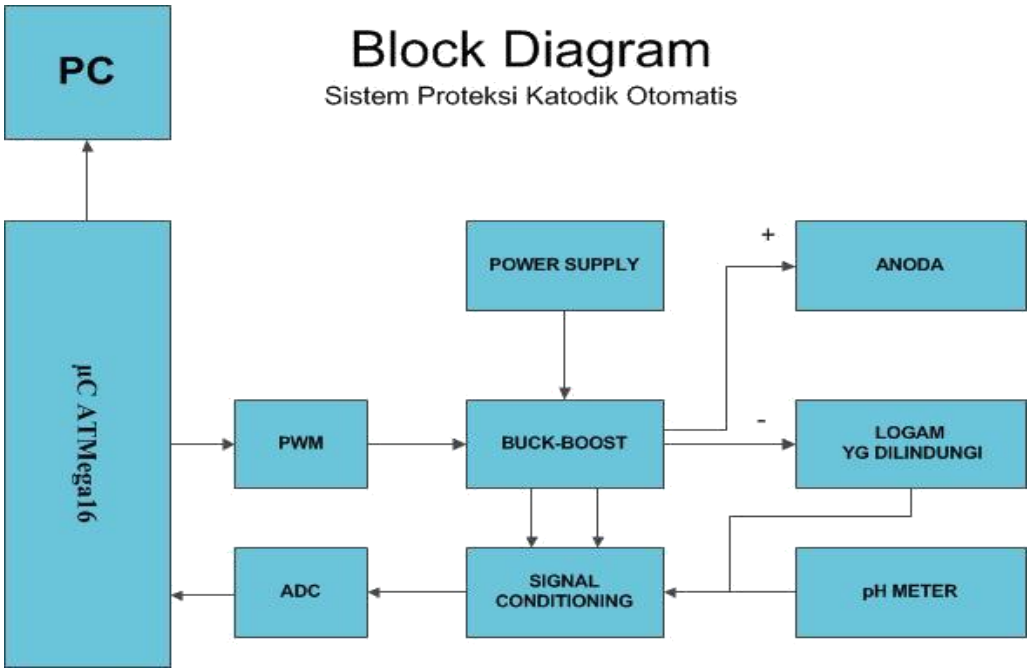
BAB III
PERANCANGAN SISTEM

Pada bab ini akan dibahas mengenai perancangan sistem yang dibuat, mulai dari desain sistem secara keseluruhan, perancangan *hardware* dan *software* sampai pada implementasi sistemnya.

3.1 Perancangan Sistem

Sistem keseluruhan yang akan dibuat pada penelitian tugas akhir ini mengikuti blok diagram seperti pada gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3.1. Blok diagram sistem proteksi katodik otomatis

Blok diagram diatas merupakan desain untuk perancangan sistem yang berdasarkan pada proses pengendalian beserta hubungan antara komponen-komponen pembentuk sistem tersebut. Dengan desain yang dibuat, proses pengendalian sistem dapat dipusatkan pada sebuah mikrokontroler ATmega16

yang berperan sebagai pengontrol operasi sistem secara keseluruhan. Penjelasan komponen-komponen pada blok diagram diatas adalah sebagai berikut:

1. Blok PC (*Personal Computer*), merupakan sebuah komputer biasa yang pada sistem difungsikan sebagai *interface* untuk *monitoring* kondisi sistem dan pengambilan data (*data acquisition*) variabel-variabel pada sistem.

2. Blok Mikrokontroler, merupakan komponen yang berperan sebagai kontroler atau pengendali operasi sistem secara keseluruhan, mulai dari membaca data *analog* dari sistem kemudian mengolahnya dan mengeluarkan sinyal kendali berupa sinyal PWM, sampai menjalin komunikasi data secara serial dengan PC.

3. Blok *Power Supply*, sesuai namanya blok ini berfungsi sebagai pensuplai energi / catu daya utama seluruh komponen sistem yang dibuat, kecuali PC, dan sebagai sumber arus DC yang mensuplai kebutuhan elektron untuk melindungi logam dari korosi.

4. Blok *Buck-Boost Converter*, merupakan suatu rangkaian *inverting converter* yang pada sistem berfungsi sebagai aktuator yang mengatur besar kecilnya arus dan tegangan sesuai dengan sinyal PWM yang diberikan.

5. Blok Anoda, merupakan komponen sistem yang berfungsi sebagai penerima arus elektron (*ground bed*) dari katoda / logam yang dilindungi.

6. Blok Logam yang dilindungi, merupakan struktur logam yang akan dilindungi dari korosi dengan membuat logam tersebut bertindak sebagai katoda.

7. Blok pH Meter, merupakan sensor untuk mengukur nilai pH / aktifitas ion hidrogen dalam suatu larutan. Akan tetapi pada sistem yang dibuat pH Meter tersebut difungsikan bukan untuk mengukur pH, tetapi untuk mengukur perbedaan potensial antara logam dengan elektroda acuan Ag/AgCl yang terdapat pada pH Meter tersebut.

8. Blok *Signal Conditioning*, merupakan rangkaian *interfacing* antara sensor dengan ADC. Pengukuran nilai dari variabel-variabel proses sistem yang masih berupa sinyal *analog*, tidak bisa langsung dikonversi oleh modul ADC mikrokontroler dikarenakan adanya perbedaan pada level tegangan yang mampu dibaca oleh ADC tersebut. Oleh karena itu diperlukan pengkondisian sinyal agar sinyal dari sensor dan variabel lain sesuai dengan spesifikasi ADC yang digunakan.

9. Blok ADC, merupakan fitur yang sudah terintegrasi dalam mikrokontroler AVR ATmega16 yang digunakan, berfungsi untuk mengubah besaran *analog* menjadi *digital*.

10. Blok PWM, merupakan fitur yang juga sudah terintegrasi dalam mikrokontroler AVR ATmega16, yang berfungsi untuk mengendalikan rangkaian *buck-boost converter* melalui variasi *duty cycle* sinyal PWM yang dikeluarkannya, yang berupa pulsa-pulsa listrik dengan frekuensi tertentu.

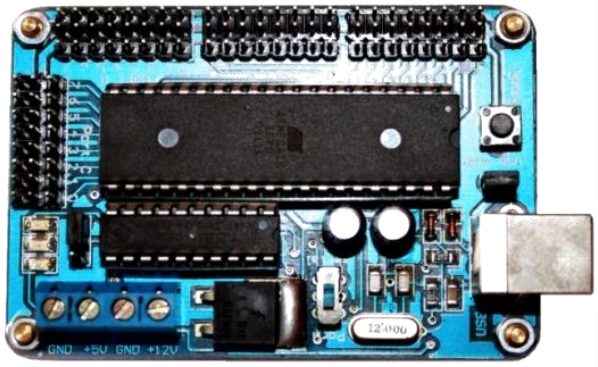
3.2 Perancangan Hardware

Pada perancangan *hardware* akan dibahas mengenai proses perancangan dalam pembuatan perangkat keras, dan komponen-komponen utama pembentuk sistem yang dibuat.

3.2.1 Mikrokontroler ATmega16

Mikrokontroler yang digunakan adalah mikrokontroler dari keluarga AVR yaitu ATmega16, dengan ukuran memori flash sebesar 16 KiloByte dan frekuensi kristal 8 MHz dan ditambah dengan adanya fitur ADC (*Analog To Digital*) dan PWM (*Pulse Width Modulation*) yang sudah terintegrasi di dalam *chip* mikrokontrolernya, lebih memudahkan dalam hal pembacaan sinyal *analog* dan pengendalian sistem.

Keunggulan lain dari dipilihnya mikrokontroler jenis ini adalah karena kehandalan dan kestabilannya dalam memproses data. ATmega16 adalah IC *low-power* yang dibuat berdasarkan arsitektur RISC, dan bersifat *general purpose* sehingga dapat dimanfaatkan untuk berbagai macam aplikasi yang membutuhkan mikrokontroler. Dengan memberikan perintah yang tepat dalam satu *single clock cycle*, ATmega16 dapat merespon perintah tersebut 1 MIPS per MHz untuk mengoptimalkan konsumsi tegangan. Gambar modul mikrokontroler yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.2, dalam modul tersebut sudah terdapat *downloader* dan *interface* USB, sehingga untuk komunikasi serial dengan PC juga menjadi lebih mudah.



Gambar 3.2. Modul Mikrokontroler AVR ATmega16

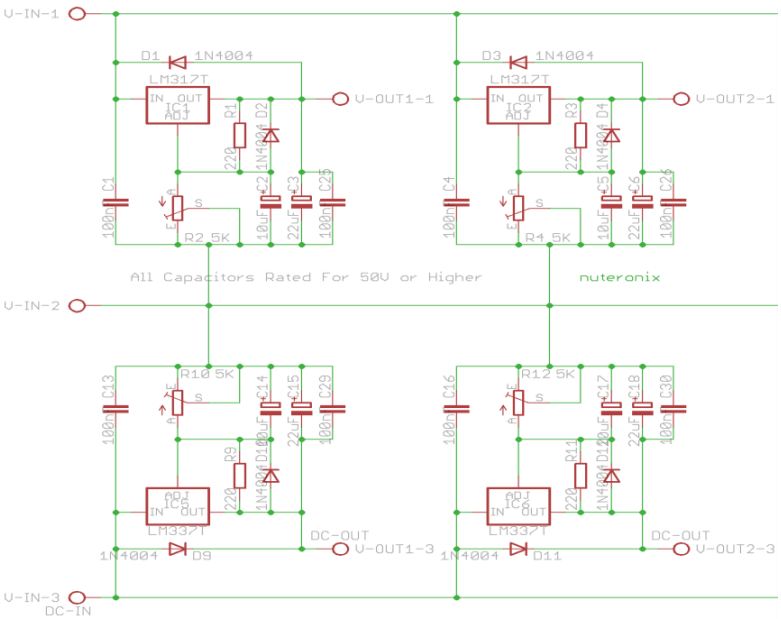
3.2.2 Transformer-Rectifier

Transformer-Rectifier merupakan sebuah *power supply* atau sumber arus yang mengubah sumber arus bolak-balik (*Alternating Current*) menjadi sumber arus searah (*Direct Current*). *Power suppy* digunakan selain sebagai sumber catu daya untuk untuk perangkat-perangkat keras pembentuk sistem, juga digunakan sebagai pensuplai elektron pada logam yang akan dilindungi, karena inti dari metode proteksi katodik arus paksa adalah adanya sumber arus dari luar, sehingga *power supply* merupakan komponen yang sangat vital untuk berjalannya sistem proteksi katodik arus paksa yang digunakan, dan juga sistem secara keseluruhan.

Gambar *transformator* dan rangkaian *power supply* yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.3. dan gambar 3.4, IC LM317T dan LM337T pada gambar 3.4 merupakan jenis IC *adjustable*, sehingga tegangan keluarannya dapat diatur sesuai dengan kebutuhan.



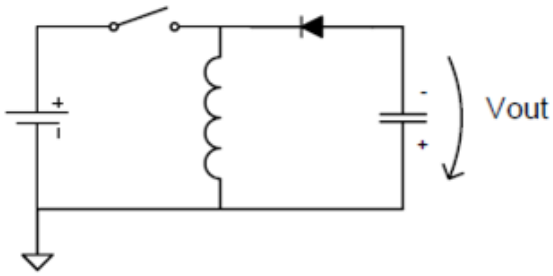
Gambar 3.3. Transformator 500 mA



Gambar 3.4. Skematik rangkaian regulator dual polarity dengan IC LM317T dan LM 337T

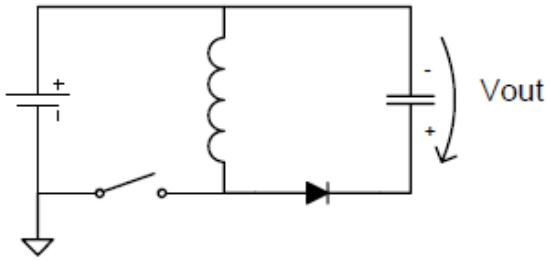
3.2.3 Buck-Boost Converter

Buck-Boost Converter merupakan rangkaian untuk mengkonversi tegangan *input* positif menjadi tegangan *output* negatif (*inverting*), dan banyak digunakan ketika dibutuhkan tegangan *output* lebih besar atau lebih kecil dari tegangan *input*. Gambar 3.5 adalah rangkaian sederhana dari *buck-boost converter*.



Gambar 3.5. Rangkaian sederhana buck-boost converter [13]

Pada perancangan rangkaian *buck-boost converter*, implementasi rangkaian yang digunakan merupakan rangkaian alternatifnya seperti yang ditunjukan pada gambar 3.6.



Gambar 3.6. Rangkaian alternatif buck-boost converter [13]

Keuntungan menggunakan rangkaian alternatif ini adalah *switching* rangkaian dapat dilakukan pada bagian *low-side*, sehingga memungkinkan digunakannya MOSFET biasa sebagai *circuit driver*-nya, sedangkan kelemahan dari rangkaian tersebut terletak pada tegangan beban yang tidak mereferensi pada *ground*, tetapi pada tegangan positif *power supply* [13].

Dengan mengggunakan persamaan 2.12, 2.13 dan 2.14 pada bab 2, maka nilai komponen yang diperlukan untuk membuat rangkaian *buck-boost* dapat diperoleh.

Nilai parameter sistem yang digunakan adalah V_{OUT} = 5 V, V_{IN} = 9 V, I_{OUT} = 5 mA, f = (8Mhz/256) = 31,250 KHz, L = 1,5 mH, C = 10 uF.

$$V_{OUT} = -V_{IN}.\left(\frac{k}{1-k}\right),\ Tanda\ negatif\ menyatakan\ polaritas\ output$$

$$k = \frac{V_{OUT}}{V_{OUT}+V_{IN}} = \frac{5}{5+9} = 0{,}357\ (Duty\ Cycle = 35{,}7\%)$$

Pada *duty cycle* 0 %, maka tegangan *output* pun akan 0 Volt, dan pada *duty cycle* 50 % maka tegangan *output* akan sama dengan tegangan *input*, dengan polaritas yang berlawanan dengan polaritas *input*.

$$\Delta I = \frac{V_{IN}.k}{f.L} = \frac{9.(0{,}357)}{31250.(0{,}0015)} = 0{,}068\,(Ripple\ arus = 6{,}8\%)$$

$$\Delta V_{OUT} = \frac{I_{OUT}.k}{f.C} = \frac{0{,}005.(0{,}357)}{31250.(0{,}00001)} = 0{,}0057\ (Ripple\ tegangan = 0{,}57\%)$$

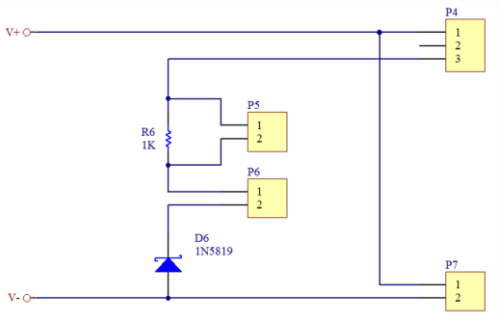
Besarnya nilai induktor dan kapasitor sangat dipengaruhi oleh besarnya frekuensi *switching* dan *duty cycle*, sehingga untuk memperoleh nilai *ripple* arus dan tegangan yang diinginkan harus disesuaikan dengan besarnya nilai induktor dan kapasitor yang digunakan, beserta parameter tegangan *input* dan arus *output*.

3.2.4 Pengukuran Arus dan Tegangan Buck-Boost Converter

Pengukuran arus dan tegangan dilakukan untuk mengetahui kondisi sistem dan efisiensi dari rangkaian *buck-boost converter*, sehingga dilakukan pengukuran untuk variabel arus dan tegangan *output* pada rangkaian yang akan dipantau secara periodik oleh program *data acquisition and monitoring* di PC.

Arus dan tegangan dari rangkaian *buck-boost converter* adalah tegangan *analog* dimana level tegangannya bisa berada di bawah atau pun diatas level tegangan yang mampu dibaca oleh ADC, sehingga harus diterapkan beberapa teknik pengkondisian sinyal terlebih dahulu sebelum dapat diproses oleh ADC mikrokontroler tersebut.

Pengukuran arus dilakukan dengan menerapkan metode *shunt resistor* pada bagian *high-side*, dengan mengalirkan arus ke sebuah resistor yang nilainya diketahui, resistor 1K digunakan untuk tujuan ini. Berdasarkan hukum ohm bahwa arus yang mengalir melalui suatu hambatan pasti akan menghasilkan sejumlah tegangan, dan tegangan yang terjadi inilah yang akan dibaca dan dikonversi oleh ADC, sehingga arus dan tegangan pada *buck-boost converter* dapat diukur dengan menggunakan rangkaian yang sama. Hubungan antara arus dan tegangan berbanding lurus secara linier, oleh karena itu dengan nilai resistor dan tegangan yang telah diketahui, maka besar arus yang melewati resistor pun dapat diketahui juga, semakin besar tegangan maka arus pun akan semakin besar. Titik-titik pengukuran pada rangkaian *buck-boost converter* dapat dilihat pada gambar 3.7 di bawah ini.



Gambar 3.7. Titik pengukuran arus dan tegangan pada buck-boost Converter

Dengan desain rangkaian *buck-boost converter* yang tidak mereferensi ke *ground*, pengukuran tegangan pada bagian *high-side* dapat menggunakan IC AD620AN yang merupakan *OpAmp* untuk instrumentasi dan memiliki impedansi tinggi. Akan tetapi IC ini hanya mampu menerima arus masukan maksimal sebesar 60 mA, dan *Differential Input Voltage* sebesar 25 V. Oleh karena itu, tiap masukan dari IC ini diberi rangkaian *attenuator* dengan rasio 11, sehingga dengan

power supply sebesar 5 V, IC ini mampu menanggani tegangan masukan hingga 55 V, 660 mA. Rangkaiannya dapat dilihat pada lampiran A.

3.2.5 Pengukuran dan Konfigurasi pH Meter

pH Meter merupakan suatu elektroda yang bekerja seperti suatu sel baterai, dimana tegangan yang dihasilkan proporsional dengan konsentrasi ion hidrogen di sekitar elektroda, dan juga proporsional dengan *log* dari konsentrasi ion hidrogen, $pH = -\log_{10}(a_h)$ [15]. Sehingga ketika konsentrasi ion lebih besar di luar lingkungan elektroda maka ion akan mengalir ke dalam dan menyebabkan perbedaan tegangan diantara elektroda dalam pH Meter, dan begitu juga sebaliknya. Dengan konsep tersebut maka dapat diukur apakah pH dalam suatu larutan bersifat asam atau basa, berdasarkan arah arus dan besarnya perbedaan tegangan yang dihasilkan.

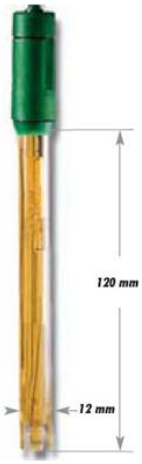
Karakteristik pH Meter yang ideal adalah sebagai berikut [15]:

- Pada pH = 7, tegangan keluaran *probe* / elektroda adalah 0 Volt, pH>7 tegangan positif, pH<7 tegangan negatif.
- Total range pH adalah dari 0 (asam kuat), sampai 14 (basa kuat).
- Jika elaktroda menghasilkan -59 mV/pH maka range tegangan efektif adalah 7x59 mV = ± 0,414 Volt.
- pH dipengaruhi oleh suhu sehingga tegangan yang dihasilkan per pH bervariasi antara -54 mV pada 0 ^{o}C dan -74 mV pada 100 ^{o}C.

Setelah mengetahui karakeristik dari pH Meter diatas, maka langkah selanjutnya adalah mengaplikasikan pH Meter tersebut pada sistem yang dibuat pada penelitian tugas akhir ini.

Dengan memanfaatkan elektroda acuan Ag/AgCl yang terdapat pada pH Meter, kemudian dihubungkan dengan logam yang dilindungi sebagai elektroda kerja, maka perbedaan tegangan antara logam terhadap elektroda acuan pun dapat diukur.

pH Meter memiliki impedansi yang tinggi, oleh karena itu seringkali diperlukan *amplifier* dalam aplikasinya untuk menyesuaikan level tegangan sehingga dapat dibaca oleh ADC. IC AD620AN juga digunakan untuk keperluan ini, dengan konfigurasi yang sedikit berbeda dari konfigurasi untuk pengukuran arus dan tegangan diatas.



Gambar 3.8. Gambar pH Meter dari HANNA Instrument [16]

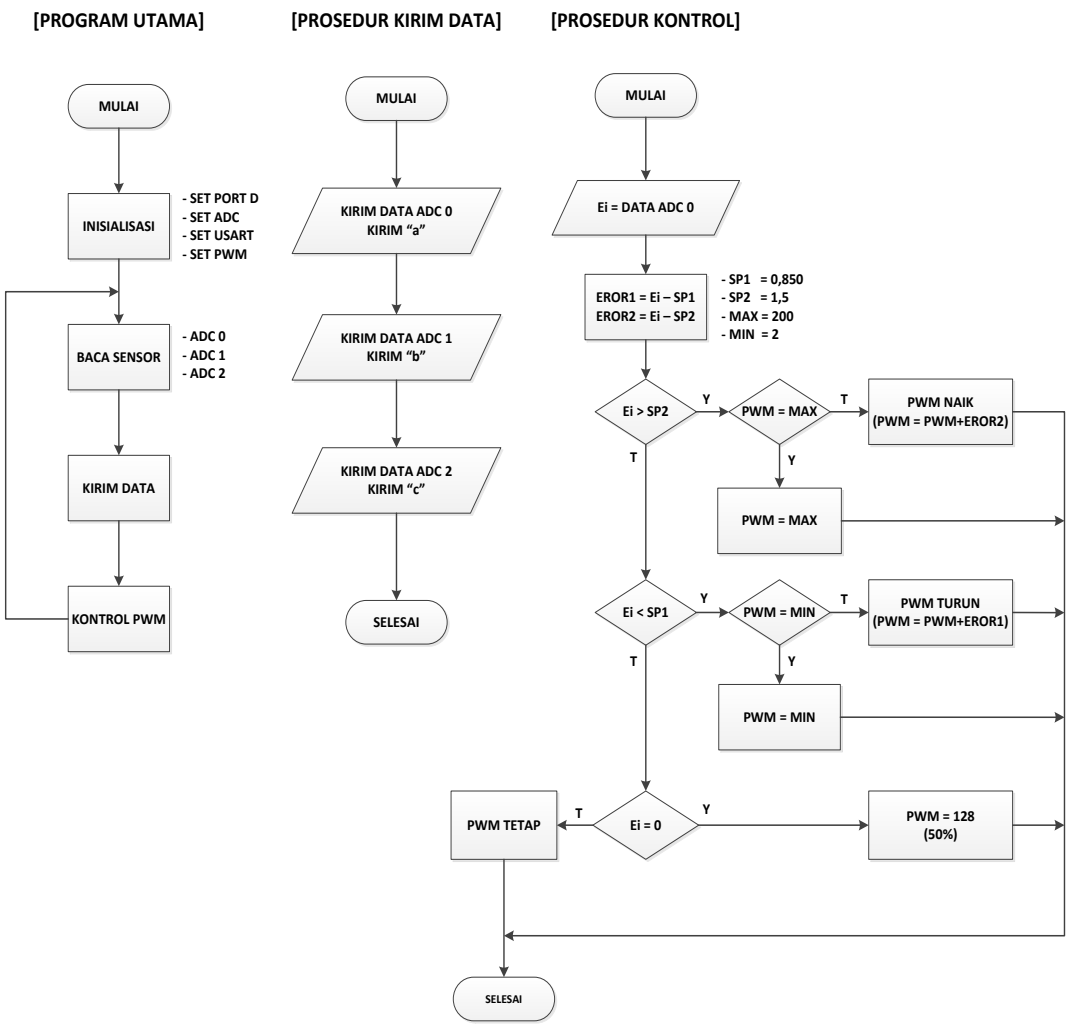
3.3 Perancangan Software

Perancangan *software*, yaitu perancangan untuk program-program yang dibuat dengan algoritma tertentu yang telah di desain agar dapat berjalan pada sistem yang dibuat. Program yang dibuat dibagi ke dalam dua bagian yaitu program untuk mikrokontroler sebagai pengendali utama dan program aplikasi di PC untuk *data acquisition* dan *system monitoring*.

3.3.1 Program Mikrokontroler

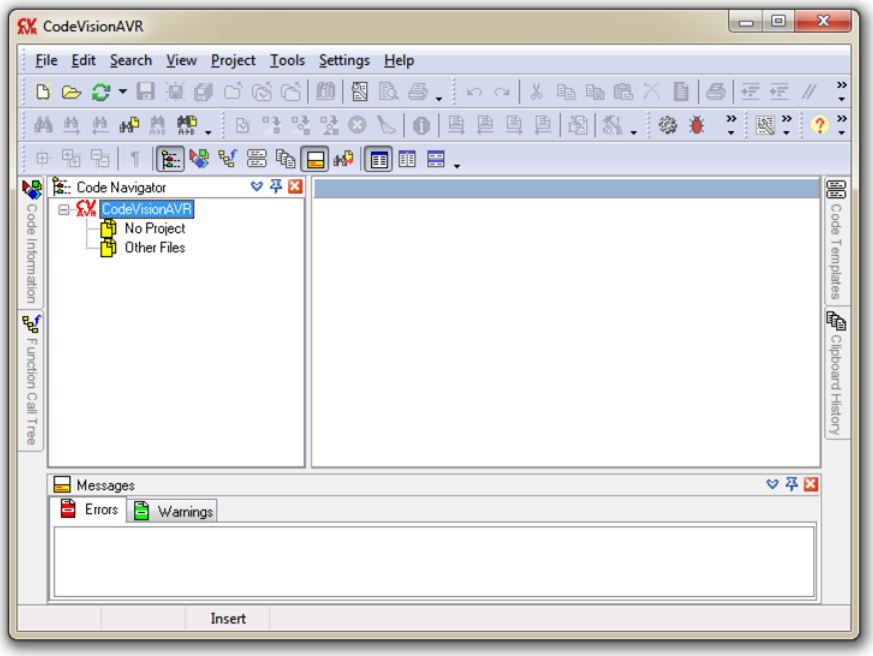
Mikrokontroler ATmega16 digunakan untuk dapat menjalankan program aplikasi secara *real time*, sehingga harus dibuat suatu algoritma berdasarkan urutan prioritas yang dapat dikerjakan oleh mikrokontroler tersebut. Salah satu klasifikasi tugas yang harus dipenuhi dan menjadi prioritas utama adalah pada pengontrolan dan pengaturan sistem proteksi katodik agar dapat beroperasi secara permanen dan memenuhi kriteria imun pada struktur logam yang diproteksi.

Pada model pengontrolan tersebut pemenuhan kriteria proteksi pada struktur dilakukan dengan memantau kondisi tegangan logam (E_i) terhadap elektroda referensi Ag/AgCl supaya tetap berada pada range 0,850 – 1,5 Volt (dalam nilai absolut) [17]. Tegangan Ei akan menjadi *feedback* untuk sistem pengontrolan yang dilakukan oleh mikrokontroler, sehingga mikrokontroler akan mengendalikan rangkaian *buck-boost* dengan memberikan sinyal kendali berupa sinyal PWM dengan *duty cycle* yang sesuai dengan *feedback* yang diterima. Diagram alir algoritma programnya dapat dilihat pada gambar 3.9.

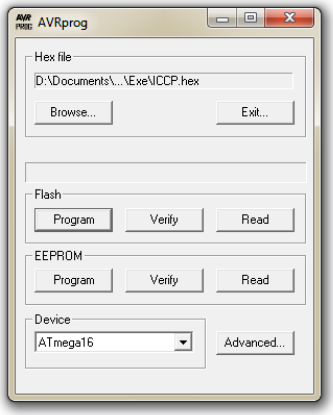


Gambar 3.9. Diagram alir program kontrol dan monitoring sistem proteksi katodik arus paksa

Pembuatan program aplikasi pada mikrokontroler menggunakan program editor CodeVision AVR, seperti yang ditunjukan pada gambar 3.10, dengan bahasa yang digunakan adalah bahasa C, sehingga cukup memudahkan dalam pembuatan programnya. Sedangkan untuk program *downloader* menggunakan AVRprog dari Atmel, karena prosesnya yang lebih cepat jika dibandingkan dengan *downloader* yang sudah terintegrasi di dalam Aplikasi CodeVision AVR. Gambarnya dapat dilihat pada gambar 3.11.



Gambar 3.10. Gambar antarmuka program editor CodeVision AVR



Gambar 3.11. Gambar antarmuka program downloader AVRprog dari Atmel

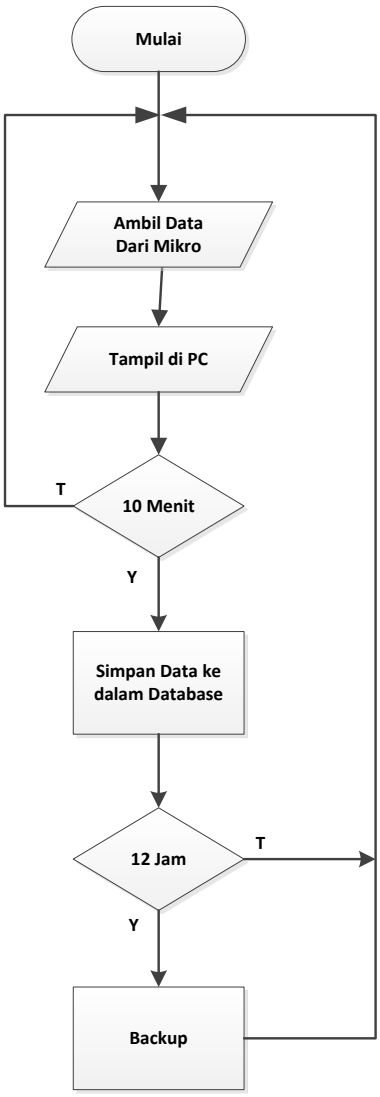
3.3.2 Data Acquisition and Monitoring

Proses *system monitoring* adalah proses memantau kondisi sistem yang dilakukan oleh PC (*Personal Computer*) menggunakan program aplikasi berbentuk visual, karena program aplikasi yang digunakan akan menjadi satu-satunya *interface* / penghubung antara *user* dengan sistem. Melalui program aplikasi *data acquisition and monitoring* yang dirancang, *user* dapat dengan segera mengetahui kondisi sistem tanpa harus terjun langsung ke lapangan, dan pada program aplikasi tersebut juga dilengkapi dengan fitur penyimpanan data (*data logging*), sehingga lebih memudahkan *user* dalam menganalisa kondisi sistem. Diagram alirnya dapat dilihat pada gambar 3.12.

Program *data acquisition and monitoring* yang dirancang, dibuat menggunakan program aplikasi Microsoft Visual Basic 6.0 yang memakai bahasa BASIC sebagai bahasa pemrogramannya, sedangkan untuk keperluan *database* menggunakan Microsoft Office Access 2007. Variabel-variabel proses yang dijadikan titik pantau dan *logging* ke dalam *database* dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut.

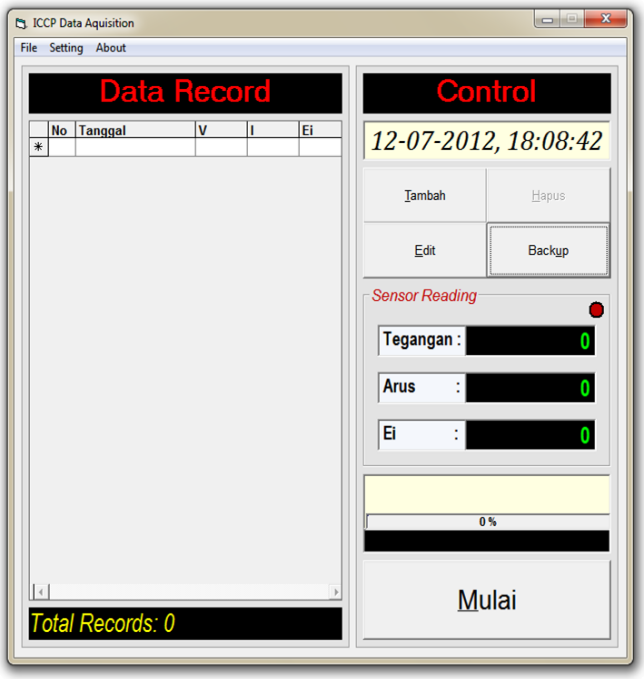
Tabel 3.1. Variabel proses sistem proteksi katodik arus paksa

No.	Variabel Proses	Keterangan
1	E_i	Nilai tegangan logam yang diproteksi terhadap *reference elektrode*
2	V_{out}	Nilai tegangan *output* buck-boost
3	I_{out}	Nilai arus *output* buck-boost

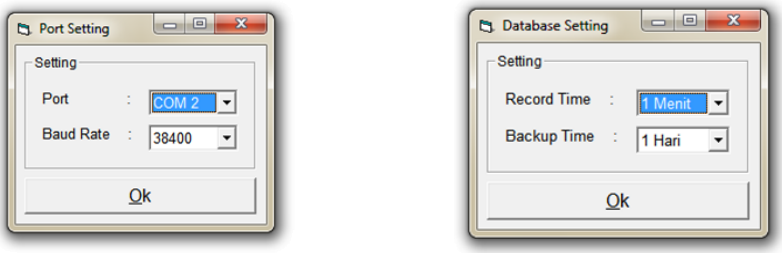


Gambar 3.12. Diagram alir program data acquisition and monitoring

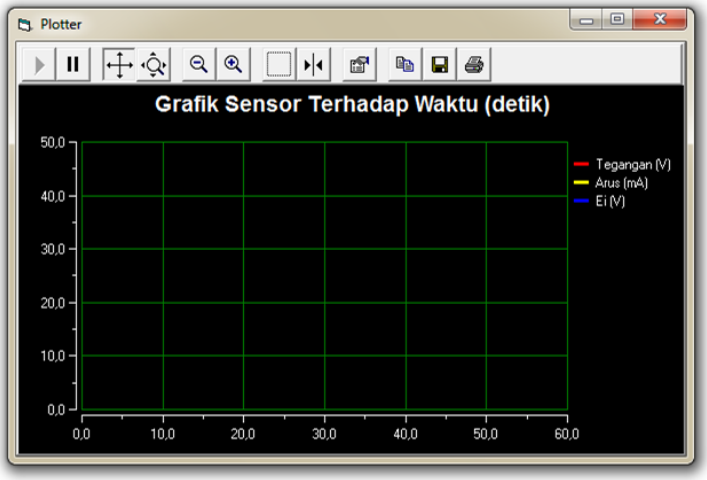
Program *data acquisition and monitoring* menggunakan komunikasi data secara serial dengan USART mikrokontroler untuk menerima data-data variabel proses dan menampilkannya pada panel antarmuka utama. Data-data yang diterima tersebut disimpan ke dalam *database* secara periodik, dan dapat ditampilkan secara grafik dengan membuat plot data dalam rentang waktu satu menit.



Gambar 3.13. Tampilan antarmuka program data acquisition and monitoring



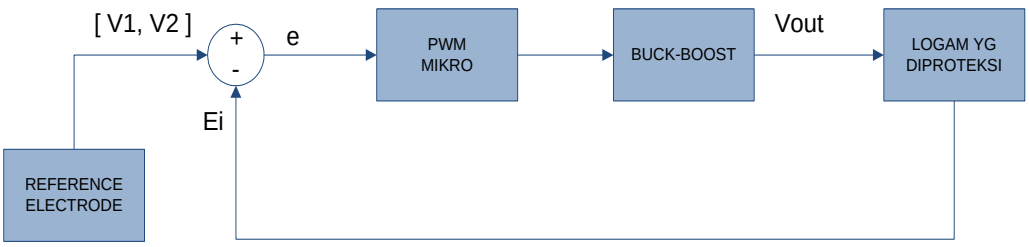
Gambar 3.14. Tampilan antarmuka untuk pengaturan port dan database pada program data acquisition and monitoring



Gambar 3.15. Tampilan grafik plot data pada program data acquisition and monitoring

3.4 Implementasi Sistem

Sistem yang dibuat adalah hanya untuk skala kecil, sehingga pada desain sistem hanya dibuat satu unit *stasiun control* dengan dua buah anoda, karena dalam satu stasiun bisa saja di desain *ground bed* dengan jumlah anoda yang banyak untuk pendistribusian elektron yang lebih seragam, dan dalam tiap satu unit *stasiun control* diterapkan satu skema pengendalian sistem seperti yang diperlihatkan pada gambar 3.16.



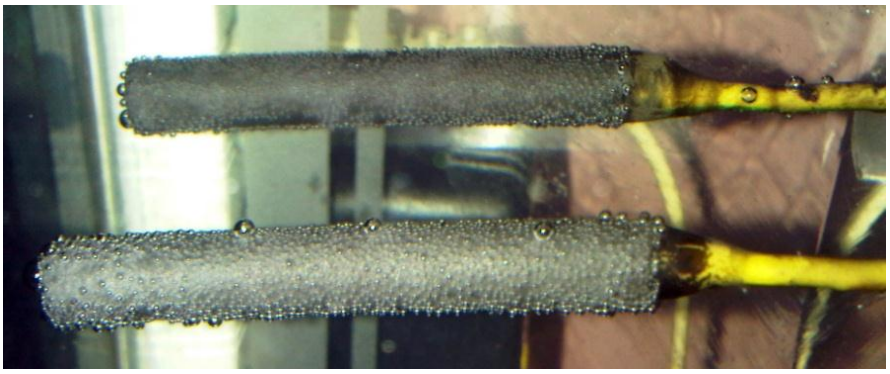
Gambar 3.16. Alur sistem pengendalian pada buck-boost converter

Melihat alur pengendalian sistem diatas, sistem bekerja berdasarkan perbandingan tegangan (E_i) antara logam yang diproteksi terhadap elektroda acuan. Kemudian E_i dibandingkan dengan nilai V_1 dan V_2 sebagai *set point*, sehingga menghasilkan *e* yang merupakan nilai koreksi yang harus diproses oleh mikrokontroler dan mengeluarkan sinyal PWM dengan *duty cycle* yang sesuai untuk mengendalikan tegangan keluaran (V_{out}) agar memenuhi kriteria proteksi katodik.

Sistem proteksi katodik arus paksa kemudian diimplementasikan pada logam baja karbon rendah dengan ukuran 10 x 10 x 0,2 cm sebagai logam yang akan diproteksi seperti yang terlihat pada gambar 3.17, yang kemudian ditempatkan di lingkungan korosif. Program aplikasi *data acquisition and monitoring* pada PC akan langsung bekerja ketika tombol Mulai ditekan, dan langsung memantau kondisi sistem, melakukan pengambilan data setiap satu menit yang kemudian disimpan ke dalam *database* secara otomatis, dan setiap satu hari sampai satu bulan sekali dapat dilakukan *backup data* untuk analisa. Pengaturan rentang waktu *logging* dan *backup* pada program dapat diatur sesuai dengan kebutuhan.



Gambar 3.17. Pelat logam baja yang akan dilindungi



Gambar 3.18. Gambar anoda grafit di dalam lingkungan uji

Data-data tentang kondisi lingkungan dan kebutuhan sistem merupakan faktor penting dalam mendesain sistem proteksi katodik arus paksa. Adapun data-data dan perhitungan yang diperlukan adalah sebagai berikut:

1. Ukuran logam baja :

   Panjang = 10 cm (0,1 m)

   Lebar = 0,2 cm (0,002 m)

   Tinggi = 10 cm (0,1 m)

$$\begin{aligned} \textit{Luas permukaan} &= 2\,x\,((P\,x\,L)+(P\,x\,T)+(L\,x\,T)) \\ &= 2\,x\,((0{,}1\,x\,0{,}002)+(0{,}1\,x\,0{,}1)+(0{,}002\,x\,0{,}1)) \\ &= 0{,}0208\,m^2 \end{aligned} \qquad (3.1)$$

2. Tahanan jenis lingkungan:

   Tahanan jenis air laut = 20 – 50 Ω cm, sehingga tahanan struktur dalam air laut dapat diabaikan.

3. Kebutuhan arus proteksi:

Tabel 3.2. Tabel rapat arus pada logam untuk kebutuhan proteksi

Lingkungan	Rapat Arus Proteksi (mA/m^2)			
	Logam Telanjang		Logam Dicat	
	Polarisasi	Pemeliharaan	Polarisasi	Pemeliharaan
Air laut mengalir	323 – 377	75 - 108	32 – 54	7,5 – 16
Air laut diam	161 – 269	43 - 75	7,5 – 32,3	5,4 – 7,5
Air muara	538 – 1614	?	?	?
Dalam tanah	43 – 54	7,5 - 16	5,4 – 7,5	0,75 – 5,4

Rapat arus proteksi pada air laut diam = 161 - 269 mA/m^2

$$IP = AP\,x\,i$$
$$= 0{,}0208\,x\,269$$
$$= 5{,}5952\ mA$$

4. Kebutuhan tegangan:

Tahanan sistem = 1000 Ω

$$V_{OUT} = IP\,x\,R_{total} \qquad (3.2)$$
$$= 0{,}0055952\ x\ 1000$$
$$= 5{,}5952\ V$$

5. Anoda yang digunakan terbuat dari bahan grafit tanpa *backfill*

Kapasitas *rectifier* :

Nilai toleransi = 150 %

$$V_0 = Arus\,Max\ x\ Tahanan\,total\ x\ 150\% \qquad (3.3)$$
$$= 0{,}0055952\ x\ 1000\ x\ 150\%$$
$$= 8{,}3928\ V$$