Jakarta: Erlangga, 2012.