

PROTOTYPE CHARGER BATERAI MENGGUNAKAN SUMBER ENERGI MATAHARI, LISTRIK, DAN MEKANIK

Hartanto Prayogo¹⁾, Antonius Wibowo²⁾
E-mail: h4r_p@yahoo.com, blazeid@yahoo.com

ABSTRAK

Pada penelitian ini dibuat sebuah alat "Prototipe Charger Baterai Menggunakan Sumber Energi Matahari, Listrik, Dan Mekanik". Alat ini berfungsi untuk mengisi ulang baterai lithium-ion. Sumber listrik yang digunakan pada alat ini terdiri dari tiga macam, yaitu solar cell, power supply, dan generator. Dalam menentukan sumber arus listrik yang diinginkan, alat ini menggunakan sistem relay otomatis yang diproses oleh AVR microcontroller AT 8535.

Banyaknya baterai yang akan diisi dapat dipilih dari tombol-tombol dan ditampilkan di LCD, sehingga data yang dipilih dapat diproses oleh AVR microcontroller AT 8535 untuk mengirimkan kombinasi data ke rangkaian charger (menggunakan IC MAX 745) supaya batas tegangan yang diperlukan dapat diproses dari banyaknya baterai yang telah dipilih. Proses pengisian baterai akan berhenti apabila baterai telah terisi penuh atau terjadi overheating. LCD digunakan untuk menampilkan kondisi tegangan power supply, solar cell, dan generator, dan kemudian menampilkan menu banyaknya jumlah baterai yang akan diisi dan memonitor arus pengisian baterai.

Dari hasil penelitian, alat ini dapat mengisi baterai lithium-ion berjumlah 1-4 buah dengan baik. Sistem switch otomatis telah bekerja dengan baik untuk peralihan sumber listrik (power supply, solar cell, generator) menurut prioritas yang diberikan. Sistem pengaman saat baterai penuh atau terlalu panas telah berjalan dengan baik.

Kata kunci: solar cell, AVR microcontroller AT 8535, LCD, pengisian baterai, Lithium-Ion

PENDAHULUAN

Energi alternatif saat ini sudah banyak diaplikasikan untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia. Contohnya solar cell, alat ini mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Semakin tinggi spesifikasi dan efisiensi output solar cell, semakin mahal harganya. Contoh energi alternatif lain yang sering digunakan untuk perindustrian yaitu generator. Prinsip kerja generator ini mengubah energi mekanik menjadi energi listrik.

Pada alat "Prototipe Charger Baterai Menggunakan Sumber Energi Matahari, Listrik, dan Mekanik" adalah suatu penggabungan dari dua energi alternatif di atas dan menggunakan listrik PLN. Sumber listrik yang digunakan terdapat tiga macam, yaitu solar cell (sumber dari cahaya matahari), power supply (sumber listrik PLN), dan generator (sumber gerakan mekanik). Alat ini diupayakan dapat mengurangi kebutuhan listrik rumah tangga dengan sarana energi alternatif yang disediakan yaitu solar cell dan generator. Semua sumber listrik tidak digunakan sekaligus, tetapi salah satu sumber listrik saja yang digunakan bila memenuhi suatu batas tegangan yang diperlukan sesuai dengan prioritas yang telah ditetapkan, yaitu solar cell, generator, dan terakhir power supply.

TINJAUAN PUSTAKA

Baterai

Sebuah baterai yang sebenarnya adalah sel listrik yaitu sebuah alat yang dapat menghasilkan listrik dari sebuah reaksi kimia. Secara umum baterai dikelompokkan menjadi 2 bagian, yaitu baterai primer dan baterai sekunder. Baterai primer adalah baterai yang dapat digunakan sekali saja tanpa dapat diisi ulang setelah kapasitasnya habis. Baterai sekunder adalah baterai yang dapat diisi ulang setelah kapasitasnya habis. Pada bagian selanjutnya akan dibahas secara lengkap tentang baterai jenis yang kedua yaitu baterai sekunder atau lebih dikenal dengan rechargeable battery^[1].

Lithium-Ion

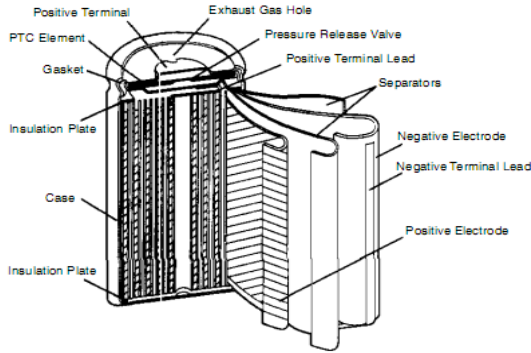
Baterai lithium-ion memiliki 3 lapisan yang strukturnya bergulung di dalam tempatnya. Tiga lapisan ini terdiri dari: elektroda positif yang terbuat dari lithium cobalt oxide sebagai bahan utama, elektroda negatif terbuat dari karbon khusus, dan lapisan pemisah.

Baterai lithium-ion dibuat menggunakan lithium cobalt oxide (LiCoO_2) atau lithium manganese oxide (LiMn_2O_4) sebagai elektroda positif (memiliki sifat perputaran yang baik

¹⁾ Mahasiswa di Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

²⁾ Staf Pengajar di Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

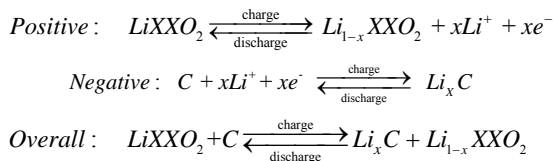
pada tegangan tinggi), karbon khusus yang dikristalisasi sebagai elektroda negatif dan



Gambar 1. Struktur Baterai Li-Ion (Silinder)

larutan organik yang dioptimisasi untuk karbon khusus sebagai larutan elektrolit.

Reaksi yang berlangsung dengan baterai Li-Ion pada saat pengisian (charge) dan pada saat pemakaian (discharge) dapat diungkapkan dengan persamaan sebagaimana disajikan pada Gambar 2 sebagai berikut.

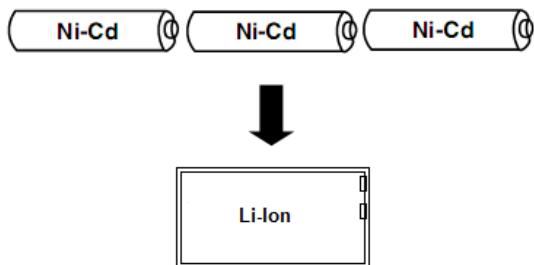


Gambar 2. Reaksi Kimia Dalam Baterai Li-Ion

Kelebihan baterai Li-ion antara lain:

1. Energi yang disimpan lebih tinggi;
2. Tegangan baterai yang tinggi;
3. Tidak memiliki *memory effect*;
4. Laju *self-discharge* rendah;
5. Ramah lingkungan karena tidak mengandung racun;
6. Tegangan *discharge* yang datar.

Tegangan baterai Li-Ion disajikan pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Tegangan Baterai Li-Ion

Di samping kelebihan di atas, baterai Li-Ion juga memiliki kekurangan, di antaranya:

1. Harganya yang relatif mahal dibandingkan dengan NiCd/NiMH;

2. Bentuk baterai tidak terdapat seperti bentuk baterai standar (AA) seperti pada baterai NiMH/NiCd;
3. Membutuhkan rangkaian pengaman dari *overcharging*.

IC MAX 745(Switch-Mode Lithium-Ion Battery-Charger)

IC MAX 745 ini menyediakan fungsi khusus untuk mengisi baterai *lithium-ion*. Tegangan tiap buah baterai dapat diatur antara 4-4,4 V dengan menggunakan *resistor*, dan jumlah baterai diatur dari 1-4 dengan pin *strapping*^[2].

Aplikasi IC MAX 745

IC MAX 745 ini dapat digunakan untuk mengisi berbagai jenis baterai *lithium* di antaranya:

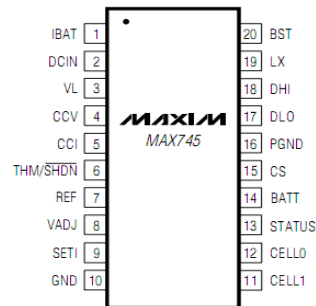
- Kemasan baterai lithium;
- Baterai *handphone*;
- Baterai *notebook*.

Fungsi khusus IC MAX 745 antara lain:

- Dapat mengisi baterai *lithium-ion* dengan jumlah berkisar 1-4 buah;
- Sekitar 0,75% *Voltage-Regulation accuracy using 1% resistor*;
- Menyediakan konsumsi arus sampai dengan 4 A tanpa panas yang berlebihan;
- Efisiensi 90%;
- Tegangan masuk maksimal 24 V;
- Tegangan total baterai *lithium-ion* maksimal 18 V.

Konfigurasi IC MAX 745

Konfigurasi Pin IC MAX 745 disajikan pada Gambar 4 sebagai berikut:



Gambar 4. Konfigurasi Pin IC Max 745

Penjelasan masing-masing pin IC Max 745 sebagai berikut:

- Pin 1 = IBAT: berfungsi untuk *me-monitor* pengisian arus pada baterai;

- Pin 2 = *DCIN*: *Supply* berfungsi untuk rangkaian *charger*. Diberi *bypass capacitor* 0,1 μF ;
- Pin 3 = *VL*: berfungsi sebagai sumber tegangan *chip*. Keluaran tegangan linier sebesar 5,4 V dari pin *DCIN*. Pin *VL* diberi *bypass capacitor* 4,7 μF ;
- Pin 4 = *CCV*: batas Regulasi Tegangan;
- Pin 5 = *CCI*: batas Regulasi Arus;
- Pin 6 = *THM/SHDN*: berfungsi untuk melakukan pemutusan fungsi *charging* apabila tegangan pin mencapai batas 2,1 V. Jika diberi logika *low*, maka proses *charging* akan dihentikan;
- Pin 7 = *REF*: tegangan referensi sebesar 4,2 V. Diberi *bypass capacitor* 0.1 μF atau lebih;
- Pin 8 = *VADJ*: tegangan pin berkisar antara 0 sampai V_{ref} . Tegangan pin dapat diatur dengan menggunakan *resistor* pembagi tegangan;
- Pin 9 = *SETI*: terdapat *resistor* pembagi tegangan antara pin *REF* dan *GND* untuk mengatur arus *charging* maksimal;
- Pin 10 = *GND*: *ground*;
- Pin 11,12 = *CELL 0*, *CELL 1*: *input* logika untuk menentukan banyaknya jumlah baterai yang akan di-charge;
- Pin 13 = *STATUS*: digunakan untuk mengetahui kondisi *charging* dalam keadaan regulasi arus ketika tegangan pin kecil (sekitar 1 V) dan saat tegangan pin bertambah besar, maka beralih ke kondisi regulasi tegangan. Koneksikan pin *STATUS* ke *VL* di antara *led* dan *resistor*. Jika tidak dipakai sebaiknya pin diambangkan.
- Pin 14 = *BATT*: tegangan *output* ke baterai *lithium*;
- Pin 15 = *CS*: berfungsi untuk pembacaan arus *charging*;
- Pin 16 = *PGND*: *power ground*;
- Pin 17 = *DLO*: bagian *low output driver MOSFET*;
- Pin 18 = *DHI*: bagian *high output driver MOSFET*;
- Pin 19 = *LX*: koneksi sumber tegangan bagian *hi driver MOSFET*;
- Pin 20 = *BST*: tegangan *input* bagian *high driver MOSFET*.

DC Power Supply

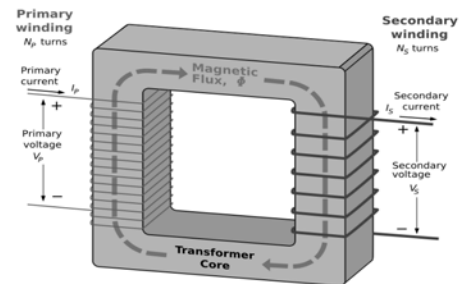
Pada penelitian ini rangkaian *power supply* digunakan sebagai sumber daya bagi sistem *charger* dan rangkaian *charger*. Keduanya dilengkapi dengan sebuah kapasitor untuk menjaga kondisi sistem saat sumber daya

mati (habis), dengan demikian *ripple* tegangan yang terjadi tidak terlalu besar.

Ada beberapa komponen yang perlu diperhatikan berkaitan dengan *power supply* seperti:

- Transformator

Transformator merupakan komponen elektronika pemindah energi listrik yang memiliki sisi *input* (primer) dan sisi *output* (sekunder). Cara kerja transformator berdasarkan pada 2 prinsip. Pertama, arus listrik dapat menghasilkan medan magnet (elektromagnetik). Sedangkan yang kedua, perubahan medan magnet di antara lilitan konduktor menimbulkan tegangan induksi pada ujung-ujung lilitan (induksi elektromagnetik) sebagaimana disajikan pada Gambar 5 di bawah ini.



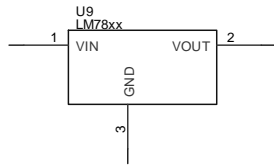
Gambar 5. Prinsip Kerja Transformator

Transformator terdiri atas sedikitnya 2 lilitan pada inti magnetik tunggal. Adapun tujuan utama menggunakan transformator yaitu untuk mengubah energi pada sisi primer menjadi level tegangan yang berbeda pada sisi sekunder, caranya dengan mengatur jumlah lilitan pada sisi primer dan sekunder. Perbandingan tegangan ekuivalen dengan perbandingan jumlah lilitan. Untuk keperluan pembuatan rangkaian *power supply* dalam penelitian ini dipakai *transformator step-down*, yang berfungsi untuk menurunkan tegangan dari 220 VAC menjadi 6 VAC dan 18 VAC.

- IC Regulator

IC Regulator merupakan suatu *IC* yang memiliki fungsi menjaga kestabilan tegangan DC. *IC regulator* memiliki tiga kaki (seperti ditunjukkan pada Gambar 6) yang terdiri atas: *input* tegangan awal, *ground*, dan *output* tegangan yang diinginkan (tergantung dari *IC regulator* yang digunakan). *Regulator* yang digunakan pada penelitian ini adalah tipe 7818 dan 7805. *IC regulator* tipe 7818 memiliki tegangan *output* positif. Dua digit

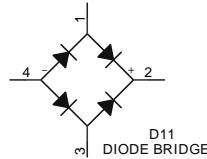
akhir dari *IC regulator 78xx* untuk menunjukkan besar tegangan *output* dari *regulator* tersebut.



Gambar 6. Skema *IC regulator*

- *Dioda bridge*

Dioda bridge/rectifier ini digunakan untuk mengubah tegangan *AC* menjadi tegangan *DC*. *Dioda rectifier* yang sering digunakan pada pembuatan *power supply DC* adalah *full-wave bridge rectifier*. Pada *full-wave bridge rectifier* menggunakan empat dioda. Susunan pada *full-wave bridge rectifier* disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Susunan *Full-Wave Bridge Rectifier* Pada *Dioda Bridge*

Solar Cell

Definisi dan Sejarah *Solar Cell*

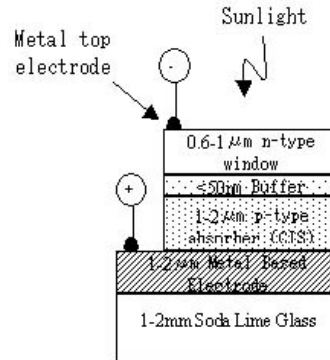
Solar cell adalah alat yang dapat mengkonversi energi cahaya (matahari) menjadi energi listrik secara langsung melalui proses *photovoltaic*. Pengembangan teknologi sel matahari berawal pada tahun 1839 dari riset ilmuwan fisika Perancis Antoine-Cesar Becquerel. Becquerel mengamati efek *photovoltaic* dengan percobaan suatu elektroda di dalam suatu aki asam ketika tegangan terbentuk akibat cahaya menyerang elektroda itu. Menurut Encyclopedia Britannica, *solar cell* pertama kali dibuat sekitar tahun 1883 oleh Charles Fritts, di mana *solar cell* dibuat menggunakan simpangan yang dibentuk oleh *coating selenium* (suatu semikonduktor) dengan lapisan emas yang sangat tipis. Awalnya *solar cell* mempunyai efisiensi konversi energi dibawah 1%. Pada tahun 1941 *silicon solar cell* telah ditemukan oleh Russell Ohl^[3].

Prinsip Kerja *Solar Cell*

Efek *photovoltaic (PV)* adalah dasar dari proses fisis di mana sel *PV* mengkonversi cahaya matahari menjadi listrik. Cahaya matahari terdiri atas foton atau partikel dari energi matahari. Foton berisi berbagai jenis

energi sesuai dengan panjang gelombang dari spektrum cahaya matahari yang berbeda.

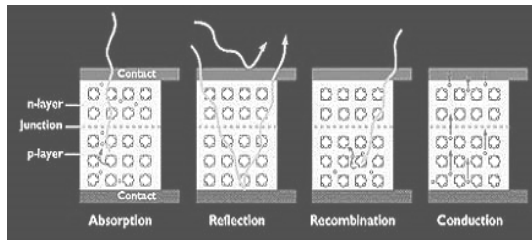
Secara sederhana *solar cell* terdiri dari persambungan bahan semikonduktor bertipe p dan n (*p-n junction semiconductor*) yang jika tertimpa sinar matahari, maka akan terjadi aliran elektron, aliran elektron inilah yang disebut sebagai aliran arus listrik. Sedangkan struktur dari *solar cell* adalah sebagaimana disajikan dalam Gambar 8 di bawah ini.



Gambar 8. Struktur Lapisan Tipis *Solar Cell* Secara Umum

Bagian utama perubah energi sinar matahari menjadi listrik adalah *absorber* (penyerap), meskipun demikian, masing-masing lapisan juga sangat berpengaruh terhadap efisiensi dari *solar cell*. Oleh karena itu dengan *absorber* ini diharapkan dapat menyerap sebanyak mungkin *solar radiation* yang berasal dari cahaya matahari. Sinar matahari yang terdiri dari foton-foton, jika menimpa permukaan bahan *solar cell (absorber)*, akan diserap, dipantulkan, atau dilewatkan begitu saja (lihat Gambar 8), dan hanya foton dengan *level* energi tertentu yang akan membebaskan elektron dari ikatan atomnya, sehingga mengalirlah arus listrik. *Level* energi tersebut disebut energi *band-gap* yang didefinisikan sebagai sejumlah energi yang dibutuhkan untuk mengeluarkan elektron dari ikatan kovalennya, sehingga terjadilah aliran arus listrik. Untuk membebaskan elektron dari ikatan kovalennya, energi foton (hc/v) harus sedikit lebih besar atau di atas daripada energi *band-gap*. Jika energi foton terlalu besar daripada energi *band-gap*, maka energi ekstra tersebut akan diubah dalam bentuk panas pada *solar cell*. Proses peralihan sinar yang diproses pada *solar cell* disajikan pada Gambar 9 berikut.

Tentu saja agar efisiensi dari *solar cell* bisa tinggi, maka foton yang berasal dari sinar matahari harus bisa diserap yang sebanyak banyaknya, kemudian memperkecil refleksi dan



Gambar 9. Peralihan Sinar Yang Diproses Pada Solar Cell

rekombinasi serta memperbesar konduktivitas dari bahannya^[4].

Jenis Solar Cell

Material yang paling lazim digunakan untuk solar cell adalah *crystalline silicon*. *Crystalline silicon* dikelompokkan berdasarkan ukuran kristal. Jenis-jenis solar cell sebagai berikut:

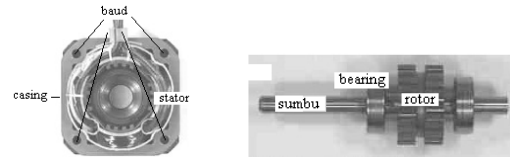
1. *Monocrystalline Silicon (C-Si)*, sering dibuat menggunakan proses Czochralski. Jenis bahan ini cenderung lebih mahal karena merupakan potongan dari batang logam silinder, tidak sepenuhnya mencakup solar cell berbentuk persegi. Oleh sebab itu panel *C-Si* menemukan kesenjangan pada keempat sudut sel.
2. *Poly/Multicrystalline Silicon (Poly-Si/Mc-Si)* yang dibuat dari batang logam kotak, blok besar dari silikon cair secara teliti melalui proses pendinginan dan pematatan. Sel *Poly-Si* lebih murah untuk diproduksi daripada *C-Si*, tetapi kurang efisien^[5].

Motor Stepper

Motor Stepper merupakan salah satu tipe motor yang banyak digunakan untuk aplikasi-aplikasi dengan menggunakan torsi yang kecil sebagai penggerak. Contoh aplikasi dengan menggunakan *motor stepper* adalah sebagai penggerak/pemutar (*movement unit/activator*) piringan disket atau piringan CD, bahkan printer yang sering dipakai sehari-hari. Prinsip kerja *motor stepper* pada umumnya adalah mengubah pulsa-pulsa *digital* menjadi keluaran mekanik yang berupa perputaran poros motor. Tetapi pada alat penelitian yang dibuat *motor stepper* dikondisikan sebagai generator yang dapat menghasilkan tegangan keluaran AC jika diputar secara mekanik. Proses ini mengubah energi mekanik menjadi energi listrik.

Bagian-bagian dari *motor stepper* yaitu tersusun atas: *rotor*, *stator*, *bearing*, *casing*, dan sumbu. Sumbu merupakan pegangan dari *rotor* di mana sumbu merupakan bagian tengah dari *rotor*, sehingga ketika *rotor* berputar sumbu ikut berputar. *Stator* memiliki dua bagian yaitu

pelat inti dan lilitan. Plat inti dari *motor stepper* ini biasanya menyatu dengan *casing*. *Casing motor stepper* terbuat dari aluminium dan ini berfungsi sebagaiudukan *bearing* dan *stator* pemegangnya adalah baut sebanyak empat buah. Di dalam *motor stepper* terdapat dua buah *bearing* yaitu *bearing* bagian atas dan *bearing* bagian bawah. Bagian-bagian *motor stepper* disajikan pada Gambar 10 di bawah ini.



Gambar 10. Bagian Motor Stepper

Secara umum semakin tinggi jumlah langkah-langkah di motor, semakin rendah perputaran (dinyatakan dalam rotasi per menit, rpm) yang dibutuhkan untuk menghasilkan tegangan. Tiap langkah motor membentuk sudut 1,8 derajat atau 3,6 derajat. Jadi jumlah langkah motor sekali putaran untuk sudut 1,8 derajat adalah $360 \text{ derajat} / 1,8 \text{ derajat} = 200$ langkah, untuk sudut 3,6 derajat adalah $360 \text{ derajat} / 3,6 \text{ derajat} = 100$ langkah. Jadi untuk menghasilkan tegangan dengan perputaran (rpm) rendah lebih baik menggunakan motor yang mempunyai 200 langkah dengan sudut 1,8 derajat^[6].

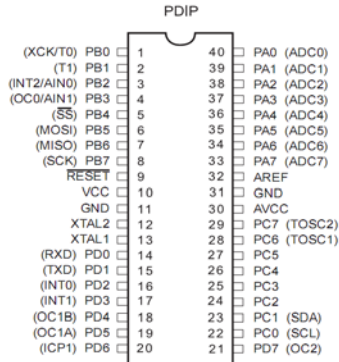
Mikrokontroler ATmega8535

Mikrokontroler yang diproduksi oleh perusahaan *ATMEL* terbagi menjadi dua macam yaitu keluarga *MCS51* (*AT89C51*, *AT89C52*, *AT89S51*, dan lain-lainnya) dan keluarga *AVR* (*AT90S1200*, *AT90S4433*, *ATmega8535*, dan lain-lainnya). Pada penelitian ini digunakan mikrokontroler *ATmega8535* yang secara umum memiliki spesifikasi sebagai berikut^[7]:

1. Memiliki arsitektur *Reduced Instruction Set Computers (RISC)* dengan disipasi daya yang rendah dan performa yang tinggi;
2. Mikrokomputer 8 bit dengan 8K Bytes *In-System Programmable Flash*;
3. 512 bytes *Electrical Erasable and Programmable Read Only Memory (EEPROM)*;
4. *EEPROM* dan 512 bytes *Static Random Access Memory (SRAM)*;
5. 32 jalur *input/output*;
6. *Real Time Clock (RTC)*;
7. *Interrupt internal* dan eksternal;
8. 3 buah *Timer/Counter*;
9. 8 channel 10 bit *Analog to Digital Converter (ADC)*.

Konfigurasi Pin IC ATmega8535

Mikrokontroler ATmega8535 dikemas dalam kemasan 40-pin dual in-line package (DIP), konfigurasi pin secara umum disajikan pada Gambar 10 di bawah ini.



Gambar 11. Konfigurasi Pin ATmega8535

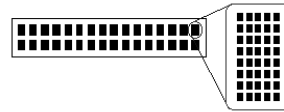
Secara umum, fungsi dari pin yang dimiliki oleh IC mikrokontroler ATmega8535 adalah sebagai berikut:

1. **VCC:** Pin yang dihubungkan ke terminal tegangan +5 volt sebagai sumber tegangan digital dari mikrokontroler;
2. **GND:** Pin yang dihubungkan ke ground sumber (VCC) sebagai sumber ground digital dari mikrokontroler;
3. **PORT A :** Terdiri dari PA0 sampai dengan PA7, merupakan 8 bit port I/O dua arah apabila fungsi ADC tidak digunakan. Pada port A telah tersedia resistor pull-up internal. Pin port A akan menjadi tri-stated ketika kondisi reset aktif, meskipun clock tidak bekerja;
4. **PORT B:** Terdiri dari PB0 sampai dengan PB7, merupakan 8 bit port I/O dua arah dengan resistor pull-up internal. Pin port B akan menjadi tri-stated ketika kondisi reset aktif, meskipun clock tidak bekerja;
5. **PORT C:** Terdiri dari PC0 sampai dengan PC7, merupakan 8 bit port I/O dua arah dengan resistor pull-up internal. Pin port C akan menjadi tri-stated ketika kondisi reset aktif, meskipun clock tidak bekerja;
6. **PORT D :** Terdiri dari PD0 sampai dengan PD7, merupakan 8 bit port I/O dua arah dengan resistor pull-up internal. Pin port D akan menjadi tri-stated ketika kondisi reset aktif, meskipun clock tidak bekerja;
7. **RESET:** Reset input, digunakan untuk mengawali program dari awal. Reset eksternal dapat dibangkitkan dengan memberikan level low pada pin reset dengan durasi minimal 1,5 µs;

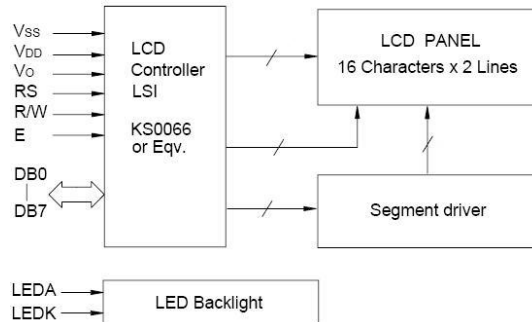
8. **XTAL 1:** input untuk amplifier oscillator inverting dan input untuk rangkaian operasi clock internal;
9. **XTAL 2:** Output dari amplifier oscillator inverting;
10. **AVCC:** AVCC adalah pin supply tegangan untuk ADC, apabila ADC tidak digunakan, maka pin ini harus dihubungkan ke VCC. Jika ADC digunakan, maka pin ini harus dihubungkan ke VCC melalui Low Pass Filter;
11. **AREF:** AREF adalah input referensi analog untuk ADC. Untuk pengoperasian ADC, pin ini harus dihubungkan dengan tegangan 2 volt sampai AVCC.

Liquid Crystal Display (LCD)

LMB162A adalah salah satu jenis Liquid Crystal Display(LCD) 2x16. LCD 2x16 adalah sebuah LCD dengan tampilan 2 baris, dengan 16 kolom pada tiap baris. Masing-masing kolom terdiri dari 5x8 dot matrix. Tampilan LCD 2x16 disajikan pada Gambar 12. Blok diagram LCD 2x16 disajikan pada Gambar 13^[8].



Gambar 12. Tampilan LCD 2x16



Gambar 13. Blok Diagram LCD 2x16

LMB162A memiliki 16 pin, kegunaan masing-masing pin akan dijelaskan sebagai berikut:

- Pin 1: Vss, berfungsi sebagai ground pin;
- Pin 2: Vdd, berfungsi sebagai supply voltage. Tegangan untuk pin ini adalah +5 V;
- Pin 3: Vo, berfungsi sebagai power supply LCD;
- Pin 4: Register Selectioni (RS). Jika diberi logika high berfungsi sebagai display data,

sedangkan jika diberi logika *low* berfungsi sebagai *instruction code*.

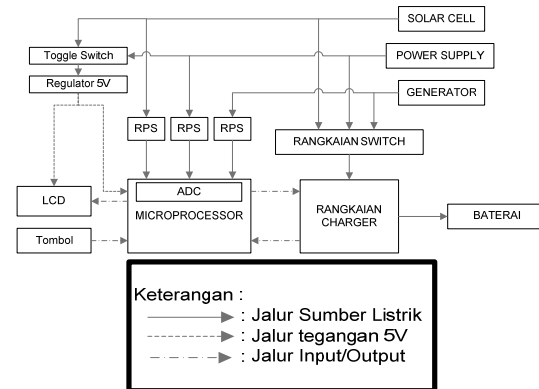
- Pin 5: *Read/Write Selection (R/W)*. Jika diberi logika *high* berfungsi untuk *read operation*, sedangkan jika diberi logika *low* berfungsi untuk *write operation*;
- Pin 6: *Enable Signal (E)*;
- Pin 7: *DB0*. Dalam 8-bit *mode* berfungsi sebagai *low order data*. Dalam 4-bit *mode* tidak perlu digunakan;
- Pin 8: *DB1*. Dalam 8-bit *mode* berfungsi sebagai *low order data*. Dalam 4-bit *mode* tidak perlu digunakan;
- Pin 9: *DB2*. Dalam 8-bit *mode* berfungsi sebagai *low order data*. Dalam 4-bit *mode* tidak perlu digunakan;
- Pin 10: *DB3*. Dalam 8-bit *mode* berfungsi sebagai *low order data*. Dalam 4-bit *mode* tidak perlu digunakan;
- Pin 11: *DB4*. Dalam 8-bit *mode* berfungsi sebagai *high order data*. Dalam 4-bit *mode* berfungsi sebagai *high order data* dan *low order data*;
- Pin 12: *DB5*. Dalam 8-bit *mode* berfungsi sebagai *high order data*. Dalam 4-bit *mode* berfungsi sebagai *high order data* dan *low order data*;
- Pin 13: *DB6*. Dalam 8-bit *mode* berfungsi sebagai *high order data*. Dalam 4-bit *mode* berfungsi sebagai *high order data* dan *low order data*;
- Pin 14: *DB7*. Dalam 8-bit *mode* berfungsi sebagai *high order data*. Dalam 4-bit *mode* berfungsi sebagai *high order data* dan *low order data*;
- Pin 15: *LED A. LED power supply (+5 V)*;
- Pin 16: *LED K. LED power supply (0 V)*.

METODE PENELITIAN

Perancangan Sistem

Dalam bagian ini dijelaskan tentang perancangan dan perencanaan alat, yang meliputi perancangan perangkat keras (*hardware*) dan perancangan perangkat lunak (*software*). Pada alat ini terdapat 3 sumber listrik untuk proses pengisian baterai yaitu *solar cell*, *power supply*, dan generator. Sumber listrik yang digunakan untuk proses pengisian bekerja secara otomatis memilih sumber listrik yang memenuhi untuk proses pengisian menurut prioritas (*solar cell*, generator, dan *power supply*). Untuk daya sistem (mikrokontroler, *lcd*, dan *switch*) dapat menggunakan sumber listrik *solar cell* atau *power supply* yang dapat dipilih melalui *toggle switch*. Di dalam alat terdapat *LCD* untuk

menampilkan data-data tegangan tiap sumber listrik dan untuk informasi pemilihan jumlah baterai yang akan diisi. Pemilihan jumlah baterai secara *manual* diproses oleh mikrokontroler berupa kombinasi logika untuk diproses lagi ke rangkaian *charger* untuk menentukan tegangan pengisian yang diperlukan baterai dari jumlah baterai yang telah ditentukan. Perangkat keras yang dirancang untuk bagian elektroniknya berdasarkan diagram blok sebagaimana disajikan pada Gambar 14 di bawah ini:



Gambar 14. Diagram Blok Alat Charger

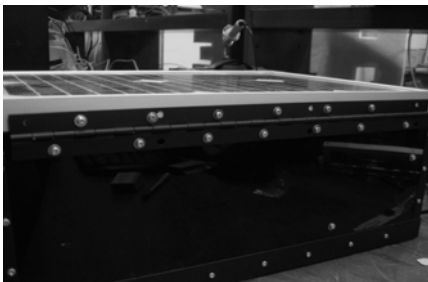
Penjelasan dari diagram blok pada Gambar 14 adalah sebagai berikut:

1. Tombol digunakan untuk menentukan banyaknya baterai yang akan diisi, memulai, dan menghentikan proses pengisian baterai;
2. Mikrokontroler adalah otak dari alat ini, yang berfungsi untuk menentukan sumber arus listrik yang memenuhi, *me-monitor* sumber arus listrik, mengolah data dari tombol, mengirimkan data logika banyaknya baterai yang dipilih ke rangkaian *charger*, dan mengirimkan data ke *LCD*;
3. Rangkaian *charger* dipakai untuk mengolah data *output* dari mikrokontroler agar dapat menentukan besarnya tegangan *output* yang dibutuhkan menurut banyaknya baterai yang dipilih (dari tombol), menentukan tegangan pengisian baterai, menentukan arus pengisian baterai, menjaga kondisi baterai dari *overcharging*;
4. *Solar cell* digunakan sebagai sumber daya listrik untuk rangkaian *charger* supaya dapat berjalan sesuai dengan fungsinya;
5. *Power Supply* digunakan sebagai sumber daya listrik untuk rangkaian *charger* dan sistem (mikrokontroler, *lcd*, dan *switch*)

- supaya dapat berjalan sesuai dengan fungsinya;
6. Generator digunakan sebagai sumber daya listrik untuk rangkaian *charger* supaya dapat berjalan sesuai dengan fungsinya;
 7. *LCD* digunakan untuk menampilkan kondisi sumber arus listrik, menampilkan jumlah baterai yang akan diisi, menampilkan suhu baterai, dan menampilkan arus pengisian;
 8. *RPS* adalah rangkaian pengkondisi sinyal untuk mengubah kisaran tegangan sumber listrik ke kisaran tegangan referensi *adc* yang dipakai pada mikrokontroler yaitu 0-2,56 V;
 9. Rangkaian *switch* menggunakan *relay* untuk mengaktifkan sumber listrik yang memenuhi untuk sistem pengisian;
 10. Baterai *lithium-ion* adalah obyek yang akan diisi.

Perancangan Mekanik

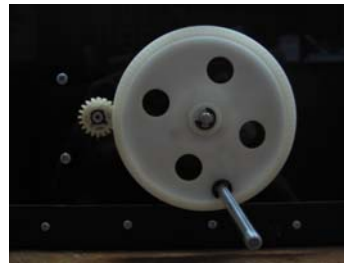
Perancangan mekanik boks tampak depan disajikan pada Gambar 15 di bawah ini. Boks alat dibuat mengikuti besarnya dimensi dari *solar cell*. *Solar cell* digunakan secara mekanik sebagai penutup boks, maka dari itu dipasang engsel piano supaya dapat berfungsi sebagai pintu penutup boks.



Gambar 15. Mekanik Boks Tampak Samping

Untuk sumber daya generator, lengan mekanik dirancang sebagaimana disajikan pada Gambar 16 di bawah ini. Alat mekanik boks diberi *gear* dengan perbandingan 1:8 supaya perputaran *gear* tidak perlu terlalu cepat untuk menghasilkan tegangan yang ditentukan yaitu sebesar 20 VDC.

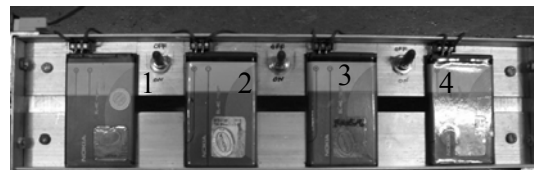
Tempat *lithium baterai* dirancang sebagaimana disajikan pada Gambar 17, di mana susunan baterai adalah seri. Susunan baterai seri dari sebelah kiri. *Toggle switch* digunakan untuk mengkoneksikan baterai 1-2, 2-3, dan 3-4. Susunan koneksi baterai disajikan pada Tabel 1.



Gambar 16. Mekanik Penggerak Generator

Tabel 1. Koneksi Baterai

| Koneksi Baterai | Kondisi <i>Switch</i> | | |
|-----------------|-----------------------|------------|------------|
| | <i>SW1</i> | <i>SW2</i> | <i>SW3</i> |
| 1 | <i>Off</i> | - | - |
| 1,2 | <i>On</i> | <i>Off</i> | - |
| 1,2,3 | <i>On</i> | <i>On</i> | <i>Off</i> |
| 1,2,3,4 | <i>On</i> | <i>On</i> | <i>On</i> |



Gambar 17. Mekanik Tempat Baterai *Lithium-Ion*

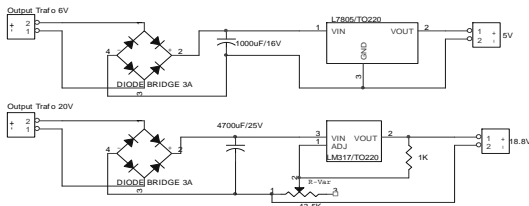
Perancangan Elektronik

Perancangan elektronik terdiri dari perancangan rangkaian *power supply*, rangkaian generator, rangkaian *switch*, rangkaian pendeteksi sumber listrik, rangkaian *charger MAX 745*, dan rangkaian mikrokontroler *ATMega8535*.

Perancangan Rangkaian *Power Supply*

Power supply ini berfungsi untuk memberikan sumber daya bagi semua rangkaian elektronik yang ada di alat *charger*. Dalam penelitian ini penulis menggunakan 2 rangkaian *power supply* dengan sebuah *transformator step down* spesifikasinya 2 A. Sumber tegangan jala-jala (AC) dimasukkan ke transformator, kemudian *output* tegangan AC dari transformator menjadi *input* bagi rangkaian dioda *bridge*, dan kemudian distabilkan oleh *IC regulator*. Tegangan yang dihasilkan oleh *power supply* 2 A adalah sekitar 5 VDC dan sekitar 18 VDC.

Adapun kegunaan dari tegangan 5 VDC adalah untuk menyediakan tegangan rangkaian mikrokontroler *AT8535*, *switch*, *lcd*, dan rangkaian pendeteksi sumber listrik. Kegunaan dari tegangan 18,8 VDC digunakan untuk menyediakan tegangan rangkaian *charger*. Tegangan 18,8 VDC ditentukan menurut tegangan *input* minimum pengisian 4 baterai supaya *power supply* dapat mengisi 4 baterai

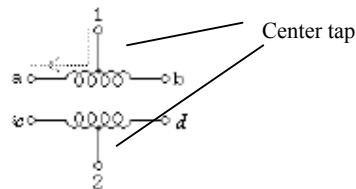


Gambar 18. Schematic Rangkaian Power Supply

lithium-ion, maka untuk maksud tersebut digunakan komponen regulator *LM317* di mana tegangan keluarannya dapat diatur. Gambar skematis dari rangkaian *power supply* disajikan pada Gambar 18.

Perancangan Rangkaian Generator

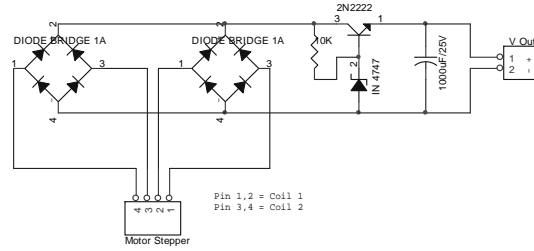
Generator pada alat ini berfungsi untuk menyediakan tenaga untuk rangkaian *charger*. Generator yang digunakan adalah *motor stepper* karena dengan dimensi dan perputaran yang sama dibandingkan dengan motor *DC*, *output* tegangan *motor stepper* lebih besar. *Motor stepper* pada umumnya mempunyai jenis lilitan *unipolar* (6 kabel). Terdapat 2 *coil* yang terhubung *center tap* yang berbeda sebagaimana disajikan pada Gambar 19. *Coil* a,b dan c,d dari *motor stepper* digunakan dalam rangkaian untuk menghasilkan *output* tegangan AC apabila *motor stepper* diputar secara mekanik.



Gambar 19. Motor Stepper Unipolar

Untuk mengetahui *coil 1* dan *coil 2*, maka tiap kabel diukur dengan hambatan *ohmeter*. Kabel 1,a,b tidak terhubung dengan kabel 2,c,d. Nilai hambatan kabel 1 dan a/b adalah setengah dari nilai hambatan kabel a dan b (*coil 1*). Begitu pula nilai hambatan kabel 2 dan c/d adalah setengah dari nilai hambatan kabel c dan d (*coil 2*). Perputaran *motor stepper* secara mekanik menghasilkan arus listrik AC, lalu arus listrik yang ke luar diserahkan oleh dioda *bridge* untuk menghasilkan arus listrik DC supaya dapat digunakan dalam proses pengisian baterai. Rangkaian dioda *bridge* digunakan karena apabila motor diputar searah atau berlawanan jarum jam, tegangan *output* tetap bernilai positif. Pada rangkaian terdapat dioda *zener* 20 V untuk membatasi tegangan *output* dari generator. Skema rangkaian generator

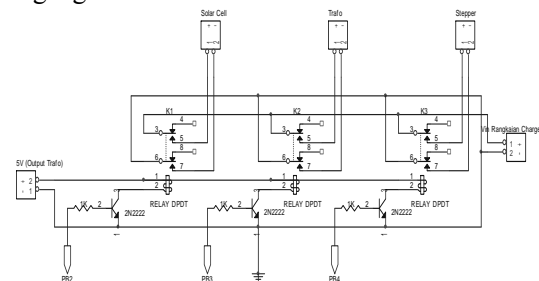
disajikan pada Gambar 20. Transistor pada rangkaian ini berguna sebagai penguat arus, lalu tegangan *output* dari transistor disusun paralel dengan kapasitor sebagai penyetabil tegangan.



Gambar 20. Skema Rangkaian Generator

Perancangan Rangkaian Switch

Rangkaian *switch* sumber arus listrik berfungsi untuk menyalurkan tegangan listrik dari sumbernya yaitu *solar cell/power supply/ generator (motor stepper)* ke rangkaian *charger* dengan sinyal *input* dari pin mikrokontroler. Rangkaian ini menggunakan *relay* 5 V dan sebuah transistor *NPN*. Gambar rangkaian *switch* disajikan pada Gambar 21. Jalur kontrol tiap *switch* terhubung ke pin mikrokontroler (*PB2, PB3, dan PB4*). Pada saat salah satu pin tersebut bernilai *high*, maka transistor akan aktif (*short*), kumparan *relay* akan aktif menarik *switch* sehingga sumber arus listrik tersebut akan *supply* tegangan ke rangkaian *charger*. Pada saat pin mikrokontroler bernilai *low*, maka transistor tidak aktif (*open*), kumparan pada *relay* tidak aktif dan posisi *switch* menjadi terbuka, maka rangkaian *charger* tidak mendapatkan *supply* tegangan.

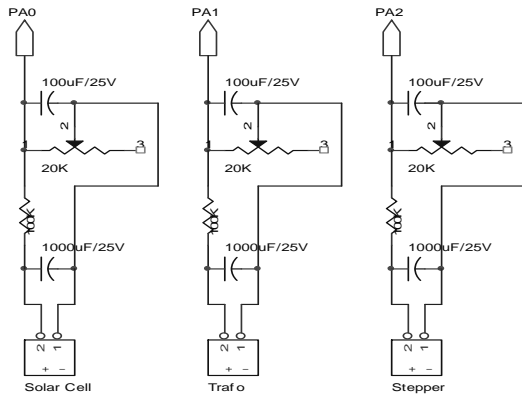


Gambar 21. Skema Rangkaian Switch

Perancangan Rangkaian Pendeteksi Sumber Listrik

Rangkaian pendeteksi sumber listrik ini berfungsi untuk mendeteksi tegangan pada tiap sumber arus listrik (*solar cell, power supply, dan generator/motor stepper*). Hasil pendeteksian tersebut akan diolah menggunakan *adc* supaya selanjutnya dapat *switch* sumber listrik mana yang layak

digunakan. Skema rangkaian pendeteksi sumber listrik disajikan pada Gambar 22. Pada rangkaian ini dirangkai seperti pembagi tegangan, di mana tegangan pembacaan *adc* pada mikrokontroler sekitar 2,56 V, maka dibutuhkan 1 resistor variabel dan 1 resistor fiks tiap sumber listrik untuk men-tuning tegangan referensi sesuai dengan spesifikasi *adc* mikrokontroler.



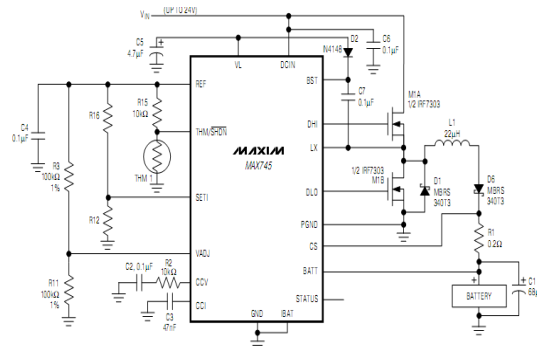
Gambar 22. Skema Rangkaian Pendeteksi Sumber Listrik

Deskripsi IC Max745

IC Max745 adalah suatu IC dengan mode *switch, charger* baterai Li+ dengan efisiensi mencapai 90%. Pada rangkaian *charger* ini IC Max745 digunakan untuk mengatur tegangan dan arus pengisian baterai dengan pembagi resistor eksternal pada pin SET1 dan VADJ, pada koneksi pin CELL0 dan CELL1 untuk menentukan jumlah baterai yang akan diisi, menjaga kondisi baterai dari keadaan *overheating* dengan yang diatur oleh pin VTHM/SHDN, dan me-monitor arus pengisian baterai. Pada rangkaian *charger* ini menggunakan metode pengisian *constant voltage* dan metode penghentian *constant current-constant voltage*.

Penentuan Tegangan Rangkaian

Skema rangkaian *charger* IC Max745 pada umumnya sebagaimana disajikan pada Gambar 23. Nilai komponen yang akan ditentukan adalah nilai R12, R16, Ribat, dan THM. Komponen pada Gambar 23 yang diganti dengan komponen lain yaitu IRF7303 diganti IRF24zn dan MBRS340T3 diganti 1N5821. Kedua komponen tersebut diganti dengan komponen sejenisnya yang terdapat di pasaran. Perhitungan rangkaian ini digunakan untuk menentukan tegangan tiap satuan baterai *lihtium-ion*, menentukan arus pengisian maksimal, menentukan kondisi *charger* saat



Gambar 23. Skema Rangkaian Charger Max 745

terjadi *overheating*, dan menentukan *monitoring* arus pengisian.

Untuk mendapatkan tegangan pengisian baterai *lithium* sebesar VBATT = 4,2 V, maka nilai Vadj = Vref/2 dan di mana Vref = 4,2 V. Hubungan antara VBATT dengan besaran-besaran lainnya dinyatakan dengan persamaan (1) sebagai berikut:

$$VBATT = (CellCount) \times \left[Vref + \frac{\left(Vadj - \frac{1}{2} Vref \right)}{9,523} \right] \quad (1)$$

Jika besaran-besaran yang sudah diketahui disubstitusikan ke dalam persamaan (1) diperoleh:

$$VBATT = (1) \times \left[4,2 + \frac{(0)}{9,523} \right] = 4,2 \text{ V}$$

Arus listrik pada pengisian maksimum yang disediakan untuk mengisi baterai dapat ditentukan dari komponen-komponen yang berkaitan yaitu R1, R12, dan R16. Arus listrik pada kondisi *full-scale (IFS)* dihitung dengan persamaan (2) sebagai berikut:

$$IFS = 0,185/R1 \quad (2)$$

Dengan nilai R1 yang dipakai sebesar 0,2 Ω, maka akan diperoleh nilai:

$$IFS = 0,185/R1 = 0,185/0,2 = 0,925 \text{ A}$$

Selanjutnya, ditentukan bahwa nilai R12 = 120 Ω dan R16 = 100 Ω. Untuk menentukan VSETI digunakan persamaan (3) berikut:

$$VSETI = \frac{R12}{R12 + R16} \times VREF \quad (3)$$

Dengan nilai R12 = 120 Ω, R16 = 100 Ω, dan VREF = 4,2 V VSETI dapat ditentukan sebagai berikut:

$$VSETI = \frac{120}{120 + 100} \times 4,2 \text{ V} = 2,29 \text{ V}$$

Arus listrik maksimum pengisian baterai (ICHG) ditentukan dengan persamaan (4) sebagai berikut:

$$ICHG = IFS \times VSETI / VREF \quad (4)$$

Dengan nilai IFS=0,925 A, VSETI = 2,29 V dan VREF = 4,2 V, nilai ICHG dapat ditentukan

sebagai berikut:

$$ICHG = 0,925 \times 2,29 / 4,2 = 0,504 \text{ A}$$

Jadi arus pengisian maksimal baterai yang ditentukan sebesar 0,504 A.

Untuk me-monitor arus pengisian baterai yaitu dengan menambahkan resistor (*RIBAT*) antara pin *IBAT* dan *GND*. *RIBAT* harus dipilih agar nilai *VIBAT* di bawah 2 V. Nilai *RIBAT* dipilih 15 k Ω . Selanjutnya *VIBAT* dihitung dengan persamaan (5) sebagai berikut:

$$VIBAT = 0,9 \times 10^{-3} \times 0,2 \times ICHG \times RIBAT \quad (5)$$

Dengan nilai $ICHG=0,925 \text{ A}$, dan $RIBAT = 15 \text{ k}\Omega$, nilai *VIBAT* dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} VIBAT &= 0,9 \times 10^{-3} \times 0,2 \times 0,504 \times 15 \times 10^{-3} \\ &= 1,36 \text{ V} \end{aligned}$$

Jadi arus pengisian maksimum baterai menghasilkan tegangan *VIBAT* bernilai 1,36 V.

Batasan tegangan *input* minimum untuk masing-masing sumber listrik untuk *supply* rangkaian *charger* ditentukan secara fiks sebagaimana disajikan pada Tabel 2 di bawah ini:

Tabel 2. Tegangan Input Minimum

| Jumlah Baterai (n) | Tegangan <i>Input</i> Minimum (V) |
|--------------------|-----------------------------------|
| 1 | 6,2 |
| 2 | 10,4 |
| 3 | 14,6 |
| 4 | 18,8 |

Tegangan minimal pada Tabel 2 dimaksudkan supaya rangkaian *charger* dapat meregulasi tegangan pengisian baterai dengan baik.

Thermistor yang dipakai pada rangkaian berfungsi sebagai pengaman apabila baterai yang diisi terjadi kebocoran arus, sehingga baterai menjadi sangat panas. Maka berdasarkan *datasheet Max 745* tegangan pin *THM/SHDN* yang diperlukan agar rangkaian *shutdown* adalah sebesar 2,1 V. Diketahui $VREF = 4,2 \text{ V}$ dan $R15$ sebesar 620 Ω .

Pada saat suhu baterai panas (sekitar 77°C) nilai hambatan *Thermistor* sebesar 620 Ω , maka tegangan yang diperoleh pin *THM/SHDN* dapat dihitung dengan persamaan (6) sebagai berikut:

$$V_{THM} = \frac{R15}{R15 + R15} \times VREF \quad (6)$$

Dengan nilai $R15 = 620 \Omega$, dan $VREF = 4,2 \text{ V}$, nilai V_{THM} dapat ditentukan sebagai berikut:

$$V_{THM} = \frac{620}{620 + 620} \times 4,2 = 2,1 \text{ V}$$

Maka tegangan *THM* yang dihasilkan menyebabkan rangkaian *charger* mengalami *shutdown*.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini baterai *lithium-ion* yang digunakan untuk pengisian adalah tipe Nokia BL-4C. Ada 3 sumber listrik yang digunakan pada penelitian ini yaitu *power supply*, *solar cell*, dan generator. Masing-masing sumber listrik akan digunakan untuk pengujian rangkaian *charger*. Pengukuran dan pengujian ini digunakan untuk mengetahui kondisi arus pengisian untuk tiap kondisi baterai. Keadaan sumber listrik memenuhi tegangan *input minimum* rangkaian *charger*.

Pada tahap pengujian dengan sumber yang digunakan untuk pengisian adalah *power supply*, sumber listrik *solar cell*, dan generator tidak memenuhi batas tegangan *input minimum charger*. Semakin tinggi arus pengisian yang dibutuhkan semakin kosong kapasitas baterai yang diisi, dan sebaliknya apabila kapasitas baterai semakin penuh, maka arus pengisian yang dibutuhkan semakin kecil. Untuk jenis baterai *lithium-ion* apabila tegangan mencapai 4,05 V/baterai, maka baterai dianggap telah terisi penuh. Perubahan tegangan baterai terhadap waktu pengisian disajikan pada Tabel 3. Sumber listrik *power supply* dapat mengisi baterai *lithium-ion* berjumlah 4 buah.

Tabel 3. Hasil Pengisian Baterai Dengan *Charger* Menggunakan Arus Listrik Dari *Power Supply*

| V in (V) | V awal (V) | V akhir (V) | Arus <i>Charging</i> (mA) | Waktu (menit) |
|----------|------------|-------------|---------------------------|---------------|
| 18,8 | 3,88 | 4,12 | 47,9 | 326 |
| 18,8 | 4,12 | 4,14 | 17,1 | 45 |
| 18,8 | 7,75 | 7,92 | 40,8 | 44 |
| 18,8 | 11,87 | 11,96 | 35,2 | 38 |
| 18,8 | 14,8 | 15,72 | 156 | 62 |

Hasil penelitian pada tahap pengisian dengan *charger* baterai menggunakan arus listrik dari *solar cell* disajikan pada Tabel 4. Sumber yang digunakan untuk pengisian adalah *solar cell*, dengan kata lain sumber listrik *power supply* dan generator tidak memenuhi batas tegangan *input minimum charger*. Sumber listrik *solar cell* hanya mampu melakukan pengisian baterai *lithium-ion* maksimal 3 buah, karena tegangan *output* maksimal yang dihasilkan kurang daripada batas tegangan *input minimum charger* untuk 4 buah baterai yaitu sebesar 18,8 V. Tegangan yang dihasilkan

Tabel 4. Hasil Penelitian *Charger* Menggunakan *Solar Cell*

| V in (V) | V awal (V) | V akhir (V) | Arus Charging (mA) | Waktu (menit) |
|----------|------------|-------------|--------------------|---------------|
| 18,3 | 3,72 | 3,90 | 45,2 | 95 |
| 18,6 | 3,81 | 3,96 | 45,8 | 77 |
| 16,7 | 6,94 | 7,48 | 89,6 | 69 |
| 14,3 | 7,48 | 7,55 | 108,1 | 28 |

mengalami *drop* tegangan ketika pada waktu pengisian baterai berjalan dan pada pin *solar cell* diberi dioda yang di dalam mana terjadi pengurangan tegangan sebesar 0,7 V. Penggunaan dioda untuk menjaga keamanan *solar cell* apabila terjadi arus balik dari rangkaian.

Data penelitian untuk *charger* baterai menggunakan generator disajikan pada Tabel 5. Sumber tenaga yang digunakan untuk pengisian adalah generator, dengan kata lain sumber listrik *power supply* dan *solar cell* tidak memenuhi batas tegangan *input minimum charger*. Pengisian baterai menggunakan generator ini dapat mengisi sampai 4 buah baterai. Semakin cepat perputaran generator arus pengisian yang dihasilkan akan semakin tinggi, tetapi perbedaannya tidak terlalu jauh.

Tabel 5. Hasil Penelitian *Charger* Menggunakan Generator

| RPM | V in (V) | V awal (V) | V akhir (V) | Arus Charging (mA) | Waktu (menit) |
|-----|----------|------------|-------------|--------------------|---------------|
| 60 | 12,7 | 3,76 | 3,88 | 53 | 57 |
| 105 | 13,4 | 7,84 | 7,91 | 58 | 25 |
| 73 | 16,2 | 11,6 | 11,74 | 27 | 24 |
| 80 | 19,2 | 15,73 | 15,79 | 30 | 30 |

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Rangkaian *charger MAX 745* dapat mengisi baterai berjumlah 1 sampai dengan 4 buah, diatur dengan kombinasi logika dari pin *CELL0* dan *CELL1*, di mana tegangan *charging* dapat diubah sesuai dengan jumlah baterai; Rangkaian *Switch* Otomatis telah bekerja dengan baik, sehingga mampu digunakan untuk peralihan sumber listrik yang dipakai

dari *power supply*, *solar cell*, dan generator apabila memenuhi batasan tegangan *input minimum charger*;

2. Terdapat 2 sistem pengaman *charger* yaitu apabila baterai telah terisi penuh, jika arus *charging* mencapai kira-kira 10 mA selama beberapa waktu atau suhu pengisian baterai mencapai suhu 77⁰C, maka *charging* akan dihentikan. Sistem pengamanan ini telah berjalan dengan baik;
3. Prioritas sumber listrik *charging* pertama adalah *solar cell*, generator, dan yang terakhir adalah *power supply*. Jadi apabila tegangan generator dan *solar cell* memenuhi untuk *charging*, maka yang digunakan untuk *charging* adalah sumber listrik *solar cell* menurut prioritas yang diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim, "*Lithium-ion baterai*", http://wapedia.mobi/en/Lithium-ion_baterai, Diakses 10 Februari 2009
- [2] Anonim, "*MAX 745 Switch-Mode Lithium-Ion Baterai -Charger*", <http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX745.pdf>, Diakses 10 Maret 2009
- [3] Kadir, A., *Energi: Sumberdaya, Inovasi, Tenaga Listrik, Potensi Ekonomi*, Edisi Kedua, Hlm. 369-371, Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta, 1995
- [4] Anonim, *Prinsip Kerja Solarcell*, <http://id.shvoong.com/exact-sciences/earth-sciences/1855417-prinsip-kerja-solar-cell/>, Diakses 15 Maret 2009
- [5] Anonim, *Solar Cell*, http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_cell Diakses 5 Mei 2009
- [6] Mayhoneys, *Motor Stepper*, <http://www.itelkom.ac.id/library/index.php>, Diakses 27 Mei 2009
- [7] ATMEL, *8-bit AVR Microcontroller with 8K Bytes In-System Programmable Flash*, http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc1041.pdf, Diakses 15 Juni 2009
- [8] Anonim, *LMB162ABC-1 LCD Module User Manual*, http://www.ic-online.cn/IOL/datasheet/lmb162a_570597.pdf, Diakses 15 Juni 2009