

MODUL LAMPU LED YANG DICATU OLEH SEL SURYA

F. Dalu Setiaji , Diestha Djati Purnomo, Deddy Susilo

e-mail: sotdag@yahoo.com, diestha@gmail.com, sp_tech_eng@yahoo.co.id

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektronika dan Komputer – UKSW

Jalan Diponegoro 52 – 60, Salatiga 50711

Intisari

Makalah ini membahas tentang perancangan dan pembuatan sebuah perangkat penerangan ruangan menggunakan modul lampu LED yang dibuat dari sejumlah LED, yang dicatu sel surya. Modul lampu LED (*Light-Emitting Diode*) yang dibuat dibandingkan unjuk kerjanya dengan lampu pijar dan lampu CFL (*compact fluorescents lamp*). Orientasi sel surya dapat diatur secara manual (pasif), atau secara otomatis (aktif) menyesuaikan pergerakan matahari, untuk mendapatkan energi cahaya yang maksimal. Hasil pengujian menunjukkan modul lampu LED yang dibuat, pancarannya relatif terfokus dibandingkan lampu pijar dan lampu CFL. Sedangkan pengaturan sel surya secara aktif mampu memberikan peningkatan energi listrik yang disimpan aki sebesar 24% dalam rentang waktu pengujian 10 hari, dibandingkan dengan menggunakan pengaturan pasif.

Kata kunci: lampu LED, kendali arah sel surya, mikrokontroler, *DC to DC Converter*,

I. PENDAHULUAN

Masyarakat masih banyak yang menggunakan lampu pijar dan lampu *neon* atau *compact fluorescents lamp* (CFL). Kedua jenis lampu tersebut mempunyai banyak keterbatasan, terutama dari segi daya penerangan (*luminous efficacy*) yang rendah dan umur hidup (*lifetime*) yang pendek. Rata – rata, lampu pijar mempunyai daya penerangan kurang dari 22 lm/W (*lumens per watt*) dengan umur hidup hingga 1000 jam, sedangkan lampu *neon* rata – rata mempunyai daya penerangan antara 45 lm/W hingga 60 lm/W dan umur hidup hingga 6000 jam. Daya penerangan yang

dihasilkan oleh kedua lampu ini masih jauh dari daya terang cahaya putih ideal, yang mempunyai daya terang hingga 242,5 lm/W.

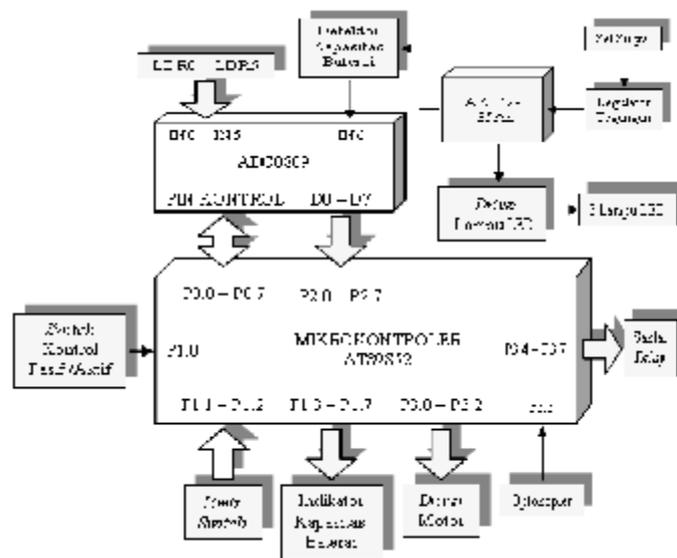
Penggunaan LED untuk penerangan ruangan mempunyai banyak keuntungan bila dibandingkan dengan kedua jenis lampu di atas, antara lain: awet karena tidak menggunakan filamen dan kaca yang mudah pecah, menghasilkan lebih banyak cahaya dengan daya yang lebih kecil, serta umur hidup lebih dari 100.000 jam. Perkembangan teknologi LED sangat pesat bila dibandingkan dengan jenis lampu lainnya. Salah satu contohnya adalah dengan diproduksi LED putih dengan daya terang 131 lm/W pada tahun 2006.^[1] Perkembangan teknologi LED yang pesat tersebut akan mendorong masyarakat memilihnya sebagai lampu penerangan dimasa yang akan datang.

Di daerah tanpa jalur distribusi listrik, energi sinar matahari dapat dimanfaatkan untuk menghidupkan lampu LED sebagai penerangan rumah. Salah satu caranya adalah mengkonversi energi cahaya matahari menjadi listrik menggunakan sel surya. Meski pun saat ini sel surya masih relatif mahal, dimasa depan teknologi akan dapat bertahan pada saat ketersediaan sumber energi lainnya sudah menipis.

Berdasarkan latar belakang tersebut akan dirancang modul lampu LED yang ditenagai oleh sel surya. Pergerakan sel surya akan diatur agar dapat menangkap energi surya secara maksimal.

II. PERANCANGAN

Diagram kotak alat yang dirancang ditunjukkan pada Gambar 1. Perangkat ini tidak menggunakan catu daya PLN tetapi hanya memanfaatkan energi matahari sebagai sumber tenaganya. Energi matahari yang telah dikonversi oleh panel sel surya menjadi energi listrik disimpan terlebih dahulu di dalam aki (*accu*), kemudian digunakan untuk mencatu modul lampu LED dan semua komponen penunjang alat. Untuk memaksimalkan fungsi panel sel surya dalam menerima cahaya matahari, maka panel sel surya digerakkan agar menghadap ke arah matahari.



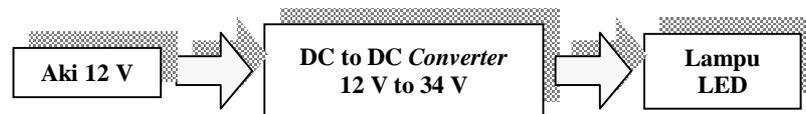
Gambar 1. Diagram Kotak Sistem

Alat yang dirancang ini mempunyai dua mode pengendalian yaitu pasif dan aktif. Jika perangkat dijalankan dengan mode pasif, hanya deteksi kapasitas aki yang dijalankan secara aktif. Sistem akan berusaha menggerakkan panel sel surya untuk disejajarkan dengan bidang datar saat proses pengisian kapasitas aki. Jika aki habis, maka panel sel surya tidak digerakkan dan menunggu hingga kapasitas aki memungkinkan untuk menggerakkan panel sel surya. Pengontrolan aktif-tidaknya pengisian aki, *driver* lampu LED, dan lampu LED diatur secara manual melalui saklar.

Jika perangkat dijalankan dengan mode aktif, maka pengontrolan aki, pergerakan panel sel surya, dan lampu LED sepenuhnya dikendalikan oleh mikrokontroler. Pengontrolan aki berupa deteksi kapasitas aki, penghentian pengisian aki jika kapasitas aki penuh, dan penghentian penggunaan aki jika kapasitasnya hampir habis. Pengontrolan pergerakan panel sel surya dilakukan dengan menghadapkan panel sel surya secara aktif ke arah matahari saat pengisian aki. Sedangkan pengontrolan lampu LED adalah dengan menyalakan lampu LED jika ruangan gelap dan mematikan lampu LED jika ruangan terang atau saat kapasitas aki hampir habis.

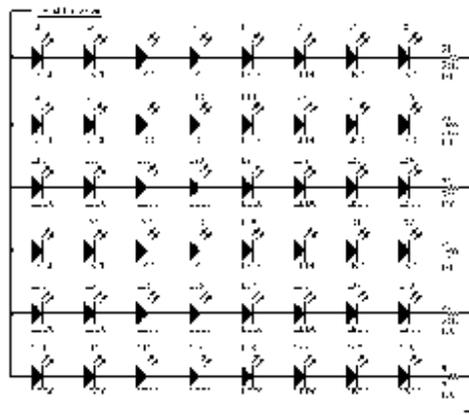
2.1. Modul Lampu LED (*Light Emitting Diode*)

Gambar 2 menunjukkan diagram kotak lampu LED. Lampu LED ini disusun dari sejumlah LED yang dihubungkan secara seri/paralel. Penggunaan *DC to DC Converter* pada modul lampu LED dimaksudkan untuk mengubah tegangan aki sebesar 12 V menjadi 34 V, karena lampu LED membutuhkan tegangan 34 V untuk dapat bekerja secara normal.



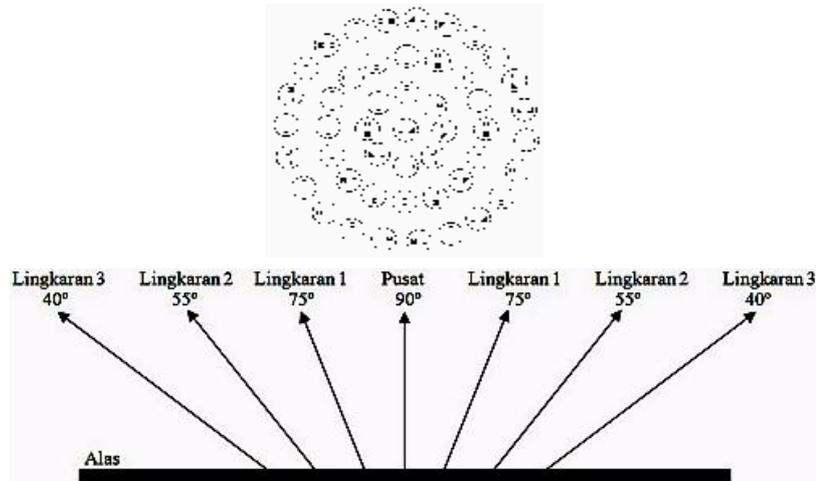
Gambar 2. Diagram kotak modul lampu LED

Lampu LED terdiri dari 48 buah LED yang disusun dengan menderetkan 8 LED sebanyak 6 deret kemudian memparalelkannya, untainya dapat dilihat pada Gambar 3. Hambatan $180\ \Omega$ digunakan pada lampu LED agar arus yang mengalir pada LED sebesar 25 mA. Jenis LED yang digunakan adalah *super bright white* LED dengan sudut pancaran 25° , karena cahaya yang dipancarkan LED jenis ini cukup terang, selain itu LED jenis ini mudah didapatkan.



Gambar 3. Untai lampu LED

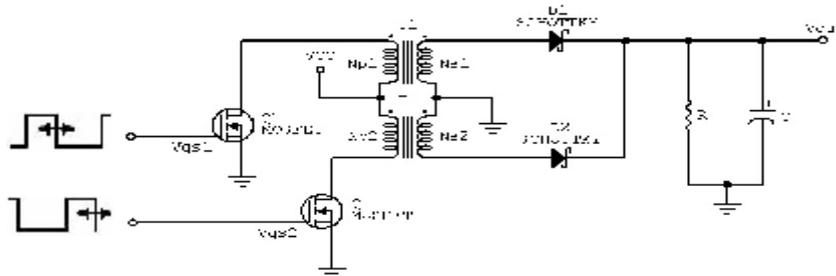
Gambar 4 menunjukkan penyusunan LED dan sudut kemiringan tiap LED. Cara penyusunan lampu LED seperti ini dimaksudkan agar cahaya yang dipancarkan tidak terfokus dan dapat menyebar ke seluruh penjuru ruangan.



Gambar 4. Peletakkan dan sudut kemiringan LED

2.2. Modul DC to DC Converter

Topologi dasar konverter yang diterapkan adalah topologi *push-pull* dengan untai dasar seperti yang ditunjukkan Gambar 5. Pada gambar tersebut, terlihat tegangan masukan dan keluaran dipisahkan oleh transformator (*transformator isolated*).



Gambar 5. Rangkaian Konverter

Topologi *push-pull converter* mempunyai lima bagian utama, yaitu transformator *step-up center tap* (CT), kontrol PWM (*Pulse Width Modulation*) untuk mengatur pensaklaran (*switching*), MOSFET sebagai saklar (*switch*), Dioda schottky atau *fast-recovery* dan kapasitor filter. *Center tap* kumparan primer (NP) digunakan untuk tegangan masukan DC. Sinyal masukan pada pin gate kedua

MOSFET (VGS1 dan VGS2) merupakan gelombang kotak dengan beda fase 180° dan amplitudo serta lebar pulsa yang sama besar. Perbedaan fase ini menyebabkan pada suatu waktu hanya satu MOSFET saja yang *on* dan yang lainnya dalam keadaan *off*. Untuk kumparan sekunder, bagian center tap digunakan sebagai *ground* dan kedua ujung kumparan yang lain merupakan tegangan keluaran hasil konversi yang disearahkan dengan dioda schottky.

Secara garis besar cara kerja dari untai *push-pull converter* adalah sebagai berikut, saat MOSFET aktif maka arus listrik mengalir pada kumparan primer sehingga timbul medan magnetik dalam kumparan tersebut. Medan magnetik dalam kumparan tersebut menyebabkan terjadinya fluks magnetik dalam inti besi lunak pada trafo. Karena terdapat dua kondisi pada MOSFET yaitu *on* dan *off*, maka besarnya arus listrik yang mengalir pada kumparan primer berubah terhadap waktu demikian pula fluks magnetik yang ditimbulkannya. Pada trafo terdapat gandengan magnet antara kumparan primer dan sekunder yaitu berupa inti besi lunak sebagai tempat melalukan fluks bersama. Gandengan magnet ini menyebabkan fluks magnetik yang dihasilkan oleh kumparan primer dapat memotong kumparan sekunder sehingga pada ujung – ujung kumparan sekunder timbul gaya gerak listrik (ggl) induksi. Jika pada ujung – ujung kumparan ini diberikan suatu beban, maka arus listrik dapat mengalir ke beban. Bentuk sinyal keluaran pada anoda dari kedua dioda merupakan sinyal gelombang kotak dengan beda fase 180° .

Besarnya tegangan keluaran konverter dapat dicari dengan menggunakan Persamaan (1) dibawah ini:

$$V_{OUT} = \left[(V_{DC} - 1) \left(\frac{N_m}{N_p} \right) - V_D \right] \frac{2T_{ON}}{T} \quad (1)$$

dengan V_{OUT} = tegangan keluaran konverter (V),

V_{DC} = tegangan catu (V),

N_p = jumlah lilitan primer,

N_m = jumlah lilitan sekunder,

V_D = tegangan buka dioda (V),

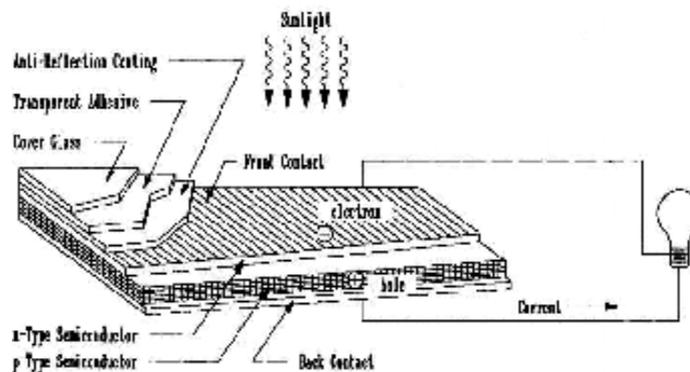
T_{ON} = waktu MOSFET saturasi (μs),

$T = 1$ periode gelombang *switching* (μs).

Bila dalam untai digunakan dioda schottky maka tegangan buka dioda (VD) sebesar 0,5 V, dan 1 V bila digunakan dioda *fast-recovery*.

2.3. Modul Panel Sel Surya

Photovoltaic effects adalah terjadinya beda potensial elektrik antara dua bahan silikon yang berbeda (tipe-p dan tipe-n) ketika sambungan pada kedua bahan tersebut dikenai foton. Sedangkan sel surya atau *photovoltaic cell* adalah suatu alat yang berfungsi untuk mengubah energi cahaya menjadi energi listrik dengan memanfaatkan *photovoltaic effects*. Lapisan penyusun sel surya ditunjukkan seperti pada Gambar 6. Konstruksi dasar sel surya secara umum terdiri dari: kaca penutup, bahan perekat transparan, lapisan anti-pantul, silikon tipe-p dan tipe-n, serta kontak konduktor.



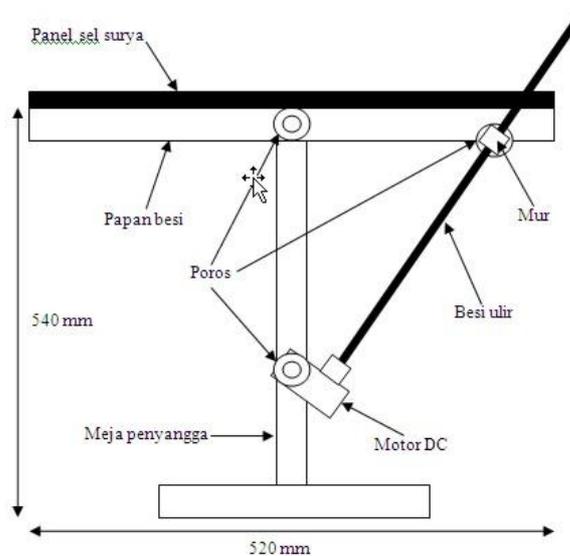
Gambar 6. Lapisan penyusun sel surya

Ketika bahan silikon tipe-p dan tipe-n disambungkan, akan terdapat medan listrik dan potensial kontak di sekitar persambungannya. Medan listrik ini terjadi ketika elektron yang berada dalam silikon tipe-n bergerak mengisi lubang (hole) pada silikon tipe-p. Peristiwa ini menyebabkan terjadinya tegangan halang (*barrier*) di sekitar persambungan.

Ketika cahaya mengenai permukaan sel surya, energinya membangkitkan elektron dan hole di sekitar persambungan yang segera disapu melintasi persambungan karena adanya medan listrik. Pergerakan hole dan elektron tersebut menimbulkan arus listrik yang dapat diberikan ke beban.

2.4. Mekanik penggerak panel sel surya

Mekanik penggerak panel sel surya dibuat seperti meja berbentuk T dengan tinggi 540 mm. Papan besi sebagai tempat peletakan panel sel surya mempunyai ukuran sekitar 520×520 mm. Gambar mekanik ini ditunjukkan Gambar 7. Mekanik panel sel surya dapat bergerak maksimum dari -75° hingga $+75^\circ$ dari bidang datar (sumbu horisontal), tetapi pergerakan panel sel surya dibatasi dari -60° hingga $+60^\circ$ dari bidang datar.



Gambar 7. Mekanik panel sel surya

Pada poros motor DC dipasang besi ulir dengan panjang 520 mm dan diameter 10 mm, sedangkan pada ujung yang lain dipasang mur dan dikaitkan pada suatu poros di tepi papan besi tempat panel sel surya. Tujuan penggunaan besi ulir adalah agar panel sel surya dapat bergerak lambat sehingga memudahkan pengontrolan dalam menggerakkan panel sel surya. Mekanik panel sel surya dibuat dengan sistem *knock-down* atau dapat dibongkar-pasang agar mudah dipindahkan.

2.5. Modul kontrol panel sel surya

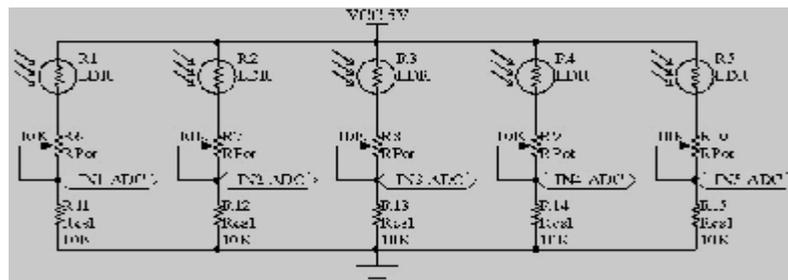
2.5.1. Untai pendeteksi posisi matahari

Untai ini terdiri dari lima buah LDR yang berfungsi untuk mendeteksi posisi matahari. Pada Gambar 8 dapat dilihat pencuplikan tegangan untuk masukan ADC0809 diambil di antara sambungan resistor 10 kΩ dan potensio, sehingga didapatkan rumus pembagian tegangan sebagai berikut:

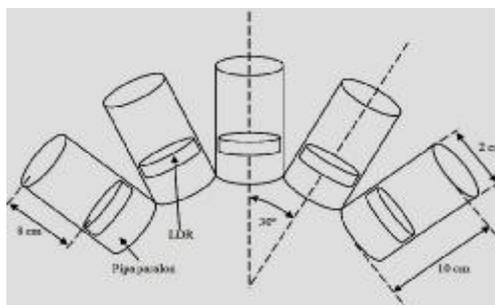
2)

$$V_{IN\ ADC0809} = \frac{R_{10k\Omega}}{R_{10k\Omega} + R_{LDR} + R_{potensio}} \times V_{CC}$$

Maksud dari penggunaan potensio dalam untai LDR ini adalah untuk mengatur agar tegangan cuplik yang dihubungkan pada masukan ADC0809 sama besar pada saat intensitas cahaya yang diterima masing – masing LDR sama besar.



Gambar 8 Untai LDR penjejak posisi matahari.

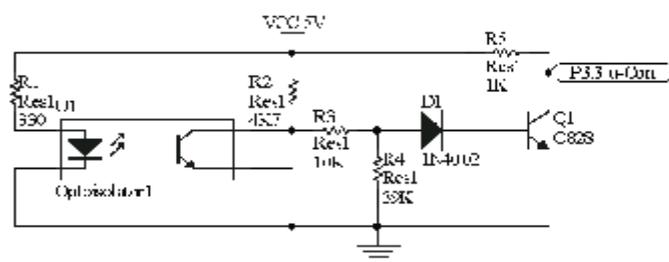


Gambar 9. Penyusunan LDR.

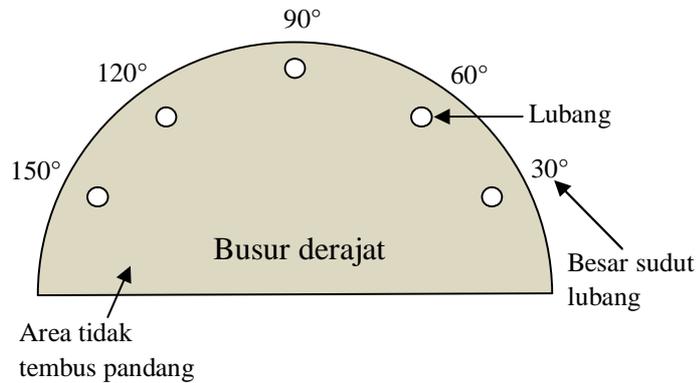
Seperti ditunjukkan pada Gambar 9, masing–masing LDR diletakkan di dalam pipa paralon yang telah dipotong dengan panjang 10 cm. Kedalaman peletakkan LDR adalah 8 cm dari permukaan pipa paralon, hal ini dimaksudkan agar penerimaan cahaya matahari yang paling besar hanya terjadi pada salah satu LDR saja, dan tegangan LDR yang menerima cahaya maksimum akan berbeda jauh dengan tegangan pada empat buah LDR yang lainnya. Hal ini bertujuan mempermudah perbandingan data digital hasil konversi tegangan oleh ADC0809 pada kelima LDR tersebut.

2.5.2. Untai optokopler

Untai optokopler dan busur derajat yang telah dilubangi digunakan untuk membantu pergerakan panel sel surya agar dapat bergerak hingga sudut kemiringan tertentu dari bidang datar sesuai dengan posisi matahari. Optokopler yang digunakan adalah yang berbentuk U dengan untai lengkap ditunjukkan Gambar 10, sedangkan gambar konfigurasi busur derajat yang digunakan ditunjukkan seperti pada Gambar 11. Busur derajat dibuat tidak tembus pandang dan diberi lima lubang pada sudut 30°, 60°, 90°, 120°, dan 150° yang digunakan sebagai penghalang pada optokopler dan sebagai acuan besarnya sudut kemiringan panel sel surya.



Gambar 10 Untai optokopler.



Gambar 11 Pelubangan pada busur derajat.

2.5.3. Untai driver motor DC

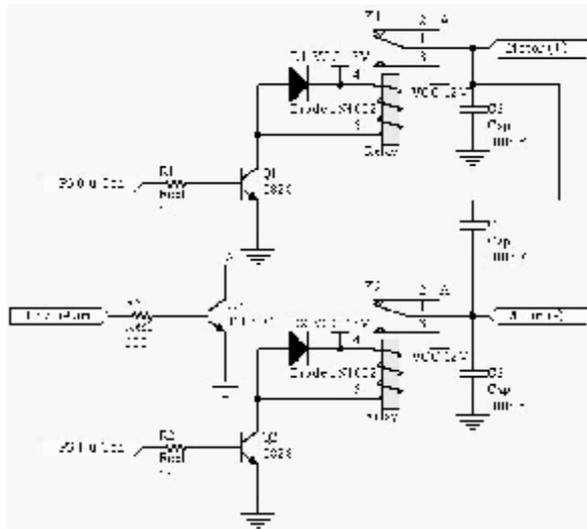
Untai driver motor DC yang digunakan ditunjukkan seperti pada Gambar 12. Driver motor ini digunakan untuk mengontrol motor DC yang dipakai sebagai penggerak panel sel surya. Komponen utama dari driver motor ini adalah dua buah relay yaitu K1 dan K2 serta sebuah transistor TIP31C sebagai kontrol PWM (*Pulse Width Modulation*). Tabel kebenaran driver motor DC ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Tabel kebenaran *driver* motor DC.

P3.0 u-Con	P3.1 u-Con	P3.2 u-Con	Arah putar motor DC
1	0	1	Ke kanan
0	1	1	Ke kiri
1	1	1	Tidak bergerak
X	X	0	Tidak bergerak

'X' = *don't care*.

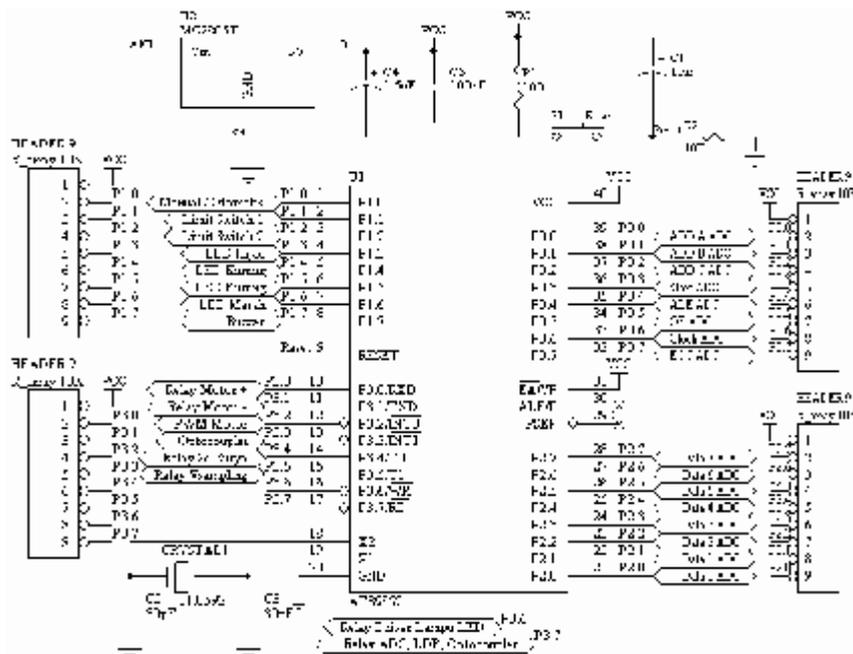
Untuk setiap relay digunakan sebuah transistor NPN C828 untuk meng-drive-nya. Diode 1N4002 berfungsi sebagai diode *free-wheel*. Driver motor ini juga dilengkapi dengan kapasitor C1, C2, dan C3 untuk mengurangi terjadinya bunga api saat motor yang digunakan diberi catu daya.



Gambar 12 Untai driver motor.

2.6. Modul Minimum Mode Mikrokontroler AT89S52

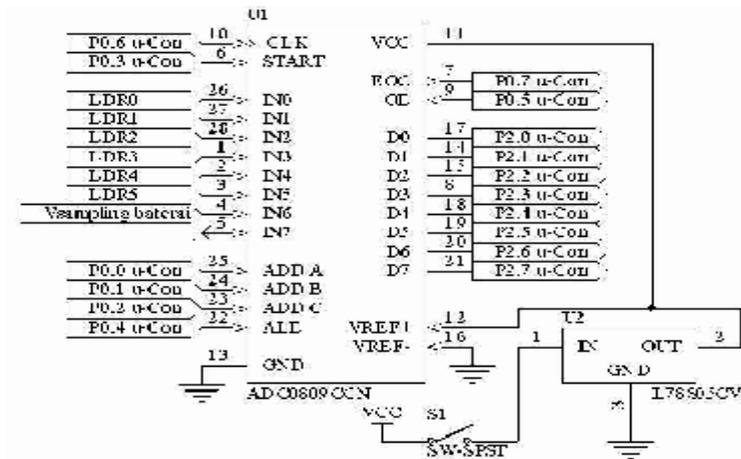
Modul ini menjalankan fungsi pengolahan data digital dari ADC0809, pengontrolan baterai, mekanik penggerak panel sel surya, modul lampu LED dan relay – relay yang digunakan sebagai saklar otomatis. Gambar untai *minimum mode* mikrokontroler AT89S52 beserta konfigurasi masing – masing *port* ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13 Untai *minimum mode* mikrokontroler AT89S52.

2.7. Modul ADC0809

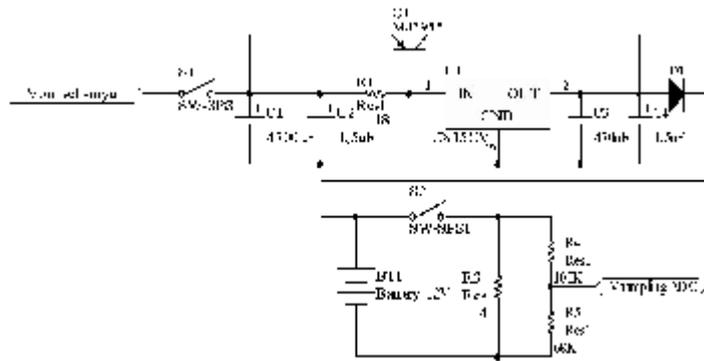
Modul ADC0809 berfungsi untuk mengkonversi tegangan analog dari LDR dan tegangan baterai menjadi data digital yang kemudian diolah oleh mikrokontroler dan digunakan untuk mengontrol kerja sistem. Untai modul ADC0809 yang dirancang dan konfigurasi dari masing – masing pin ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14 Untai modul ADC0809.

2.8. Modul Baterai

Modul baterai pada makalah ini terdiri dari media penyimpanan energi listrik yaitu aki dan untai pemantap tegangan sederhana. Pada modul baterai ini juga ditambahkan dioda sebagai pengaman sel surya terhadap arus balik dari aki, relay sebagai saklar pada sel surya ke untai pemantap tegangan, dan untai pencuplik tegangan baterai. Gambar untai modul baterai ditunjukkan Gambar 15. Fungsi relay S1 adalah untuk menghentikan pengisian aki jika sudah penuh. Sedangkan fungsi dari relay S2 adalah untuk melakukan pencuplikan tegangan aki oleh ADC.

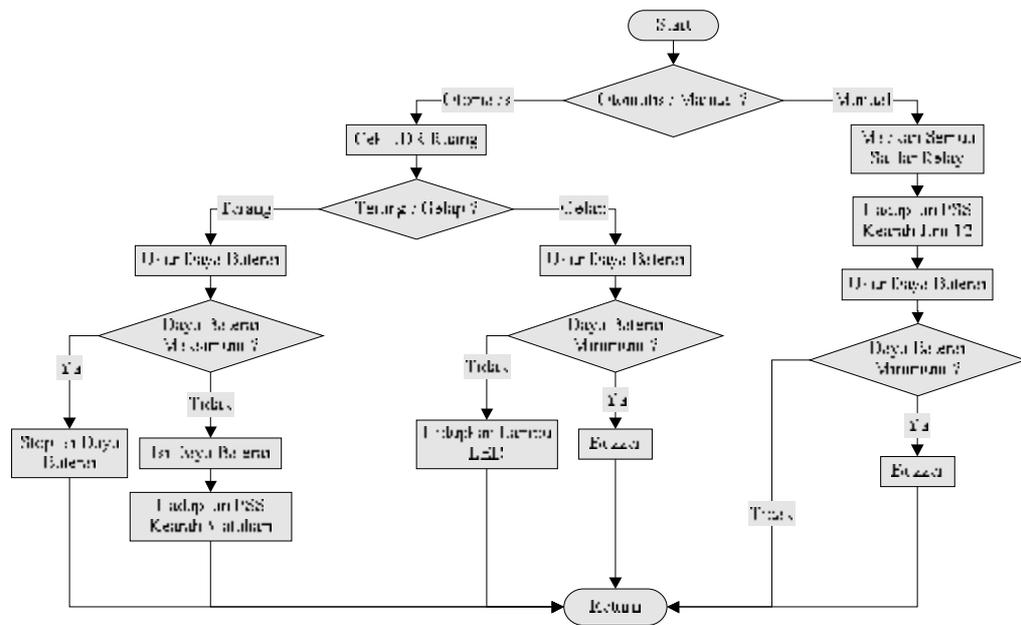


Gambar 15 Untai modul baterai.

Pemantap tegangan menggunakan IC 7815, agar tegangan catu untuk pengisian daya baterai stabil pada 15 V, hal ini diperlukan dikarenakan tegangan keluaran dari sel surya yang berkisar antara 17 V – 21 V. Transistor PNP MJ2955 digunakan agar seluruh arus yang dihasilkan sel surya dapat dialirkan ke baterai sehingga secara maksimal. Untai pencuplik tegangan aki terdiri dari beban cuplik yang besarnya 4 Ω dan hambatan pembagi tegangan R4 dan R5, masing – masing besarnya 100 kΩ dan 68 kΩ. Tujuan dari penggunaan beban cuplik 4 Ω ini menarik arus aki yang cukup besar (3 A) sehingga dapat digunakan untuk mendeteksi apakah aki akan habis (tidak dapat mengeluarkan arus yang besar). Sedangkan tujuan dari penggunaan hambatan pembagi tegangan adalah agar didapatkan tegangan cuplik maksimum 5 V.

2.9. Perancangan Perangkat Lunak pada Mikrokontroler AT89S52

Diagram alir program yang digunakan pada alat ini secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 16.



Gambar 16 Diagram alir program.

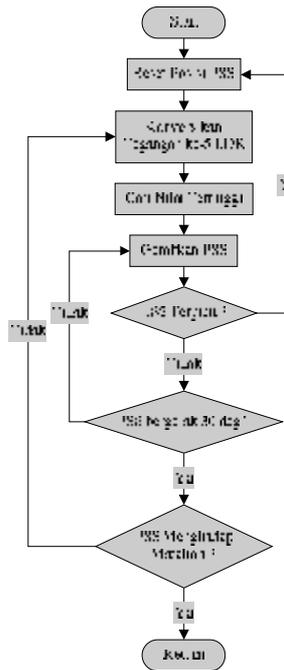
2.9.1. Konversi sinyal analog ke digital dengan ADC0809

Konversi tegangan analog menjadi data digital dilakukan dengan menggunakan ADC0809 sehingga algoritma program yang dibuat mengacu pada diagram waktu yang terdapat pada *datasheet* ADC0809.

2.9.2. Mengontrol panel sel surya

Pada saat pengendali panel sel surya dihidupkan dari kondisi *off* dengan *mode* aktif atau saat berpindah *mode* kontrol dari *mode* pasif menjadi *mode* aktif, maka sistem kontrol akan menghadapkan (me-*reset* posisi) panel sel surya ke arah posisi jam 10. Setelah itu mikrokontroler meminta ADC0809 untuk mencuplik tegangan kelima LDR yang terdapat pada sistem kontrol panel sel surya dan mengkonversinya menjadi data digital. Proses selanjutnya adalah membandingkan kelima data digital tersebut untuk mencari nilai terbesar sehingga panel sel surya sejajar dapat diarahkan menghadap posisi matahari. Jika panel sel surya telah menghadap kearah matahari proses selanjutnya adalah kembali ke program utama. *Limit switch 2* digunakan sebagai indikator jika panel sel surya telah bergerak lebih dari 150° atau panel sel surya menghadap lebih dari arah jam 14. Jika *limit switch 2* terpicu maka sistem akan

kembali melakukan tahap yang ke-2 hingga ke-5. Diagram alirnya ditunjukkan seperti pada Gambar 17.



Gambar 17 Diagram alir kontrol panel sel surya.

III. PENGUJIAN

3.1. Pengujian Lampu LED

Pengujian lampu LED dan lampu pembanding lainnya dilakukan dengan mengukur intensitas cahaya masing – masing lampu menggunakan *lux-meter*. Pengukuran intensitas cahaya dilakukan pada jarak 1 m dari permukaan lampu dan dengan empat sudut pengukuran yang berbeda, yaitu 10°, 30°, 60°, dan 90°. Besarnya intensitas cahaya ruangan sebelum dilakukan pengujian lampu adalah 0 *lux*. Hasil pengujian lampu LED, yang dibuat sebanyak tiga buah, dan karakteristik elektrik lampu LED masing–masing ditunjukkan pada Tabel 2 dan Tabel 3. Sedangkan hasil pengujian lampu pembanding dan karakteristik elektrik lampu pembanding masing – masing ditunjukkan seperti pada Tabel 4 dan Tabel 5. Untuk lampu pembanding, pengujian dilakukan menggunakan dua jenis lampu pembanding

yaitu lampu pijar 15 W, 25 W, dan 45 W serta lampu CFL 5 W dan 8 W. Semua merk lampu pembanding yang digunakan adalah Philips.

Tabel 2 Hasil pengujian lampu LED.

Lampu uji	Intensitas cahaya lampu (<i>lux</i>)			
	10°	30°	60°	90°
Lampu LED 1	13,2	26,6	50,7	49,1
Lampu LED 2	13,1	25,7	50,1	47,3
Lampu LED 3	15,7	33,5	52,9	49,5
Rata – rata	14,0	28,6	51,2	48,6

Tabel 3 Karakteristik elektrik lampu LED.

Lampu uji	Karakteristik elektrik		
	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
Lampu LED 1	12,2	0,501	6,11
Lampu LED 2	12,2	0,501	6,11
Lampu LED 3	12,2	0,503	6,14
Rata – rata	12,2	0,502	6,12

Tabel 4 Intensitas cahaya lampu pembanding.

Lampu uji		Intensitas cahaya lampu (<i>lux</i>)			
		10°	30°	60°	90°
Philips	Pijar 15 W	12,4	12,9	12,9	11,5
	Pijar 25 W	22,0	22,0	23,9	23,4
	Pijar 45 W	40,3	44,4	42,2	38,5
	CFL 5 W	37,5	38,0	32,0	25,5
	CFL 8 W	61,7	63,3	50,3	37,0

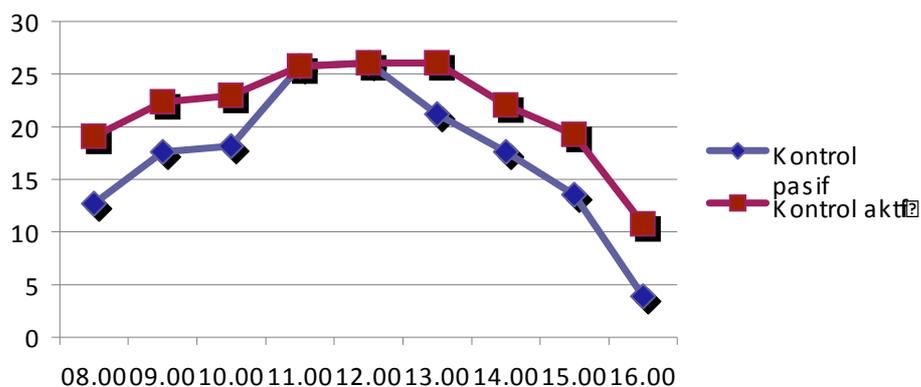
Tabel 5 Karakteristik elektrik lampu pembanding.

Lampu uji	Karakteristik elektrik		
	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (W)
Lampu pijar 15 W	219	0,069	15,11
Lampu pijar 25 W	219	0,106	23,21
Lampu pijar 45 W	219	0,170	37,23
Lampu CFL 5 W	219	0,035	7,67
Lampu CFL 8 W	219	0,052	11,39

Hasil pengujian di atas menunjukkan bahwa lampu LED yang dibuat, pancaran cahayanya relatif lebih terfokus dibandingkan lampu pijar atau CFL. Sedangkan intensitas cahaya maksimum yang dihasilkan lampu LED yang dibuat, melebihi yang dihasilkan lampu pijar 45W atau lampu CFL 5W, dengan konsumsi daya listrik yang lebih rendah.

3.2. Pengujian Panel Sel Surya

Pengujian panel sel surya dilakukan dengan mengukur tegangan dan arus pengisian aki pada jam – jam tertentu disaat kondisi cuaca cerah, baik dengan sistem kontrol mekanik pasif maupun aktif. Tujuannya untuk mengetahui unjuk kerja panel sel surya terhadap penggunaan sistem kontrol mekanik pasif maupun aktif. Gambar 18 menunjukkan grafik hubungan antara besarnya daya listrik pengisian aki terhadap waktu. Tabel 6 menunjukkan energi listrik yang diterima aki setiap 1 jam pada pukul 08.00 WIB hingga 16.00 WIB saat cuaca cerah.



Gambar 18 Grafik pengujian modul panel sel surya (cuaca cerah).

Tabel 6 Energi listrik pengisian aki setiap 1 jam (cuaca cerah).

Jam (WIB)	Energi listrik pengisian aki (Wh)	
	Sistem kontrol pasif	Sistem kontrol aktif
08.00 – 09.00	15,16	20,72
09.00 – 10.00	17,89	22,65
10.00 – 11.00	21,95	24,33
11.00 – 12.00	25,89	25,89
12.00 – 13.00	23,63	26,04
13.00 – 14.00	19,42	24,05
14.00 – 15.00	15,58	20,66
15.00 – 16.00	8,72	14,66
Jumlah	148,24	183,95
Rata – rata	18,53	22,99

Berdasarkan Tabel 6, kenaikan energi listrik yang dihasilkan oleh panel sel surya saat menggunakan sistem kontrol mekanik aktif terhadap sistem kontrol mekanik pasif dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Kenaikan} = \frac{\sum E_{\text{aktif}} - \sum E_{\text{pasif}}}{\sum E_{\text{pasif}}} \times 100\% \tag{3}$$

$$\text{Kenaikan} = \frac{183,95 - 148,24}{148,24} \times 100\% = 24,09\% \quad (4)$$

3.2 Pengujian Keseluruhan Alat

Pengujian keseluruhan perangkat alat dilakukan dengan mengoperasikan alat 24 jam per hari selama 20 hari berturut-turut. Perangkat dioperasikan dengan sistem kontrol pasif selama 10 hari dan 10 hari berikutnya perangkat dioperasikan dengan sistem kontrol aktif. Pengoperasian perangkat ini dilakukan dari pukul 08.00 WIB hingga kapasitas aki mencapai batas minimum untuk menyalakan ketiga lampu LED pada malam hari. Sebelum dilakukan pengujian, aki dikosongkan terlebih dahulu hingga mencapai batas minimum, dengan demikian energi yang tersimpan di dalam aki seluruhnya berasal dari panel sel surya saat pengujian siang harinya. Pengujian pada siang hari dilakukan untuk mengetahui apakah sistem kontrol panel sel surya, pengisian aki, dan perangkat lunak dapat bekerja dengan baik atau tidak. Sedangkan pengujian pada malam hari dilakukan untuk mengetahui lamanya ketiga lampu LED dapat menyala sampai kapasitas aki mencapai batas minimum.

Dari hasil pengujian siang hari dengan sistem kontrol pasif didapatkan bahwa bila pada awal pengujian panel sel surya tidak menghadap ke arah jam 12, maka sistem kontrol dapat menghadapkan panel sel surya ke arah jam 12. Hingga pengujian keseluruhan sistem selesai, panel sel surya tetap menghadap ke arah jam 12. Aki juga diisi mulai pukul 08.00 WIB – 16.00 WIB. Pengisian aki dan lampu LED sepenuhnya dikontrol oleh pengguna. Hasil pengujian malam hari dengan sistem kontrol pasif ditunjukkan seperti pada Tabel 7.

Tabel 7 Hasil pengujian malam hari (pasif).

Hari ke -	Lama lampu LED hidup
1	3 jam 30 menit
2	6 jam 0 menit
3	7 jam 10 menit
4	6 jam 40 menit
5	7 jam 0 menit
6	7 jam 10 menit
7	4 jam 30 menit
8	7 jam 30 menit
9	7 jam 40 menit
10	5 jam 30 menit
Rata – rata	6 jam 15 menit

Dari hasil pengujian siang hari dengan sistem kontrol aktif didapatkan bahwa pada pukul 08.00 WIB hingga pukul 16.00 WIB panel sel surya bergerak sesuai posisi matahari dan terjadi pengisian aki. Jika kondisi ruangan gelap, sistem kontrol panel sel surya dan pengisian aki dihentikan, kemudian sistem menyalakan ketiga lampu LED. Tabel 8 menunjukkan hasil pengujian malam hari dengan sistem kontrol aktif.

Tabel 8 Hasil pengujian malam hari (aktif).

Hari ke -	Lama lampu LED hidup
11	8 jam 45 menit
12	9 jam 0 menit
13	8 jam 30 menit
14	6 jam 5 menit
15	7 jam 30 menit
16	9 jam 5 menit
17	9 jam 10 menit
18	8 jam 20 menit
19	5 jam 5 menit
20	7 jam 10 menit
Rata - rata	7 jam 52 menit

Dengan asumsi bahwa kondisi cuaca secara rata-rata adalah sama pada saat pengujian, didapatkan bahwa pengaturan panel sel surya secara aktif meningkatkan energi yang disimpan aki sebesar 24%.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis hasil pengujian didapatkan bahwa lampu LED yang dibuat lebih terang 1,56 kali dan daya yang dibutuhkan hanya 26% dibandingkan lampu pijar 25 W. Bila dibandingkan dengan lampu CFL 5 W, lampu LED lebih terang 1,07 kali dan daya yang diserap hanya 80%. Namun demikian cahaya yang dihasilkan oleh lampu LED yang dibuat relatif terfokus dibandingkan lampu pijar dan CFL. Selanjutnya, dengan menggunakan perangkat penjejak posisi matahari secara aktif, penyimpanan energi listrik pada aki meningkat lebih dari 24% selama 10 hari pengujian.

Daftar Pustaka

- [1] http://www.cree.com/press/press_detail.asp?i=1150834953712
- [2] Kasap, S. 2001. *pn Junction Devices and Light Emitting Diode*. Canada: Electrical Engineering Department University of Saskatchewan.
- [3] Wikipedia: *Light-Emitting Diode*.
http://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode
- [4] Pressman, A.I. 1998. *Switching Power Supply Design*. Second Edition. New York: McGraw – Hill Companies, Inc.
- [5] Patel, M.R. 1999. *Wind and Solar Power Systems*. New York: CRC Press.
- [6] Putra, A.E. 2002. *Belajar Mikrokontroler AT89C51/52/55: Teori dan Aplikasi*. Yogyakarta: Gava Media.