

Transformasi Besaran Tegangan dan Arus Tiga Fasa Menjadi *Space Vector* Menggunakan Arduino Mega 2560

Cut Putri Mirna^{#1}, Hafidh Hasan^{*2}, Rakhmad Syafutra Lubis^{#3}

[#]Jurusan Teknik Elektro dan Komputer, Universitas Syiah Kuala
Jl.Tgk. Syech Abdurrauf No.7. Darussalam,Banda Aceh, 23111, Aceh, Indonesia

¹cutpmirna@unsyiah.ac.id

²hafidh.hasan@unsyiah.ac.id

³rakhmadslubis@unsyiah.ac.id

Abstrak— Penelitian ini mentransformasikan arus dan tegangan menjadi *space vector* menggunakan metode transformasi clarke dan transformasi park. Dimana tegangan atau arus tiga fasa diubah menjadi elemen dua fasa kerangka acuan tetap (α, β) dengan menggunakan transformasi clarke kemudian kerangka acuan tetap diubah menjadi acuan bergerak (d,q) menggunakan transformasi park. Penerapannya pada sinkronisasi pembangkit energi terbarukan, pengendalian motor listrik dll. Penelitian dilakukan dengan mensimulasikan dengan matlab dan mengukur arus dan tegangan 3 fasa sumber PT.PLN yang hasil ditampilkan secara *real-time* yang pengolahan datanya dilakukan oleh Mikrokontroler Arduino Mega 2560. Hasil yang diperoleh dari penelitian adalah daya reaktif dan daya aktif dari sumber 3 fasa yang dipresentasikan dalam bentuk diagram *space vector*.

Kata Kunci— Space Vector, Tranformasi Park, Transformasi Clarke, Arduino, Sistem 3 Fasa.

I. PENDAHULUAN

Sistem pengukuran yang dilakukan oleh PT.PLN saat ini pada panel distribusi hanya dapat memperoleh nilai tegangan dan arus 3 fasa dalam bentuk RMS sehingga tidak dapat melihat perbedaan sudut antara arus dan tegangan. Pada penelitian ini dimana arus dan tegangan ditransformasikan dalam bentuk *space vector*, maka bentuk arus dan tegangan dalam bentuk *instantenous* yang nilainya berubah-ubah terhadap waktu sehingga dapat diketahui besar sudut antar tegangan dan arus. Dengan mengetahui nilai dari sudut tegangan dan arus maka nilai dari besaran daya aktif dan daya reaktif pada suatu sumber listrik dapat diatur.

Pengaplikasian *Space vector* pada peralatan listrik sangat luas yaitu : inverter atau rectifer, pengaturan motor listrik, mengontrol daya aktif dan daya reaktif dan juga dapat diaplikasikan pada sinkronisasi pembangkit listrik energi terbarukan, Modulasi *space vector* merepresentasikan tegangan dan arus tiga fasa dalam dua dimensi ($\alpha\beta$) dalam bentuk sinyal sinusoidal. Dimana ada tiga vektor garis (ABC) yang bergeser sebesar 120° dalam ruang tersebut [1].

Pada penelitian ini untuk mendapatkan bentuk *space vector* arus dan tegangan sumber 3 fasa (abc) dilakukan dengan

mentransformasikan sumber (abc) menjadi bentuk alpha beta ($\alpha\beta$) menggunakan metode transformasi Clarke kemudian data yang diperoleh dari hasil transformasi tersebut digunakan untuk menghitung nilai dq0 (*direct, quadrature, zero*) dengan menggunakan metode transformasi park. Setelah diperoleh nilai yang dari besaran $\alpha\beta$ dan dq lalu akan digambarkan bentuk *space vector* arus dan tegangan. Dari nilai d dan q tersebut kemudian digunakan untuk menghitung daya aktif dan daya reaktif dari rangkaian daya yang telah ada untuk melihat daya yang mengalir pada saluran distribusi.

Penelitian ini dilakukan dengan dilakukan pengukuran dengan menggunakan sensor arus dan tegangan pada sumber listrik 3 fasa yang perhitungannya dilakukan dengan mikrokontroler Arduino mega 2560 yang medapat menampilkan data secara *real-time*.

II. DASAR TEORI

A. Space Vector

Space vector didefinisikan sebagai suatu ruang dua atau tiga dimensi yang didalamnya terdapat beberapa vektor. Vektor sendiri didefinisikan sebagai suatu besaran yang memiliki besar dan arah dalam ruang. Contoh dari vektor adalah gaya, kecepatan, percepatan dan garis lurus yang menghubungkan kutub positif dan kutub negatif dari sebuah baterai [1].

Dalam ruang dua dimensi, komponen vektor dibagi dalam dua bagian yaitu komponen horizontal dan vertikal (α, β), dua komponen ini nantinya akan menentukan besar dan arah dari vektor. Dalam ruang tiga dimensi vector digambarkan sebagai tiga komponen dengan koordinat $\alpha, \beta, 0$ yang berbentuk tetrahedron [2].

Setiap tiga fasa kumpulan variable yang dijumlahkan ke nol pada koordinat a-b-c bisa direpresentasikan dalam suatu bidang kompleks dan vector kompleks oleh vector kompleks yang terdapat komponen real (α) dan imajiner (β) seperti yang ditunjukkan gambar 2. [3].

Sistem tiga fasa didefinisikan oleh $V_a(t)$, $V_b(t)$ dan $V_c(t)$ dapat ditulis dalam persamaan dengan perputaran vektor sebagai berikut:

$$v = \frac{2}{3} (v_a(t) + v_b(t)e^{j\frac{2\pi}{3}} + v_c(t)e^{-j\frac{2\pi}{3}}) \quad (1)$$

Dimana, $\frac{2}{3}$ adalah konstanta

$$v_a(t) = v_m \sin(\omega t) \quad (2)$$

$$v_b(t) = v_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \quad (3)$$

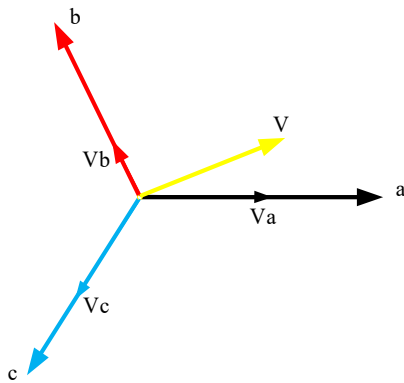
$$v_c(t) = v_m \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) \quad (4)$$

B. Transformasi Clarke dan Transformasi Park

Transformasi clarke atau juga dikenal dengan transformasi bidang alpha beta yang diperkenalkan oleh Edith Clarke merupakan transformasi space vector dengan domain waktu (tegangan, arus, fluks dll) dari sistem koordinat 3 fasa (abc) menjadi dua bidang referensi dua fasa yang diam ($\alpha\beta$).

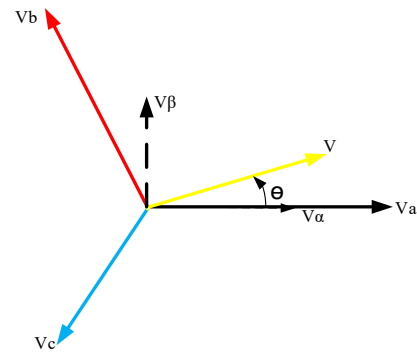
Tranformasi park yang di perkenalkan oleh R. H. Park disebut juga dengan transformasi dq0 (direct-quadrature axis variable) yang pesentasikan secara langsung dengan menggunakan sudut Θ pada mesin listrik sumbu d dan q menyatakan langsung dan kuadratur, 0 menyatakan komponen urutan fasa-nol. Pada keadaan 3 fasa setimbang, tidak ada komponen urutan fasa-nol [3]. Transformasi dq merupakan suatu bidang bergerak pada bidang alpha beta yang digunakan pada analisis daya 3 fasa pada pembangkit listrik.

Arus dan tegangan direpresentasikan dalam bentuk space vector yang digambarkan dalam betuk sumbu referensi yang tidak bergerak. Referensi bidang putaran umumnya di kenal sebagai d dan q pada sumbu clarke, park dan inverse transformasi park. Meskipun penggunaan tranformasi clarke bisa mengidentifikasi arus real dan imajiner. Tranformasi park digunakan untuk mengahasilkan arus real dan imajiner dari bentuk diam menjadi acuan yang berputar[2] [3] [4].



Gambar 1 Diagram VABC

Space vector yang didefinisikan pada gambar 2. dapat dinyatakan menggunakan teori dua-sumbu. Bagian real dari *space vector* sama dengan nilai sesaat komponen *direct-axis* pada tegangan (V_α) dan nilai imajiner sama dengan komponen *quadrature-axis* tegangan (V_β). Seperti yang yang ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 2 Space Vector Tegangan Pada Bidang α,β

Dengan demikian, *space vector* tegangan dalam koordinat bisa dinyatakan sebagai berikut:

$$\mathbf{V} = (\mathbf{V}_\alpha + \mathbf{V}_\beta) \quad (5)$$

Pada mesin 3 fasa simetris, garis arus axis i_α dan i_β adalah bentuk lain dari komponen tegangan 2 fasa (fasa kuadrant), yang berhubungan dengan tegangan 3 fasa sebagai berikut [3]:

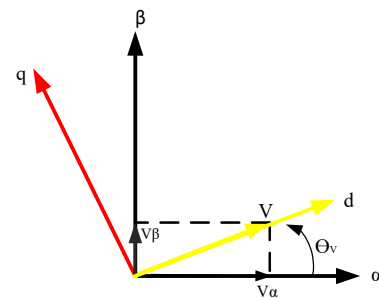
$$v_\alpha = k \left(v_a - \frac{1}{2}v_b - \frac{1}{2}v_c \right) \quad (6)$$

$$v_\beta = k \left[\frac{\sqrt{3}}{2} (v_b - v_c) \right] \quad (7)$$

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

$$\begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = k x \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} \quad (8)$$

Selain referensi bidang tetap yang diam pada stator, persamaan *space vector* tegangan dapat dirumuskan dalam bentuk umum referensi berputar pada kecepatan ω seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3 Referensi Bidang Putaran [3]

Putaran axis *direct* dan *quadrature* pada kecepatan sesaat, $\omega = \frac{d\theta}{dt}$, pada gambar 3. dimana θ_v adalah sudut antara

direct-axis (V_d) pada bidang tetap (V_α) dari bentuk referensi bidang tetap. Untuk mengkonversikan bidang α dan bidang β ke bentuk p dan q dilakukan seperti pada persamaan berikut :

Pada bidang (α, β)

$$\mathbf{V} = \mathbf{V}_\alpha + \mathbf{V}_\beta \tag{9}$$

Pada bidang (d,q)

$$\mathbf{V} = \mathbf{V}_d + \mathbf{V}_q \tag{10}$$

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

$$\sin \theta_v = \frac{V_\beta}{V_d} \tag{11}$$

$$\cos \theta_v = \frac{V_\alpha}{V_d} \tag{12}$$

Transformasi berikut terlibat karena sistem rotasi ortogonal d-q

$\alpha - \beta$ ke d-q: transformasi park

d-q ke $\alpha - \beta$: invers transformasi park

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

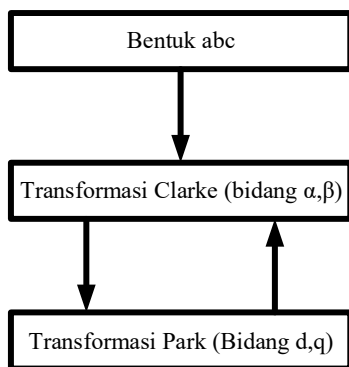
$$\begin{bmatrix} d \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix} \tag{13}$$

$$\begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix} = [\text{invers matriks park}] x \begin{bmatrix} d \\ q \end{bmatrix} \tag{14}$$

Dimana,

$$[\text{Invers Matriks Park}] = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \tag{15}$$

Transformasi antara R-Y-B, bidang Clarke dan bidang Park ditunjukkan dengan blok diagram pada gambar 4. dimana transformasi dapat digunakan pada kedua fasa arus dan fasa tegangan. Bentuk dari transformasi clarke dan park arus ditunjukkan pada gambar 3.[4].



Gambar 4 Referensi Bentuk Transformasi

Untuk transformasi Clarke untuk besaran arus menggunakan persamaan (6) dan (7) dan Transformasi Park

untuk arus menggunakan nilai θ_v perhitungan nilai dq (Transformasi Park) menggunakan persamaan (15).

C. Daya

Pada sistem simetris untuk menganalisis daya dalam sistem per unit, dapat menggunakan transformasi clarke dan park. Penggunaan transformasi clarke dan park dapat digunakan pada kondisi sistem steady state dan transient [2] [5]. dengan persamaan seperti berikut:

Daya dalam bentuk abc adalah sebagai berikut:

$$\mathbf{P}_{abc} = \mathbf{V}_a \cdot \mathbf{I}_a \cos \theta_a + \mathbf{V}_b \cdot \mathbf{I}_b \cos \theta_b + \mathbf{V}_c \cdot \mathbf{I}_c \cos \theta_c \tag{16}$$

$$\mathbf{Q}_{abc} = \mathbf{V}_a \mathbf{I}_a \sin \theta_a + \mathbf{V}_b \mathbf{I}_b \sin \theta_b + \mathbf{V}_c \cdot \mathbf{I}_c \sin \theta_c \tag{17}$$

Dalam bentuk referensi bidang tetap adalah sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} \mathbf{P} \\ \mathbf{Q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{V}_\alpha & \mathbf{V}_\beta \\ -\mathbf{V}_\beta & \mathbf{V}_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{I}_\alpha \\ \mathbf{I}_\beta \end{bmatrix} \tag{18}$$

$$\mathbf{P}(\mathbf{pu}) = (\mathbf{V}_\alpha \cdot \mathbf{I}_\alpha + \mathbf{V}_\beta \cdot \mathbf{I}_\beta) \tag{19}$$

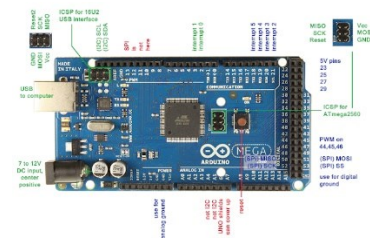
$$\mathbf{Q}(\mathbf{pu}) = (-\mathbf{V}_\beta \cdot \mathbf{I}_\alpha + \mathbf{V}_\alpha \cdot \mathbf{I}_\beta) \tag{20}$$

Dalam bentuk berputar adalah sebagai berikut :

$$\mathbf{P}(\mathbf{pu}) = (\mathbf{V}_d \cdot \mathbf{I}_d + \mathbf{V}_q \cdot \mathbf{I}_q) \tag{21}$$

$$\mathbf{Q}(\mathbf{pu}) = (\mathbf{V}_q \cdot \mathbf{I}_d - \mathbf{V}_d \cdot \mathbf{I}_q) \tag{22}$$

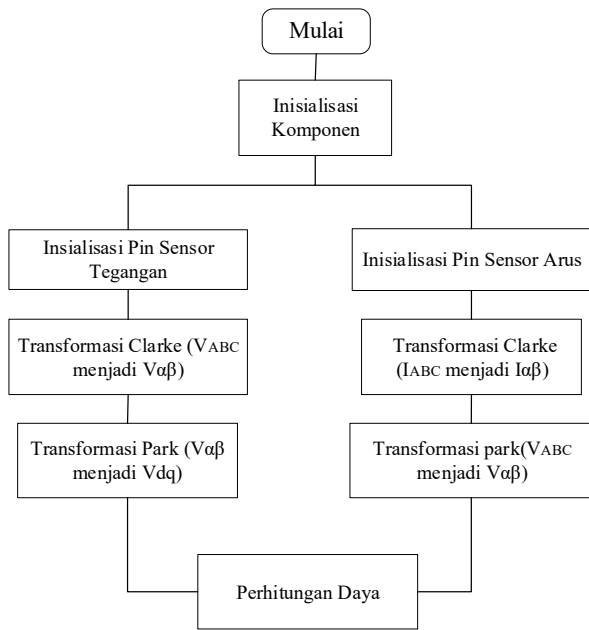
D. Arduino Mega 2560



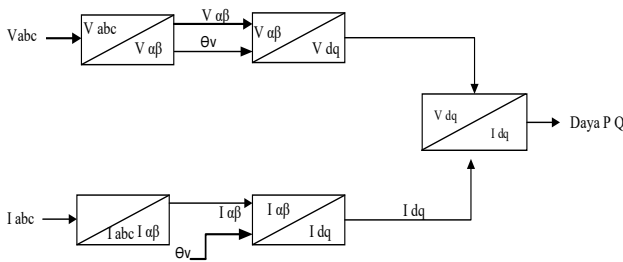
Gambar 5 Arduino Mega 2560 [8]

Arduino mega 2560 adalah papan mikrokontroller berdasarkan pada Mega2560 yang memiliki 54 pin input/output digital (14 diantaranya dapat digunakan sebagai output PWM) 16 analog input, 4 UART (port serial perangkat keras), osiloskop kristal 16 MHz, sebuah koneksi USB, sebuah power jack, header ICSP dan tombol reset [8].

III. SISTEM KERJA ALAT



Gambar 6. Diagram sistem kerja alat

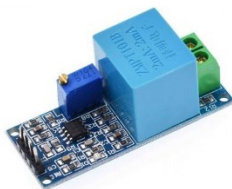


Gambar 7 Diagram Blok Space Vector

IV. METODE KALIBRASI SENSOR

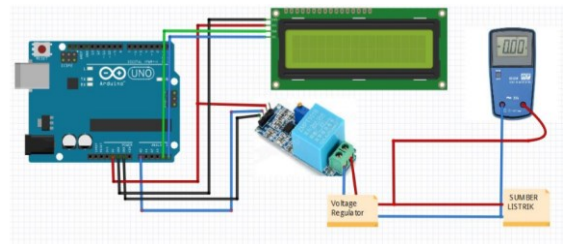
A. Sensor Tegangan

Modul sensor tegangan ZMPT101B ada sensor tegangan terbuat dari transformator tegangan ZMPT101B. sensor ini memiliki akurasi yang tinggi, konsistensi yang baik untuk tegangan dan pengukuran daya. Sensor ZMPT101B bisa digunakan untuk mengukur tegangan sampai dengan 1000V AC. Sensor ini sangat mudah digunakan dan juga memiliki *multi turn potensial* untuk menyesuaikan output ADC [6].



Gambar 8 Rangkaian Sensor Tegangan [6]

Sebelum digunakan untuk melakukan pengukuran sensor ZMPT101B perlu dikalibrasi, kalibrasi sensor tegangan dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor ZMPT101B dengan Voltmeter. Pada proses pengkalibrasian sensor tegangan ZMPT101B dipasang parallel dengan voltage regulator untuk melihat pembacaan dari sensor digunakan LCD 2x16 dan mikrokontroller Arduino uno melihat keakurat pembacaan dari sensor maka tegangan yang mengalir juga diukur dengan voltmeter.



Gambar 9 Rangkaian Kalibrasi Sensor Tegangan

Metode yang digunakan untuk kalibrasi sensor ZMPT101B adalah regresi linier, hasil pembacaan dari ZMPT101B dan Voltmeter akan dibandingkan dihitung galat persentase kesalahan pembacaan.

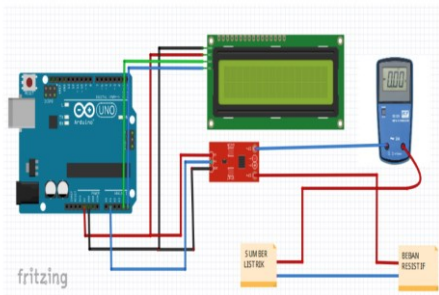
B. Sensor Arus

Sensor arus ACS 721 adalah sebuah IC yang sudah dipaketkan yang berguna untuk sensor arus yang dapat menggantikan transformasi arus yang ukurannya relatif lebih besar. Prinsip kerja dari sensor ACS721 sama dengan *Hall effect Sensor* dimana beroperasi berdasarkan medan magnet [7].



Gambar 9 Rangkaian Sensor Arus [7]

Hall effect sensor memanfaatkan medan magnet yang ada disekitar arus untuk konversikan menja tegangan yang linier dengan perubahan arus. Nilai variable dari sensor nantinya yang akan menjadi iput mikrokontroller lalu kemudian diolah. Output dari sensor merupakan tegangan AC untuk dapat diolah oleh mikrokontroller sinyal AC dari sensor diubah menjadi sinyal DC oleh rangkain penyearah yang terdapat pada sensor ACS 721.



Gambar 10 Rangkaian Kalibrasi Sensor Arus

Kalibrasi sensor arus dilakukan dengan membandingkan pembacaan sensor arus ACS712 dengan alat ukuran lain (amperemeter) untuk melihat keakuratan pembacaan sensor tersebut. Kalibrasi sensor arus dilakukan dengan menggabungkan sensor ACS712 ke beban-beban yang berbeda yaitu beban resistif, kapasitif dan induktif. Kalibrasi sensor pada kondisi beban resistif menggunakan pemanas air listrik, beban induktif menggunakan bor listrik dan beban kapasitif menggunakan kapasitor 1µf dan 10 µf yang dihubungkan seri ke sensor dan ampere meter. Untuk melihat hasil pembacaan sensor ACS 712 digunakan LCD 2x16 yang di kontrol oleh mikrokontroler Arduino Uno.

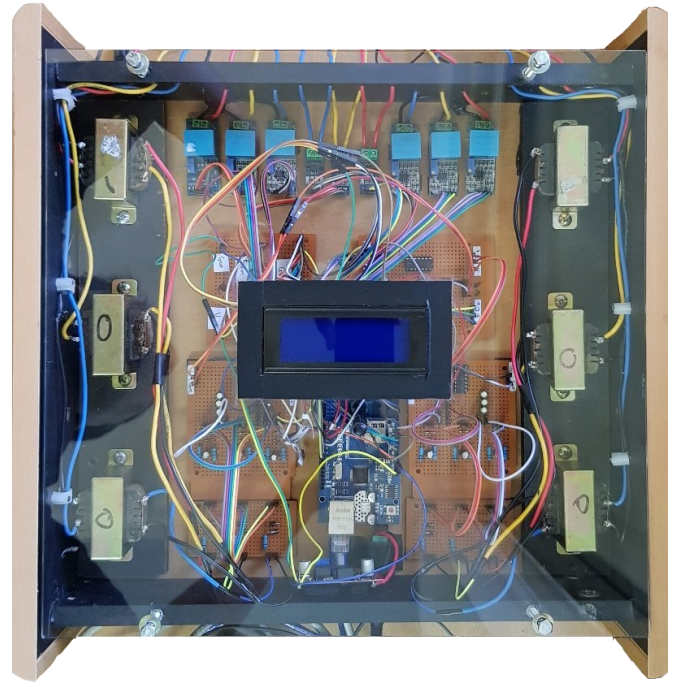
$$Galat = \frac{\text{Pengukuran ACS712} - \text{Pengukuran Amperemeter}}{\text{Pengukuran ACS712}} \times 100\%$$

TABLE I
HASIL PENGUJIAN SENSOR ARUS DAN TEGANGAN

Jenis Sensor	Kode Sensor	Galat Pengukuran (%)	Determinan (R2)
Sensor Tegangan	A1	0.27%	0.9995
	A2	0.22%	0.998
	A3	0.20%	1
Sensor Arus	A4	0.23%	0.9976
	A5	0.19%	0.9989
	A6	0.1%	1

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perancangan Alat



Gambar 11 Perancangan Alat

Alat yang dirancang terdiri dari 3 sensor tegangan ZMPT101B yang berfungsi untuk mendeteksi tegangan yang mengalir pada suatu jaringan sumber listrik 3 fasa dan 3 Sensor Arus ACS712 untuk pembaca arus pada sumber 3 fasa kemudian Arduino Mega 2560 sebagai Mikrokontroler.

B. Transformasi Clarke dan Park

Persamaan αβ dan dq untuk arus dan tegangan pada persamaan (8) dan persamaan (13) diubah menjadi Bahasa pemograman C++ untuk perhitungan transformasi Clarke dan Park menggunakan Mikrokontroler Arduino Mega 2560 dimana persamaan matematika tersebut dilakukan menggunakan software Arduino IDE. Logika pemograman yang dilakukan sebagai berikut:

```
// inisialisasi input Vabc
emon1.voltage(A0, 1268, 1.7); //Va
emon2.voltage(A1, 6560, 1.7); //Vb
emon3.voltage(A2, 1285, 1.7); //Vc

// inisialisasi input Iabc

emon1.current(A3, 10.5) //Ia
emon2.current(A4, 40.5); //Ib
emon3.current(A5, 20); //Ic

// inisialisasi konstanta
float k=0.67;

// perhitungan alpha beta tegangan
v_alpha= k*(va + (vb*(cos (2*phi/3))+vc *
cos(4*phi/3)));
```

```

v_beta = k*( vb * sin(2*phi/ 3) + vc*sin
(4*phi/3));

// perhitungan cos teta dan sin teta
phasor = sqrt((pow(v_alpha,2)+(pow(v_beta,2)));
cos_teta = v_alpha/phasor;
sin_teta = v_beta/phasor;

// perhitungan dq tegangan
vd = (v_alpha * cos_teta) + (v_beta* sin_teta);
vq = (v_alpha *(-1*sin_teta)+(v_beta *cos_teta));

// perhitungan alpha beta arus
i_alpha= k*(ia+(ib *(cos(2*phi/3))+
ic*cos(4*phi/3)));
i_beta =k*(ib*(sin(2*phi/3))+ic
*(sin(4*phi/3)));

// perhitungan dq arus
id = (i_alpha * cos_teta) + (i_beta *sin_teta);
iq=(i_alpha *(-1*sin_teta)+ (i_beta *cos_teta));

```

Variable Va, Vb, Vc adalah output dari hasil pembacaan ZMPT101B dan ia,ib,ic adalah hasil pembacaan ACS712 hasil perhitungan dari $V_{\alpha\beta}$ dan $I_{\alpha\beta}$ digunakan untuk mengkalkulasi Vdq dan Idq.

C. Perhitungan Daya Aktif dan Reaktif

Perhitungan daya aktif dan reaktif menggunakan persamaan (21) dan persamaan (22) kemudian ditulis dengan logika pemrograman bahasa C++ sebagai berikut :

```

// perhitungan daya
daya_aktif = (vd * id ) + (vq * iq));
daya_reaktif =(vq * id) - (vd * iq));

```

REFERENSI

- [1] I. 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.
- [2] L. hao, T. Yi, Feng Yu dan x. ma, "a power quality disturbance classification Method Based on PQ Transform and ab Transform Analysis," *IEEE*, no. power quality, p. 1971, 2008.
- [3] P. thesis, "electric power quality in power system," department of applied physics , C.U, 2009.
- [4] P. Kundur, *Power System Stability and Control*, Toronto, 1994.

VI. KESIMPULAN

Pengujian alat pada panel distribusi sistem 3 fasa dilakukan pengukuran secara instantenous pada pengukuran arus dikondisikan transient. Persamaan transformasi Clarke dan transformasi park yang telah dirubah kedalam Bahasa pemrograman C++ dapat melakukan pembacaan dari nilai sumber dan menampilkan hasil perhitungan transformasi Clarke dan Transformasi Park dengan baik. Pada saat kondisi transient nilai dari $i_{\alpha\beta}$ dan i_{dq} dapat mengikuti perubahan dari nilai Iabc. Mikrokontroler dapat melakukan perhitungan dari mengubah tegangan dan arus 3 fasa menjadi bentuk pada $\alpha\beta$ dan juga bentuk bidang dq hingga didapat perhitungan untuk daya aktif dan daya reaktif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur dipanjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan kasih sayangNya hingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini. Terima kasih yang sebesar kepada orang tua dan seluruh keluarga yang terus mendukung penulis selama penelitian. Kepada bapak Hafidh Hasan, S.T., M.T. dan bapak Rakhmad Syafutra Lubis yang telah membimbing dan memberikan masukan kepada penulis. Bapak Mahdi Syukri, S.T., M.T. selaku ketua sidang lalu Kepada bapak Mansur Gapy M.Sc sebagai pembahas I dan Bapak Ir.Syahrizal M.T sebagai pembahas II. Bapak Prof. Dr. Nasruddin, S.T.,M.Eng., selaku ketua jurusan Teknik Elektro dan Komputer dan kepada bapak Dr. Ir. Taufiq S, M.Eng, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala. Kepada teman-teman TE 14 semua terkhusus Zikra, Icut cantik, Desi, Agus, Misbah, Sari, Arni dan Rio yang selalu mendukung penulis selama mengerjakan penelitian ini.

- [5] setiyono, k. wibowo dan E. Prasetyo, "Simulasi Perbaikan Kualitas Suplai Daya Beban Takseimbang Menggunakan Teori Instantaneous Power p-q dengan Matlab Simulink," *Jurusan Teknik Elektro Universitas Gunadarma Jakarta*
- [6] Abubakar, M. Mutafa, S. Khalid, H. Shareef dan M. Mustapha, "CALIBRATION OF ZMPT101B VOLTAGE SENSOR MODULE USING POLYNOMIAL REGRESSION FOR ACCURATE LOAD MONITORING," *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 12, no. voltage sensor, p. 4, 2017.
- [7] "elektro kit," 2019. [Online]. Available: <https://www.electrokit.com/en/product/current-sensor-acs712-5a/>. [Diakses 21 oktober 2019]. "PDCA12-70 data sheet," Opto Speed SA, Mezzovico, Switzerland.
- [8] arduino, "robotshop," robotshop, [Online]. Available: <https://www.robotshop.com/media/files/pdf/arduinomega2560datash eet.pdf>. [Diakses 21 oktober 2019].