

Otomatisasi *Generator Set* Untuk Skala Rumah dan *Home Industry*

Andrian Surya Pradana¹ dan Joni Fat¹

ABSTRACT: The design and realization of automation generator set for home and home industry scale can be used to operate the generator set and engine warm-up once every week automatically. This tool uses a microcontroller to control generator set, PLN electricity input and output power of generator set to avoid short circuit between PLN electricity and generator set. This tool can record how long the generator set has been used so oil changes can be scheduled. Battery of generator set can also be monitored easily so it will not cause damage to the generator set. System was tested by modules and the system as a whole set. Modules that were tested were processing module, HKE relay module, and RTC module. The whole system testing was done by using five cases simulation. Test results show that the system time required to turn on, turn off, and heating the engine generator set to be shorter. Test result to manually turn on the generator set manually is 3 minutes and 14 seconds, while for the result of testing with the tool designed is 8 seconds. The test to turn on the generator set manually have conditions that the generator set within 20 meters of the user and the generator set is in good condition. Test result to manually turn off the generator set manually is 4 minutes 21 seconds, while the result of testing with the tool designed is 41 seconds.

KEYWORDS: generator set, maintenance, automation

ABSTRAK: Perancangan dan realisasi otomatisasi generator set untuk skala rumah dan *home industry* dapat digunakan untuk mengoperasikan generator set beserta pemanasan mesin setiap satu minggu sekali secara otomatis. Alat ini menggunakan mikrokontroler sebagai pengendali generator set, masukan listrik PLN dan keluaran listrik dari generator set sehingga antara listrik PLN dan generator set tidak terjadi hubung singkat. Alat ini dapat mencatat lama penggunaan generator set sehingga penggantian oli dapat terjadwal. Aki dari generator set juga dapat dipantau dengan mudah sehingga tidak menyebabkan kerusakan pada generator set. Pengujian sistem dilakukan per modul mau pun secara keseluruhan. Modul-modul yang diuji adalah modul pemroses, modul *relay* HKE, dan modul RTC. Pengujian keseluruhan sistem dilakukan dengan simulasi lima buah kasus. Hasil pengujian sistem memperlihatkan bahwa waktu yang diperlukan untuk menyalakan, mematikan, dan memanaskan mesin generator set menjadi lebih singkat. Hasil pengujian untuk menyalakan generator set secara manual adalah 3 menit dan 14 detik, sedangkan untuk hasil pengujian dengan alat yang dirancang adalah 8 detik. Pengujian menyalakan generator set secara manual memiliki ketentuan generator set berjarak 20 meter dari pengguna dan kondisi generator set dalam kondisi baik. Hasil pengujian untuk mematikan generator set secara manual adalah 4 menit 21 detik, sedangkan hasil pengujian dengan alat yang dirancang adalah 41 detik.

KATA KUNCI: generator set, perawatan, otomatisasi

PENDAHULUAN

enerator set merupakan suatu alat yang dapat mengubah energi mekanik menjadi energi listrik [1]. *Generator set* sangat banyak digunakan di Indonesia karena listrik dari Perusahaan Listrik Negara (PLN) tidak stabil, terutama di daerah yang sering terjadi pemadaman listrik. *Generator set* dapat dibagi tiga berdasarkan jenis bahan bakar yang digunakan, yaitu bahan bakar bensin, bahan bakar *Liquid Petroleum Gas* (LPG), dan bahan bakar solar. *Generator set* juga dapat dibagi tiga berdasarkan cara menyalakannya, yaitu dengan cara ditarik, menggunakan putaran (engkol) dan menggunakan *electric starter*.

Kondisi kelistrikan di beberapa daerah di Indonesia yang tidak stabil atau sering terjadi pemadaman listrik tanpa pemberitahuan, menyebabkan *generator set* menjadi pilihan utama bagi masyarakat. *Generator set* dapat memberikan energi listrik dalam jangka waktu tertentu tergantung pada jumlah bahan bakar yang tersedia dan maksimum lama operasi *generator set* yang digunakan. *Generator set* pada skala rumah umumnya memiliki kapasitas dari kecil sampai menengah dan mudah dipindahkan, akan tetapi tingkat kebisingan yang dihasilkan masih mengganggu bagi sebagian besar orang. *Generator set* yang biasa digunakan di *home industry* memiliki kapasitas dan ukurannya lebih besar dari *generator set* yang digunakan di rumah. Pengguna *generator set* biasanya membutuhkan *supply* listrik secara cepat dan tidak menyulitkan dalam pengoperasiannya.

Generator set di pasaran sudah ada yang memiliki fasilitas otomatis, tetapi belum tersedia untuk *generator set* dengan kapasitas maksimum di bawah 5000 VA. *Generator set* dengan fasilitas otomatis yang sudah ada di pasaran dari segi harga sangat tidak ekonomis bila dibandingkan dengan *generator set* tanpa fasilitas otomatis. *Generator set* yang ada di pasaran masih memiliki kelemahan yang bagi para pengguna *generator set* masih menyulitkan diantaranya adalah perawatan yang mencakup pemanasan mesin, penggantian oli mesin, pengecekan aki, dan lain-lain. Pemanasan mesin sangat penting karena berfungsi untuk membuat oli mesin tetap bersirkulasi. *Generator set* yang tidak dilakukan pemanasan mesin dapat mengalami gangguan berupa sulit untuk dinyalakan atau mesin tidak dapat menyala.

Penggantian oli mesin biasanya tergantung pada berapa lama *generator set* telah dinyalakan, bila mengikuti standar penggantian oli mesin untuk *generator set* adalah setiap 100 jam penggunaan. Aki pada *generator set* yang sudah menggunakan *electric starter* sangat penting karena untuk menghidupkan *generator set* diperlukan aki tersebut. Aki yang sudah lemah akan mengalami penurunan tegangan yang menyebabkan *generator set* tidak mendapat cukup tenaga untuk menyala. Kelemahan yang telah disebutkan di atas tersebut dapat dikurangi dengan cara mengotomatisasi *generator set* dan juga perawatannya.

¹ Jurusan Teknik Elektro, Universitas Tarumanagara

Tujuan dari perancangan alat ini adalah mengotomatisasi *generator set* sehingga waktu yang diperlukan untuk menyalakan, mematikan, dan perawatan berupa pemanasan mesin dapat dikurangi. Alat yang dirancang terdiri dari modul mikrokontroler, modul catu daya, modul indikator kondisi *generator set*, dan kotak panel yang terbuat dari kayu. Modul mikrokontroler akan mendeteksi kondisi listrik PLN dengan menggunakan catu daya 5 volt DC yang berasal dari listrik PLN. Aliran bahan bakar akan diotomatisasi menggunakan katup solenoid yang dikendalikan oleh mikrokontroler melalui *relay*. Tuas *choke* pada *generator set* diotomatisasi dengan motor DC yang umum digunakan pada *central lock* pintu mobil. Motor DC ini akan dikendalikan oleh mikrokontroler melalui *relay*. *Generator set* akan dinyalakan menggunakan *relay* yang dikendalikan oleh modul mikrokontroler ketika listrik PLN padam. *Generator set* akan dicoba dinyalakan sebanyak lima kali jika terjadi kegagalan ketika dinyalakan. Keluaran dari *generator set* akan ditahan selama sepuluh detik oleh *relay* yang dikendalikan oleh modul mikrokontroler agar keluaran *generator set* sudah dalam keadaan stabil ketika terhubung ke jaringan listrik. Arus listrik dari PLN akan ditahan oleh *relay* yang dikendalikan oleh modul mikrokontroler, sehingga ketika listrik PLN terhubung kembali, arus listrik PLN dan *generator set* tidak akan saling bertemu yang dapat mengakibatkan kerusakan pada *generator set*. Arus listrik PLN ditahan sampai *generator set* sudah dimatikan oleh *relay* yang dikendalikan oleh modul mikrokontroler. *Real Time Clock* (RTC) digunakan sebagai penghitung waktu yang dibaca oleh mikrokontroler, jika sudah mencapai seminggu maka pemanasan mesin akan dilaksanakan. Lama waktu operasi *generator set* dihitung oleh mikrokontroler dengan cara melihat waktu RTC ketika dinyalakan dan ketika dimatikan dan hasilnya akan ditampilkan di *7-segment display*.

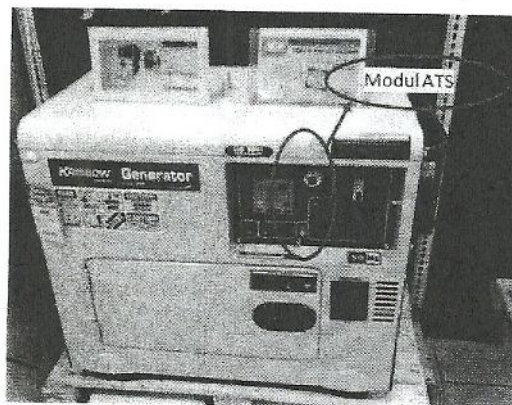
Aki *generator set* digunakan ketika tidak ada sumber daya untuk menghidupkan modul mikrokontroler. Sebuah kapasitor digunakan sebagai sumber daya sementara untuk mikrokontroler ketika terjadi perpindahan sumber daya antara aki *generator set* dengan catu daya. Modul indikator kondisi *generator set* terdiri dari lima buah LED, voltmeter digital, dan pengukur tegangan aki. Kondisi tegangan keluaran *generator set* akan diukur oleh voltmeter digital yang akan ditampilkan pada *7-segment display*. Lima buah LED pada modul indikator kondisi *generator set* berfungsi untuk menampilkan kondisi PLN, *generator set*, penggantian oli, perawatan mesin, dan aki *generator set*. LED PLN, LED *generator set*, dan LED kondisi perawatan mesin dikendalikan oleh mikrokontroler.

METODE PERANCANGAN

Perancangan dimulai dengan melakukan survei terhadap rancangan sejenis yang telah ada di pasaran ataupun yang pernah dirancang oleh peneliti sebelumnya. Survei ini dilakukan untuk melihat apakah ada hal yang dapat dilakukan dalam memperbaiki atau melakukan inovasi terhadap rancangan yang telah ada. Selanjutnya dilakukan perancangan terhadap modul sistem dan memilih komponen yang sesuai dengan spesifikasi rancangan. Rancangan dibuat berdasarkan spesifikasi yang telah ditetapkan dari hasil-hasil survei yang telah dilakukan.

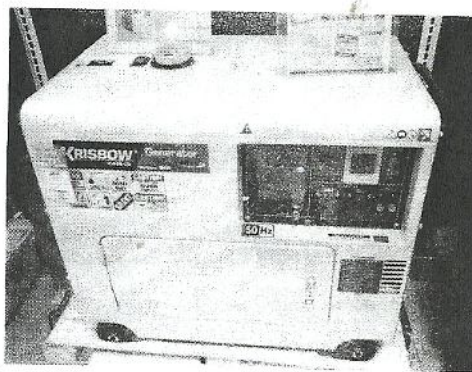
Survei pertama yang telah dilakukan di *Ace Hardware* yang terletak di sebuah *mall* di Kelapa Gading. *Generator set* yang dijual di tempat tersebut ada yang sudah memiliki fasilitas otomatis dan juga ada yang masih manual. Fasilitas otomatis pada *generator set* yang dijual di tempat ini disebut *Automatic Transfer Switch* (ATS). Fungsi ATS ini hanya untuk mengotomatisasi *generator set* agar *generator set* menyala ketika listrik PLN padam dan mati ketika PLN menyala kembali. *Generator set* yang memiliki fasilitas ATS ditunjukkan pada Gambar 1. *Generator set* dengan fasilitas ATS ini menggunakan bahan bakar solar, memiliki kapasitas maksimum 5000 VA, dan juga sudah menggunakan *electric starter* untuk menyalakan *generator set*. *Generator set* dengan fasilitas ATS ini tidak mudah dipindahkan karena memiliki berat 198 kg.

Generator set yang ditunjukkan oleh Gambar 2 tidak memiliki fasilitas ATS, berbahan bakar solar menggunakan *electric starter* untuk menyalakan *generator set*, dan berkapasitas maksimum 5000 VA. *Generator set* ini tidak mudah dipindahkan karena memiliki berat 198 kg.

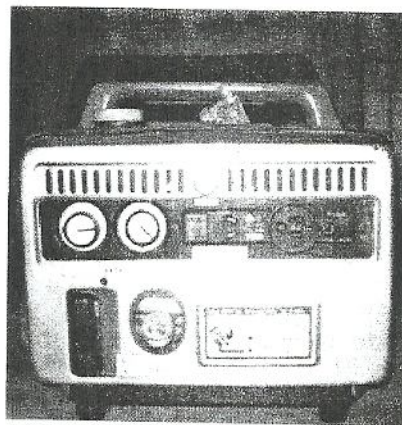


■ Gambar 1. *Generator Set* Berbahan Bakar Solar dengan Fasilitas ATS

Survei kedua dilakukan di sebuah rumah di Jalan Gading Indah Utara III, Kelapa Gading, Jakarta Utara. Gambar 3 adalah *generator set* yang digunakan di rumah tersebut. *Generator set* yang digunakan di rumah ini menggunakan *generator set* berbahan bakar bensin, menggunakan penarik untuk menghidupkannya, bersifat mudah dipindahkan, berkapasitas 300 VA. Kondisi mesin *generator set* sudah tidak dapat dinyalakan lagi karena sudah dinyalakan dalam keadaan darurat (kalau listrik PLN padam) dan tidak pernah dilakukan perawatan atau pemanasan mesin.

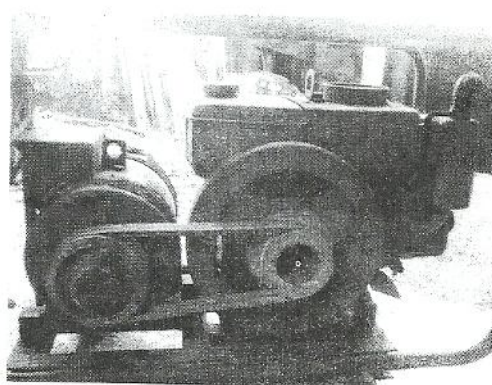


■ Gambar 2. *Generator Set* Berbahan Bakar Solar Tanpa Fasilitas ATS



■ Gambar 3. *Generator Set* yang Digunakan pada Survei Kedua

Survei ketiga dilakukan di Bumi Jaya, sebuah *home industry* yang terletak di Jalan Rawa Tengah no. 19, Jakarta Pusat. *Generator set* yang digunakan pada tempat ini seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. *Generator set* ini menggunakan bahan bakar solar, terdapat radiator untuk mendinginkan mesin *generator set*, berkapasitas 3000 VA, dan menggunakan putaran (engkol) yang diputar untuk menghidupkannya. *Generator set* berukuran besar tetapi masih dapat dipindahkan dengan mudah karena terdapat roda di bagian bawah *generator set* ini dan *generator set* ini tidak otomatis. Kondisi *generator set* ini masih berfungsi walaupun mesin *generator set* ini sulit untuk menyala (engkol perlu diputar berulang-ulang) dan perawatan berupa pemanasan jarang dilakukan.



■ Gambar 4. *Generator Set* yang Digunakan pada Survei Ketiga

Survei keempat adalah survei literatur yang termuat di dalam Jurnal Teknik Elektro dengan judul Rancangan dan Pembuatan Otomasi Starting Generator 3 Fasa Sebagai Back Up Tegangan Saat Keadaan Darurat Menggunakan Mikrokontroler AT 89C51 oleh Rusdiana [2]. Jurnal ini menyatakan kontinuitas

pelayanan energi listrik sangat diperlukan antara lain pada bidang industri, rumah sakit, sistem komunikasi dan perbankan. Gangguan dapat menimbulkan terputusnya aliran listrik dari sumber utama (PLN), maka beban harus segera dialihkan ke sumber cadangan misalnya genset (*generator set*). Penggunaan yang terpenting dari unit terpadu ini adalah untuk tempat-tempat yang listrik PLN-nya sering padam dan membutuhkan secara cepat 'listrik pengganti', dan unit ini dalam waktu ± 8 detik (saat kondisi tegangan genset stabil) sudah bisa menghasilkan listrik dari genset. Umumnya PLC dan *timer* relai digunakan sebagai pengendali sistem atau yang dikenal dengan istilah AMF (*Automatic Main's Failure*), akan tetapi harganya sangat mahal dan belum diperdagangkan secara umum di Indonesia.

PROSES MENYALAKAN *GENERATOR SET* SECARA OTOMATIS

Generator set dinyalakan secara otomatis bila listrik dari PLN terputus. Urutan proses yang terjadi untuk menyalakan *generator set* secara otomatis adalah sebagai berikut:

1. *Relay* untuk mengendalikan aliran arus listrik PLN dimatikan sehingga arus dari PLN tidak bisa masuk ke dalam jaringan listrik walaupun arus PLN tiba-tiba terhubung kembali.
2. *Relay* untuk mematikan *generator set* dinyalakan (bila *relay* dalam keadaan menyala maka *generator set* dimatikan).
3. Setelah satu detik, *Relay* untuk mengendalikan katup solenoid bensin akan diaktifkan sehingga bensin dapat masuk ke dalam mesin *generator set* dan diberi jeda waktu 4 detik.
4. Salah satu dari kedua *relay* yang digunakan untuk mengendalikan otomatisasi tuas *choke* diaktifkan, yang menghasilkan tuas *choke* dalam kondisi tertarik, setelah 0.5 detik *relay* tersebut dimatikan.
5. *Generator set* dinyalakan melalui *relay* untuk menyalakan *generator set* selama 1.5 detik.
6. Salah satu dari kedua *relay* yang digunakan untuk mengendalikan tuas *choke* diaktifkan kembali (tetapi bukan *relay* yang sama dengan poin ke-3) sehingga menghasilkan tuas *choke* dalam kondisi terbuka. *Relay* tersebut dimatikan setelah 0.5 detik.
7. Pengecekan kondisi *generator set* (menyala atau tidak) dilakukan 10 detik setelah *relay* untuk melalui sebuah adaptor 5 volt yang dihubungkan ke masukan mikrokontroler, jika mikrokontroler mendeteksi adaptor 5 volt tidak menyala (yang berarti *generator set* juga tidak menyala) maka proses menyalakan *generator set* akan diulang dari poin pertama.
8. Setelah pengecekan, 5 detik kemudian *relay* arus *generator set* dinyalakan sehingga keluaran dari *generator set* dihubungkan ke jaringan listrik.

PROSES MEMATIKAN *GENERATOR SET* SECARA OTOMATIS

Generator set dimatikan secara otomatis bila listrik PLN terhubung kembali. Urutan proses yang terjadi ketika untuk mematikan *generator set* secara otomatis adalah sebagai berikut:

1. Setelah mikrokontroler mendeteksi kondisi PLN terhubung kembali melalui adaptor 5 volt, maka *relay* untuk arus *generator set* dan *relay* untuk bensin dimatikan.
2. Waktu *generator set* dimatikan dibaca oleh mikrokontroler melalui RTC dan disimpan.
3. Kemudian *generator set* dibiarkan menyala selama 30 detik agar sisa bensin di dalam mesin *generator set* berkurang jumlahnya.
4. Setelah 30 detik, *relay* untuk mematikan *generator set* akan dimatikan (bila *relay* dimatikan maka *generator set* juga dimatikan).
5. Setelah *generator set* dimatikan, maka *relay* PLN diaktifkan kembali sehingga arus dari PLN terhubung kembali ke jaringan listrik.

PROSES PERAWATAN *GENERATOR SET* SECARA OTOMATIS

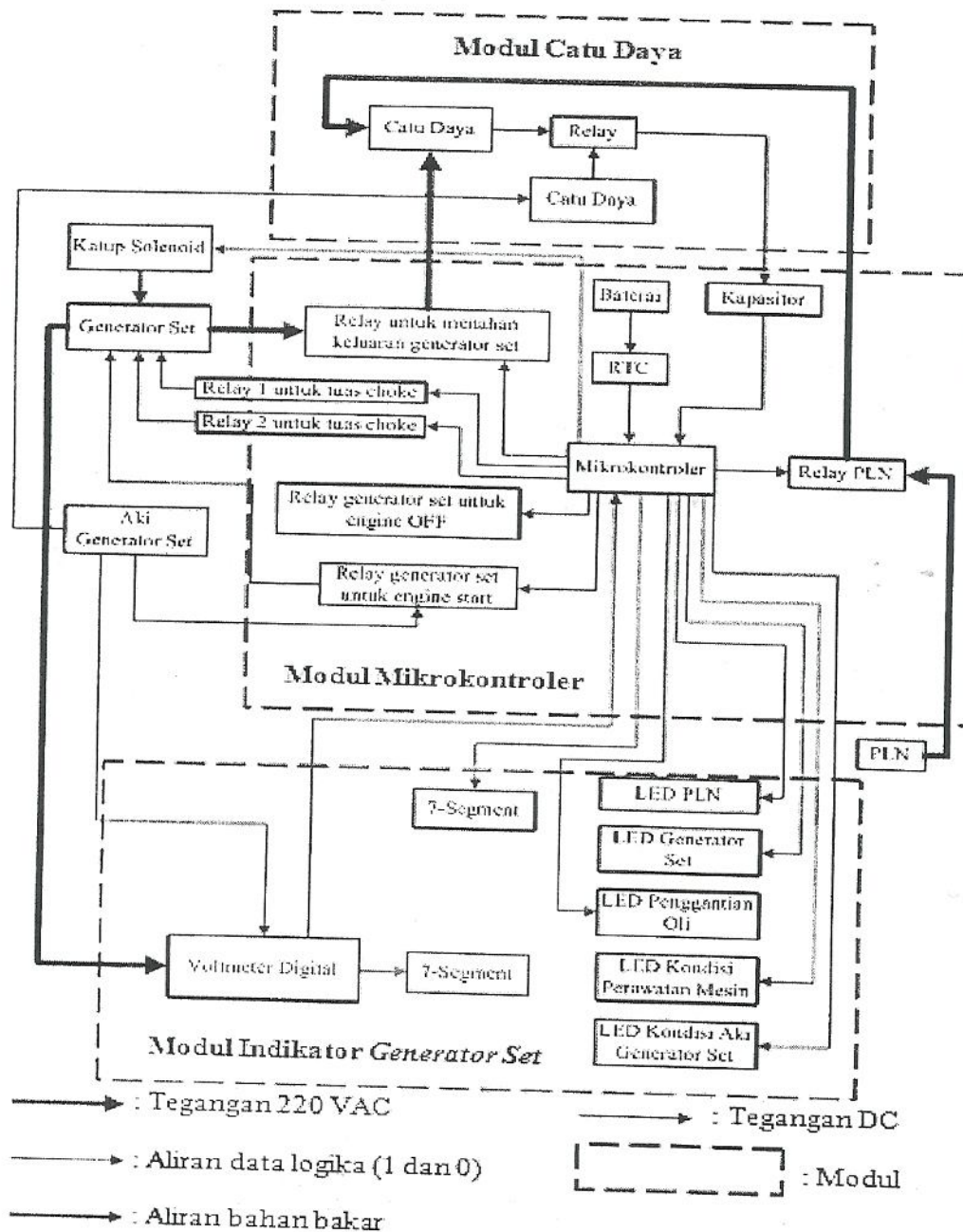
Perawatan *generator set* yang dilakukan adalah hanya untuk pemanasan mesinnya saja. Perawatan ini dilakukan dalam seminggu sekali dan selama 10 menit. Proses terjadinya perawatan *generator set* secara otomatis adalah bila mikrokontroler mendeteksi waktu dari RTC sudah mencapai waktu yang telah ditentukan untuk melakukan perawatan. Urutan prosesnya adalah sebagai berikut:

1. Waktu dari RTC dicek oleh mikrokontroler.
2. Bila waktu dari RTC sudah sesuai dengan waktu yang telah disimpan di mikrokontroler maka otomatisasi perawatan *generator set* akan dilakukan.
3. *Relay* untuk mematikan *generator set* diaktifkan.
4. Setelah satu detik, *Relay* untuk mengendalikan katup solenoid bensin akan diaktifkan sehingga bensin dapat masuk ke dalam mesin *generator set* dan diberi jeda waktu 4 detik.
5. Salah satu dari kedua *relay* yang digunakan untuk mengendalikan otomatisasi tuas *choke* diaktifkan, yang menghasilkan tuas *choke* dalam kondisi tertarik, setelah 0.5 detik *relay* tersebut dimatikan.
6. *Generator set* dinyalakan melalui *relay* untuk menyalakan *generator set* selama 1.5 detik.

7. Salah satu dari kedua *relay* yang digunakan untuk mengendalikan tuas *choke* diaktifkan kembali (tetapi bukan *relay* yang sama dengan poin ke-3) sehingga menghasilkan tuas *choke* dalam kondisi terbuka. *Relay* tersebut dimatikan setelah 0.5 detik.
8. Pengecekan kondisi *generator set* (menyala atau tidak) dilakukan 10 detik setelah *relay* untuk melalui sebuah adaptor 5 volt yang dihubungkan ke masukan mikrokontroler, jika mikrokontroler mendeteksi adaptor 5 volt tidak menyala (yang berarti *generator set* juga tidak menyala) maka proses menyalakan *generator set* akan diulang dari poin pertama.
9. Bila *generator set* menyala, maka waktu dari RTC akan dibaca berulang-ulang untuk mengecek waktu.
10. Bila waktu *generator set* menyala sudah mencapai 10 menit, maka *generator set* dimatikan melalui *relay* untuk mematikan *generator set*.

DIAGRAM BLOK

Diagram blok dari alat dapat dilihat pada Gambar 5 di halaman selanjutnya. Diagram blok terdiri dari modul mikrokontroler, modul catu daya, modul pengisi ulang baterai, modul indikator kondisi *generator set*, *generator set*, dan PLN.



■ Gambar 5. Diagram Blok Alat yang Akan Dirancang

CATU DAYA

Catu daya merupakan bagian yang memberikan daya kepada modul mikrokontroler dan juga sebagai pendeteksi kondisi PLN dan *generator set*. Catu daya memiliki sumber tegangan yang berasal dari PLN dengan

arus bolak-balik (AC). Tegangan dari PLN ini akan diturunkan ke tegangan yang lebih rendah dengan sebuah *step down transformer*. Keluaran dari *transformer* masih berupa arus AC dan akan dikonversi menjadi arus searah (DC) dengan rangkaian penyearah. Tegangan DC akan melalui *filter* yang berguna untuk memperkecil *ripple* gelombang pada arus DC, kemudian akan masuk tahap *regulating* menggunakan *voltage regulator* yang akan menghasilkan tegangan DC yang lebih stabil.

RELAY

Relay adalah sejenis saklar atau *switch* yg dapat bekerja secara otomatis dengan menggunakan aliran listrik [2]. Arus listrik akan mengalir ke kumparan yang berada di dalam *relay* yang akan menghasilkan medan elektromagnetik. Medan elektromagnetik ini akan menarik sebuah lengan *relay* yang terbuat dari logam dan mengubah posisi saklar, yang sebelumnya terbuka menjadi tertutup. *Relay* memiliki tiga jenis kutub, yaitu *common*, *NO (Normally Open)*, dan *NC (Normally Close)*. *Common* adalah kutub acuan *relay*, sedangkan *NC (Normally Close)* adalah kutub yang pada awalnya terhubung dengan kutub *common* dan *NO (Normally open)* adalah kutub yang akan terhubung dengan *common* bila kumparan *relay* diberi aliran listrik. *Relay* memiliki empat jenis tergantung banyaknya kutub di dalam *relay*, yaitu *SPST (Single Pole Single Throw)*, *SPDT (Single Pole Double Throw)*, *DPST (Double Pole Single Throw)*, dan *DPDT (Double Pole Double Throw)*.

Relay yang digunakan adalah *relay* HKE bertipe HRS4H-S-DC5V. *Relay* HKE dengan tipe HRS4H-S-DC5V ini mempunyai kumparan dengan tegangan sebesar 5 volt DC dan daya sebesar 360mW sehingga bisa menggunakan tegangan langsung dari modul catu daya. *Relay* HKE ini berjenis *SPDT (Single Pole Double Throw)*. *Contact rating* arus AC untuk *relay* HKE ini adalah 250VAC 10A (kutub *Normally Open*) dan 250VAC 6A (kutub *Normally Close*) dan spesifikasi ini sudah cukup untuk kebutuhan alat yang dirancang. *Relay* HKE HRS4H-S-DC5V memiliki daya tahan yang baik, yaitu hingga 10 juta kali operasi.

KAPASITOR

Kapasitor adalah sebuah komponen elektronik yang berguna untuk menyimpan muatan listrik [3]. Kapasitor terdiri dari dua lempeng logam yang sejajar dan ditengahnya terdapat bahan dielektrik. Besar muatan listrik yang dapat disimpan adalah $Q = C \times V$, dimana Q adalah besar muatan listrik, C adalah besar kapasitas, dan V adalah tegangan. Kapasitor terdapat beberapa jenis, yaitu kapasitor keramik, kapasitor elektrolit (Elco), dan kapasitor tantalum. Kapasitor elektrolit pada umumnya dibuat dengan kapasitas yang besar dan memiliki kehandalan yang tinggi serta awet dalam pemakaiannya. Kapasitor jenis ini banyak dipergunakan dalam rangkaian catu daya (*power supply*). Karakteristik utama adalah kapasitor ini memiliki perbedaan polaritas pada kedua kakinya yaitu kutub positif (+) dan kutub negatif (-), sehingga dalam pemasangannya tidak boleh salah menempatkan kakinya antara positif dengan negatif atau sebaliknya.

Kapasitor tantalum merupakan jenis kapasitor elektrolit yang elektrodanya terbuat dari material tantalum. Komponen ini memiliki polaritas, cara membedakannya dengan mencari tanda (+) atau tanda lain yang ada pada bodi kapasitor, tanda ini menyatakan bahwa pin kapasitor ini memiliki polaritas positif. Karakteristik temperatur dan frekuensi lebih bagus daripada kapasitor elektrolit yang terbuat dari bahan aluminium. Kapasitor keramik memiliki bentuk bermacam-macam seperti bentuk tabung, pelat, segi empat, dan lain-lain. Kapasitor keramik dalam pemakaiannya cukup stabil dan sangat cocok dipakai untuk rangkaian frekuensi tinggi. Kapasitor jenis ini tidak memiliki polaritas, sehingga dalam pemasangannya dapat dibolak-balik, dan umumnya hanya tersedia dengan nilai kapasitansi yang sangat kecil.

AKI

Aki atau baterai adalah sumber daya listrik yang berasal dari bahan-bahan kimia. Aki dibagi dua jenis berdasarkan sifat bahan pembuatnya, yaitu aki kering dan aki basah. Aki basah adalah aki yang memiliki cairan elektrolit yang digunakan sebagai penghantar listrik (contoh: asam sulfat (H_2SO_4)). Aki kering adalah aki yang menggunakan bahan padat dalam pembuatannya (contoh: lithium).

REAL TIME CLOCK (RTC)

Real Time Clock (RTC) adalah sebuah *integrated circuit* yang menyimpan informasi waktu. RTC biasa digunakan pada komputer, atau alat elektronik lain yang membutuhkan waktu yang akurat. RTC membutuhkan konsumsi daya yang rendah dan memiliki sumber daya alternatif. Hal ini berguna ketika dalam pengoperasiannya, sumber daya pada rangkaian utama tidak berfungsi atau dimatikan. Sumber daya alternatif ini adalah baterai lithium pada sistem lama, atau *super capacitor* pada sistem baru [4]. *Oscillator* pada RTC membangkitkan tegangan menuju blok *divider chain*. *Divider chain* akan membagi tegangan tersebut sehingga keluarannya sesuai dengan yang dibutuhkan. Tegangan tersebut digunakan oleh blok *clock and calendar register* untuk membangkitkan sebuah nilai yang merepresentasikan detik, menit, jam, tanggal, hari, bulan, dan tahun.

RTC yang digunakan adalah DS1307. DS1307 dapat memberikan data waktu detik, menit, jam, tanggal, hari, bulan, tahun, dan dapat digunakan hingga tahun 2100. DS1307 bekerja pada tegangan +5 VDC. DS1307 memiliki baterai cadangan, dilengkapi dengan 56 byte RAM, deteksi *power-fail* secara otomatis, dan menggunakan kurang dari 500nA ketika memakai baterai cadangan. Tipe ini dapat bekerja dalam temperatur 0°C hingga 70°C. DS1307 dapat beroperasi dalam format 24 jam atau 12 jam dengan indikator AM/PM dan secara otomatis mengatur tanggal pada bulan yang memiliki kurang dari 31 hari, termasuk pada tahun kabisat.

MIKROKONTROLER

Mikrokontroler adalah *Integrated Circuit* (IC) yang dapat digunakan untuk pengendalian, otomatisasi, akuisisi data, telekomunikasi, dan lain-lain. Mikrokontroler memiliki *Random Access Memory* (RAM), *Read Only Memory* (ROM), dan fasilitas *input/output* dalam satu IC. Sebuah mikrokontroler bekerja berdasarkan program-program yang telah ditulis dalam bahasa *assembly* dan di-*download* ke dalam mikrokontroler tersebut. Mikrokontroler terdiri dari 3 komponen utama yang saling terhubung, yaitu:

1. *Central Processing Unit* (CPU), yang berfungsi untuk mengendalikan seluruh mikrokontroler. CPU terdiri dari *control unit* sebagai pengendali dan *Arithmetic Logic Unit* yang berfungsi untuk mengerjakan perhitungan operasi aritmatika. Pada CPU juga terdapat *register* yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan sementara saat ALU bekerja.
2. Memori, yang terdiri dari *Random Access Memory* (RAM) sebagai tempat penyimpanan sementara dan *Read Only Memory* (ROM) sebagai tempat penyimpanan yang bersifat tidak tetap. Data pada RAM akan hilang ketika mikrokontroler tidak mendapatkan daya.
3. *Input/Output System* (I/O) sebagai perangkat yang menghubungkan mikrokontroler dengan dunia luar dengan menerima masukan dari *port* masukan dan mengeluarkan data-data dari mikrokontroler tersebut melalui *port* keluaran.

Prinsip kerja mikrokontroler adalah dengan mengambil instruksi (*fetch*) pada program yang telah diunduh dan disimpan pada memori. Instruksi tersebut akan diterjemahkan (*decode*), dan proses eksekusi akan dilakukan (*execute*). Data hasil eksekusi akan disimpan sementara pada memori, dan dilakukan pengambilan instruksi untuk proses selanjutnya.

Mikrokontroler yang digunakan adalah mikrokontroler produksi ATMEL, yaitu ATmega16. Mikrokontroler ATmega16 ini harganya relatif terjangkau, memiliki jumlah port yang banyak, dan mudah ditemui di pasaran. ATmega16 memiliki *flash memory* sebesar 16 Kilobyte yang dapat digunakan oleh pengguna atau *user*. ATmega16 memiliki jumlah *port* yang dapat digunakan sebanyak 32. ATmega16 dapat beroperasi pada tegangan rendah, yaitu dari 4.5 volt sampai 5.5 volt. ATmega16 memerlukan arus listrik yang cukup rendah, yaitu 12 mA dan maksimum 15 mA jika hanya menggunakan *external clock* 8 MHz. Data yang tersimpan atau program yang telah diunduh ke mikrokontroler ATmega16 memiliki daya tahan yang lama, yaitu 20 tahun bila mikrokontroler bersuhu 85°C dan 100 tahun bila mikrokontroler bersuhu 25°C.

LIGHT EMITTING DIODE (LED)

Light Emitting Diode (LED) adalah sebuah komponen elektronik yang dapat memancarkan cahaya bila diberi arus listrik. LED pada dasarnya adalah sebuah dioda yang dapat memancarkan cahaya, sehingga arah arus listrik LED tidak boleh terbalik. Arah arus listrik yang terbalik menyebabkan LED menjadi *reverse bias* dan LED tidak akan menyala, sedangkan bila arah arus listrik benar, maka LED menjadi *forward bias* dan LED akan menyala. LED terdapat beberapa jenis, yaitu LED berwarna, LED *infra red*, dan LED *ultraviolet*. LED juga memiliki berbagai jenis ukuran, ukuran LED yang umum dijumpai adalah ukuran 5 milimeter dan 3 milimeter.

VOLTMETER DIGITAL

Voltmeter adalah sebuah alat untuk mengukur tegangan. Voltmeter terdapat dua jenis, yaitu voltmeter analog dan voltmeter digital. Voltmeter digital menggunakan LCD atau *7-segment display* sebagai keluarannya. Voltmeter digital menggunakan sebuah *Analog to Digital Converter* (ADC) sebagai pengukurnya. ADC adalah sebuah komponen elektronik yang berfungsi untuk merubah sinyal *analog* menjadi digital. ADC biasanya sudah dalam bentuk kemasan *Integrated Circuit* (IC) dan ada juga yang sudah memiliki *decoder* keluaran untuk *7-segment display*, khusus untuk alat yang dirancang ini menggunakan ADC dari ATmega16.

Voltmeter digital menggunakan *Analog to Digital Converter* (ADC) dari mikrokontroler ATmega16. Port ADC pada mikrokontroler ATmega16 terletak pada PORTA. Mikrokontroler ATmega16 yang digunakan pada voltmeter digital berbeda dengan mikrokontroler ATmega16 yang digunakan pada modul mikrokontroler. Mikrokontroler ATmega16 memiliki ADC 10 bit dengan *port* masukan untuk ADC sebanyak 8 *port*. ADC mikrokontroler hanya memperbolehkan tegangan maksimum yang masuk sebesar 5 volt dikarenakan tegangan maksimum yang diperbolehkan untuk *port* adalah 5 volt. ADC pada mikrokontroler ATmega16 memiliki resolusi 4.883 mV yang didapat dari 5 volt dibagi $(2^{10}-1)$.

7-SEGMENT DISPLAY

7-segment display adalah sebuah komponen elektronik yang berguna untuk menampilkan bilangan desimal angka nol sampai sembilan. 7-segment display biasanya terdiri dari 9 buah LED (ada juga yang 8 LED bila tanpa titik koma). 7-segment display ada 2 jenis, yaitu 7-segment display common cathode dan 7-segment display common anode. 7-segment display common cathode adalah 7-segment yang memiliki masukan tegangan positif (+), sedangkan 7-segment display common anode adalah 7-segment display yang memiliki masukan tegangan negatif (-).

KATUP SOLENOID

Katup solenoid adalah katup atau kran otomatis yang dikendalikan oleh arus listrik. Kumparan di dalam katup solenoid berguna sebagai penghasil medan elektromagnetik yang akan menarik switch berbahan metal. Switch berbahan metal ini akan berpindah posisi jika arus listrik melewati kumparan katup solenoid. Katup solenoid dapat digunakan untuk mengalirkan berbagai jenis bahan, contoh air, angin, oli, dan bahan bakar. Tegangan yang digunakan oleh solenoid valve ada beberapa jenis, yaitu 220 VAC, 24 VDC, 12 VDC, dan sebagainya.

Katup solenoid yang digunakan memiliki masukan berbentuk drat luar berukuran 0,25 inci dan keluaran untuk sambungan selang bensin generator set. Katup solenoid yang digunakan untuk bensin tidak boleh sembarangan katup solenoid karena katup solenoid dapat meleleh terkena bensin. Katup solenoid secara keseluruhan harus terbuat dari bahan metal (besi, aluminium, atau stainless steel) atau mempunyai spesifikasi untuk penggunaan bensin.

GENERATOR SET

Generator set adalah sebuah alat untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Generator set terdiri dari dua bagian, yaitu motor dengan bahan bakar dan sebuah gulungan kumparan untuk menghasilkan listrik. Motor generator set ada yang berbahan bakar bensin, solar dan LPG. Motor generator set menghasilkan energi gerak yang akan digunakan untuk memutar gulungan kumparan sehingga tercipta energi listrik dari putaran kumparan tersebut. Gulungan kumparan di dalam generator set ada yang berbahan aluminium (biasa digunakan oleh generator set buatan china) dan ada juga yang menggunakan tembaga. Kelemahan kumparan berbahan aluminium adalah tidak tahan panas sehingga mudah rusak, sedangkan kumparan berbahan tembaga biasanya berharga lebih mahal daripada kumparan berbahan aluminium. Prinsip dasar generator arus bolak-balik menggunakan hukum Faraday yang menyatakan jika sebatang penghantar berada pada medan magnet yang berubah-ubah, maka pada penghantar tersebut akan terbentuk gaya gerak listrik. Besar tegangan generator bergantung pada :

1. Kecepatan putaran (N)
2. Jumlah kawat pada kumparan yang memotong fluks (Φ)
3. Banyaknya fluks magnet yang dibangkitkan oleh medan magnet (f)
4. Konstruksi Generator

Generator arus bolak-balik ini terdiri dari dua bagian utama, yaitu:

1. Stator, merupakan bagian diam dari generator yang mengeluarkan tegangan bolak-balik
2. Rotor, merupakan bagian bergerak yang menghasilkan medan magnet yang menginduksikan ke stator.

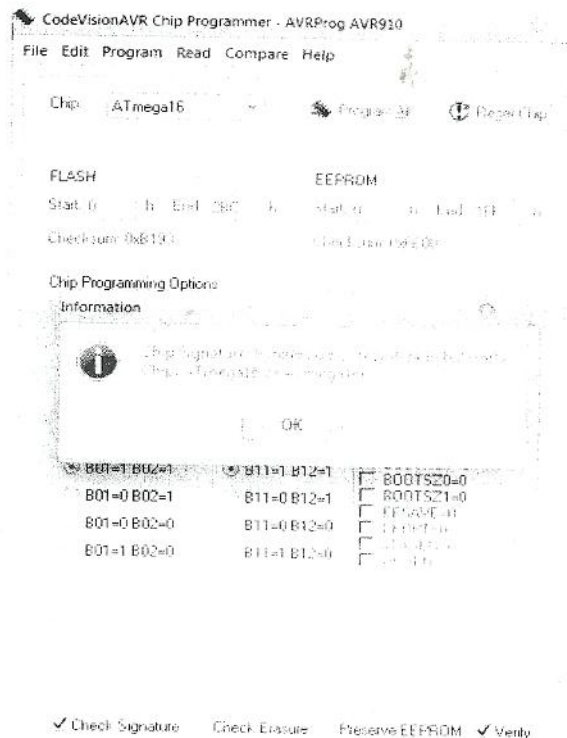
Stator terdiri dari badan generator yang terbuat dari baja yang berfungsi melindungi bagian dalam generator, kotak terminal dan name plate pada generator. Inti Stator yang terbuat dari bahan ferromagnetik yang berlapis-lapis dan terdapat alur-alur tempat meletakkan lilitan stator. Lilitan stator yang merupakan tempat untuk menghasilkan tegangan. Sedangkan, rotor berbentuk kutub sepatu (salient) atau kutub dengan celah udara sama rata (rotor silinder). Jumlah kutub generator arus bolak-balik tergantung dari kecepatan rotor dan frekuensi dari GGL yang dibangkitkan.

HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS

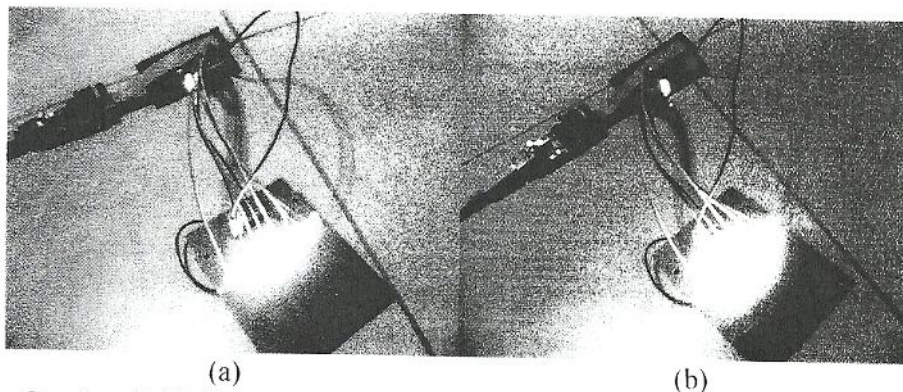
Pengujian Mikrokontroler ATmega16 dilakukan dengan dua cara. Masing-masing pengujian pada modul mikrokontroler dilakukan sebanyak satu kali. Cara yang pertama adalah melakukan pengecekan melalui program CodevisionAVR. Program CodevisionAVR dapat memeriksa jenis mikrokontroler yang terhubung ke PC melalui "Tools" lalu "Chip Programmer", setelah itu akan terbuka jendela (window) baru, pada jendela baru tersebut pilih "Read" lalu "Chip Signature". Jenis mikrokontroler akan terdeteksi dengan otomatis setelah memilih "Chip Signature".

Hasil pengujian yang dilakukan terhadap mikrokontroler ATmega16 adalah mikrokontroler terdeteksi sebagai ATmega16 atau ATmega16L. Gambar 6 adalah gambar hasil pengujian cara pertama yang telah dilakukan. Cara kedua adalah menjalankan program untuk menyalakan running LED pada setiap port di mikrokontroler ATmega16. Program ini menyalakan LED secara berurutan sampai semua LED menyala semua

dan masing-masing penyalan LED diberi jeda waktu satu detik. Hasil pengujian untuk *running* LED pada PORTA, PORTB, PORTC, dan PORTD di mikrokontroler ATmega16 adalah semua LED dapat menyala sesuai dengan program yang telah diunduh. Tabel 1, Tabel 2, Tabel 3, dan Tabel 4 adalah tabel hasil pengujian dari program *running* LED pada mikrokontroler ATmega16. Gambar 7 adalah gambar hasil pengujian *running* LED.



■ **Gambar 6.** Hasil Pengujian Cara Pertama pada Mikrokontroler ATmega16



■ **Gambar 7.** Hasil Pengujian *Running* LED pada PORTA (a) dan PORTB (b)

■ **Tabel 1.** Hasil Pengujian Program *Running* LED pada PORTA pada Mikrokontroler ATmega16

No.	Waktu Detik ke-	Kondisi LED pada:							
		P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
1	satu	0	0	0	0	0	0	0	0
2	kedua	1	0	0	0	0	0	0	0
3	ketiga	1	1	0	0	0	0	0	0
4	keempat	1	1	1	0	0	0	0	0
5	kelima	1	1	1	1	0	0	0	0
6	keenam	1	1	1	1	1	0	0	0
7	ketujuh	1	1	1	1	1	1	0	0
8	kedelapan	1	1	1	1	1	1	1	0
9	kesembilan	1	1	1	1	1	1	1	1
10	kesepuluh	0	0	0	0	0	0	0	0

Keterangan:

1 - menyala

0 - mati

■ **Tabel 2.H** asil Pengujian Program *Running LED* pada PORTB pada Mikrokontroler ATmega16

No.	Waktu Detik ke-	Kondisi LED pada:							
		P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
1	satu	0	0	0	0	0	0	0	0
2	kedua	1	0	0	0	0	0	0	0
3	ketiga	1	1	0	0	0	0	0	0
4	keempat	1	1	1	0	0	0	0	0
5	kelima	1	1	1	1	0	0	0	0
6	keenam	1	1	1	1	1	0	0	0
7	ketujuh	1	1	1	1	1	1	0	0
8	kedelapan	1	1	1	1	1	1	1	0
9	kesembilan	1	1	1	1	1	1	1	1
10	kese sepuluh	0	0	0	0	0	0	0	0

Keterangan:

1 = menyala

0 = mati

■ **Tabel 3.H** asil Pengujian Program *Running LED* pada PORTC pada Mikrokontroler ATmega16

No.	Waktu Detik ke-	Kondisi LED pada:							
		P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
1	satu	0	0	0	0	0	0	0	0
2	kedua	1	0	0	0	0	0	0	0
3	ketiga	1	1	0	0	0	0	0	0
4	keempat	1	1	1	0	0	0	0	0
5	kelima	1	1	1	1	0	0	0	0
6	keenam	1	1	1	1	1	0	0	0
7	ketujuh	1	1	1	1	1	1	0	0
8	kedelapan	1	1	1	1	1	1	1	0
9	kesembilan	1	1	1	1	1	1	1	1
10	kese sepuluh	0	0	0	0	0	0	0	0

Keterangan:

1 = menyala

0 = mati

■ **Tabel 4.H** asil Pengujian Program *Running LED* pada PORTD pada Mikrokontroler ATmega16

No.	Waktu Detik ke-	Kondisi LED pada:							
		P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
1	satu	0	0	0	0	0	0	0	0
2	kedua	1	0	0	0	0	0	0	0
3	ketiga	1	1	0	0	0	0	0	0
4	keempat	1	1	1	0	0	0	0	0
5	kelima	1	1	1	1	0	0	0	0
6	keenam	1	1	1	1	1	0	0	0
7	ketujuh	1	1	1	1	1	1	0	0
8	kedelapan	1	1	1	1	1	1	1	0
9	kesembilan	1	1	1	1	1	1	1	1
10	kese sepuluh	0	0	0	0	0	0	0	0

Keterangan:

1 = menyala

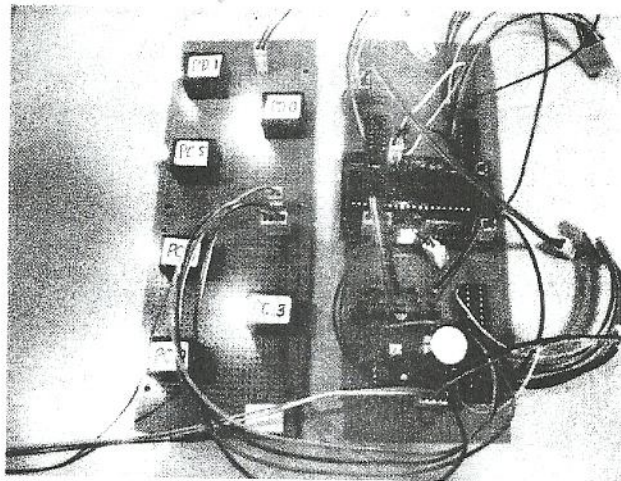
0 = mati

Pengujian *relay* HKE dilakukan dengan cara menyalakan *relay* pada modul mikrokontroler melalui mikrokontroler. Pengujian *relay* HKE dilakukan sebanyak satu kali. Program mikrokontroler yang digunakan adalah menyalakan semua *relay* secara bersamaan. Tegangan dan perubahan kondisi relay dicatat pada Tabel 5.

■ Tabel 5. Hasil Pengujian Relay HKE Pada Modul Mikrokontroler

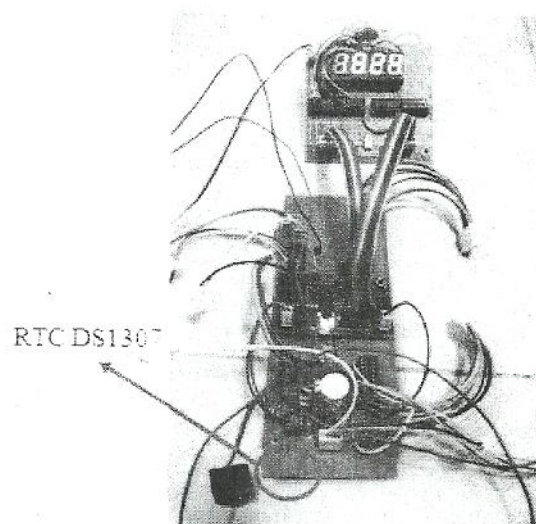
No.	Relay	Tegangan	Kondisi
1	PORTD.0	4.49 volt	Aktif
2	PORTD.1	4.49 volt	Aktif
3	PORTC.2	4.49 volt	Aktif
4	PORTC.3	4.49 volt	Aktif
5	PORTC.4	4.49 volt	Aktif
6	PORTC.5	4.49 volt	Aktif

Berdasarkan pada Tabel 5 hasil pengujian *relay* HKE adalah semua *relay* dapat bekerja dengan baik. Tegangan minimum untuk menyalakan *relay* HKE berdasarkan *datasheet* adalah 3.75 volt, sedangkan hasil pengujian menunjukkan bahwa semua *relay* mendapat tegangan 4.49 volt, maka *relay* dapat bekerja dengan baik. Gambar 8 adalah gambar pengujian *relay* HKE.

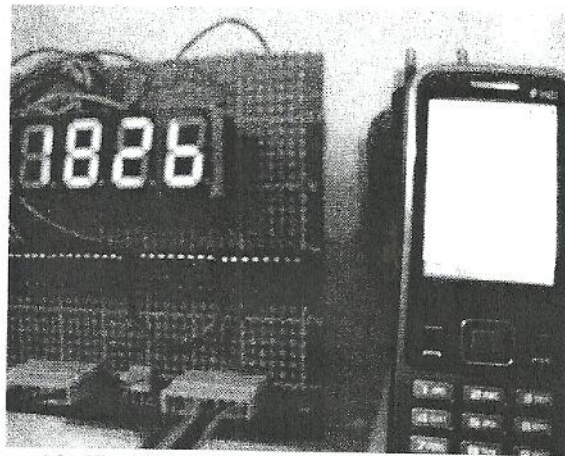


■ Gambar 8. Pengujian Relay HKE Pada Modul Mikrokontroler

Pengujian RTC DS1307 dilakukan dengan cara mengambil data dari RTC melalui mikrokontroler ATmega16. Pengujian RTC DS1307 dilakukan sebanyak 1 kali. Port SCL dan SDA (PORTC.0 dan 1) pada mikrokontroler ATmega16 dihubungkan dengan SCL dan SDA (pin ke 6 dan 5 dari RTC). Pin ke 3 dari RTC diberikan baterai 3 volt dan pin ke 8 diberikan tegangan 5 volt dari catu daya, sedangkan pin ke 4 dihubungkan ke GND. Pin ke 1 dan 2 dari RTC dihubungkan ke kristal berfrekuensi 32.768 KHz. Pengujian dilakukan dengan cara menjalankan program mikrokontroler ATmega16. Program yang dijalankan adalah program menampilkan jam dan menit dari RTC. Jam pada RTC diset pada jam ke-18, sedangkan menit pada RTC diset pada menit ke-24. Hasil dari pengujian yang telah dilakukan adalah RTC DS1307 dapat berfungsi dengan baik. Gambar 9 adalah hasil pengujian RTC DS1307 ketika baru dinyalakan. Gambar 10 adalah hasil pengujian RTC DS1307 setelah dua menit.



■ Gambar 9. Hasil Pengujian RTC DS1307 Ketika Baru Dinyalakan



■ Gambar 10. Hasil Pengujian RTC DS1307 Setelah Dua Menit

Pengujian modul mikrokontroler secara keseluruhan dilakukan dengan cara melihat masukan dan keluaran dari modul mikrokontroler sesuai dengan program yang telah diunduh. Pengujian modul mikrokontroler dilakukan sebanyak satu kali. Masukan pada PORTC.6 dan 7 akan disimulasikan dengan cara memberi tegangan 5 volt dari adaptor. Keluaran dari mikrokontroler akan dilihat dari perubahan kondisi *relay*, LED, dan RTC. Pertama PORTC.6 akan diberikan tegangan 5 volt dan PORTC.7 tidak mendapat tegangan 5 volt. Hasilnya *relay* dan LED pada PORTC.5 menyala. Masukan tegangan ke PORTC.6 diputus, maka hasilnya adalah *relay* dan LED pada PORTC.5 mati dan *relay* dan LED pada PORTD.0, 1, dan PORTC.3 menyala dan juga pengambilan data RTC dilakukan. *Relay* dan LED pada PORTC.2 menyala selama dua detik kemudian mati kembali dan *relay* dan LED pada PORTD.0 juga mati. PORTC.7 diberikan masukan tegangan 5 volt, maka hasilnya *relay* dan LED pada PORTD.1 dan PORTC.3 tetap menyala, setelah 20 detik kemudian *relay* dan LED pada PORTC.4 menyala. PORTC.6 diberikan tegangan 5 volt ketika PORTC.7 masih mendapat tegangan 5 volt, maka hasilnya adalah *relay* dan LED pada PORTC.4 dan PORTD.1 mati, kemudian setelah 30 detik *relay* dan LED pada PORTC.3 akan mati dan *relay* dan LED pada PORTC.5 menyala, setelah itu RTC diambil datanya lagi. Data RTC yang baru diambil dikurangi dengan data RTC yang sudah diambil terlebih dahulu, hasil dari pengurangan tersebut adalah jumlah lama penggunaan *generator set*. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan diatas, maka dapat disimpulkan bahwa modul mikrokontroler dapat berfungsi dengan baik sesuai dengan program yang telah diunduh.

Pengujian modul catu daya dibagi menjadi dua bagian, yaitu pengujian modul catu daya dengan catu daya yang berasal dari PLN dan *generator set* dan juga pengujian modul catu daya dengan catu daya yang berasal dari aki. Masing-masing pengujian dilakukan dengan beban dan tanpa beban sebanyak satu kali. Pengujian modul catu daya dilakukan menggunakan multimeter untuk mengukur tegangan yang keluar dari modul catu daya. Pengujian modul catu daya dengan catu daya dari PLN dan *generator set* tanpa beban berdasarkan pada multimeter adalah 4.93 volt., sedangkan dengan beban resistor 150 ohm (hampir mendekati dengan beban sistem) adalah 4.92 volt. Pengujian modul catu daya dengan catu daya dari aki tanpa beban berdasarkan multimeter adalah 4.93 volt, sedangkan dengan beban 150 ohm adalah 4.92 volt. Pengujian yang dilakukan membuktikan bahwa modul catu daya dapat berfungsi baik dan mencukupi untuk kebutuhan sistem.

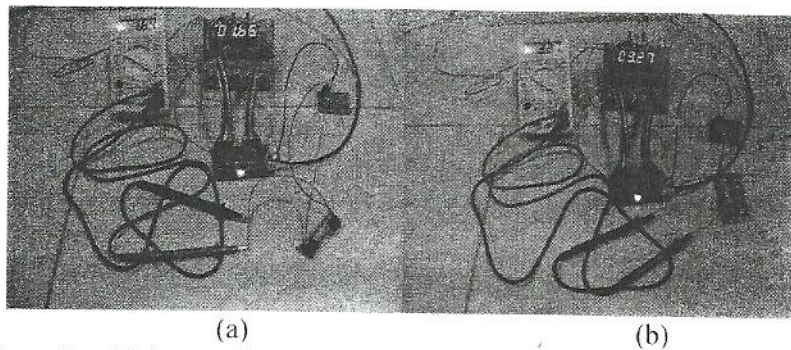
Pengujian rangkaian voltmeter yang dirancang dilakukan sebanyak lima kali dengan lima macam sumber tegangan dan hasilnya dibandingkan dengan voltmeter digital bermerk Krissbow bertipe KW06-267. Lima macam sumber tegangan yang akan diukur adalah satu buah baterai 1.5 volt, dua buah baterai 1.5 volt, empat buah baterai 1.5 volt, baterai 9 volt, dan aki 12 volt. Tabel 6 adalah tabel hasil pengujian rangkaian voltmeter yang dirancang.

■ Tabel 6. Hasil Pengujian Rangkaian Voltmeter yang Dirancang

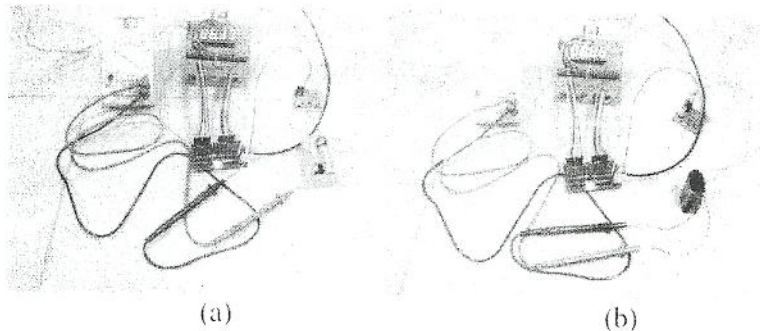
No.	Sumber Tegangan	Voltmeter yang Dirancang	Voltmeter Pembanding
1	Satu baterai 1.5 volt	1.65 volt	1.64 volt
2	Dua baterai 1.5 volt	3.27 volt	3.27 volt
3	Empat baterai 1.5 volt	6.17 volt	6.17 volt
4	Baterai 9 volt	8.66 volt	8.66 volt
5	Aki 12 volt	12.40 volt	12.40 volt

Hasil dari pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa voltmeter yang dirancang memiliki keakuratan yang hampir sama dengan voltmeter digital merk Krissbow walaupun terkadang hasil yang ditampilkan tidak sama persis, dikarenakan tegangan referensi yang digunakan adalah tegangan di pin AVCC di

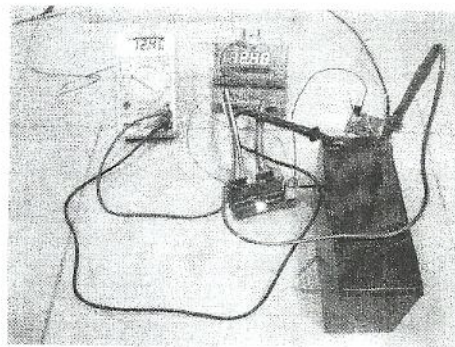
mikrokontroler ATmega16 (tegangan pin AVCC sama dengan tegangan catu daya). Gambar 11, Gambar 12, dan Gambar 13 adalah gambar hasil pengujian voltmeter yang dirancang.



■ **Gambar 11.** Hasil Pengujian Voltmeter Dengan Satu Baterai 1.5 Volt (a) dan Dengan Dua Baterai 1.5 Volt (b)



■ **Gambar 12.** Hasil Pengujian Voltmeter Dengan Empat Baterai 1.5 Volt (a) dan Dengan Baterai 9 Volt (b)

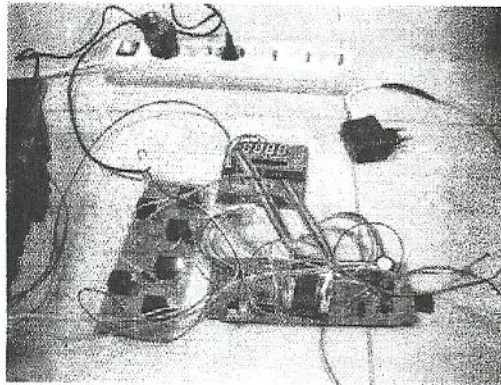


■ **Gambar 13.** Hasil Pengujian Voltmeter Dengan Aki 12 Volt

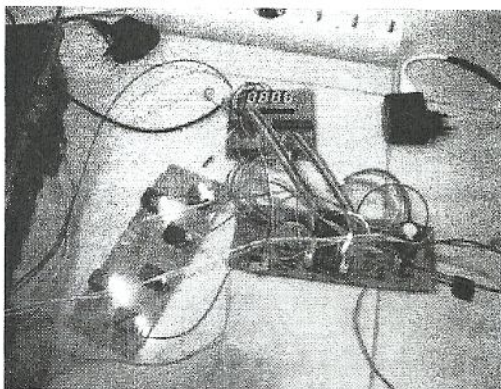
Pengujian *7-segment display* dilakukan dengan cara mengeluarkan angka delapan dari mikrokontroler ATmega16. Keluaran mikrokontroler ATmega16 akan diteruskan ke *7-segment display decoder* IC TTL 7447 dan kemudian dihubungkan ke *7-segment display*. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa *7-segment display* dapat menampilkan angka delapan dan *7-segment display* harus diberi resistor untuk menurunkan tegangan dan resistor yang dipilih adalah 220 ohm, bila tidak diberi resistor maka *7-segment display* akan mudah rusak. Pengujian *buzzer* dilakukan dengan memberi tegangan 5 volt ke *buzzer*. Hasil pengujian *buzzer* adalah *buzzer* dapat mengeluarkan suara dan berfungsi dengan baik. Pengujian *Light Emitting Diode* (LED) dilakukan dengan memberikan tegangan 5 volt kepada LED. Hasil pengujian adalah LED bila diberi tegangan 5 volt akan lebih mudah rusak, karena itu diperlukan resistor untuk menurunkan tegangan dan resistor yang digunakan adalah 220 ohm.

Pengujian sistem dilakukan dengan cara memasang minimum sistem mikrokontroler ATmega16 ke *Printed Circuit Board* (PCB) modul mikrokontroler yang telah dipersiapkan. Pengujian ini dilakukan sebanyak tiga kali. Mikrokontroler menjalankan program untuk alat yang dirancang. Hasil keluaran dari mikrokontroler dilihat dari perubahan kondisi *relay*, LED, dan RTC DS1307. Masukan dari PLN dan *generator set* disimulasikan dengan dua buah adaptor 5 volt. Pengujian pertama dilakukan dengan simulasi PLN dalam kondisi menyala dengan cara menghubungkan adaptor 5 volt ke PORTC.6. Hasil pengujiannya adalah *relay* dan LED pada PORTC.5 dalam keadaan menyala, sedangkan *relay* dan LED pada PORTC.2, 3, 4, dan PORTD.0, 1, 4, 5, 6 dalam keadaan tidak menyala. Gambar 14 adalah gambar pengujian pertama sistem yang dirancang. Pengujian kedua dilakukan dengan simulasi PLN dalam kondisi mati dan *generator set* dalam kondisi mati (PORTC.6 dan 7 tidak mendapat tegangan 5 volt atau logika 1). Hasil pengujiannya adalah *relay* dan LED pada PORTC.5

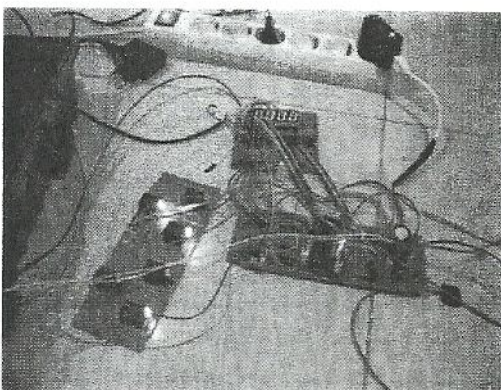
dalam keadaan mati, sedangkan *relay* dan LED pada PORTD.0 dan 1 dan PORTC.3 dalam keadaan menyala. *Relay* pada PORTC.2 dan PORTD.0 akan menyala sebanyak lima kali dengan jeda waktu 2 detik, bila kondisi PORTC.7 tidak mendapat masukan 5 volt atau kondisi logika 1 (PORTC.7 merupakan *port* untuk pengecekan kondisi *generator set*). LED pada PORTD.4 akan menyala (LED pada PORTD.4 untuk menyatakan bahwa *generator set* gagal dinyalakan) dan *relay* dan LED pada PORTC.2, 3, 4, 5 akan dimatikan bila *relay* PORTC.2 sudah menyala lima kali. Gambar 15 adalah gambar pengujian kedua sistem yang dirancang. Pengujian ketiga dilakukan dengan cara simulasi PLN dalam kondisi mati dan *generator set* dalam kondisi menyala (PORTC.7 mendapat tegangan 5 volt, sedangkan PORTC.6 tidak mendapat tegangan 5 volt). Hasil pengujiannya adalah *relay* dan LED pada PORTC.5 dalam keadaan mati, sedangkan *relay* dan LED pada PORTD.0 dan 1 dan PORTC.3 dalam keadaan menyala. *Relay* pada PORTC.2 dan PORTD.0 akan menyala sebanyak lima kali dengan jeda waktu 2 detik, bila kondisi PORTC.7 tidak mendapat masukan 5 volt atau kondisi logika 1. PORTC.7 diberikan masukan dari adaptor 5 volt atau logika 1, maka *relay* dan LED pada PORTC.4 menyala 10 detik kemudian. Gambar 16 adalah gambar pengujian ketiga sistem yang dirancang. Pengujian keempat dilakukan dengan simulasi PLN terhubung kembali ketika kondisi *generator set* dalam kondisi hidup. *Relay* dan LED pada PORTD.0 dan PORTC.4 dalam keadaan mati dan *relay* dan LED PORTC.3 dimatikan 30 detik kemudian, lalu *relay* dan LED PORTC.5 dalam keadaan menyala. Gambar 17 adalah gambar pengujian keempat sistem yang dirancang. Hasil pengujian dari sistem yang dirancang adalah sistem dapat bekerja dengan baik, sesuai dengan masukan dan keluaran yang diinginkan. Berdasarkan pada pengujian sistem yang telah dilakukan, maka dapat diperkirakan bahwa bila sistem dipasang pada *generator set* akan berfungsi dengan baik, dikarenakan simulasi yang dilakukan hampir menyerupai kondisi aslinya hanya saja tanpa keberadaan *generator set*.



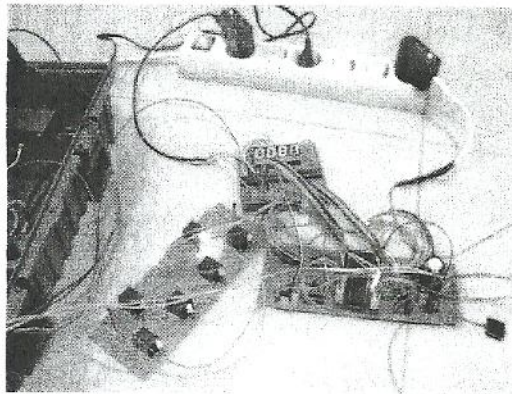
■ Gambar 14. Pengujian Pertama Sistem yang Dirancang



■ Gambar 15. Pengujian Kedua Sistem yang Dirancang



■ Gambar 16. Pengujian Ketiga Sistem yang Dirancang



■ Gambar 17. Pengujian Keempat Sistem yang Dirancang

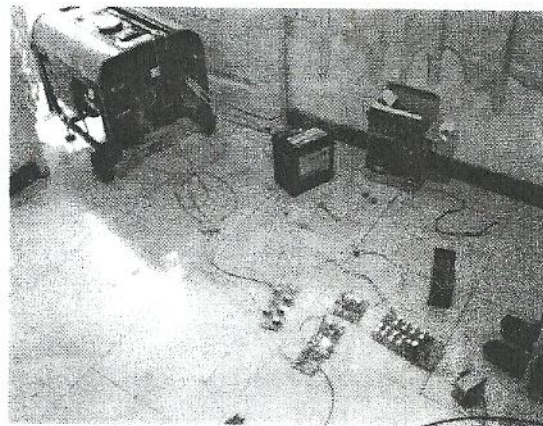
Pengujian sistem dilakukan dengan cara memasang sistem ke *generator set*. Pengujian sistem ini dilakukan sebanyak tiga kali untuk menyalakan dan mematikan *generator set* secara otomatis sedangkan pengujian perawatan berupa pemanasan mesin dilakukan hanya satu kali. Simulasi PLN mati atau PLN hidup dilakukan dengan cara memasang adaptor 5 volt (sumber daya dari PLN) ke sistem. Pengecekan kondisi *generator set* hidup atau tidak juga akan menggunakan adaptor 5 volt yang dipasang di keluaran *generator set* ke sistem. Cara pengujiannya sama dengan cara pengujian sistem secara simulasi pada subbab 4.4 tetapi ditambahkan dengan pengujian waktu untuk menyalakan dan mematikan *generator set* secara manual dan secara otomatis dengan sistem yang dirancang. Pengujian perawatan berupa pemanasan mesin *generator set* dilakukan dengan membiarkan alat yang dirancang bekerja hingga tujuh hari. Perawatan ini otomatis berjalan bila waktu tujuh hari sudah tercapai dan pukul 16.00 (jam untuk perawatan dapat disesuaikan) juga sudah tercapai. Pengujian waktu untuk secara manual memiliki ketentuan *generator set* berjarak 20 meter dari tempat penggunaanya dan *generator set* menyala dengan satu kali *starter*. Pengujian waktu perawatan dilakukan dengan cara menghitung juga waktu perawatan. Hasil dari pengujian sistem ini dapat dilihat pada Tabel 7. sedangkan Tabel 8 adalah tabel pengujian waktu. Gambar 18 adalah gambar pengujian sistem dan Gambar 19 adalah gambar perawatan yang sedang berlangsung.

■ Tabel 7. Hasil Pengujian Sistem

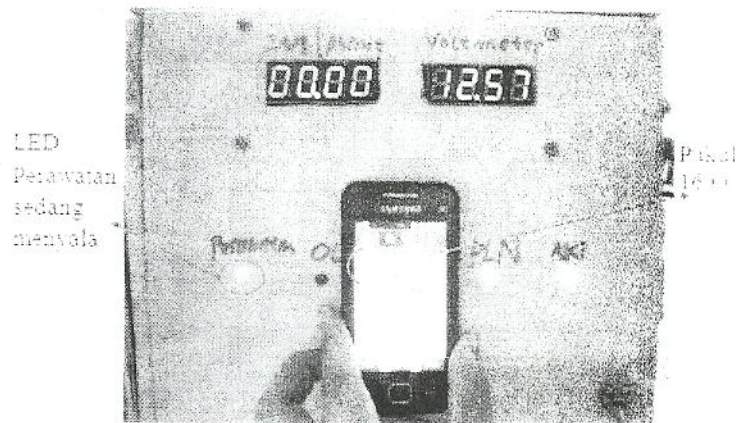
No	Pengujian	Hasil
1	PLN dalam keadaan menyala.	1. PLN terhubung melalui <i>relay</i> untuk mengendalikan arus PLN. 2. <i>Generator set</i> tidak menyala.
2	PLN dalam keadaan terputus dan <i>generator set</i> dalam keadaan mati.	1. Arus PLN terputus melalui <i>relay</i> untuk mengendalikan arus PLN. 2. <i>Generator set</i> di- <i>starter</i> sebanyak lima kali dengan interval waktu 10 detik untuk setiap kali <i>starter</i> . 3. Sistem dimatikan secara otomatis karena <i>generator set</i> tidak menyala setelah lima kali <i>starter</i> .
3	PLN dalam keadaan mati dan <i>generator set</i> dalam keadaan mati lalu hidup dengan satu kali <i>starter</i> .	1. Arus PLN terputus melalui <i>relay</i> untuk mengendalikan arus PLN. 2. <i>Generator set</i> di- <i>starter</i> . 3. <i>Generator set</i> menyala. 4. Setelah 10 detik, <i>relay</i> untuk mengendalikan arus <i>generator set</i> menyala.
4	PLN terhubung kembali	1. Arus <i>generator set</i> diputus. 2. <i>Relay</i> untuk mengendalikan aliran bensin terputus. 3. Setelah 30 detik, <i>generator set</i> dimatikan melalui <i>relay</i> . 4. Arus PLN dihubungkan kembali melalui <i>relay</i> .
5	Perawatan berupa pemanasan mesin <i>generator set</i>	1. Perawatan dijalankan secara otomatis bila sudah mencapai tujuh hari sejak terakhir kali <i>generator set</i> menyala. 2. Arus PLN tetap dihubungkan bila listrik PLN tidak terputus.

■ Tabel 8. Hasil Pengujian Waktu

No.	Pengujian	Secara Manual	Secara Otomatis
1	Menyalakan <i>generator set</i>	3 menit 14 detik	8 detik
2	Mematikan <i>generator set</i>	4 menit 2 detik	41 detik
3	Perawatan berupa pemanasan mesin	17 menit 16 detik	10 menit 49 detik



■ Gambar 18. Pengujian Sistem



■ Gambar 19. Perawatan Secara Otomatis Sedang Berlangsung

KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan terhadap sistem dan modul-modul dapat disimpulkan bahwa alat yang dirancang dapat memenuhi tujuan perancangan alat ini dengan baik.

Hasil Pengujian menyalakan *generator set* dengan alat yang dirancang adalah 8 detik, sedangkan secara manual adalah 3 menit dan 14 detik. Penghematan waktu untuk menyalakan *generator set* dengan alat yang dirancang mencapai 3 menit dan 6 detik. Hasil Pengujian mematikan *generator set* dengan alat yang dirancang adalah 41 detik, sedangkan secara manual adalah 4 menit dan 21 detik. Penghematan waktu untuk mematikan *generator set* dengan alat yang dirancang mencapai 3 menit dan 40 detik. Alat yang dirancang memiliki keterbatasan dalam kapasitas listrik *generator set* yang dipergunakan, karena *relay* yang digunakan hanya memiliki *contact rating* sebesar 250 VAC 10A. Dengan demikian, *generator set* hasil rancangan ini hanya cocok diterapkan untuk skala kecil yaitu skala rumahan atau *home industry*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ICP TEKNIK : Generator Set (Genset), 29 Maret 2011, pukul 15:08. <http://www.icpteknik.com/2010/04/generator-set-genset.html>
- [2] Perancangan dan Pembuatan Otomasi Starting Generator 3 Fasa Sebagai Back Up Tegangan Saat Keadaan Darurat Menggunakan Mikrokontroler AT 89C51 | UMM Institutional Repository, 15 Juli 2011, Pukul 14:33. <http://eprints.umm.ac.id/11630/>
- [3] R. Boylestad and L. Nashelsky, *Electronic Devices and Circuit Theory*, 7th Edition. New Jersey: Prentice Hall International, 1999, ch. :19, pp. 783–809.