

Rancang Bangun Saklar Pemindah Otomatis Berpenggerak Motor Stepper *Variable Reluctance* Dengan Pengendali Mikrokontroler ATmega8535

Firman Syafarudin* Budhi Anto**

*Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Riau**Dosen Teknik Elektro Universitas Riau
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293

Email: syafarudin_firman@yahoo.co.id

ABSTRACT

Electricity supply from PLN network is not always continually available, there could be a blackout at any time. To anticipate such outages, it is necessary to design an automatic transfer switch between the main power source and the backup power. Therefore, it is necessary to develop the automatic transfer switch equipment, where mechanically formed by cam-switch which is driven directly by variable reluctance stepper motor with microcontroller ATmega8535. Automatic mode of operation is determined by stepper motor controlled by microcontroller ATmega8535 while manual mode is done by using grip handle attached to the rotor axis of variable reluctance stepper motor. The determination electricity supply of genset and PLN conditions is determined tolerance of $\pm 20\%$ from 220 V_{AC} standard voltage of PLN, this condition becomes the basis for moving the stepper variable reluctance motor with the angle-step position -30° for the supply of PLN (I) and $+30^{\circ}$ angle for generator (II) to move Cam-switch to supply the load. The testing design has done with the following result i.e. the variable reluctance stepper motor will rotate if fulfilled the 20% of tolerance to achieve for the uninterruptible load supply. The transition will take affect within 5 s.

Keywords: Automatic transfer switch, Microcontroller ATmega8535, Variable reluctance stepper motor.

I. PENDAHULUAN

Catu daya utama yang diperoleh dari jaringan listrik PLN tidak selamanya tersedia setiap saat, bisa saja terjadi pemadaman sewaktu-waktu, dikarenakan gangguan baik itu *human error*, bencana alam, mengakibatkan turunnya produksi pasokan listrik dari pembangkit. Untuk mengantisipasi dari pemadaman tersebut, perlu didesain sebuah saklar pemindah otomatis antara sumber tegangan listrik

utama (PLN) dan sumber listrik cadangan (genset).

Saklar pemindah otomatis ATS (*Automatic Transfer switch*) adalah alat yang berfungsi memindahkan koneksi antara sumber tegangan listrik satu dengan sumber tegangan listrik lainnya secara otomatis. Pada dasarnya *transfer switch*, baik tipe mekanik atau statis, disusun dari 2 grup kontak bertautan, sehingga ketika kelompok kontak pertama berada pada

posisi tertutup, kelompok kontak kedua dalam diposisi terbuka, jenis mekanik dari ATS biasanya menggunakan 2 kontaktor sebagai aktuator dari proses transisi dimana keduanya dioperasikan pada posisi saling-mengunci (*interlocking*). Unit pengendali ATS diinstal dalam sistem kelistrikan yang memerlukan tingkat keandalan tinggi harus mampu untuk dioperasikan baik operasi manual atau operasi otomatis. Pada operasi manual Persyaratan ini tidak akan dengan baik untuk kontaktor berdasarkan sistem relay maupun thyristor karena ATS kesulitan teknis untuk operasi manual.

Untuk itu perlu diadakan pengembangan peralatan ATS, dimana mekanisme transisi dibentuk oleh *cam-switch* yang langsung didorong oleh motor stepper *variable reluctance* dengan pengendali mikrokontroler. Mode otomatis dilakukan unit kendali motor stepper berbasis mikrokontroler ATmega8535 sedangkan mode manual dilakukan dengan menggunakan pegangan grip yang melekat pada poros rotor motor stepper. Pengaturan gerakan motor stepper *variable reluctance* bergerak rotasi pada bagian rotor yang menggerakkan 2 kelompok kontak. dimana posisi awal motor stepper berada diposisi netral (0) dengan langkah sudut -30° untuk suplai PLN (I) dan sudut $+30^{\circ}$ untuk genset (II).

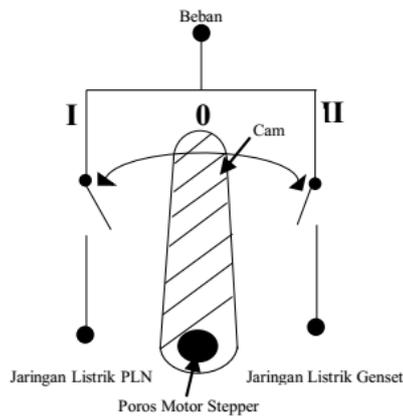
II. TEORI DASAR

2.1 Rancangan Saklar pemindah

Motor stepper adalah perangkat elektromekanis yang bekerja dengan mengubah pulsa elektronis menjadi gerakan mekanis diskrit. Motor stepper bergerak berdasarkan urutan pulsa yang diberikan kepada motor stepper. Sebuah pulsa digital yang diberikan pada stator motor stepper akan menjadi gerak rotasi

pada bagian rotornya (Krause,1989). Pulsa digital yang diberikan pada belitan stator akan menyebabkan rotor bergerak sepanjang sudut tertentu, sudut tersebut dinamakan *step angle* (Nasar, 1987). Sebuah pulsa digital pada belitan stator menyebabkan rotor bergerak satu langkah yang panjang langkahnya dinyatakan oleh nilai *step angle*. Untuk memenuhi satu putaran penuh (360°), beberapa pulsa harus diberikan pada motor stepper. Dengan demikian motor stepper bergerak langkah demi langkah dengan panjang langkah yang sama. Berdasarkan prinsip kerjanya, motor stepper dikelompokkan atas 2 jenis yaitu motor stepper jenis *variable reluctance* dan motor stepper jenis *permanent-magnet*(Krause,1989). Perbedaan mendasar kedua jenis motor stepper tersebut terletak pada adanya magnet permanen yang terpasang aksial pada poros rotor motor stepper jenis *permanent-magnet*.

Rancangan mekanisme saklar pemindah otomatis berpengerak motor stepper *variable reluctance* dijelaskan mengacu pada gambar 1. Pada dasarnya adalah sebuah *cam-switch* dioperasikan dengan 2 kelompok kontak. *Cam-switch* langsung digerakkan oleh motor stepper. *Cam-switch* ini memiliki 3 posisi, yaitu posisi 0 (netral) posisi I, pasokan listrik disuplai oleh jaringan listrik PLN. Posisi II, pasokan listrik disuplai oleh genset. Transisi perpindahan dari posisi I ke posisi II, atau posisi II ke posisi I akan melewati posisi 0. Gerak *cam-switch* dari posisi 0 (netral) ke posisi I adalah Rotasi berlawanan arah jarum jam 30° , sedangkan gerakan posisi 0 (netral) ke posisi II adalah 30° rotasi searah jarum jam. Mekanisme perpindahan posisi *cam-switch* dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Mekanisme perpindahan posisi kontak saklar pemindah

Rotor pada motor stepper jenis *variable reluctance* bergerak langkah demi langkah dengan panjang langkah yang sama. Panjang langkah ditentukan oleh nilai step angle. Untuk motor stepper jenis *variable reluctance*, nilai step angle (SA) dihitung dengan persamaan berikut 2.1 (Nasar, 1987).

$$SA = \frac{|N_s - N_R|}{N_s \times N_R} \times 360^0 \quad (1)$$

Keterangan:

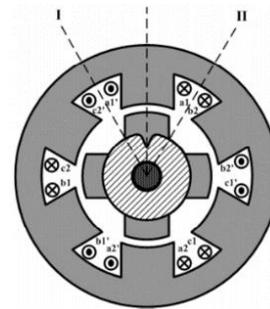
SA = Langkah sudut (dalam derajat).

N_s = Jumlah kutub stator.

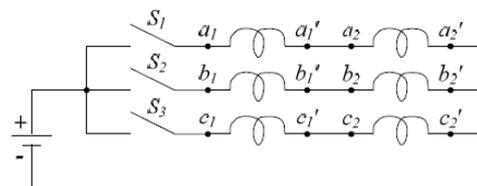
N_R = jumlah gigi rotor.

Dari persamaan (1), motor stepper *variable reluctance* dengan 6 kutub menonjol pada bagian statornya dan terdapat 4 gigi, pada bagian rotornya dengan panjang langkah (SA) gerakan rotornya sebesar sebesar 30⁰. Menjalankan dan menghentikan motor stepper cukup menerapkan pulsa digital yang hanya terdiri dari tegangan positif dan nol (*ground*). Kontruksi motor stepper *variable reluctance* yang digunakan untuk menggerakkan *cam-switch* diperlihatkan

pada gambar 2a sedangkan gambar 2b memperlihatkan diagram pengawatan belitan-belitan stator.



Gambar 2.a. Kosntruksi motor stepper *variable reluctance*



Gambar 2.b. Diagram Pengawatan belitan pada stator motor stepper *variable reluctance*

Pada gambar 2a dan gambar 2b terlihat bahwa fasa lilitan A terdiri dari lilitan a1-a1' dan lilitan a2-a2' sehubungan seri, fasa lilitan B terdiri dari lilitan b1-b1' dan lilitan b2-b2' sehubungan seri, dan fasa lilitan C terdiri dari lilitan c1-c1' dan lilitan c2-c2' sehubungan seri. Untuk mendorong rotor berlawanan arah jarum jam, fasa lilitan A diberi energi oleh penutupan saklar S₁, membuka saklar S₂ dan beralih membuka S₃, dan diikuti dengan energi fasa lilitan B dengan menutup saklar S₂, membuka saklar S₁ dan membuka saklar S₃. Langkah selanjutnya adalah energi fasa lilitan C dengan menutup saklar S₃, membuka saklar S₁ dan membuka saklar S₂. Proses ini kemudian terus memberikan energi

phasa A lagi, diikuti dengan energi phasa B, phasa energi C dan seterusnya.

2.2 Rangkaian penggerak motor stepper

Motor stepper memiliki beberapa kebutuhan standar yang harus dipenuhi agar dapat bekerja dengan baik.

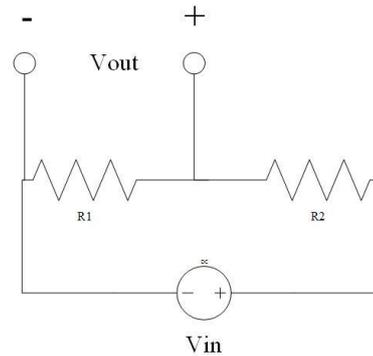
Kebutuhan itu antara lain:

1. Tegangan/arus yang memadai untuk setiap lilitan pada langkah tiap *step*.
2. Lama pemberian tegangan/arus untuk setiap langkah atau *step*.

Ditinjau dari arus yang dihasilkan, *output port* dari suatu sistem minimum mikrokontroler belum memenuhi syarat untuk dihubungkan langsung dengan motor stepper. Untuk itu perlu dilengkapi dengan suatu rangkaian *driver* untuk mengemudikan motor stepper dengan level tegangan 12V_{dc}. Fungsi rangkaian *driver* motor stepper sebagai *interface* mikrokontroler dengan motor stepper. Didalam rangkaian penggerak motor stepper terdapat 2 bagian rangkaian *driver* yakni rangkaian penyalaan MOSFET dan rangkaian daya MOSFET.

2.3 Pembagi Tegangan

Pembagi Tegangan adalah suatu rangkaian sederhana yang digunakan untuk membagi tegangan input menjadi satu atau beberapa tegangan output yang diperlukan oleh komponen lain dalam suatu rangkaian. Pembagi tegangan biasanya menggunakan 2 buah resistor yang dihubungkan seri terhadap sumber untuk memperoleh tegangan yang diinginkan. Rangkaian pembagi tegangan dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian Pembagi Tegangan

Besar tegangan output (V_{out}) pada rangkaian tersebut dapat dihitung menggunakan persamaan 2.

$$V_{OUT} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times V_{in} \quad (2)$$

Keterangan :

V_{OUT} = Tegangan Keluaran

R_1 = Tahanan 1

R_2 = Tahanan 2

V_{IN} = Tegangan Masukkan

Analog to Digital Converter (ADC)

Didalam chip mikrokontroler ATmega8535 terdapat ADC internal yang dapat diaktifkan dengan menggunakan beberapa *register control*. *PORT A* pada ATmega8535 dapat menerima input analog yang merupakan masukan bagi ADC sekaligus dapat digunakan sebagai I/O.

Prinsip kerja ADC adalah mengubah sinyal analog kedalam besaran yang merupakan rasio perbandingan sinyal input dan tegangan referensi (V_{ref}). Input ADC pada mikrokontroler dihubungkan 8 *Chanel Analog multiplexer* yang digunakan untuk *single ended input channels*. Tegangan referensi ADC dapat dipilih antara lain pada pin AREF, pin AVCC, atau menggunakan tegangan referensi internal sebesar 2.56V. Untuk

konversi *single ended* dapat menggunakan persamaan 3.

$$ADC = \frac{V_{in} \times 1023}{V_{vref}} \quad (3)$$

Dimana :

V_{in} : tegangan input yang digunakan (Volt)

V_{ref} : tegangan referensi (Volt)

Agar dapat menampilkan tegangan terukur yang telah diubah kedalam bentuk ADC, maka perlu juga ditentukan faktor pengali atau *factor correction* untuk mengubah besar nilai ADC kedalam bentuk tegangan yang terukur. Besar faktor pengali dapat ditentukan dengan persamaan 4.

$$Fc = \frac{V_{in}}{ADC} \quad (4)$$

Keterangan :

Fc = Factor Correction

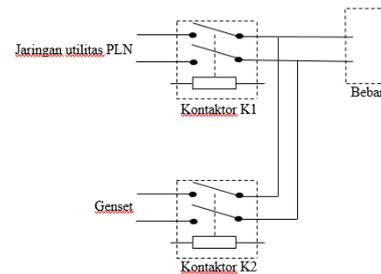
V_{IN} = Tegangan Masukkan (V)

ADC = Nilai ADC

III. PERANCANGAN ALAT

Saklar pemindah digunakan untuk mengalihkan pasokan tenaga listrik dari satu sumber ke sumber lainnya. Pada dasarnya saklar pemindah terdiri atas 2 kelompok kontak pada posisi saling-mengunci (*interlocking*), sehingga apabila kelompok kontak pertama pada posisi tertutup, kelompok kontak kedua terkunci pada posisi buka dan apabila kelompok kontak kedua pada posisi tertutup, kelompok kontak pertama terkunci pada posisi terbuka. Teknik saling mengunci dapat dilakukan secara mekanik maupun listrik. ATS yang akan dipasangkan pada sistem kelistrikan yang memerlukan tingkat keandalan tinggi harus mampu untuk dioperasikan baik operasi manual

atau operasi otomatis. Pada operasi manual transisi antar pasokan tenaga dilakukan secara manual menggunakan perangkat mekanik yang tersedia pada ATS tersebut. Pada operasi otomatis, transisi pasokan tenaga dikendalikan oleh suatu sistem otomatis. Digram skematik saklar pemindah dengan 2 kontak saling mengunci dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Diagram skematik saklar pemindah dengan *actuator* 2 kontaktor yang saling mengunci

Pada *prototype* perancangan ini menampilkan suatu mekanisme yang baru untuk memindahkan posisi pasokan tenaga listrik dari suatu sumber tenaga utama ke sumber tenaga listrik cadangan. Sebagai elemen penggerak proses transisi pasokan tenaga menggunakan motor stepper *variable reluctance* dengan unit pengendali berbasis mikrokontroler. Mekanisme transisi ini dibentuk oleh *cam-switch* yang langsung didorong oleh rotor pada motor stepper *variable reluctance* dengan unit pengendali berbasis mikrokontroler. Mode otomatis dilakukan unit kendali motor stepper berbasis mikrokontroler ATMega8535, sedangkan mode manual dilakukan dengan menggunakan pegangan grip melekat pada poros rotor pada motor stepper.

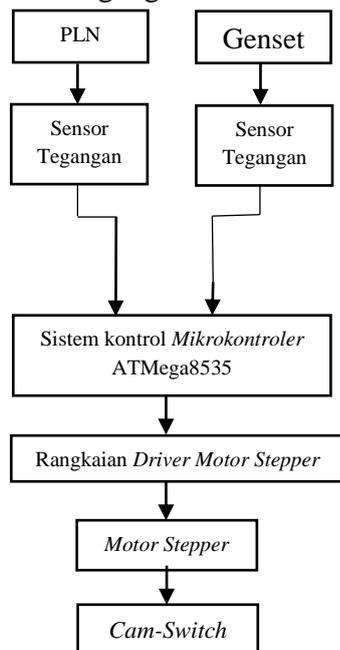
Dalam rancangan ini sensor tegangan merupakan sebagai *input* yang dibaca *analog to digital converter* pada mikrokontroler untuk membaca sinyal

tegangan dari sumber PLN maupun genset. Pembacaan dilakukan oleh mikrokontroler dengan program yang telah ditanamkan pada mikrokontroler tersebut, kemudian mikrokontroler memberikan sinyal *output* dikirimkan pada rangkaian Penggerak motor stepper menggunakan rangkaian *driver* totempole dan rangkaian daya MOSFET yang berfungsi sebagai *interface* antara mikrokontroler dan motor stepper. Prinsip kerja alat dapat dilihat pada tabel.1 dan blok digram kerja alat dapat dilihat pada gambar 5.

Tabel.1. Prinsip Kerja Alat

| Phasa lilitan C (Pos.II) | Phasa lilitan A (Pos.0) | Phasa lilitan B (Pos.I) | Perg erak kan | Sum ber tega ngan (PL N) | Sum ber tega ngan (Gen set) | Sum ber untu k beba n |
|--------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| 0 | 1 | 0 | 0° | Buka | Buka | Netra l |
| 1 | 0 | 0 | 30° | Buka | Hub ung | Gens et |
| 0 | 1 | 0 | 0° | Buka | Buka | Netra l |
| 0 | 0 | 1 | -30° | Hub ung | Buka | PLN |

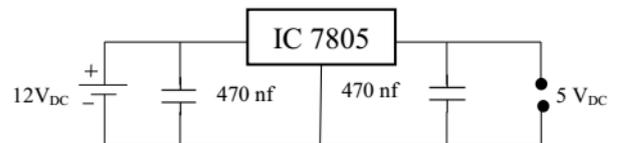
Ket : 0 = Sumber tegangan tidak ada
1 = sumber tegangan ada



Gambar 5. Blok Diagram Kerja Sistem

3.1 Perancangan Catu Daya

Pada alat elektronika catu daya merupakan hal yang sangat penting untuk memberikan suplai tegangan ke rangkaian agar bekerja. Tegangan yang digunakan adalah 12V_{DC} dan 5V_{DC} dari sumber baterai cas 12V_{DC}. Tegangan 12V_{DC} akan digunakan untuk suplai rangkaian *driver* motor stepper dan juga untuk suplai motor stepper, sedangkan 5 V_{DC} akan digunakan untuk mensuplai rangkaian sistem minimum ATmega8535. Untuk suplai 5 V_{DC} digunakan IC regulator 7805 yang dicatu dari 12 V_{DC} yang kemudian diturunkan oleh IC regulator 7805 untuk tegangan kerja suplai yang dibutuhkan rangkaian sistem minimum ATmega8535 agar dapat beroperasi. Rangkaian suplai catu daya 5 V_{DC} dapat dilihat pada gambar 6.

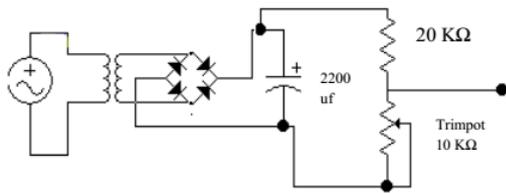


Gambar 6. Rangkaian suplai catu daya 5V_{DC}

3.2 Perancangan Sensor Tegangan

Sensor tegangan ini bekerja berdasarkan perbandingan yang masuk ke ADC pada mikrokontroler dengan tegangan keluaran dari trafo *step down* yang kemudian disearahkan. Perancangan pengukuran tegangan dilakukan dengan memanfaatkan fitur ADC yang terdapat pada mikrokontroler ATmega8535, batas maksimum tegangan mikrokontroler adalah 5V_{DC}. Tegangan ini didapat melalui transformator yang diturunkan dari 220 V_{AC} menjadi 6V_{AC}, lalu di searahkan menjadi gelombang penuh melalui dioda *bridge*. Kemudian setelah tegangan disearahkan dibagi dengan pembagi tegangan untuk memperoleh tegangan

yang diinginkan. Rangkaian sensor tegangan AC dapat dilihat pada gambar 7.

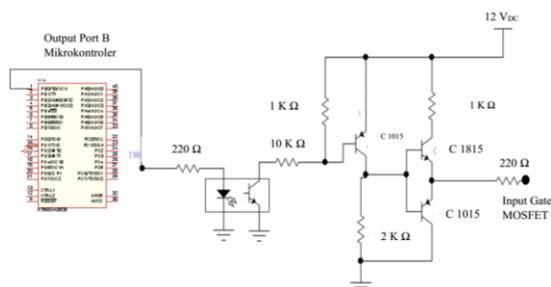


Gambar 7. Rangkaian Sensor Tegangan AC

3.3 Perancangan Rangkaian *Driver* Motor Stepper

1. Rangkaian Penyalaan MOSFET

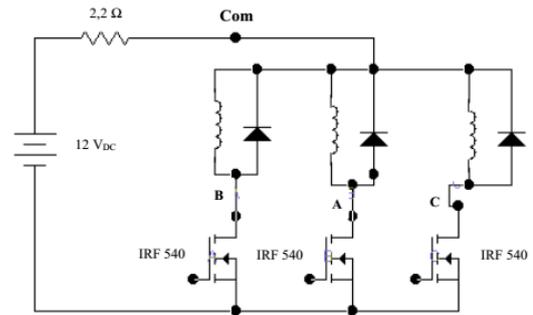
Rangkaian penyalaan MOSFET menggunakan rangkaian *totempole* sebagai bias input *gate* MOSFET. Rangkaian elektronika daya harus memperhatikan *power losses* yang ditimbulkan oleh *switching* elektronik. *Switching losses* terjadi karena ada perubahan dari kondisi satu ke kondisi yang lain secara cepat. Perancangan rangkaian *totempole* dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Rangkaian totempole

2. Rangkaian daya MOSFET

Pensaklaran (*switching*) dilakukan oleh MOSFET kanal *n-enhancement*. MOSFET yang digunakan pada rangkaian ini mempunyai ranting tegangan yang lebih besar dari tegangan yang dibutuhkan motor stepper yakni 12V_{DC}. Maka dipilihlah MOSFET jenis IRF 540. Perancangan rangkaian daya MOSFET dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Rangkaian Daya MOSFET

3.4 Perancangan Cam Switch Pada Operasi Manual

Pada perancangan *cam-switch* dapat dioperasikan secara manual dengan cara poros rotor pada motor stepper dekopel langsung dengan tuas pegangan *cam-switch* yang dapat dihubungkan saat beroperasi secara manual dan saat beroperasi secara otomatis, tuas pegangan *cam-switch* ini dapat ditanggalkan pada saat beroperasi secara otomatis. Pada gambar 10. Memperllihatkan *cam-switch* saat dioperasikan Secara Manual



Gambar 10. *Cam-switch* saat dioperasikan Secara Manual

3.5 Perancangan *Software* Sensor Tegangan

Perancangan *software* sensor tegangan meliputi sensor tegangan PLN

dan sensor tegangan genset, sensor tegangan harus memiliki akurasi yang tepat agar mikrokontroler dapat bekerja sesuai perancangan.

Tahap awal dalam merancang sebuah sensor tegangan dimulai dengan menghitung nilai ADC mikrokontroler kemudian menghitung faktor pengali atau *factor correction* yang akan dipakai. Tegangan referensi ADC yang tersedia pada mikrokontroler ATmega8535 adalah 2,56 V_{DC}. Tegangan referensi tersebut merupakan tegangan internal yang terdapat pada sistem minimum ATmega8535. Pada ATmega8535 memiliki ADC sebesar 10 bit, sehingga tegangan 0 V_{DC} akan dihitung sebagai 0 bit dan tegangan maksimum 2,56 keatas akan dihitung sebesar $2^{10} - 1$ atau 1023 bit. Untuk menghitung ADC dapat menggunakan persamaan (3) yaitu :

$$ADC = \frac{1,28 \times 1023}{2,56}$$

$$ADC = 511,5$$

Untuk mengukur tegangan 220 V_{AC} maka diperlukan faktor pengali sesuai persamaan (4). Sehingga besar faktor pengali PLN dan genset adalah :

$$Fc = \frac{220}{511,5}$$

$$Fc = 0,43011$$

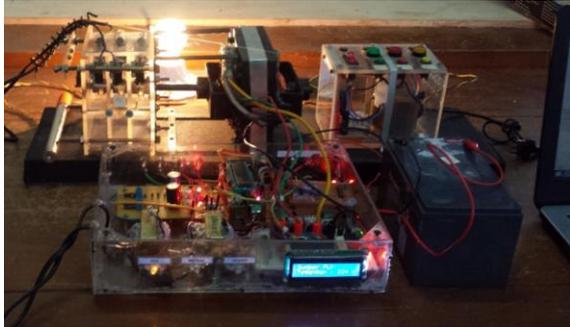
IV. PEMBAHASAN DAN HASIL

Dari hasil aspek perancangan diharapkan dapat menghasilkan sebuah sistem yang mampu mengakomodir sumber listrik utama PLN dan sumber listrik cadangan (genset) yang dapat dioperasikan secara otomatis maupun manual. Pemilihan pensuplaian ini dilakukan oleh mikrokontroler berdasarkan tegangan sumber yang mengatur urutan pergerakan motor stepper. Pemilihan

pensuplaian beban oleh sumber dapat dilihat pada tabel 1. Saklar pemindah pada operasi otomatis berpengerak motor stepper *variable reluctance* bergerak rotasi pada bagian rotor yang mengerakan 2 kelompok kontak. dimana posisi awal motor stepper berada diposisi netral (0) dengan langkah sudut -30^0 untuk suplai PLN (I) dan sudut 30^0 untuk genset (II). Untuk mendorong *cam-switch* ke posisi 0 (netral), phasa pada lilitan A diberi energi dengan cara mengaktifkan portb.1 pada program yang telah ditanamkan pada mikrokontroler dengan lilitan phasa B dan lilitan phasa C *deenergized*.

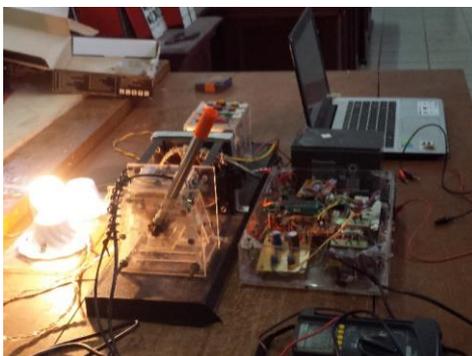
Ketika sensor membaca sumber tegangan PLN dengan batas tegangan toleransi PLN 20 % dari tegangan 220 V_{AC} yakni sebesar $176 V_{AC} \leq V_{PLN} \leq 264 V_{AC}$ mendorong *cam-switch* dari posisi 0 (posisi netral) dengan cara mengaktifkan portb.1 ke Posisi I (suplai oleh PLN) kemudian mengnon-aktifkan portb.1 dan dilanjutkan dengan mengaktifkan portb.0, maka posisi beban disuplai oleh PLN ke Posisi I dengan *cam-switch* pada motor stepper *variable reluctance* bergerak rotasi berputar -30^0 berlawanan arah jarum jam. Ketika sumber PLN tidak mensuplai beban maka *cam-switch* akan kembali berada diposisi posisi awal 0 (posisi netral) ketika sensor membaca sumber tegangan genset dengan batas tegangan toleransi genset 20 % dari tegangan 220 V_{AC} yakni sebesar $176 V_{AC} \leq V_{genset} \leq 264 V_{AC}$ maka mendorong rotor motor stepper pada *cam-switch* dari posisi 0 (posisi netral) mengaktifkan portb.1 ke Posisi II (suplai oleh genset) kemudian mengnon-aktifkan portb.1, kemudian mengaktifkan portb.2 posisi disuplai oleh genset ke Posisi II dengan *cam switch* pada motor stepper *variable reluctance* bergerak rotasi

berputar 30° searah jarum jam. Pemilihan suplai beban sesuai dengan pergerakan motor stepper yang bergerak berdasarkan urutan pulsa. Pengoperasian secara otomatis dapat dilihat pada gambar 11.



Gambar 11. Pengoperasian secara otomatis

Pengoperasian secara manual dilakukan jika pengoperasian secara otomatis tidak bekerja atau terjadi kesalahan abnormal sistem, dalam hal ini *cam-switch* dioperasikan secara manual dengan cara, poros rotor pada motor stepper dekoppel langsung dengan tuas pegangan *cam-switch* yang dapat dihubungkan saat beroperasi secara manual dan saat beroperasi secara otomatis tuas pegangan *cam-switch* dapat ditanggalkan sehingga pada saat operasi otomatis tidak menghalangi kinerja alat. Pengoperasian secara manual dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar 12. Pengoperasian secara manual

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Dari penelitian, terdapat beberapa hal yang dapat disimpulkan, yaitu sebagai berikut :

1. Untuk menggerakkan motor stepper *variable reluctance* yang dioperasikan sebagai saklar pemindah otomatis yang menggerakkan *cam-switch* diperlukan sensor tegangan yang dioperasikan sebagai *input* untuk mendeteksi tegangan sumber listrik PLN dan genset. Sistem pengontrolan ini yang berbasis mikrokontroler dengan program yang telah ditanamkan untuk mengatur pergerakan motor stepper *variable reluctance*, serta rangkaian *driver* motor stepper digunakan sebagai *interface* antara mikrokontroler dan motor stepper. Pengaturan gerakan motor stepper *variable reluctance* bergerak rotasi pada bagian rotor yang menggerakkan 2 kelompok kontak, dimana posisi awal motor stepper berada diposisi netral (0) dengan langkah sudut -30° untuk suplai PLN (I) dan sudut $+30^{\circ}$ untuk genset (II).
2. Saklar pemindah otomatis berpengerak motor stepper *variable reluctance* dapat dioperasikan otomatis juga dapat dioperasikan secara manual dengan poros rotor motor stepper dikoppel langsung dengan tuas pegangan grip pada *cam-switch* tersebut.

5.2 SARAN

Adapun saran yang penulis berikan pada penelitian ini yaitu diharapkan adanya pengembangan penelitian-penelitian lebih lanjut yang terkait tentang saklar pemindah otomatis berpengerak motor stepper *variable*

reluctance dan untuk kesempurnaan alat ini diharapkan untuk penelitian selanjutnya membuat kajian tentang pentingnya *back-up* daya saat transisi perpindahan antara PLN dan genset, dimana pin-pin pengontrolan pada sistem minimum mikrokontroler sudah disediakan oleh penulis supaya memberi kemudahan pada penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Anto, Budhi.,Wahono, Ambrosius.2013. *Saklar Pemindah Berpenggerak Motor Stepper Jenis Variable Reluctance*. Proceeding Seminar Inovasi Teknologi dan Rekayasa Industri. Universitas Andalas, Padang.Paper No.RME-7
- Anto, Budhi.2011. *Dinamika Rotor Motor Stepper Jenis Variable Reluctance*. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Dan Rekayasa. Fakultas Teknik Universitas Islam Sumatera Utara, Medan. ISBN 978-602-96853-1-2
- Balai, Pratiksha N., Talati, Jimit A.2015.*Open Loop Motion Control of Stepper Motor for Video Surveillance System: International Journal of Novel Research in Electrical and Mechanical Engineering* ISSN: 2394-9678 Vol. 2, Issue 1 anuary - April 2015.
- Krause,Wasynczuk.(1989).*Elektromechanical Mation Devices*. McGraw-Hill.
- Nasar. (1987). *Handbook Of Electric Machines*. McGraw-Hell.
- Wahono, Ambrosius. 2012. *Pembuatan Motor Stepper Sebagai Pengerak Rotary Transfer Switch Dengan Tegangan Kerja 12 Volt DC*.Tugas Akhir Teknik Elektro, Universitas Riau.
- Syahrul. *Motor stepper: teknologi, metoda dan rangkaian kontrol* Vol.6, No. 2: Teknik Komputer, Universitas Komputer Indonesia.
- Harahap,Adi Putra., Dwiono, Wakhyu., Harpawi ,Noptin .2012. *Rangkaian Perangkat Keras Pengalih Sumber Listrik Berbasis SMS*. Jurnal Elektronika Industri Vol. 5, Desember 2012, 40-49.
- Susanto,Eko. 2013. *Automatic Transfer Switch*. Jurnal Teknik Elektro Vol. 5 No. 1Januari - Juni 2013. Universitas Negeri Semarang.
- Mansen,Juli. 2016. Rancang bangun *prototype Automatic Transfer Switch (ATS)* Untuk Beban Kategori 2E Pada Puskesmas Rawat Inap Berbasiskan Mikrokontoroler *ATMega16*, Skripsi Teknik Elektro, Universitas Riau.