

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN RANGKAIAN
PENGKONDISI SINYAL DAN AKUISISI DATA UNTUK
SENSOR NITRAT**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

ANANG DARMAWAN
NIM 0610633005-63

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

MALANG

2010

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN RANGKAIAN PENGKONDISI SINYAL DAN AKUISISI DATA UNTUK SENSOR NITRAT

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

ANANG DARMAWAN

NIM 0610633005-63

Mengetahui dan menyetujui,

Dosen Pembimbing :

Dosen Pembimbing 1,

Dosen Pembimbing 2,

Mochammad Rif'an, ST., MT.
NIP 19710301 200012 1 001

Robeth V. Manurung, ST., MT.
NIP 19720401 199203 1 002



**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN RANGKAIAN PENGKONDISI SINYAL
DAN AKUISISI DATA UNTUK SENSOR NITRAT**

Disusun oleh :

ANANG DARMAWAN

NIM. 0610633005

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 27 Desember 2010

DOSEN PENGUJI

Dr. Agung Darmawansyah, ST., MT.
NIP. 19721218 199903 1 002

Ponco Siwindarto, Ir., M.Eng.Sc.
NIP. 19590304 198903 1 001

Panca Mudjirahardjo, ST., MT.
NIP. 19700329 200012 1 001

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Rudy Yuwono, ST., MSc.
NIP. 19710615 199802 1 003

PENGANTAR

Alhamdulillah, segenap puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT. Yang telah melimpahkan rahmat, hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul **“PERANCANGAN DAN PEMBUATAN RANGKAIAN PENGKONDISI SINYAL DAN AKUISISI DATA UNTUK SENSOR NITRAT ”**.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam menyelesaikan skripsi ini banyak memperoleh dorongan serta bantuan dari berbagai pihak. Maka dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Mochammad Rif'an, ST., MT. dan Bapak Robeth V. Manurung, ST., MT. sebagai pembimbing atas saran, konsultasi, motivasi, kesabaran dan waktu yang telah dicurahkan dalam pengerjaan hingga penyelesaian tugas akhir ini. Tidak terkecuali, ucapan terima kasih penulis haturkan kepada :

1. Ibuku Ibunda Sri Asminati terima kasih atas doa dan kasih sayang yang telah diberikan selama ini, serta untuk adikku Kurnia Rahmawati, terima kasih telah memberi motivasi dalam menyelesaikan tugas akhir ini
2. Bapak Rudy Yuwono, ST. MSc. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya
3. Bapak Muh. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya
4. Bapak Ir. M. Julius ST., MSc selaku Ketua Kelompok Dosen dan Keahlian Teknik Elektronika
5. Ibu Rini Nur Hasanah, ST., MSc., Ph.D, selaku dosen pembimbing akademik
6. Bapak, Ibu dosen serta segenap staf dan karyawan Jurusan Teknik Elektro baik secara langsung maupun tidak langsung yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan skripsi ini
7. Bapak, Ibu serta segenap staf dan karyawan PPET LIPI Bandung, terutama Mas Erry Dwi Kurniawan yang telah banyak membantu selama penelitian.
8. Sahabatku M. Ilham Raden Paku dan Dipowiguno, terima kasih karena selalu memberiku semangat, serta selalu ada dalam suka & duka.

9. Sahabatku Eka Desiana atas bantuan dan motivasinya serta Fatimah Nurul Afifah atas motivasi yang membuatku pantang menyerah, dan semangat yang memotivasiku untuk menjadi lebih baik.
10. Sahabatku Indrawan 'Adex' Riza, Yudi Yurianto dan Lunde Ardhenta atas bantuan serta kesediaannya meluangkan waktu untukku.
11. Teman-teman Asisten Laboratorium Dasar Elektrik dan Pengukuran atas kerjasamanya selama ini
12. Teman-teman Asisten Laboratorium Elektronika atas kerjasamanya selama ini
13. Teman-teman Ge Force angkatan 2006 atas dukungan moral dan materi yang diberikan dalam pengerjaan skripsi ini.
14. Seluruh rekan mahasiswa Jurusan Teknik Elektro terima kasih atas dukungannya
15. Semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu. Terima kasih, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, karena itulah segala kritik dan saran yang mengarah kepada perbaikan akan sangat penulis terima dengan senang hati.

Akhir kata, semoga skripsi ini bisa berguna untuk perkembangan teknologi di masa yang akan datang.

Malang, Desember 2010

Penulis

DAFTAR ISI

PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
ABSTRAK.....	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Ruang Lingkup.....	2
1.5 Sistematika Penulisan.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Sensor Nitrat.....	5
2.2 Potentiostat/Galvanostat.....	5
2.2.1 Fungsi Utama Potentiostat.....	6
2.2.2 Faktor-faktor berpengaruh terhadap kerja Potentiostat	7
2.2.3 Persamaan Dasar.....	7
2.2.4 Prinsip kerja Potentiostat	8
2.3 Konverter Arus – Tegangan	11
2.4 Amplifier (Penguat).....	12
2.4.1 Karakteristik Ideal Penguat Operasional.....	13
2.4.2 Penguatan Tegangan Lingkar Terbuka.....	13
2.4.3 Tegangan Ofset Keluaran	14
2.4.4 Resistansi Masukan	14
2.4.5 Resistansi Keluaran	15
2.4.5 Lebar Pita.....	15
2.4.6 Waktu Tanggapan.....	15
2.4.7 Karakteristik Terhadap Suhu	16
2.4.8 Implementasi Penguat Operasional	16

2.5 ADC (Analog to Digital Converter).....	18
2.6 Mikrokontroler ATMEGA8	19
2.7 Modul LCD LMB162A.....	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Perancangan dan Pembuatan Alat	23
3.2 Pembuatan alat	23
3.3 Pengujian Alat.....	23
BAB IV PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT.....	25
4.1 Perancangan sistem	25
4.2 Spesifikasi Alat	27
4.3 Perancangan Perangkat Keras	27
4.3.1 Karakterisasi Sensor Nitrat.....	27
4.3.2 Perancangan Sumber Bias	29
4.3.3 Perancangan Potentiostat.....	29
4.3.4 Perancangan Konverter Arus – Tegangan.....	31
4.3.5 Perancangan Penguat Akhir (<i>output</i> RPS).....	33
4.3.6 Perancangan Sistem Mikrokontroler ATMEGA8.....	35
4.3.7 Perancangan rangkaian LCD (<i>Liquid Crystal Display</i>).....	36
4.3.8 Perancangan dan pembuatan PCB	37
4.4 Perancangan Perangkat Lunak	37
4.4.1 Perancangan sub rutin baca ADC.....	38
4.4.2 Perancangan sub rutin tampilan LCD.....	39
4.4.3 Perancangan rutin utama	43
BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS.....	44
5.1 Pengujian Rangkaian Potentiostat.....	44
5.1.1 Tujuan.....	44
5.1.2 Peralatan yang digunakan	44
5.1.3 Prosedur pengujian	45
5.1.4 Hasil pengujian dan analisis	45
5.2 Pengujian rangkaian konverter arus-tegangan (<i>I/V converter</i>)	46
5.2.1 Tujuan.....	46

5.2.2 Peralatan yang digunakan	46
5.2.3 Prosedur pengujian	46
5.2.4 Hasil pengujian dan analisis	48
5.3 Pengujian rangkaian penguat tegangan akhir	48
5.3.1 Tujuan	48
5.3.2 Peralatan yang digunakan	49
5.3.3 Prosedur pengujian	49
5.3.4 Hasil pengujian dan analisis	50
5.4 Pengujian ADC mikrokontroler ATMEGA8	51
5.4.1 Tujuan	51
5.4.2 Peralatan yang digunakan	51
5.4.3 Prosedur pengujian	52
5.4.4 Hasil pengujian dan analisis	53
5.5 Pengujian LCD	56
5.5.1 Tujuan	56
5.5.2 Peralatan yang digunakan	56
5.5.3 Prosedur pengujian	57
5.5.4 Hasil pengujian dan analisis	58
5.6 Pengujian rangkaian pengkondisi sinyal dan akuisisi data secara keseluruhan	58
5.6.1 Tujuan	58
5.6.2 Peralatan yang digunakan	58
5.6.3 Prosedur Pengujian	59
5.6.4 Hasil pengujian dan analisis	59
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	63
6.1 Kesimpulan.....	63
6.2 Saran.....	63
DAFTAR PUSTAKA	64
LAMPIRAN.....	x

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram blok sistem pengukuran untuk sensor amperometrik.....	4
Gambar 2.2 Rangkaian sederhana opamp Potentiostat.....	6
Gambar 2.3 Skema potentiostat, dengan <i>cell</i> elektrokimia yang diganti dengan dua impedansi ...	9
Gambar 2.4 Rangkaian konverter arus-tegangan aktif dengan menggunakan Op-amp	12
Gambar 2.5 Simbol Op-Amp.....	12
Gambar 2.6 Penguat <i>non-inverting</i>	16
Gambar 2.7 Penguat <i>inverting</i>	17
Gambar 2.8 Blok diagram ADC pada mikrokontroler ATmega8	19
Gambar 2.9 Konfigurasi pin mikrokontroler ATmega8	20
Gambar 2.10 Pengkabelan antara LCD 2x16 dengan Mikrokontroler	22
Gambar 4.1 Diagram blok rangkaian pengkondisi sinyal dan akuisisi data	25
Gambar 4.2 Grafik karakteristik arus keluaran sensor terhadap kadar nitrat	28
Gambar 4.3 Rangkaian sumber bias	29
Gambar 4.4 Rangkaian Potentiostat.....	30
Gambar 4.5 Rangkaian Konverter Arus-Tegangan	32
Gambar 4.6 Rangkaian Penguat Akhir	33
Gambar 4.7 Rangkaian Mikrokontroler ATMEGA8.....	36
Gambar 4.8. Rangkaian LCD.....	37
Gambar 4.9 Diagram alir sub rutin baca ADC	39
Gambar 4.10 Diagram alir perhitungan dan menampilkan nilai kadar nitrat pada LCD.....	41
Gambar 4.11 Diagram alir sub rutin tampilan LCD	42
Gambar 4.12 Diagram alir rutin utama	43
Gambar 5.1 Rangkaian pengujian rangkaian potentiostat	45
Gambar 5.2 Rangkaian konverter tegangan-arus (<i>V/I converter</i>).....	47
Gambar 5.3 Rangkaian pengujian konverter arus-tegangan (<i>I/V converter</i>)	47
Gambar 5.4 Rangkaian pembangkit tegangan	50
Gambar 5.5 Rangkaian pengujian penguat tegangan akhir	50
Gambar 5.6 Rangkaian pengujian ADC mikrokontroler ATMEGA8.....	52

Gambar 5.7 Diagram alir program pengujian ADC..... 53

Gambar 5.8 Grafik ADC_{valid} terhadap V_{in} 56

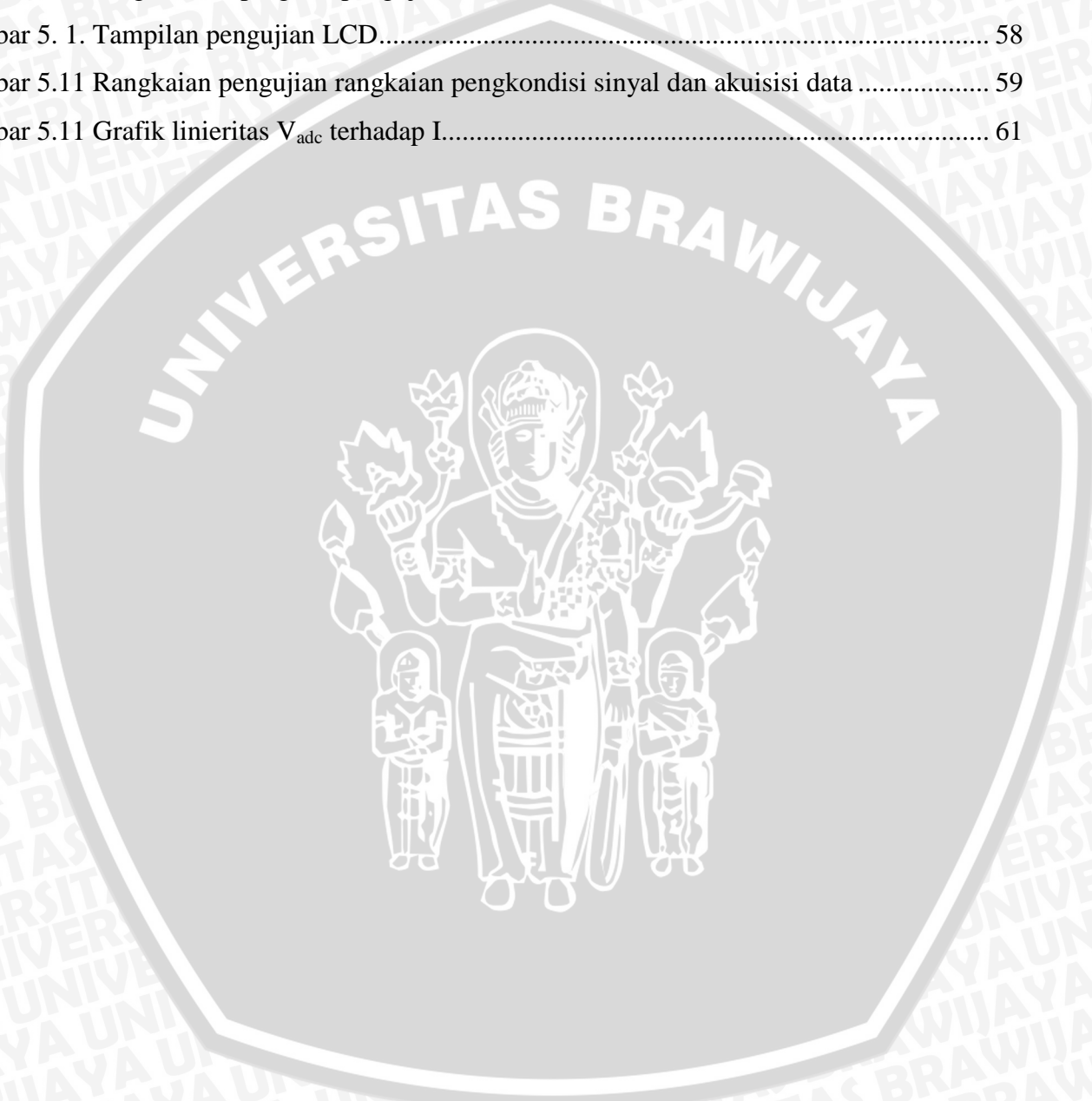
Gambar 5.9 Rangkaian pengujian LCD..... 57

Gambar 5.10 Diagram alir program pengujian LCD..... 57

Gambar 5. 1. Tampilan pengujian LCD..... 58

Gambar 5.11 Rangkaian pengujian rangkaian pengkondisi sinyal dan akuisisi data 59

Gambar 5.11 Grafik linieritas V_{adc} terhadap I 61



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Data hasil pengujian arus keluaran sensor nitrat	28
Tabel 4.2 Data perhitungan V_o I/V konverter	33
Tabel 4.3 Data perhitungan V_o rangkaian penguat akhir	35
Tabel 5.1 Tegangan keluaran rangkaian sumber bias dan rangkaian potentiostat.....	45
Tabel 5.2 Hasil pengujian rangkaian konverter arus-tegangan (<i>I/V converter</i>).....	48
Tabel 5.3 Hasil pengujian rangkaian penguat tegangan akhir	51
Tabel 5.4 Data hasil pengujian ADC mikrokontroler ATMEGA8.....	54
Tabel 5.5 Data hasil pengujian ADC dengan program koreksi	55
Tabel 5.6 Data I dan V_{adc}	60
Tabel 5.7 Data tampilan angka kadar nitrat pada LCD	62



ABSTRAK

ANANG DARMAWAN, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Desember 2010, Perancangan dan Pembuatan Rangkaian Pengkondisi Sinyal dan Akuisisi Data untuk Sensor Nitrat, Dosen Pembimbing : Mochammad Rif'an, ST., MT. dan Robeth V. Manurung, ST., MT.

Perkembangan teknologi semakin pesat. Salah satu teknologi yang senantiasa dikembangkan adalah teknologi sensor. Sensor tersebut dapat dibuat dari berbagai macam teknologi yang salah satunya adalah teknologi film tebal (*thick film*). Salah satu sensor yang memanfaatkan teknologi film tebal adalah sensor nitrat. Sensor nitrat hanya akan dapat bekerja jika ada peranti rangkaian pengkondisi sinyal dan data akuisisi.

Pengkondisi sinyal ini nantinya akan memberikan tegangan pada sensor dan mengolah keluaran sensor berupa arus. Selain rangkaian pengkondisi sinyal juga dibutuhkan rangkaian akuisisi data, yang akan mengolah sinyal keluaran rangkaian pengkondisi sinyal menjadi suatu nilai besaran konsentrasi (molar) dan ditampilkan melalui LCD. Pengujian dilakukan dengan mensimulasikan arus keluaran sensor nitrat antara range $22\mu\text{A}$ - $35\mu\text{A}$ yang setara dengan arus keluaran sensor nitrat jika dicelupkan dengan larutan nitrat antara $1\mu\text{M}$ - 1mM . Hasil pengujian menunjukkan bahwa LCD mampu menampilkan nilai kadar nitrat dengan tingkat kesalahan 0,739%

Kata kunci: rangkaian pengkondisi sinyal, akuisisi data, nitrat, konsentrasi nitrat, pemrograman mikrokontroler.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tingkat kelembaban yang baik pada tiap tanaman berbeda-beda, maka lain halnya dengan unsur hara. Unsur hara merupakan zat-zat di alam yang diperlukan makhluk hidup (tanaman) dalam proses pertumbuhan dan perkembangbiakan, dimana semua tanaman akan semakin bertumbuh subur dan baik, jika semakin banyak unsur hara yang terdapat dalam tanah, dan pertumbuhannya pun akan semakin jelek jika unsur hara yang terdapat dalam tanah sedikit. Salah satu unsur penting yang merupakan unsur hara adalah nitrat (nitrogen). Nitrat banyak ditemui dalam tanah, merupakan satu bentuk ikatan nitrogen dan tentunya sangat penting bagi tanaman, oleh karena itu diperlukan suatu sistem deteksi nitrat di dalam tanah khususnya lahan pertanian untuk mengetahui besar kandungan nitrat tersebut sebelum dilakukan pemupukan.

Dalam penelitian ini akan dilakukan proses perancangan dan pembuatan rangkaian pengkondisi sinyal (*signal conditioning*) dan akuisisi data untuk diaplikasikan pada sensor nitrat. Sistem deteksi kandungan nitrat di dalam tanah terdiri dari beberapa bagian yaitu: devais sensor nitrat, rangkaian pengkondisi sinyal dan akuisisi data. Devais sensor nitrat menggunakan prinsip elektro kimia dengan teknologi polimer konduktif sebagai membran sensitif. Besar konsentrasi nitrat yang diukur sebanding dengan besar arus yang dihasilkan (amperometrik). Konfigurasi tiga elektroda yang digunakan sensor nitrat yaitu elektroda kerja (*working*), referensi (*reference*) dan pembantu (*counter/auxiliary*). Sedangkan untuk mendukung kinerja devais sensor, maka diperlukan rangkaian pendukung yang mampu mengolah sinyal keluaran sensor menjadi besaran terukur yang dapat diukur bahkan ditampilkan pada bagian *display*. Rangkaian elektronika pendukung adalah pengkondisi sinyal dan akuisisi data.

1.2 Rumusan Masalah

Mengacu pada permasalahan yang telah diuraikan pada latar belakang, maka rumusan masalah ditekankan pada :

- 1) Berapa range nilai kadar nitrat yang harus diolah oleh rangkaian pengkondisi sinyal dan akuisisi data untuk sensor nitrat?
- 2) Apakah LCD mampu menampilkan nilai kadar nitrat dalam tanah dengan tepat?

- 3) Berapakah nilai kesalahan dalam pengukuran kadar nitrat dengan menggunakan rangkaian pengkondisi sinyal dan akuisisi data untuk sensor nitrat ini?

1.3 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membuat alat pendeteksi kadar kandungan nitrat pada tanah, yang berupa rangkaian pengkondisi sinyal dan akuisisi data yang akan digunakan untuk sensor nitrat. Rangkaian pengkondisi sinyal dan akuisisi data ini sangat penting, karena tanpa dua rangkaian ini, maka alat pendeteksi kadar kandungan nitrat pada tanah tidak akan bekerja sesuai keinginan. Rangkaian pendukung ini berfungsi mengolah sinyal keluaran sensor menjadi besaran terukur yang dapat diukur bahkan ditampilkan pada bagian *display* (LCD).

1.4 Ruang Lingkup

Berdasarkan perumusan masalah di atas, maka pembahasan dibatasi pada :

- 1) Perancangan dan pembuatan rangkaian pengkondisi sinyal (*signal conditioning*) dan akuisisi data untuk sensor nitrat.
- 2) Penelitian difokuskan pada Perancangan dan pembuatan rangkaian pengkondisi sinyal (*signal conditioning*) dan akuisisi data untuk sensor nitrat tanpa melibatkan rangkaian sensor, rangkaian supply dan rangkaian pembantu pengujian.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam skripsi ini sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Memuat latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan, dan sistematika pembahasan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Membahas teori-teori yang mendukung dalam perencanaan dan pembuatan alat.

BAB III Metodologi

Berisi tentang metode-metode yang dipakai dalam melakukan perancangan, pengujian, dan analisis data.

BAB IV Perancangan

Perancangan dan perealisasiian alat yang meliputi spesifikasi, perencanaan blok diagram, prinsip kerja dan realisasi alat.

BAB V Pengujian dan Analisis

Memuat aspek pengujian meliputi penjelasan tentang cara pengujian dan hasil pengujian. Aspek analisis meliputi penilaian atau komentar terhadap hasil-hasil pengujian. Pengujian dan analisis ini terhadap alat yang telah direalisasikan berdasarkan masing-masing blok dan sistem secara keseluruhan.

BAB VI Kesimpulan dan Saran

Memuat intisari hasil pengujian dan menjawab rumusan masalah serta memberikan rekomendasi untuk perbaikan kualitas penelitian dimasa yang akan datang.

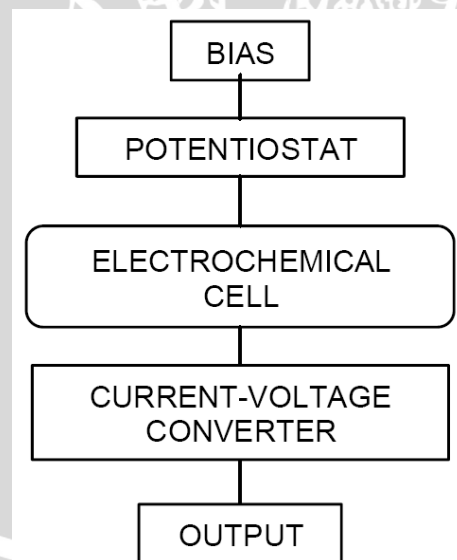


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam merancang dan membuat rangkaian pengkondisi sinyal (*signal contioning*) dan akuisisi data untuk sensor nitrat, maka dibutuhkan pemahaman tentang beberapa hal yang mendukung sistem ini. Pemahaman ini bermanfaat untuk merancang perangkat keras dan perangkat lunak sistem. Pengetahuan yang mendukung perancangan dan pembuatan rangkaian pengkondisi sinyal (*signal contioning*) dan akuisisi data untuk sensor nitrat meliputi sensor nitrat, Potentiostat/Galvanostat, konverter arus-tegangan, amplifier, ADC, Mikrokontroler ATMega8, LCD M1632.

Perancangan rangkaian pengkondisi sinyal yang memproses pengukuran arus pada *cell* elektrokimia ini, mengacu pada penelitian yang pernah dilakukan dalam literatur. Literatur menjelaskan bahwa susunan dua elektroda baik digunakan untuk arus lebih kecil dari 10 μA , akan tetapi untuk arus yang lebih besar dari itu, maka direkomendasikan untuk menggunakan tiga elektroda. Diagram blok dari instrumen elektroniknya ditunjukkan dalam Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Diagram blok sistem pengukuran untuk sensor amperometrik

Sumber: P.R. Hernandez dkk, 2002: 107

Potentiostat adalah rangkaian yang menjaga tegangan antara elektroda referensi dan elektroda kerja yang berubah-ubah agar tetap konstan. Rangkaian ini mengkompensasi kemungkinan tegangan yang hilang saat terjadinya reaksi kimia serta memungkinkan adanya sirkulasi arus yang sangat rendah oleh elektroda referensi.

Pada bagian I-V *converter*, keluaran tegangan akan sebanding dengan arus pada elektroda kerja, dan besar kecilnya nilai tegangan keluaran dari konverter arus-tegangan ini akan tergantung terhadap tingkat konsentrasi zat kimia yang diukur. Dua faktor penguatan dibutuhkan disini.

Polarisasi *cell* dapat diubah-ubah dalam range 0-2,5 V dan yang lain digunakan untuk tujuan kompensasi apabila skala yang lebih lebar dibutuhkan. Apabila menggunakan elektroda berkarakteristik, maka rangkaian akan lebih sederhana.

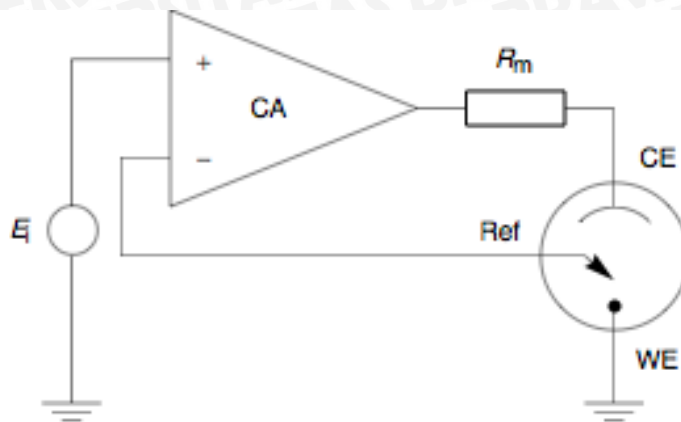
2.1 Sensor Nitrat

Sensor Nitrat merupakan sensor yang mampu mendeteksi kadar kandungan nitrat dalam tanah. Pengukuran menggunakan sensor nitrat ini adalah dengan menganalisa besarnya arus yang mengalir dalam tanah tersebut, dimana semakin besar kandungan nitrat, maka akan semakin kecil nilai arus keluaran dari sensor ini.

2.2 Potentiostat/Galvanostat

Potentiostat adalah perangkat elektronik yang dibutuhkan untuk mengontrol tiga sel elektroda dan untuk melakukan banyak eksperimen *electroanalytical*. *Bipotentiostat* dan *polypotentiostat* mampu mengontrol dua elektroda kerja (*working electrode*) dan lebih dari dua elektroda kerja (*working electrode*).

Cara kerja sistem adalah dengan menjaga potensial pada elektroda kerja pada level konstan dengan memperhatikan elektroda referensi (*reference electrode*) dengan mengatur arus pada elektroda pembantu (*auxiliary electrode*). Potentiostat terdiri atas rangkaian elektronika yang biasanya digambarkan dalam bentuk opamp sederhana ditunjukkan dalam Gambar 6.2.



Gambar 2.2 Rangkaian sederhana opamp Potentiostat

Sumber : Peter T. Kissinger, William R. Heineman. 1996.

2.2.1 Fungsi Utama Potentiostat

Potentiostat pada dasarnya digunakan untuk mempelajari elektrokimia modern. menggunakan sistem tiga elektroda untuk mengetahui mekanisme reaksi yang berhubungan dengan reaksi redoks dan fenomena kimia lainnya. Ini merupakan salah satu bentuk utama dari instrumentasi kimia. Cara pengambilan data dengan alat ini tergantung dari eksperimen yang dilakukan. Dalam *voltammetry*, arus listrik dalam ampere, difungsikan terhadap potensial listrik (tegangan) dalam volt. Dalam *bulk electrolysis*, banyaknya muatan yang lewat (*total electric charge*) difungsikan terhadap waktu dalam detik melalui eksperimen pengukuran arus listrik (ampere) terhadap waktu. Eksperimen ini dilakukan untuk mendekati banyaknya muatan yang diinginkan.

Pada awal ditemukannya, potentiostat berfungsi sendiri, menghasilkan data output melalui pelacakan data fisik. Potentiostat modern didesain untuk ber-*inteface* dengan PC dan beroperasi dengan menggunakan *software* khusus. *Software* otomatis, memungkinkan pemakai mengganti eksperimen dengan kondisi eksperimental secara cepat. Penggunaan komputer (PC), memungkinkan data dapat disimpan dan di analisis lebih cepat, efektif dan akurat daripada potentiostat awal.

2.2.2 Faktor-faktor berpengaruh terhadap kerja Potentiostat

Dalam eksperimen elektrokimia, elektroda adalah bagian dari potentiostat yang harus mampu dengan cepat melakukan kontak dengan objek yang akan dianalisis. Alasan ini yang membuat elektroda menjadi bagian yang sangat penting untuk memperoleh data eksperimen. Permukaan elektroda bisa menjadi katalisator reaksi kimia, bisa juga tidak. Ukuran elektroda mempengaruhi *magnitude* dari arus yang mengalir yang mempengaruhi besar noise. Akan tetapi elektroda bukanlah satu-satunya faktor yang membatasi eksperimen elektrokimia, potentiostat itu sendiri memiliki *range* operasi yang terbatas. Berikut ini faktor-faktor yang cukup berpengaruh terhadap kinerja potentiostat :

- Range tegangan
- Ketepatan tegangan (baik yang diukur maupun dalam pemakaian alat)
- *Range* dari *scan rate*
- *Sample rate*
- Ukuran *file*
- Range arus
- Resolusi arus
- Ketepatan arus
- Banyaknya kanal kerja (*working channel*)
- *Footprint*
- Antarmuka (*interface*)
- *Sweep generator*
- *Rotating electrode*

2.2.3 Persamaan Dasar

Potentiostat adalah alat pengontrol dan pengukur. Di dalamnya terdapat rangkaian elektronika yang berfungsi mengontrol potensial pada *cell* dengan melihat perubahan pada resistensinya, berubah mengikuti arus yang masuk ke dalam sistem: resistansi yang semakin besar akan mengakibatkan arus semakin kecil, jika resistensi semakin kecil, maka arus akan semakin besar, untuk menjaga tegangan agar tetap konstan. Ini merupakan aplikasi sederhana dari hukum Ohm.

$$R = \frac{E}{I} \quad (2.1)$$

maka,

$$I_o = \frac{E_c}{R_v} \quad (2.2)$$

Dimana :

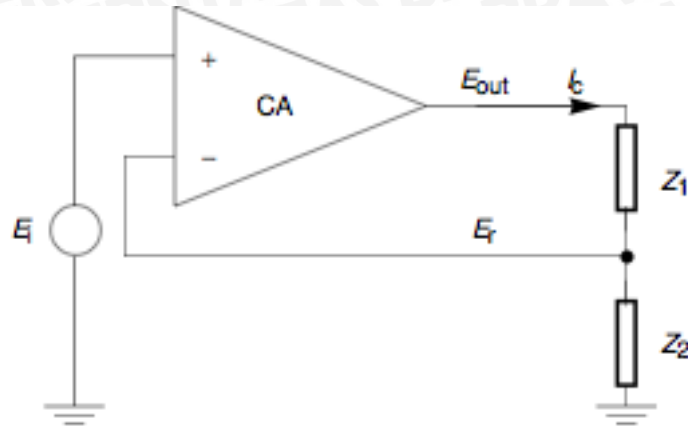
- I_o adalah arus listrik keluaran potentiostat
- E_c adalah tegangan yang dijaga tetap konstan
- R_v adalah resistensi yang berubah-ubah

2.2.4 Prinsip kerja Potentiostat

Sejak 1942, Saat Hickling menciptakan potentiostat tiga elektroda yang pertama, perkembangan penting telah dilakukan untuk meningkatkan kemampuan potentiostat. Hickling memiliki ide yang jenius untuk mengontrol secara otomatis potensial *cell* dengan menggunakan elektroda ketiga yaitu elektroda referensi (*reference electrode*). Prinsipnya tersebut sebagian besar tidak berubah sampai saat ini. Potentiostat secara cepat mampu mengukur perbedaan potensial antara elektroda kerja dengan elektroda referensi. Arus dialirkan melalui elektroda pembantu (*counter/auxiliary electrode*) dan mengukur arus untuk mengetahui jatuh tegangan iR pada resistor seri R_m ditunjukkan dalam Gambar 2.2.

Kontrol amplifier CA berfungsi untuk menjaga tegangan antara elektroda kerja dan referensi sedekat mungkin dengan tegangan masukan sumber E_I . Amplifier CA menyesuaikan keluarannya untuk secara otomatis mengontrol arus yang mengalir pada *cell* sehingga kondisi keseimbangannya memuaskan.

Dalam menganalisis persamaan, dari sudut pandang kelistrikan, *cell* elektrokimia, dan pengukuran arus resistor R_m bisa dipandang sebagai dua impedansi ditunjukkan dalam Gambar 2.3. Z_1 termasuk di dalamnya adalah R_m , dihubungkan secara seri dengan hambatan dalam dari elektroda pembantu dan solusi resistansi antara elektroda pembantu dan referensi. Z_2 merepresentasikan hambatan dalam dari elektroda kerja yang dihubungkan seri dengan solusi resistansi antara elektroda kerja dan referensi.



Gambar 2.3 Skema potentiostat, dengan *cell* elektrokimia yang diganti dengan dua impedansi

Sumber : Peter T. Kissinger, William R. Heineman. 1996.

Tugas dari amplifier kontrol (CA) adalah untuk menguatkan beda potensial antara masukan positif (*non-inverting*) dengan masukan negatif (*inverting*). Persamaan matematikanya adalah sebagai berikut :

$$E_{\text{out}} = A (E^{+} - E^{-}) = A (E_i - E_r) \quad (2.3)$$

Dimana :

- E_{out} = Tegangan keluaran CA
- A = Faktor penguatan CA
- E^{+} = Tegangan pada kutub non-inverter
- E^{-} = Tegangan pada kutub inverter
- E_i = Tegangan masukan CA
- E_r = Tegangan referensi

Melalui Persamaan 2.3 maka arus yang mengalir pada elektroda referensi dapat diasumsikan. Hal ini berhubungan dengan fenomena fisik yang terjadi ketika elektroda referensi terhubung dengan electrometer. Kemudian, arus *cell* dapat dicari melalui dua cara :

$$I_c = \frac{E_{\text{out}}}{Z_1 + Z_2} \quad (2.4)$$

dan

$$I_c = \frac{E_r}{Z_2} \quad (2.5)$$

Dimana :

- I_c = Arus keluaran amplifier
- E_r = Tegangan referensi
- Z_1 & Z_2 = Impedansi

Kombinasi Persamaan 2.4 dan 2.5 menghasilkan Persamaan 2.6 :

$$E_r = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} E_{out} = \beta E_{out} \quad (2.6)$$

Dimana :

- E_r = Tegangan referensi
- Z_1 & Z_2 = Impedansi
- E_{out} = Tegangan keluaran CA
- β = faktor umpan balik (*feedback factor*)

β adalah sebagian dari tegangan keluaran dari amplifier kontrol yang kembali ke masukan negatif, disebut faktor umpan balik (*feedback factor*) :

$$\beta = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (2.7)$$

Dimana :

- β = faktor umpan balik (*feedback factor*)
- Z_1 & Z_2 = Impedansi

Kombinasi Persamaan 2.3 dan 2.6 menghasilkan Persamaan 2.8 :

$$\frac{E_r}{E_i} = \frac{\beta A}{1 + \beta A} \quad (2.8)$$

Dimana :

- E_r = Tegangan referensi
- E_i = Tegangan masukan CA
- β = faktor umpan balik (*feedback factor*)
- A = Faktor penguatan CA

Jika nilai βA sangat besar jika dibandingkan satu, maka Persamaan 2.8 disederhanakan menjadi Persamaan 2.9, yang merupakan salah satu persamaan umpan balik negatif :

$$E_i = E_r \quad (2.9)$$

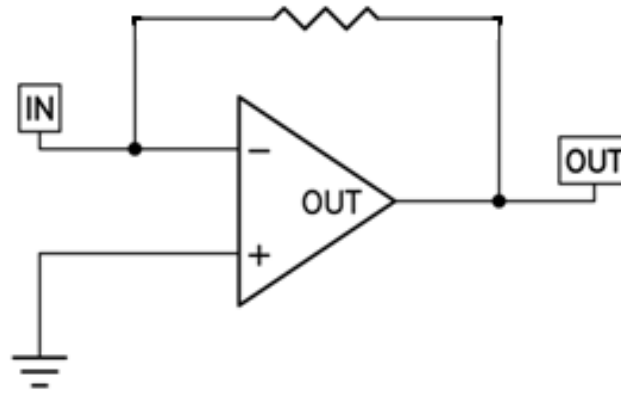
Dimana :

- E_i = Tegangan masukan CA
- E_r = Tegangan referensi

Persamaan 2.9 membuktikan bahwa amplifier kontrol bekerja untuk menjaga tegangan antara elektroda kerja dengan elektroda referensi mendekati tegangan masukan sumber.

2.3 Konverter Arus – Tegangan

Rangkaian konverter arus-tegangan merupakan suatu rangkaian yang bisa merubah suatu arus (I) menjadi tegangan (V). Setiap perubahan arus akan membuat tegangan keluaran yang berbanding lurus dan linier. Konverter arus-tegangan terdiri dari dua macam, yaitu konverter arus-tegangan pasif dan konverter arus-tegangan aktif. Op-amp merupakan salah satu komponen elektronika yang dapat menjadi bagian utama dalam sebuah rangkaian konverter arus-tegangan ditunjukkan dalam Gambar 2.4.



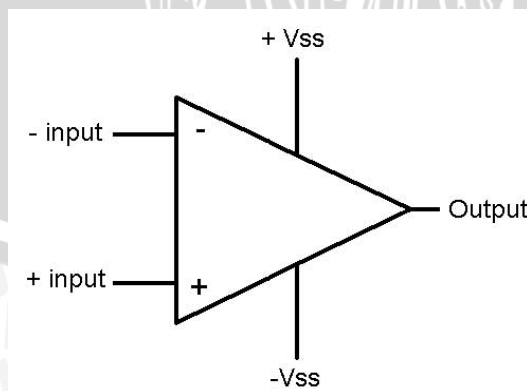
Gambar 2.4 Rangkaian konverter arus-tegangan aktif dengan menggunakan Op-amp

Sumber : Franco, Sergio. 2002: 61

Dalam rangkaian konverter arus-tegangan yang ditunjukkan dalam Gambar 2.3, dapat dilihat bahwa keluaran dari Op-amp dihubungkan secara seri dengan sumber tegangan masukan, dan kutub inverting dihubungkan dengan I_{in} yang merupakan arus keluaran dari sensor.

2.4 Amplifier (Penguat)

Penguat operasional (Op Amp) adalah suatu rangkaian terintegrasi yang berisi beberapa tingkat dan konfigurasi penguat diferensial yang telah dijelaskan di atas. Penguat operasional memiliki dua masukan dan satu keluaran serta memiliki penguatan DC yang tinggi. Untuk dapat bekerja dengan baik, penguat operasional memerlukan tegangan catu yang simetris yaitu tegangan yang berharga positif (+V) dan tegangan yang berharga negatif (-V) terhadap tanah (*ground*). Simbol Op-Amp ditunjukkan dalam Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Simbol Op-Amp

Sumber : Terrel, D.L. 1996: 18

2.4.1 Karakteristik Ideal Penguat Operasional

Penguat operasional banyak digunakan dalam berbagai aplikasi karena beberapa keunggulan yang dimilikinya, seperti penguatan yang tinggi, impedansi masukan yang tinggi, impedansi keluaran yang rendah dan lain sebagainya. Berikut ini adalah karakteristik dari Op Amp ideal:

- Penguatan tegangan lingkaran terbuka (*open-loop voltage gain*) $A_{VOL} = \infty$
- Tegangan offset keluaran (*output offset voltage*) $V_{OO} = 0$
- Resistansi masukan (*input resistance*) $R_I = \infty$
- Resistansi keluaran (*output resistance*) $R_O = 0$
- Lebar pita (*band width*) $BW = \infty$
- Waktu tanggapan (*respon time*) = 0 detik
- Karakteristik tidak berubah dengan suhu

Kondisi ideal tersebut hanya merupakan kondisi teoritis tidak mungkin dapat dicapai dalam kondisi praktis. Tetapi para pembuat Op Amp berusaha untuk membuat Op Amp yang memiliki karakteristik mendekati kondisi-kondisi di atas. Karena itu sebuah Op Amp yang baik harus memiliki karakteristik yang mendekati kondisi ideal. Berikut ini akan dijelaskan satu persatu tentang kondisi-kondisi ideal dari Op Amp.

2.4.2 Penguatan Tegangan Lingkaran Terbuka

Penguatan tegangan lingkaran terbuka (*open loop voltage gain*) adalah penguatan diferensial Op Amp pada kondisi dimana tidak terdapat umpan balik (*feedback*). Secara ideal, penguatan tegangan lingkaran terbuka adalah:

$$A_{VOL} = V_o / V_{id} = -\infty \quad (2.10)$$

$$A_{VOL} = V_o / (V_1 - V_2) = -\infty \quad (2.11)$$

Dimana :

- A_{VOL} = Penguatan tegangan lingkaran terbuka (*open-loop voltage gain*)
- V_o = Tegangan keluaran
- V_{id} = Tegangan masukan

Tanda negatif menandakan bahwa tegangan keluaran V_O berbeda fasa dengan tegangan masukan V_{id} . Konsep tentang penguatan tegangan tak berhingga tersebut sukar untuk divisualisasikan dan tidak mungkin untuk diwujudkan. Suatu hal yang perlu untuk dimengerti adalah bahwa tegangan keluaran V_O jauh lebih besar daripada tegangan masukan V_{id} . Dalam kondisi praktis, harga A_{VOL} adalah antara 5000 (sekitar 74 dB) hingga 100000 (sekitar 100 dB).

Tetapi dalam penerapannya tegangan keluaran V_O tidak lebih dari tegangan catu yang diberikan pada Op Amp. Karena itu Op Amp baik digunakan untuk menguatkan sinyal yang amplitudonya sangat kecil.

2.4.3 Tegangan Ofset Keluaran

Tegangan ofset keluaran (*output offset voltage*) V_{OO} adalah harga tegangan keluaran dari Op Amp terhadap tanah (*ground*) pada kondisi tegangan masukan $V_{id} = 0$. Secara ideal, harga $V_{OO} = 0$ V. Op Amp yang dapat memenuhi harga tersebut disebut sebagai Op Amp dengan CMR (*common mode rejection*) ideal.

Tetapi dalam kondisi praktis, akibat adanya ketidakseimbangan dan ketidakidentikan dalam penguat diferensial dalam Op Amp tersebut, maka tegangan ofset V_{OO} biasanya berharga sedikit di atas 0 V. Apalagi apabila tidak digunakan umpan balik maka harga V_{OO} akan menjadi cukup besar untuk menimbulkan saturasi pada keluaran. Untuk mengatasi hal ini, maka perlu diterapkan tegangan koreksi pada Op Amp. Hal ini dilakukan agar pada saat tegangan masukan $V_{id} = 0$, tegangan keluaran V_O juga = 0.

2.4.4 Resistansi Masukan

Hambatan masukan (input resistance) R_i dari Op Amp adalah besar hambatan di antara kedua masukan Op Amp. Secara ideal hambatan masukan Op Amp adalah tak berhingga. Tetapi dalam kondisi praktis, harga hambatan masukan Op Amp adalah antara 5 k Ω hingga 20 M Ω , tergantung pada tipe Op Amp. Harga ini biasanya diukur pada kondisi Op Amp tanpa umpan balik. Apabila suatu umpan balik negatif (*negative feedback*) diterapkan pada Op Amp, maka hambatan masukan Op Amp akan meningkat.

Dalam suatu penguat, hambatan masukan yang besar adalah suatu hal yang diharapkan. Semakin besar hambatan masukan suatu penguat, semakin baik penguat tersebut dalam

menguatkan sinyal yang amplitudonya sangat kecil. Dengan hambatan masukan yang besar, maka sumber sinyal masukan tidak terbebani terlalu besar.

2.4.5 Resistansi Keluaran

Hambatan Keluaran (*output resistance*) R_O dari Op Amp adalah besarnya hambatan dalam yang timbul pada saat Op Amp bekerja sebagai pembangkit sinyal. Secara ideal harga hambatan keluaran R_O Op Amp adalah $= 0$. Apabila hal ini tercapai, maka seluruh tegangan keluaran Op Amp akan timbul pada beban keluaran (RL), sehingga dalam suatu penguat, hambatan keluaran yang kecil sangat diharapkan.

Dalam kondisi praktis harga hambatan keluaran Op Amp adalah antara beberapa ohm hingga ratusan ohm pada kondisi tanpa umpan balik. Dengan diterapkannya umpan balik, maka harga hambatan keluaran akan menurun hingga mendekati kondisi ideal.

2.4.5 Lebar Pita

Lebar pita (*band width*) BW Op Amp adalah lebar frekuensi tertentu dimana tegangan keluaran tidak jatuh lebih dari 0,707 dari harga tegangan maksimum pada saat amplitudo tegangan masukan konstan. Secara ideal, Op Amp memiliki lebar pita yang tak terhingga. Tetapi dalam penerapannya, hal ini jauh dari kenyataan.

Sebagian besar Op Amp serba guna memiliki lebar pita hingga 1 MHz dan biasanya diterapkan pada sinyal dengan frekuensi beberapa kiloHertz. Tetapi ada juga Op Amp yang khusus dirancang untuk bekerja pada frekuensi beberapa MegaHertz. Op Amp jenis ini juga harus didukung komponen eksternal yang dapat mengkompensasi frekuensi tinggi agar dapat bekerja dengan baik.

2.4.6 Waktu Tanggapan

Waktu tanggapan (*response time*) Op Amp adalah waktu yang diperlukan oleh keluaran untuk berubah setelah masukan berubah. Secara ideal harga waktu respon Op Amp adalah $= 0$ detik, yaitu keluaran harus berubah langsung pada saat masukan berubah.

Tetapi dalam prakteknya, waktu tanggapan dari Op Amp memang cepat tetapi tidak langsung berubah sesuai masukan. Waktu tanggapan Op Amp umumnya adalah beberapa mikro

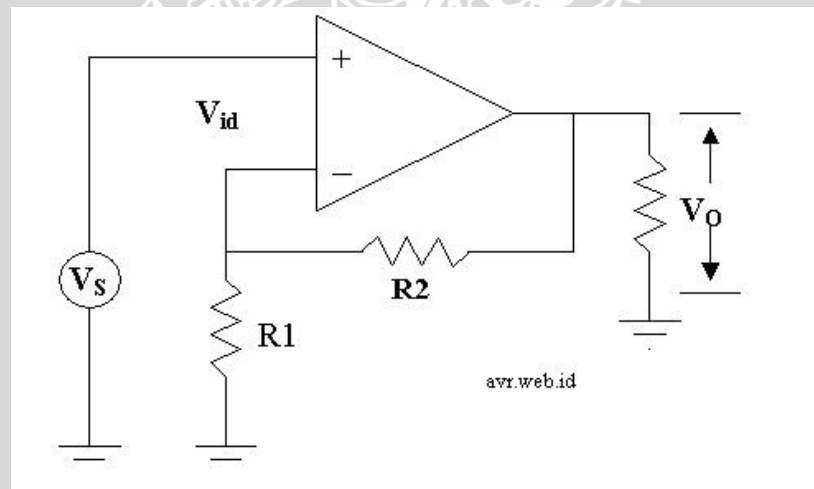
detik hal ini disebut juga *slew rate*. Perubahan keluaran yang hanya beberapa mikrodetik setelah perubahan masukan tersebut umumnya disertai dengan *overshoot* yaitu lonjakan yang melebihi kondisi *steady state*. Tetapi pada penerapan biasa, hal ini dapat diabaikan.

2.4.7 Karakteristik Terhadap Suhu

Sebagaimana mana diketahui, suatu bahan semikonduktor yang akan berubah karakteristiknya apabila terjadi perubahan suhu yang cukup besar. Pada Op Amp yang ideal, karakteristiknya tidak berubah terhadap perubahan suhu. Tetapi dalam prakteknya, karakteristik sebuah Op Amp pada umumnya sedikit berubah, walaupun pada penerapan biasa, perubahan tersebut dapat diabaikan.

2.4.8 Implementasi Penguat Operasional

Rangkaian yang akan dijelaskan dan dianalisa dalam tulisan ini akan menggunakan penguat operasional yang bekerja sebagai komparator dan sekaligus bekerja sebagai penguat. Gambar 2.6 dan Gambar 2.7 menunjukkan konfigurasi Op Amp yang bekerja sebagai penguat.



Gambar 2.6 Penguat *non-inverting*

Sumber : Terrel, D.L. 1996: 59

Gambar 2.6 menunjukkan sebuah penguat *non-inverting*. Penguat tersebut dinamakan penguat *non-inverting* karena masukan dari penguat tersebut adalah masukan *non-inverting* dari Op Amp. Sinyal keluaran penguat jenis ini sefase dengan sinyal keluarannya. Adapun besar penguatan dari penguat ini dapat dihitung dengan rumus:

$$A_V = (R_1 + R_2) / R_1 \quad (2.12)$$

$$A_V = 1 + (R_2 / R_1) \quad (2.13)$$

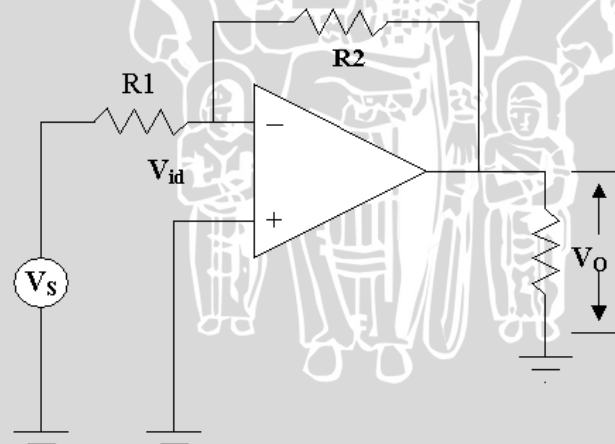
Sehingga:

$$V_O = (1 + (R_2 / R_1)) V_{id} \quad (2.14)$$

Dimana:

- A_V = Penguatan tegangan
- R_1 & R_2 = Nilai resistor
- V_O = Tegangan keluaran
- V_{id} = Tegangan masukan

Selain penguat *non-inverting*, terdapat pula konfigurasi penguat *inverting*. Dari penamaannya, maka dapat diketahui bahwa sinyal masukan dari penguat jenis ini diterapkan pada masukan *inverting* dari Op Amp, yaitu masukan dengan tanda “-“. Sinyal masukan dari penguat *inverting* berbeda fasa sebesar 180° dengan sinyal keluarannya. Jadi jika ada masukan positif, maka keluarannya adalah negatif. Skema penguat *inverting* dapat ditunjukkan dalam Gambar 2.7



Gambar 2.7 Penguat *inverting*

Sumber : Terrel, D.L. 1996: 39

Penguatan penguat dapat dihitung dengan rumus:

$$A_V = - R_2 / R_1 \quad (2.15)$$

Sehingga:

$$V_o = - (R_2/R_1) V_{id} \quad (2.16)$$

Dimana:

- A_v = Penguatan tegangan
- R_1 & R_2 = Nilai resistor
- V_o = Tegangan keluaran
- V_{id} = Tegangan masukan

2.5 ADC (Analog to Digital Converter)

Mikrokontroler ATmega8 adalah salah satu jenis AVR yang memiliki fasilitas ADC 10-bit. ADC terhubung dengan 8-saluran *multiplexer* analog yang memungkinkan setiap pin pada port A untuk digunakan sebagai input untuk ADC. ADC mengkonversi tegangan masukan analog menjadi tegangan digital 10 bit melalui pendekatan *successive (successive approximation)* yang membutuhkan frekuensi sampling antara 50 kHz dan 200 kHz untuk mendapatkan resolusi maksimum.

Hasil konversi ADC dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$ADC = \frac{V_{in}}{V_{ref}} \times (2^n - 1) \quad (2.17)$$

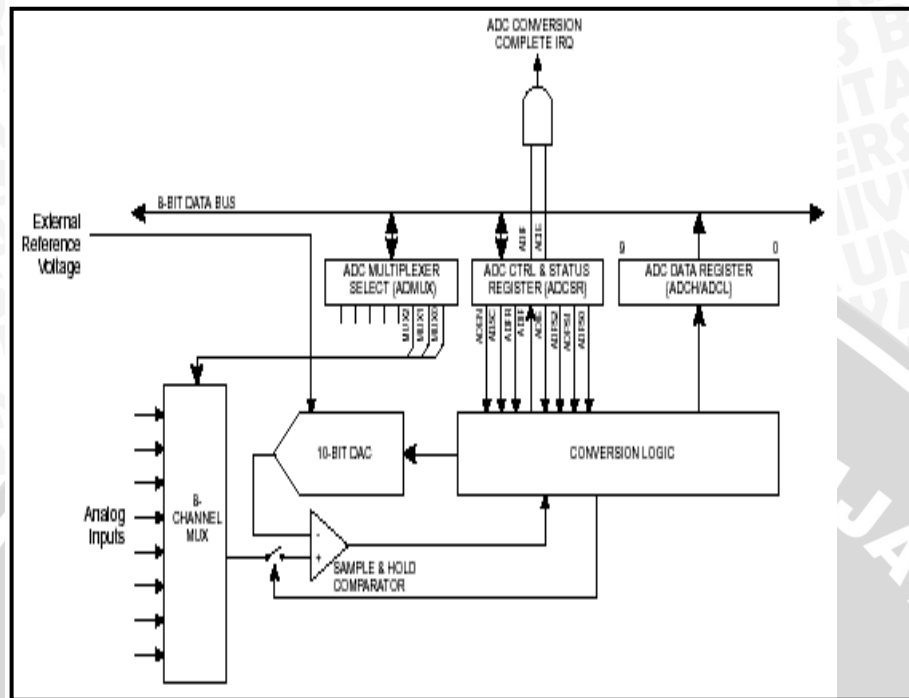
dimana :

- V_{in} = tegangan masukan
- V_{ref} = tegangan referensi
- n = jumlah bit

Resolusi maksimal ADC dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$Resolusi\ Maks = \left(\frac{\text{tegangan skala penu h}}{2^n - 1} \right) = \frac{5\ \text{volt}}{1023} = 4,89\ \text{mV} \quad (2.18)$$

Blok diagram dari ADC ditunjukkan dalam Gambar 6.8.



Gambar 2.8 Blok diagram ADC pada mikrokontroler ATmega8

Sumber: Atmel, 2006: 204

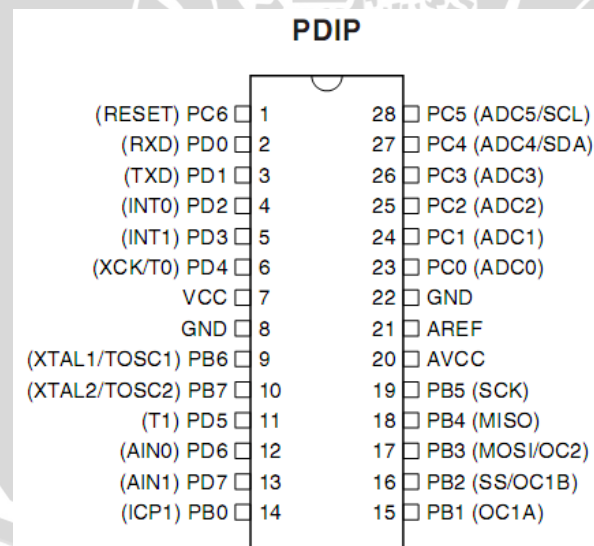
Pada ATmega8 terdapat dua cara operasi ADC, yaitu mode *single conversion* dan mode *free running*. Pada mode *free running* hanya perlu dilakukan satu kali penyetingan pada bit ADCSC (ADC Start Conversion). Sedangkan pada mode *single conversion* setiap konversi dimulai dengan menyeting bit ADCSC

2.6 Mikrokontroler ATMEGA8

Sebagai sentral/pusat dari pengontrolan sistem ini digunakan mikrokontroler ATmega8. Mikrokontroler ini yang bertugas mengubah data analog keluaran (*output*) dari rangkaian pengkondisian sinyal menjadi data digital melalui ADC yang terdapat dalam ATmega8 secara internal, serta sebagai driver untuk LCD yang akan menampilkan nilai kandungan nitrat dalam tanah. Mikrokontroler ATmega8 ini diproduksi oleh ATMEL Company Amerika Serikat dan merupakan salah satu anggota keluarga dari jenis AVR. Mikrokontroler ini memiliki fasilitas komunikasi serial untuk melakukan pengiriman/penerimaan data dengan handphone. IC jenis ini berorientasi pada kontrol yang dapat diprogram ulang. Mikrokontroler ATmega8 mempunyai karakteristik utama sebagai berikut:

- Register serbaguna sejumlah 32x8 bit.
- *In-system Self-programmable* memori program *Flash* sebesar 8 Kbytes.
- EEPROM (*Electrical Erasable Programmable Read Only Memory*) sebesar 512bytes.
- SRAM internal 1 Kbytes.
- ADC (*Analog to Digital Converter*) 10 bit sebanyak 8 buah.
- I/O sejumlah 23 jalur yang dapat dipakai semua.
- *Timer/counter* 16 bit 1 buah.
- *Timer/counter* 8 bit 2 buah.
- *Programmable* serial USART.
- Frekuensi kerja 0 sampai 16 MHz.
- Tegangan operasi antara 4,5 volt sampai 5,5 volt.

Masing-masing kaki dalam mikrokontroler ATmega8 mempunyai fungsi tersendiri. Dengan mengetahui fungsi masing-masing kaki mikrokontroler ATmega8, perancang aplikasi mikrokontroler ATmega8 akan lebih mudah merencanakan dan membuat sistem yang dirancang. ATmega8 mempunyai 28 pin, susunan masing-masing pin ditunjukkan dalam Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Konfigurasi pin mikrokontroler ATmega8

Sumber: Atmel, 2006:2

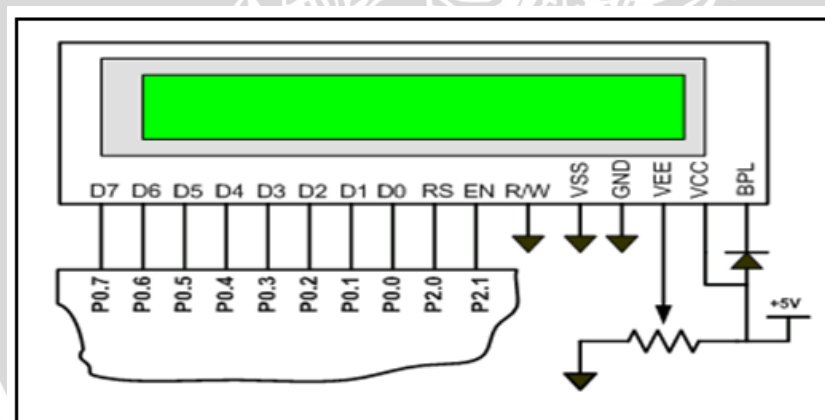
Fungsi pin-pin secara keseluruhan dari mikrokontroler ATmega8 adalah sebagai berikut:

- *Port B* (Pin B0-7), merupakan saluran masukan/keluaran dua arah dan juga mempunyai fungsi khusus. Fungsi khusus Port B diantaranya adalah : Port B0 sebagai ICP (*Timer/counter input capture pin*), Port B1 sebagai OC1A (*Timer/counter 1 output compare A match output*), Port B2 sebagai SS (*SPI slave select input*) dan OC1B (*Timer/counter 1 output compare B match output*), Port B3 sebagai OC2 (*timer/counter 2 compare match output*) dan MOSI (*SPI bus master output/slave input*), Port B4 sebagai MISO (*SPI bus master input/slave output*), Port B5 sebagai SCK (*SPI bus serial clock*), Port B6 dan Port B7 adalah TOSC1 (*Timer Oscillator pin1*) dan TOSC2 (*Timer oscillator pin2*).
- *Port C* (Pin C0-6), merupakan saluran masukan/keluaran dua arah dan juga mempunyai fungsi khusus. Fungsi khusus dari Port C diantaranya adalah : Port C0-5 sebagai saluran masukan ADC *channel 0-5*, selain itu, Port C4 sebagai SDA (*Two-Wire serial bus data input/output line*), Port C5 sebagai SCL (*Two-Wire serial bus clock line*), dan Port C6 sebagai pin RESET.
- *Port D* (Pin D0-7), merupakan saluran masukan/keluaran dua arah dan juga mempunyai fungsi khusus. Fungsi khusus dari Port D diantaranya adalah : Port D0 sebagai RXD (*USART input pin*), Port D1 sebagai TXD (*USART output pin*), Port D2 sebagai INT0 (*Eksternal interrupt 0 input*), Port D3 sebagai INT1 (*Eksternal interrupt 1 input*), Port D4 sebagai T0 (*timer/counter 0 eksternal counter input*) & XCK (*USART eksternal clock input/output*), Port D5 sebagai T1 (*timer/counter eksternal counter input*), Port D6 sebagai AIN0 (*Analog comparator positive input*), dan Port D7 sebagai AIN1 (*Analog comparator negative input*).
- Pin 1 RESET, merupakan saluran dua masukan untuk me-reset mikrokontroler dengan cara memberi masukan logika rendah.
- Pin 7 VCC, merupakan saluran masukan untuk catu daya positif sebesar 5 volt DC.
- Pin 8 GND, merupakan Ground dari seluruh rangkaian.
- Pin 9 dan 10 (XTAL1 dan XTAL2), merupakan saluran untuk mengatur pewaktuan sistem. Pewaktuan dapat menggunakan pewaktuan internal maupun eksternal.
- Pin 21 AREF, merupakan Pin analog referensi untuk masukan ADC.

- Pin 22 GND, merupakan ground dari ADC.
- Pin 20 AVcc, merupakan pin catu tegangan untuk A/D Converter pada port C (0-3). Pin ini harus dihubungkan dengan Vcc, walaupun fitur ADC tidak digunakan. Saat ADC digunakan, AVcc sebaiknya dihubungkan dengan Vcc melalui low-pass filter.

2.7 Modul LCD LMB162A

Liquid Crystal Display (LCD) adalah suatu media penampil dalam bentuk matrik titik yang diproduksi oleh Topway. LCD LMB162A dilengkapi dengan panel LCD dengan tingkat kontras yang cukup tinggi serta pengontrol LCD CMOS yang telah terpasang dalam modul tersebut. Pengontrol mempunyai ROM/RAM pembangkit karakter dan RAM data *display*. Semua fungsi untuk tampilan diatur menggunakan instruksi-instruksi sehingga modul LCD ini dengan mudah dapat diantarmukakan dengan unit mikroprosesor atau mikrokontroler (Seiko, 1987). Model pengkabelan antara LCD 2x16 dengan mikrokontroler ditunjukkan dalam Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Pengkabelan antara LCD 2x16 dengan Mikrokontroler

Sumber : Anonim, 1987

Masukan yang diperlukan untuk mengendalikan modul diatas berupa *bus* data yang masih termultipleks dengan *bus* alamat serta 3 bit sinyal kontrol, yaitu RS, EN dan R/W. Sementara pengendalian dot matrik LCD dilakukan secara internal oleh mikrokontroler yang sudah terpasang dengan modul LCD.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Penyusunan penelitian ini didasarkan pada masalah yang aplikatif, yaitu perancangan dan pembuatan alat agar dapat sesuai dengan yang direncanakan dengan mengacu pada rumusan masalah. Langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk merealisasikan alat yang dirancang adalah penentuan spesifikasi alat, perancangan dan pembuatan alat, pengujian alat, dan pengambilan kesimpulan.

3.1 Perancangan dan Pembuatan Alat

Perancangan alat dilakukan dalam beberapa tahap sebagai berikut:

1. Penentuan spesifikasi alat yang kemudian dilakukan pembuatan diagram blok sistem.
2. Perancangan dan pembuatan perangkat keras.
3. Pembuatan diagram alir perangkat lunak mikrokontroler.

3.2 Pembuatan alat

Setelah melakukan perancangan alat tahapan yang selanjutnya dilakukan adalah pembuatan alat dan perangkat lunak komputer sesuai dengan yang telah dirancang sebelumnya. Pembuatan alat dan perangkat lunak komputer meliputi:

1. Pembuatan perangkat keras menggunakan komponen elektronika yang telah direncanakan dan disesuaikan dengan komponen yang ada di pasaran.
2. Pembuatan perangkat lunak mikrokontroler sesuai dengan diagram alir yang telah direncanakan.

3.3 Pengujian Alat

Untuk mengetahui unjuk kerja dari alat yang telah dibuat maka dilakukan pengujian terhadap alat. Pengujian alat dibagi menjadi dua tahapan yaitu:

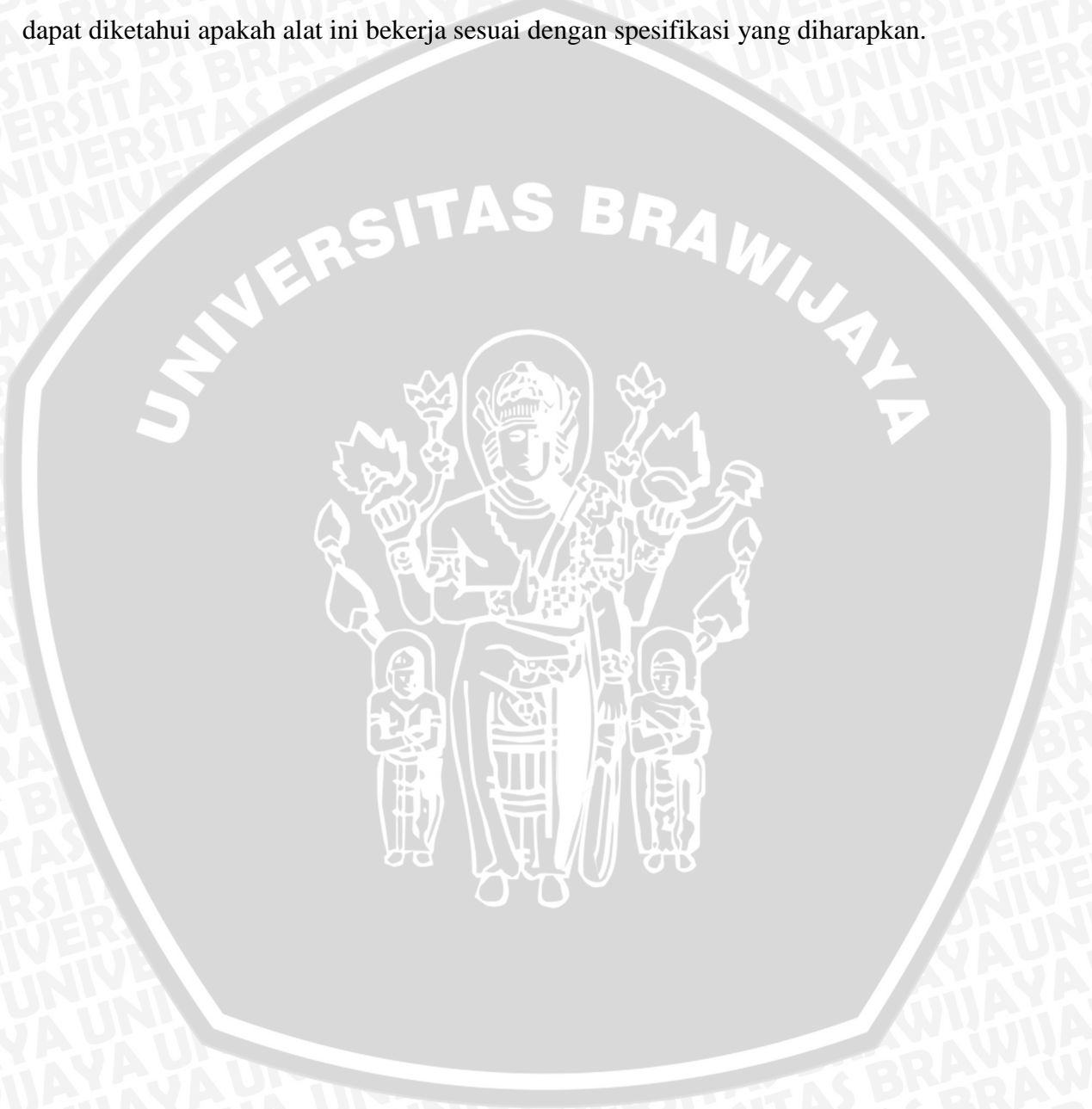
1. Pengujian sub bagian sistem

Pengujian sub bagian sistem meliputi pengujian rangkaian sumber bias, pengujian rangkaian potentiostat, pengujian rangkaian konverter arus-tegangan, pengujian

rangkaian penguat akhir, pengujian ADC serta pengolahan data oleh mikrokontroler, serta pengujian LCD.

2. Pengujian keseluruhan sistem

Menghubungkan semua blok sistem kemudian mengoperasikan sistem sehingga dapat diketahui apakah alat ini bekerja sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan.



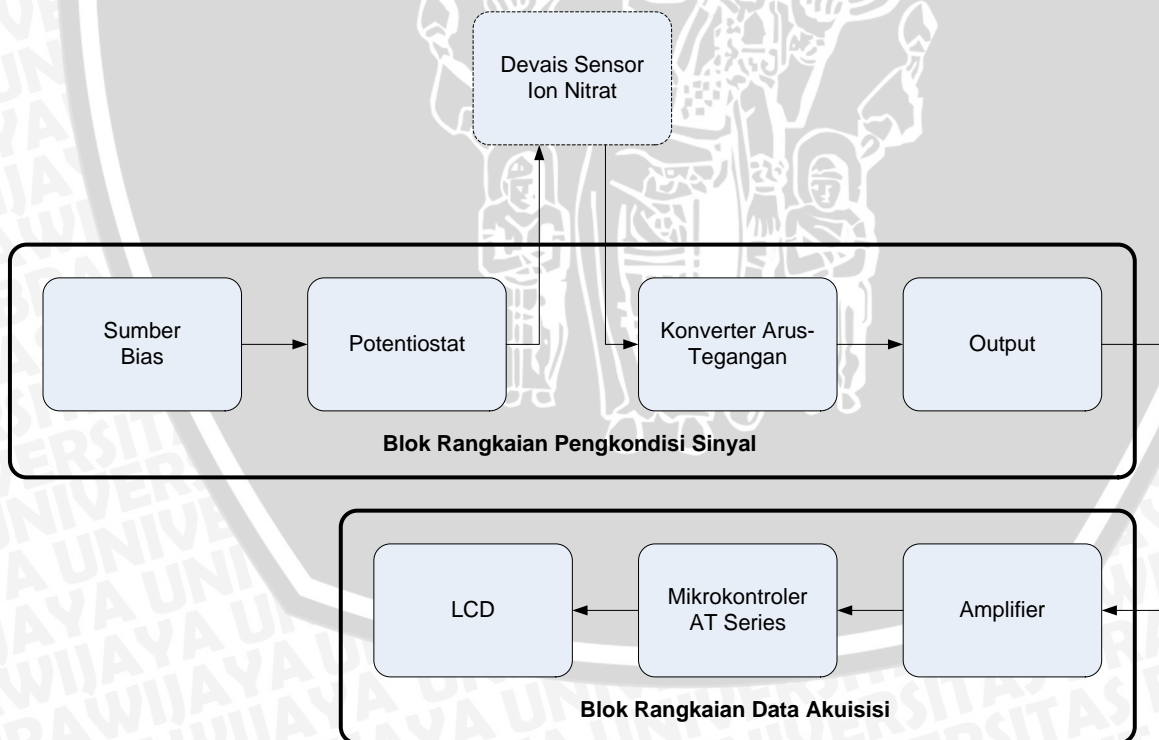
BAB IV

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Pada bab ini akan dibahas mengenai perancangan dan pembuatan rangkaian pengkondisi sinyal dan akuisisi data pada yang digunakan untuk sensor nitrat. Perancangan dan pembuatan ini meliputi perancangan sistem, penentuan spesifikasi alat, perancangan perangkat keras, dan perangkat lunaknya.

4.1 Perancangan sistem

Perancangan sistem rangkaian pengkondisi sinyal dan akuisisi data untuk sensor nitrat ini dilakukan secara bertahap untuk memudahkan dalam menganalisa tiap bagian sistem maupun keseluruhan sistem. Perancangan sistem ini terdiri dari dua perancangan utama, yaitu perancangan perangkat keras dan perancangan perangkat lunak. Diagram Blok rangkaian pengkondisi sinyal dan akuisisi data untuk sensor nitrat dapat ditunjukkan dalam Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Diagram blok rangkaian pengkondisi sinyal dan akuisisi data

Keterangan blok diagram dalam Gambar 4.1:

- Sumber bias merupakan bagian yang berfungsi untuk memberikan arus listrik pada elektroda pembantu (*counter/auxiliary electrode*).
- Potentiostat merupakan bagian yang berfungsi untuk menjaga tegangan antara elektroda referensi (*reference electrode*) dengan elektroda kerja (*working electrode*) tetap konstan, dengan menggunakan elektroda pembantu (*counter/auxiliary electrode*).
- Devais sensor nitrat merupakan bagian yang akan kontak langsung dengan substrat nitrat, terdiri dari tiga elektroda yang merupakan elektroda kerja (*working electrode*), elektroda referensi (*reference electrode*) dan elektroda pembantu (*counter/auxiliary electrode*).
- Konverter arus-tegangan merupakan bagian yang berfungsi untuk merubah arus yang keluar dari sensor menjadi tegangan agar bisa diproses lebih lanjut di ADC mikrokontroler.
- Amplifier merupakan bagian yang berfungsi untuk menguatkan tegangan keluaran RPS agar sesuai dengan range tegangan di ADC yaitu antara 0V-5V.
- Mikrokontroler ATMEGA8 merupakan bagian yang didalamnya terdapat ADC yang berfungsi merubah tegangan analog menjadi digital, kemudian mengolah data keluaran ADC untuk mengkonversinya menjadi data dengan satuan Molar dan menampilkannya melalui LCD
- LCD merupakan bagian yang berfungsi untuk menampilkan data olahan mikrokontroler yang akan menampilkan kadar kandungan nitrat tanah.

Cara kerja rangkaian pengendali sinyal dan akuisisi data:

Sumber bias akan memberi elektroda, kemudian potentiostat yang berfungsi untuk mengukur potensial suatu medium dan membuat beda potensialnya tetap konstan antara elektroda referensi (*reference electrode*) dan elektroda kerja (*working electrode*) dengan mengatur arus yang dialirkan melalui elektroda pembantu (*counter/auxiliary electrode*), Devais sensor ion nitrat yang akan langsung kontak dengan medium (tanah). Devais sensor Nitrat ini akan menghasilkan arus yang berubah ubah dan kemudian dikonversi menjadi tegangan. Tegangan ini merupakan keluran rangkaian pengkondisi sinyal, yang kemudian dikuatkan dengan amplifier dan diubah dari sinyal *analog* menjadi *digital* dengan ADC. Data digital

keluaran ADC inilah yang nantinya diolah mikrokontroler untuk diubah menjadi nilai kandungan nitrat (Molar) yang ditampilkan dalam LCD.

4.2 Spesifikasi Alat

Spesifikasi rangkaian pengkondisi sinyal dan akuisisi data yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Masukan rangkaian pengkondisi sinyal dan akuisisi data berupa arus dengan nilai maksimal adalah $35\mu\text{A}$
2. Tampilan pada display LCD berupa kadar kandungan nitrat dalam tanah (Molar).
3. *Range* pengukuran alat untuk kadar kandungan nitrat adalah $1\ \mu\text{M} - 1\ \text{mM}$.

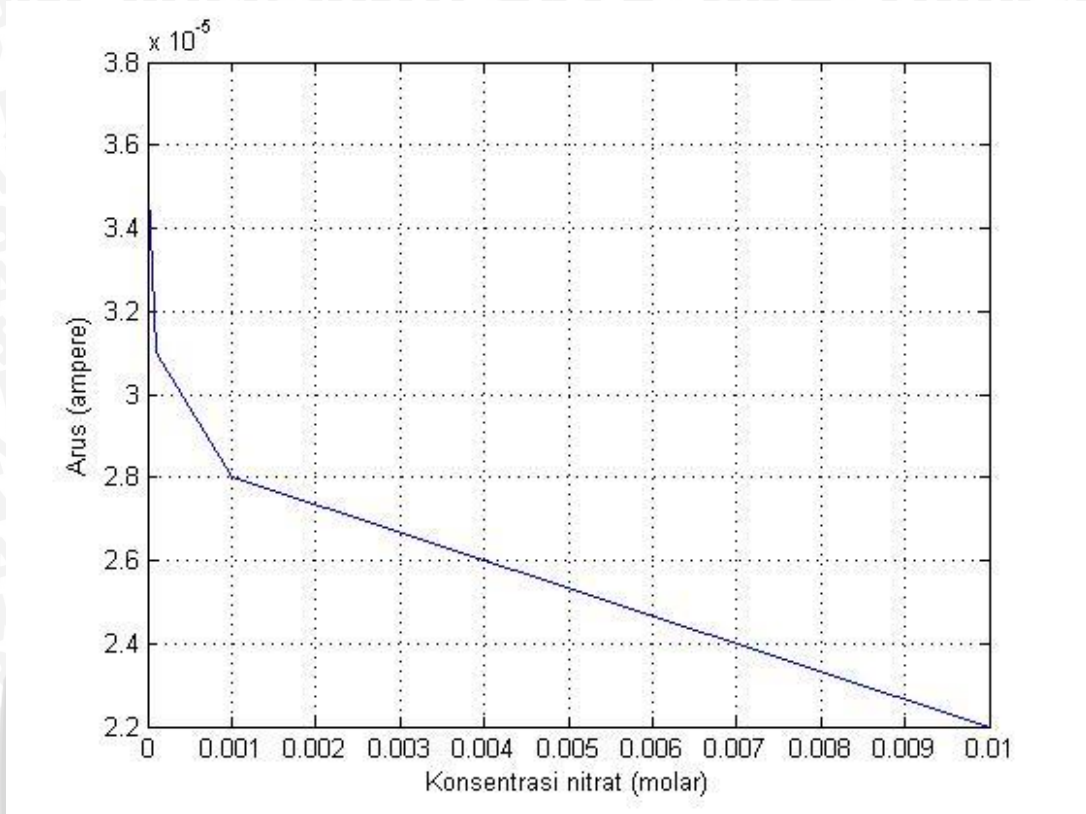
4.3 Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras (*hardware*) meliputi perancangan dari tiap-tiap blok sistem yang telah disusun. Perancangan perangkat keras yang dilakukan yaitu :

1. Karakterisasi sensor nitrat
2. Perancangan sumber bias
3. Perancangan potentiostat
4. Perancangan konverter arus-tegangan
5. Perancangan penguat akhir (output RPS)
6. Perancangan sistem mikrokontroler ATMEGA8
7. Rangkaian LCD

4.3.1 Karakterisasi Sensor Nitrat

Sensor nitrat yang digunakan memiliki 3 elektroda yaitu elektroda *counter*, elektroda referensi dan elektroda kerja (*working*). Keluaran dari sensor ini berupa arus, dimana grafik karakteristik arus yang dihasilkan terhadap kadar nitrat yang diukur oleh sensor ini dapat ditunjukkan dalam Gambar 4.2



Gambar 4.2 Grafik karakteristik arus keluaran sensor terhadap kadar nitrat

Data dari hasil pengujian sensor dalam grafik yang ditunjukkan dalam Gambar 4.2 dapat diperjelas dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data hasil pengujian arus keluaran sensor nitrat

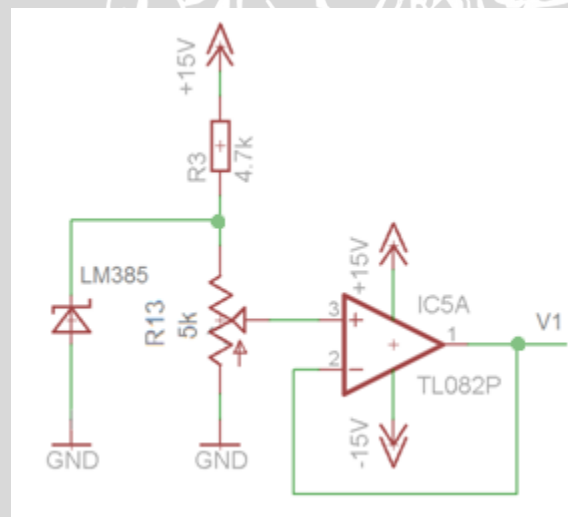
Kadar Nitrat (molar)	Arus Keluaran (ampere)
10^{-6}	3.5×10^{-5}
10^{-5}	3.1×10^{-5}
10^{-4}	2.8×10^{-5}
10^{-3}	2.2×10^{-5}

Berdasarkan grafik karakteristik yang ditunjukkan dalam Gambar 4.2 dan data dalam Tabel 4.1, dapat disimpulkan bahwa sensor nitrat ini memiliki karakteristik semakin besar konsentrasi maka arus yang mengalir akan semakin kecil (berbanding terbalik).

Dengan demikian, perancangan rangkaian pengkondisi sinyal dan data akuisi akan mengacu pada karakteristik arus keluaran sensor nitrat seperti ditunjukkan dalam Gambar 4.2.

4.3.2 Perancangan Sumber Bias

Rangkaian sumber tegangan (*bias*) digunakan untuk memberikan tegangan konstan dengan nilai tertentu yang diperlukan rangkaian potentiostat untuk sensor nitrat yang akan bekerja dengan baik ketika tegangan antara elektroda *counter* dan *working* antara kisaran 0,7V-1V (diperoleh dari hasil pengujian sensor). Berdasarkan data tersebut, maka sumber bias ini mampu menghasilkan tegangan pada kisaran 0-1,2 volt serta dapat diatur keluarannya melalui potensiometer R13. Tegangan 0-1,2 volt diperoleh dari komponen REF1 yang berupa IC LM385 tipe 1,2 yang berarti mampu menghasilkan tegangan maksimal sebesar 1,2 volt. Selain itu dalam rangkaian sumber bias ini, juga menggunakan IC TL082, yang merupakan IC op-amp dual JFET input. IC ini memiliki dua *input* dan dua *output* dalam satu IC, tetapi hanya membutuhkan satu *supply* ± 15 volt sehingga lebih menghemat daya. Rangkaian sumber sinyal tegangan dapat ditunjukkan dalam Gambar 4.3

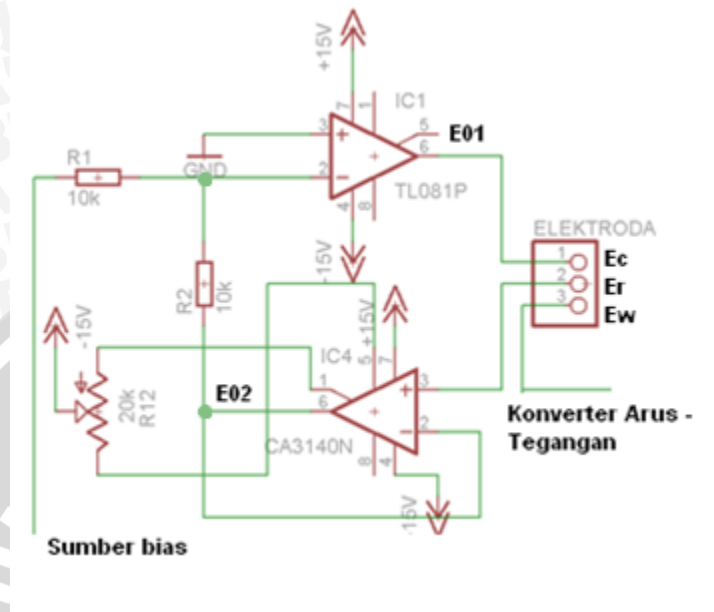


Gambar 4.3 Rangkaian sumber bias

4.3.3 Perancangan Potentiostat

Potentiostat adalah instrumen elektronika yang berfungsi untuk mengontrol dan menjaga agar beda tegangan antara elektroda referensi dan elektroda *counter* stabil, serta mengalirkan arus pada elektroda *working*. Rangkaian dasar potentiostat digambarkan dengan sebuah

rangkaian umpan balik (*feedback*), membagi tegangan yang dibangkitkan antara elektroda *working* dan elektroda referensi seperti ditunjukkan dalam Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Rangkaian Potentiostat

Pada IC TL081, besar tegangan yang dikeluarkan sama dengan tegangan yang diberikan untuk elektroda referensi ditambah dengan kerugian akibat larutan (jatuh tegangan). Pada IC CA3140 merupakan bagian dari sensor untuk memberikan umpan balik tegangan *error* melalui resistor R2. Resistansi larutan antara elektroda *counter* dengan elektroda referensi disebut R_c dan elektroda elektroda referensi dan elektroda *working* disebut R_w . Untuk IC TL081 dengan $e_1=0$, diinginkan penguatan 1 kali jika $R_1 = 10k\Omega$ maka R_2 juga bernilai $10k\Omega$, dalam hal ini R_1 dan R_2 adalah sama, maka:

$$e_2 = \frac{1}{2}(V_1 - E_{02}) + E_{02} \quad (4.1)$$

Untuk IC CA3140, berfungsi sebagai *voltage follower* dari jaringan *hypothetical* R_c dan R_w bekerja sesuai dengan persamaan,

$$e_2 = \frac{R_w}{(R_w + R_c)} \quad (4.2)$$

Kombinasi dari Persamaan 4.1 dan Persamaan 4.2 serta mempertimbangkan faktor rangkaian penguatan rangkaian terbuka yang sangat besar dari *operational amplifier* serta elektroda *working* dan elektroda referensi tercelup ke dalam larutan, dan diasumsikan kondisi $R_w \lll R_c$, maka diperoleh:

$$E_{02} = -V_1 \quad (4.3)$$

Dengan demikian tegangan pada elektroda referensi dapat ditentukan untuk mengabaikan pengaruh R_w dan R_c , sehingga besar perbedaan potensial antara referensi dan elektroda *working* diatur sedemikian rupa menjadi konstan.

IC TL081 dipilih karena memiliki *noise* yang rendah dan dengan *common mode rejection ratio* (CMRR) yang tinggi, murah dan mudah didapatkan di pasaran.

IC CA3140 dipilih karena memiliki impedansi masukan yang sangat tinggi ($10^{12}\Omega$), arus masukan sangat rendah, *noise* rendah, CMRR tinggi, murah serta mudah didapatkan di pasaran. Resistor variabel R12 ditambahkan untuk mengatur besarnya tegangan *offset* (V_{offset}). Arus masukan yang sangat rendah inilah yang membuat CA3140 tepat sebagai pengolah keluaran elektroda referensi, yang merupakan arus dengan nilai sangat kecil, yang nantinya akan menjadi *feedback* bagi TL081, sehingga mampu menjaga tegangan tetap konstan.

4.3.4 Perancangan Konverter Arus – Tegangan

Rangkaian ini berfungsi untuk merubah arus yang berasal dari elektroda *working* ke elektroda *counter* menjadi tegangan dengan menggunakan konfigurasi *ground virtual* pada input e_2 sebagai titik penjumlahan. Nilai $R_{feedback}$ ditentukan dengan melihat arus yang masuk ke elektroda kerja (*working*). Arus yang masuk dapat diketahui dari uji sensor seperti yang terdapat dalam karakteristik sensor nitrat seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 4.1, dimana diketahui bahwa arus maksimal yang masuk elektroda kerja (*working*) pada konsentrasi maksimal pengukuran dengan kadar nitrat 10^{-6} molar adalah $35\mu A$. Tegangan maksimal hasil konversi yang diinginkan sebagai keluaran rangkaian konverter arus-tegangan adalah $-1,05V$, dengan demikian $R_{feedback}$ yang dipasang ke dalam rangkaian konverter arus-tegangan dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 4.4 sampai dengan Persamaan 4.6.

$$I_c = -I_r \tag{4.4}$$

dengan I_c = Arus masukan rangkaian

I_r = Arus yang melewati $R_{feedback}$

Resistansi umpan balik ($R_{feedback}$) rangkaian konverter arus ke tegangan adalah:

$$R_{feedback} = \frac{V_o}{-I_c} \tag{4.5}$$

atau

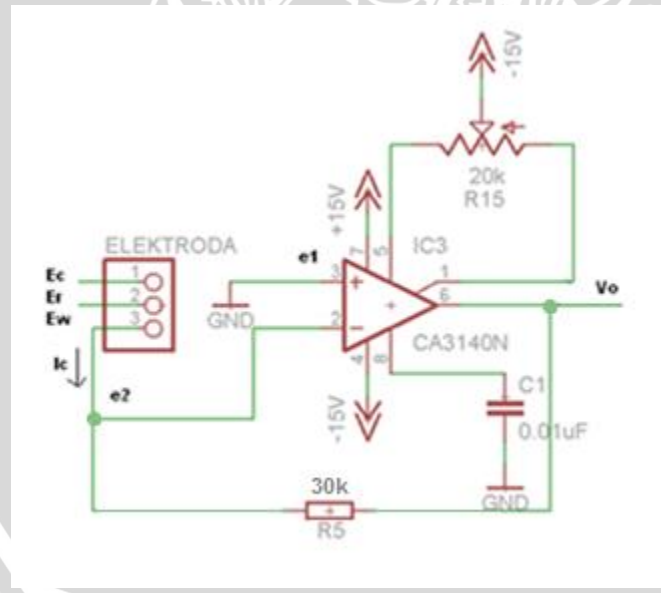
$$R_{feedback} = \frac{V_o}{-I_r} \tag{4.6}$$

Dengan nilai V_o adalah -1,05V dan $-I_c$ adalah 0,35 μ A, maka

$$R_{feedback} = \frac{-1,05V}{-0,35\mu A}$$

$$R_{feedback} = 30k\Omega$$

Rangkaian konverter arus ke tegangan dapat ditunjukkan dalam Gambar 4.5



Gambar 4.5 Rangkaian Konverter Arus-Tegangan

Tegangan keluaran rangkaian konverter arus ke tegangan akan berbanding lurus terhadap arus yang melewati sel elektrokimia dari elektroda counter ke elektroda working, rangkaian ini didesain untuk dapat dialiri arus di atas 0-200 μ A tanpa kondisi jenuh.

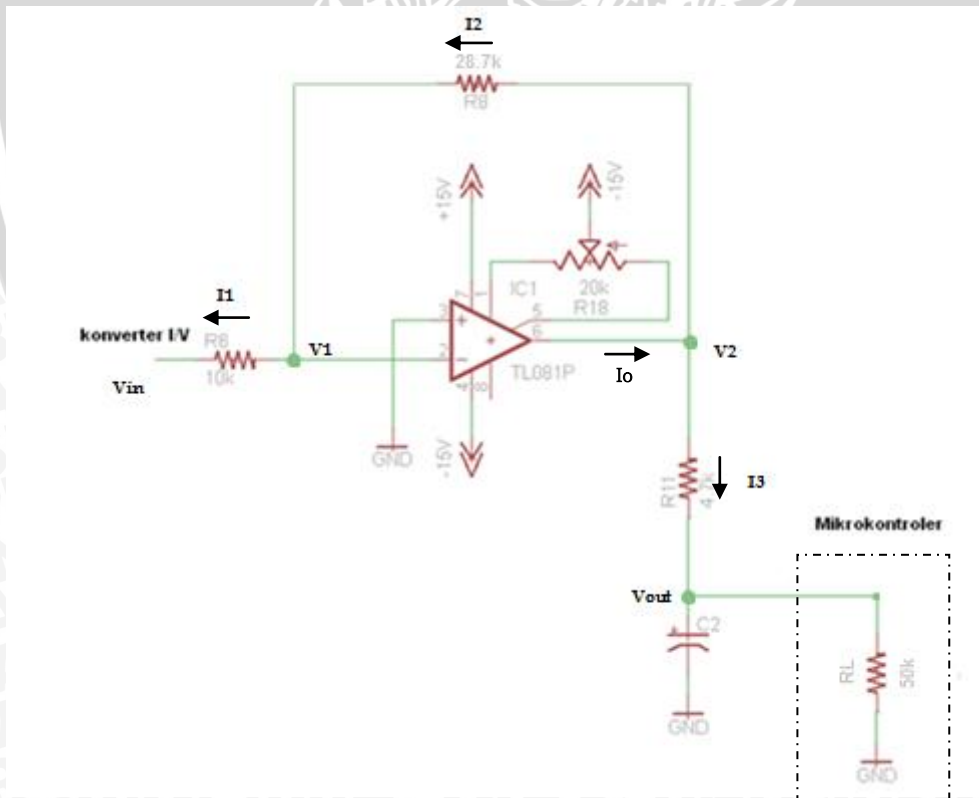
Data lengkap perhitungan dapat ditunjukkan dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data perhitungan V_o I/V konverter

No.	$I (\mu A)$	V_o (volt) dengan $R_{feedback} = 30k\Omega$
1	22	0,66
2	28	0,84
3	31	0,93
4	35	1,05

4.3.5 Perancangan Penguat Akhir (*output RPS*)

Rangkaian penguat akhir ini merupakan op-amp TL081 sebagai penguat terbalik (*inverting amplifier*). Nilai tegangan keluaran (V_o) maksimal dari penguatan yang diharapkan dengan filter setelahnya adalah sebesar 2,75 volt, karena referensi ADC yang digunakan dalam mikrokontroler ATMEGA8 merupakan referensi internal, sebesar 2,75 volt.



Gambar 4.6 Rangkaian Penguat Akhir

Langkah selanjutnya adalah mencari penurunan rumus V_2 , dengan menggunakan analisis arus mengacu pada Gambar 4.6.

$$I_1 = I_2$$

$$\frac{V_1 - V_{in}}{R_6} = \frac{V_2 - V_1}{R_8}$$

$$\frac{0 - V_{in}}{R_6} = \frac{V_2 - 0}{R_8}$$

$$V_2 = -\frac{R_8 V_{in}}{R_6} \quad (4.7)$$

Dengan menggunakan analisis arus I_3 , dimana V_{out} yang diinginkan adalah 2,75V, R_{11} bernilai 4,7k Ω dan resistansi pin I/O Mikrokontroler (R_L) sebesar 50k Ω (dapat dilihat dalam datasheet ATMEGA8), maka nilai V_2 dapat dihitung.

$$I_3 = \frac{V_{out}}{R_L}$$

$$I_3 = \frac{2,75V}{50k\Omega} = 0,055mA$$

$$I_3 = \frac{V_2}{R_{11} + R_L}$$

$$V_2 = I_3 \times (R_{11} + R_L)$$

$$V_2 = 0,055mA \times (4,7k\Omega + 50k\Omega)$$

$$V_2 = 3,0085V$$

Dengan memasukkan nilai V_2 ke dalam persamaan 4.7, dimana R_6 bernilai 10k Ω , maka dapat dihitung nilai R_8

$$V_2 = \frac{-R_8 V_{in}}{R_6}$$

$$\frac{-R_8 V_{in}}{R_6} = 3,0085V$$

$$\frac{-R_8 \cdot 1,05V}{10 \cdot 10^3 \Omega} = 3,0085V$$

$$R_8 = \frac{3,0085V \times 10 \cdot 10^3 \Omega}{1,05V}$$

$$R_8 = 28652 \Omega = 28,7k\Omega$$

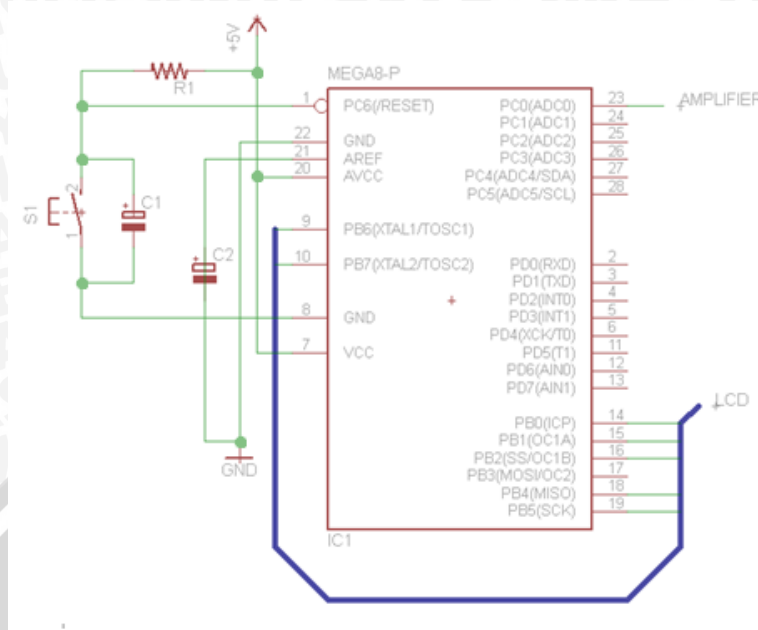
Rangkaian ini dilengkapi dengan filter. Rangkaian penguat keluaran dapat ditunjukkan dalam Gambar 4.6, dan data lengkap perhitungan tegangan keluaran (V_o) penguat akhir dapat ditunjukkan dalam Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data perhitungan V_o rangkaian penguat akhir

No.	V_i (volt)	V_o (volt) dengan $R_{feedback} (R_8) = 28,7k\Omega$
1	-0,66	1,73
2	-0,84	2,20
3	-0,93	2,44
4	-1,05	2,75

4.3.6 Perancangan Sistem Mikrokontroler ATMEGA8

Mikrokontroler ATMEGA8 digunakan untuk mengolah data analog dari RPS menjadi digital (ADC), agar bisa diolah lebih lanjut dengan mengkonversi hasil digital itu menjadi nilai dalam satuan mikromolar. Hasil proses tersebut nantinya ditampilkan melalui LCD 2x16. Mikrokontroler ATMEGA8 ini juga sebagai driver bagi LCD 2x16. Rangkaian mikrokontroler ATMEGA8 dapat ditunjukkan dalam Gambar 4.7



Gambar 4.7 Rangkaian Mikrokontroler ATMEGA8

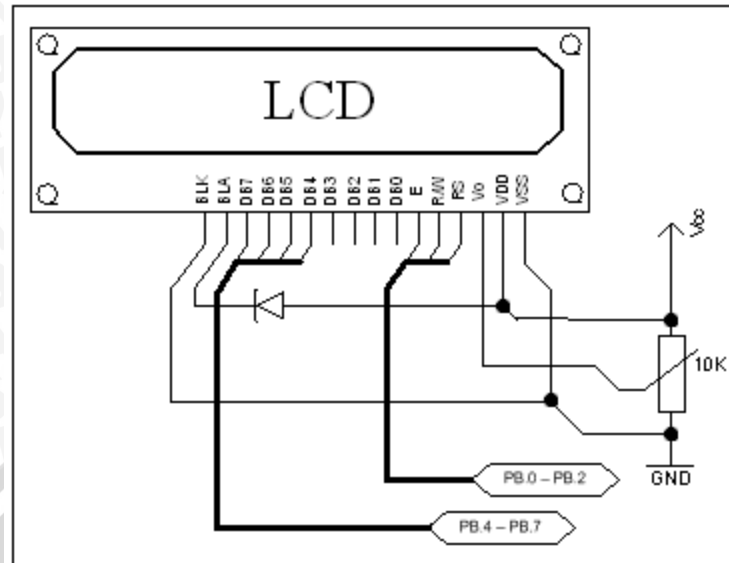
Mikrokontroler ATMEGA8 mempunyai 23 jalur I/O yang dapat diprogram menjadi masukan atau keluaran. 23 jalur I/O ini dikelompokkan menjadi 3 kelompok, yaitu port B, C, dan D. Pada perancangan ini, pin-pin yang digunakan adalah sebagai berikut:

PB0 - PB7 : dihubungkan ke LCD

PC0 : dihubungkan ke keluaran rangkaian penguat akhir RPS

4.3.7 Perancangan rangkaian LCD (*Liquid Crystal Display*)

Dalam sistem ini LCD digunakan untuk menampilkan hasil pemrosesan data ADC mikrokontroler, yang akan menunjukkan nilai kadar nitrat dalam satuan mikromolar. Alat ini menggunakan jenis LCD 2x16. Pin RS dari LCD terhubung ke PORTA.0 mikrokontroler, pin R/W dari LCD terhubung ke PORTB.1 dan pin *Enable* dari LCD terhubung ke PORTB.2 dari mikrokontroler. Sedangkan pin data dari LCD (PB4 sampai PB7) dihubungkan dengan PORTB nomor 4 sampai nomor 7 dari mikrokontroler. Gambar rangkaian dari LCD ditunjukkan dalam Gambar 4.8.



Gambar 4.8. Rangkaian LCD

4.3.8 Perancangan dan pembuatan PCB

Rangkaian lengkap pengkondisi sinyal, mikrokontroler dan LCD dapat ditunjukkan dalam Lampiran 1.

Langkah selanjutnya adalah pembuatan tata letak komponen dari rangkaian alat dengan menggunakan software Eagle 5.9.0. Hasil Perancangan tata letak komponen dapat ditunjukkan dalam Lampiran 1.

Hasil rancangan tersebut selanjutnya dilakukan proses pemasangan komponen pada PCB dua *layer*, hasil akhir untuk rangkaian keseluruhan rangkaian pengkondisi sinyal dan akuisisi data untuk sensor nitrat ditunjukkan dalam Lampiran 2.

Dalam perancangan alat ini juga dibutuhkan beberapa piranti tambahan, diantaranya rangkaian supply $\pm 15V$ dan transformator CT 500mA. Desain PCB rangkaian supply $\pm 15V$ dapat ditunjukkan dalam Lampiran 1, sedangkan gambar rangkaian jadinya dapat ditunjukkan dalam Lampiran 2.

4.4 Perancangan Perangkat Lunak

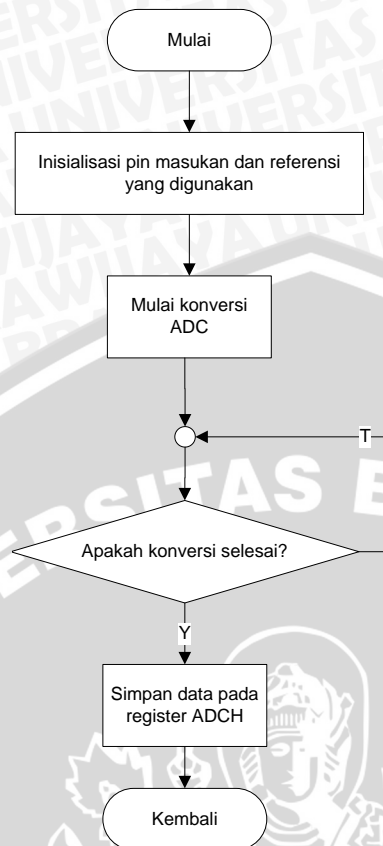
Rangkaian pengkondisi sinyal dan akuisisi data untuk sensor nitrat ini, dirancang dengan tampilan LCD sebagai keluarannya. LCD tersebut akan menunjukkan suatu nilai dalam besaran molar dengan range antara $1\mu M - 1\text{ mM}$. Oleh karena itu, dibutuhkan pemrosesan secara

software dengan menggunakan mikrokontroler ATMEGA8. Untuk dapat menjalankan fungsinya dengan baik maka mikrokontroler perlu diprogram terlebih dahulu.

Program dibuat secara terstruktur dalam beberapa subrutin yang secara khusus menangani fungsi tertentu agar memudahkan dalam pembuatan dan pencarian kesalahan serta pengujian program sehingga dapat bekerja dengan baik. Perangkat lunak mikrokontroler dibuat menggunakan *Code Vision AVR* buatan HP info tech. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah bahasa C.

4.4.1 Perancangan sub rutin baca ADC

Sub rutin ADC ini berfungsi untuk mengaktifkan ADC yang ada dalam mikrokontroler ATMEGA8 dimana ADC ini akan merubah sinyal analog berupa tegangan (V) menjadi besaran nilai biner 8 bit dengan resolusi sebesar 2^8 . Nilai ini dalam kelanjutannya dapat dinyatakan dengan bentuk desimal antara 0-255. Nilai 0 merepresentasikan nilai tegangan 0V, sedang nilai 255 merupakan representasi tegangan maksimal yang merupakan tegangan referensi. Referensi yang digunakan dalam MK ini adalah tegangan referensi internal, yaitu sebesar 2,56V. Proses pengambilan data ADC dapat ditunjukkan dalam diagram alir dalam Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Diagram alir sub rutin baca ADC

4.4.2 Perancangan sub rutin tampilan LCD

Sub rutin tampilan LCD ini merupakan sub rutin yang berfungsi untuk mengeluarkan karakter-karakter atau tulisan dalam display LCD. LCD akan menampilkan nama, NIM, serta nilai kadar nitratnya dalam satuan μM (mikromolar). Dalam proses penampilan LCD ini juga terdapat proses penampilan nilai kadar nitrat, yang harus melalui proses perhitungan nilai ADC yang terbaca secara aritmatika. Proses perhitungan yang pertama adalah koreksi data ADC, menggunakan Persamaan 4.8,

$$y = (ax + b) \quad (4.8)$$

dengan y = data akhir ADC hasil koreksi, x = data awal ADC

$$a = 1.07404251058390,$$

$$b = 0.783044838105221,$$

Kemudian dilanjutkan dengan menggunakan persamaan polinomial 4.9 sebagai berikut,

$$\text{Kadar nitrat} = (cy^3 + dy^2 + ey + f) \times 1000000 \quad (4.9)$$

dengan *kadar nitrat* = nilai kandungan nitrat dalam mikromolar (μM),

y = data akhir ADC hasil koreksi

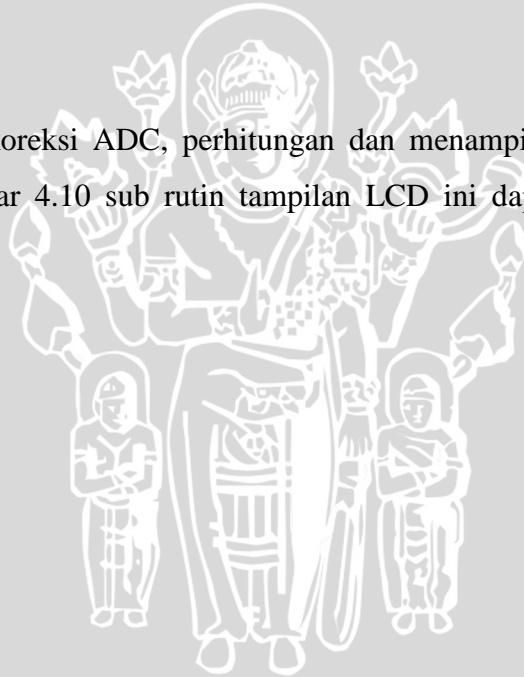
c = -1.47664017607649e-09

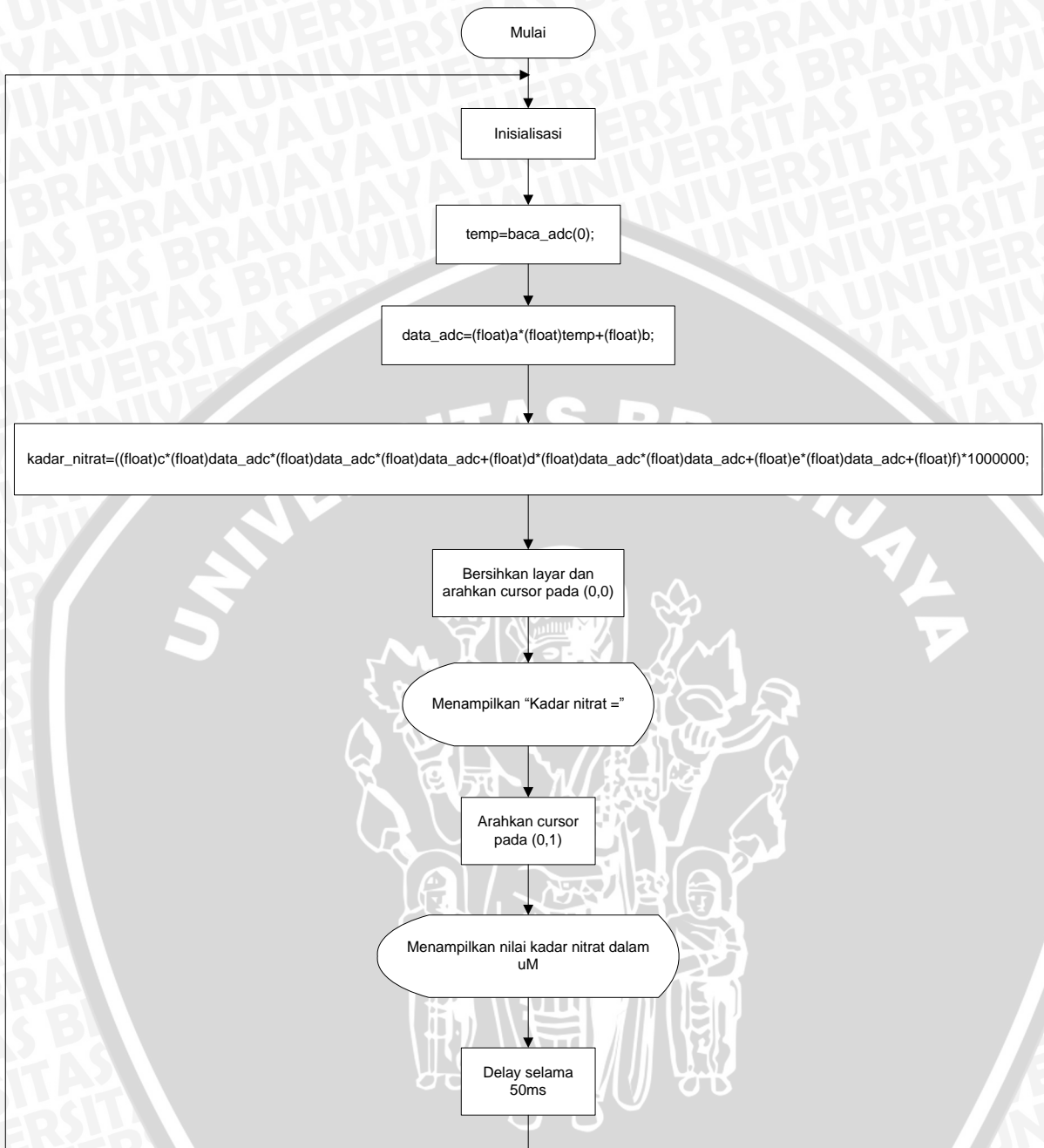
d = 1.15412164905758e-06

e = -0.000300603511370530

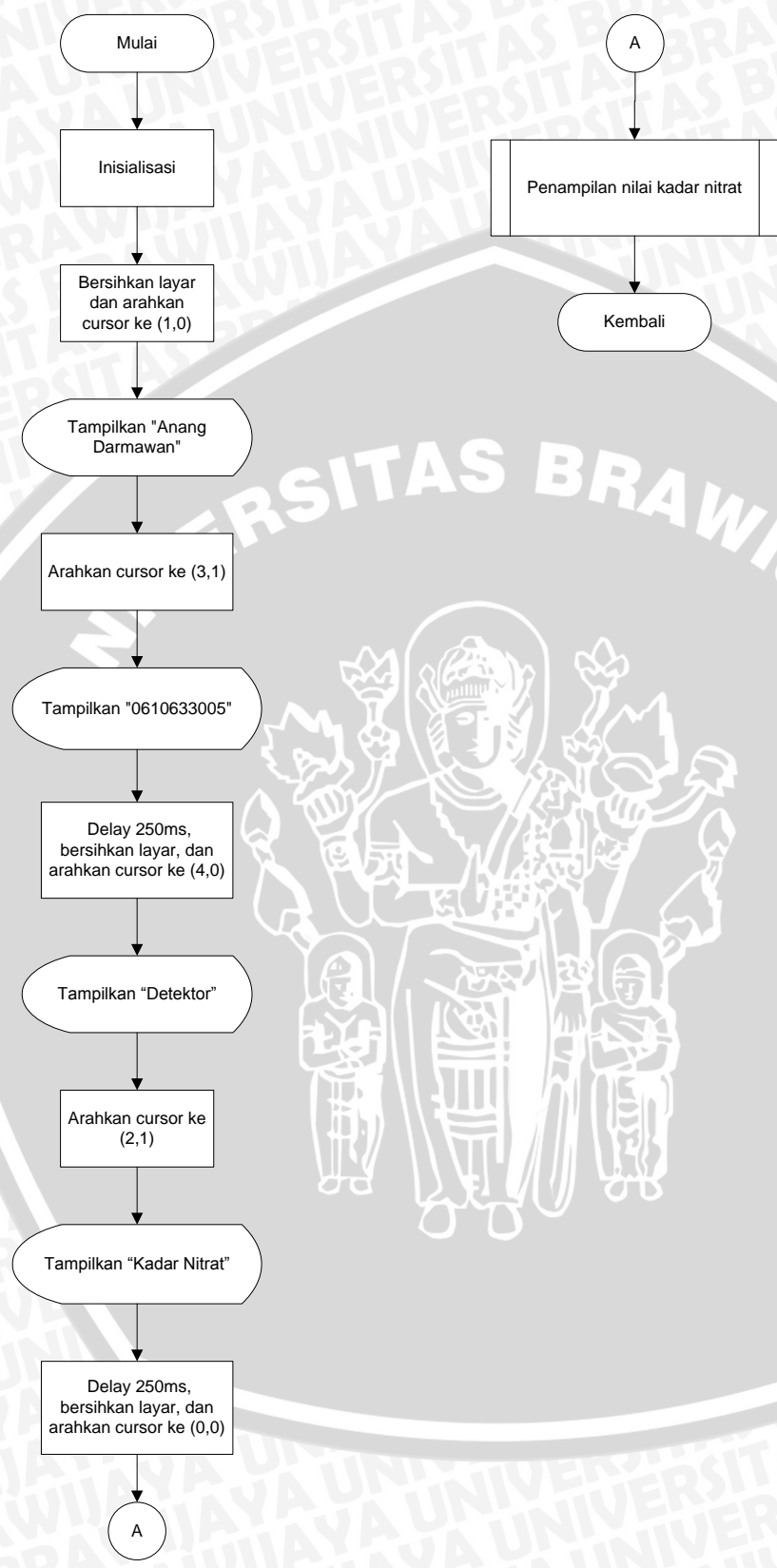
f = 0.0260957387876664

Diagram alir untuk sub rutin koreksi ADC, perhitungan dan menampilkan nilai kadar nitrat dapat ditunjukkan dalam Gambar 4.10 sub rutin tampilan LCD ini dapat ditunjukkan dalam Gambar 4.11.





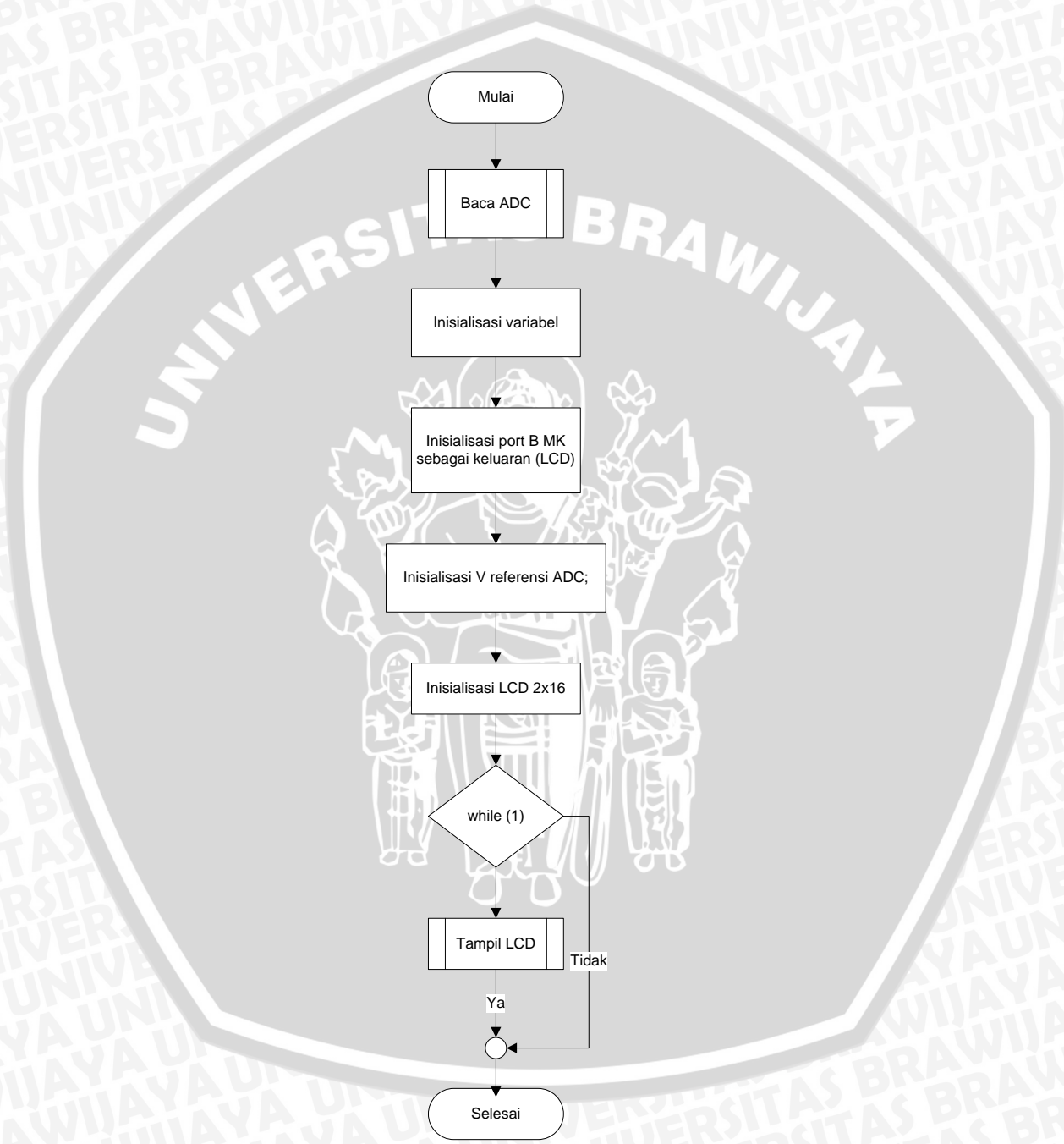
Gambar 4.10 Diagram alir perhitungan dan menampilkan nilai kadar nitrat pada LCD



Gambar 4.11 Diagram alir sub rutin tampilan LCD

4.4.3 Perancangan rutin utama

Rutin utama berfungsi untuk menjalankan proses utama yang meliputi pengambilan data, pengolahan data dan penghapusan data. Dalam sub rutin utama, proses ini akan diulang secara terus menerus selama sistem dinyalakan. Diagram alir rutin utama ditunjukkan dalam Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Diagram alir rutin utama

BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISIS

Bab ini berisi penjelasan prosedur pengujian dari rangkaian pengkondisi sinyal dan akuisisi data yang telah dirancang guna mengetahui sistem dapat bekerja dengan baik sesuai dengan perencanaan. Pengujian dilakukan dengan memberikan perubahan pada masukan blok rangkaian dan mengamati keluaran dari blok rangkaian yang diuji tersebut. Data hasil pengujian yang diperoleh akan dianalisis untuk dijadikan acuan dalam mengambil kesimpulan.

Pengujian dilakukan pada tiap-tiap blok sistem. Blok-blok yang diuji adalah sebagai berikut:

1. Pengujian Rangkaian Potentiostat
2. Pengujian Rangkaian Konverter Arus-Tegangan (*I/V converter*)
3. Pengujian Rangkaian Penguat Akhir (*output RPS*)
4. Pengujian ADC Mikrokontroler ATMEGA8
5. Pengujian Rangkaian LCD
6. Pengujian Perangkat Lunak untuk Membaca dan Menampilkan Data pada LCD
7. Pengujian Keseluruhan Sistem

5.1 Pengujian Rangkaian Potentiostat

5.1.1 Tujuan

Pengujian rangkaian potentiostat bertujuan untuk mengetahui apakah rangkaian potentiostat mampu bekerja dengan baik. Potentiostat dikatakan baik apabila elektroda *counter* pada potentiostat mampu menghasilkan tegangan sama besar dengan sumber bias.

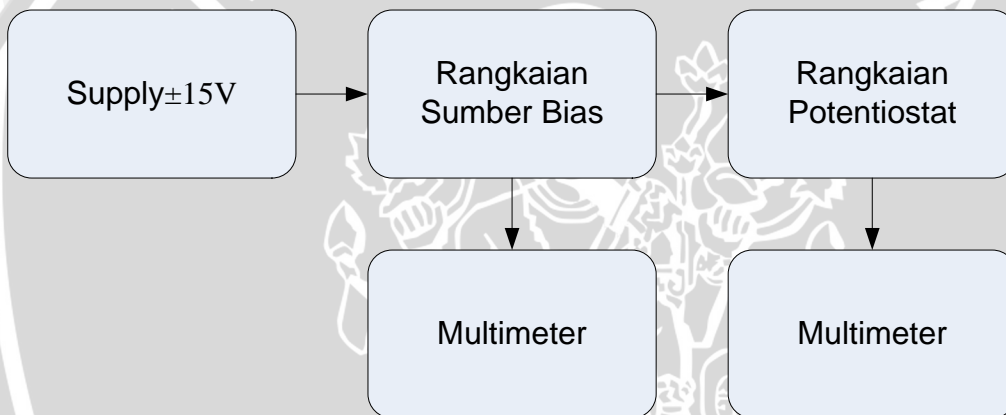
5.1.2 Peralatan yang digunakan

- a. Supply ± 15 volt
- b. Rangkaian sumber bias
- c. Multimeter digital

5.1.3 Prosedur pengujian

Prosedur pengujian rangkaian potentiostat adalah sebagai berikut:

- Menyusun rangkaian pengujian rangkaian potentiostat seperti dalam Gambar 5.1
- Memberikan tegangan masukan kepada rangkaian sumber bias.
- Mengukur tegangan keluaran sumber bias.
- Mengukur tegangan keluaran IC TL081 (pin 6/elektoda *counter*) pada rangkaian potentiostat.
- Mencatat hasil pengujian tegangan keluaran sumber bias dan IC TL081 (pin 6/elektoda *counter*) pada rangkaian potentiostat pada Tabel 5.1.
- Menghitung persentase kesalahan



Gambar 5.1 Rangkaian pengujian rangkaian potentiostat

5.1.4 Hasil pengujian dan analisis

Hasil pengujian tegangan keluaran rangkaian sumber bias dan rangkaian potentiostat dapat ditunjukkan dalam Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Tegangan keluaran rangkaian sumber bias dan rangkaian potentiostat

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sumber Bias (V)	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
Potentiostat (V)	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
Error (V)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% Error	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Dari data dalam Tabel 5.1 maka dapat diperoleh persentase nilai error rata-rata, dengan menggunakan persamaan:

$$\text{Persentase Kesalahan} = \frac{\sum \text{Persentase Error}}{n \text{ Data}} \quad (5.1)$$

$$\text{Persentase Kesalahan} = \frac{0\%}{10} = 0\%$$

Dengan persentase kesalahan sebesar 0% maka dapat disimpulkan bahwa rangkaian potensiostat mampu bekerja dengan baik.

5.2 Pengujian rangkaian konverter arus-tegangan (*I/V converter*)

5.2.1 Tujuan

Pengujian rangkaian konverter arus-tegangan (*I/V converter*) bertujuan untuk mengetahui apakah mampu mengkonversi arus yang masuk melalui elektroda kerja (*working*) menjadi tegangan dengan nilai yang linier dengan arus.

5.2.2 Peralatan yang digunakan

- Supply $\pm 15V$
- Rangkaian konverter tegangan-arus (*V/I converter*)
- Multimeter digital

5.2.3 Prosedur pengujian

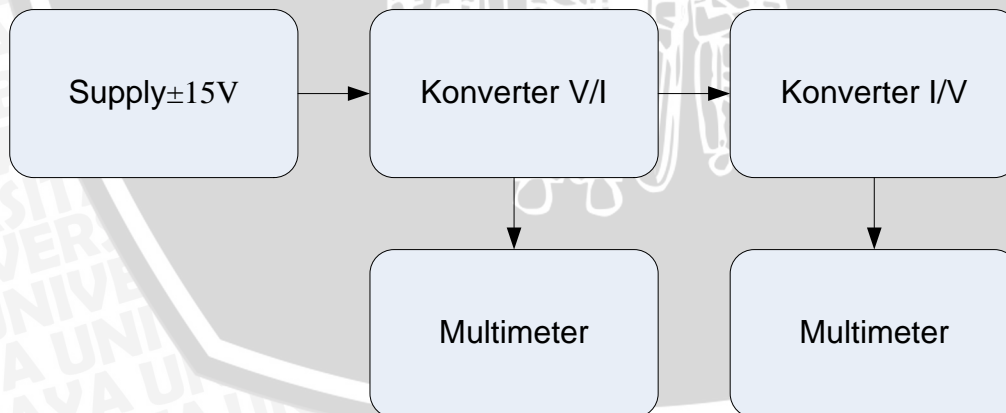
Prosedur pengujian rangkaian konverter arus-tegangan (*I/V converter*) adalah sebagai berikut:

- Membuat rangkaian konverter tegangan-arus (*V/I converter*) seperti diagram blok yang ditunjukkan dalam Gambar 5.2. Rangkaian konverter tegangan-arus (*V/I converter*) ini berfungsi untuk menghasilkan arus antara 0 - 250 μA .
- Menyusun rangkaian pengujian rangkaian konverter arus-tegangan seperti dalam Gambar 5.3.
- Mengukur nilai resistensi seri R5 dan R19 seperti yang terdapat dalam Lampiran 1.

- d. Mengatur nilai tegangan yang masuk dalam rangkaian konverter tegangan-arus (*V/I converter*) dengan nilai dalam range 1,4 – 3,5V dan mengukur arus keluaran pada tiap nilai tegangan tertentu dan dicatat dalam Tabel 5.2.
- e. Mengalikan nilai arus masukan dengan nilai resistor seri terukur untuk mengetahui nilai tegangan keluaran konverter arus-tegangan (*I/V converter*) sebagai nilai tegangan keluaran secara teori dan dicatat dalam Tabel 5.2.
- f. Mengukur nilai tegangan keluaran dari konverter arus-tegangan (*I/V converter*) pada tiap nilai arus masukan konverter arus-tegangan (*I/V converter*), hasilnya dicatat dalam Tabel 5.2.
- g. Mencari persentase kesalahan konverter arus-tegangan (*I/V converter*) secara pengukuran terhadap nilai ideal (perhitungan).



Gambar 5.2 Rangkaian konverter tegangan-arus (*V/I converter*)



Gambar 5.3 Rangkaian pengujian konverter arus-tegangan (*I/V converter*)

5.2.4 Hasil pengujian dan analisis

Hasil pengujian rangkaian konverter arus-tegangan (*I/V converter*) dapat ditunjukkan dalam Tabel 5.2

Tabel 5.2 Hasil pengujian rangkaian konverter arus-tegangan (*I/V converter*)

N	$V_{(VI\ Conv.)}$ (V)	I (μA)	R ($R5+R19$) (k Ω)	$V_{(I/V\ Conv.)}$ (V)	V_{teori} (V)	[Kesalahan] (%)
1	1,4	70	15,4	1,13	1,07	4,8
2	1,6	80	15,4	1,13	1,23	8,3
3	1,8	90	15,4	1,28	1,38	7,6
4	2,0	100	15,4	1,58	1,54	2,6
5	2,2	110	15,4	1,72	1,69	1,5
6	2,5	125	15,4	1,92	1,92	0,3
7	2,8	140	15,4	2,13	2,15	1,2
8	3,0	150	15,4	2,26	2,31	2,1
9	3,3	165	15,4	2,48	2,54	2,4
10	3,5	175	15,4	2,49	2,69	7,6

Dari data yang diperoleh dalam pengujian yang terdapat dalam Tabel 5.2, maka dapat diketahui kesalahan rata-rata dengan menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned}
 \text{Kesalahan rata - rata} &= \frac{\sum \text{Kesalahan}}{n \text{ Data}} & (5.2) \\
 &= \frac{38,52\%}{10} = 3,852
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan Persamaan 5.2, maka dapat dihitung persentase kesalahan rata-rata yaitu 3,852%. Kesalahan tertinggi 8,3% dan kesalahan terendah adalah 0,3%

5.3 Pengujian rangkaian penguat tegangan akhir

5.3.1 Tujuan

Pengujian rangkaian penguat tegangan akhir bertujuan untuk mengetahui apakah rangkaian mampu menguatkan tegangan (V) keluaran dari rangkaian konverter arus-tegangan (*I/V converter*) sesuai dengan perhitungan secara matematis, berdasarkan perbandingan Z_{in} dan $Z_{feedback}$, dimana nilai penguatan (secara ideal) dapat ditunjukkan dalam persamaan 5.3.

$$A_{vt} = -\frac{Z_{in}}{Z_{feedback}} \quad (5.3)$$

dengan, A_{vt} = Penguatan secara teori
 Z_{in} = Impedansi masukan (Ω)
 $Z_{feedback}$ = Impedansi umpan balik (Ω)

Sementara untuk mengetahui nilai penguatan secara praktek (hasil pengukuran) dapat menggunakan persamaan 5.4.

$$A_{vp} = \frac{V_{out}}{V_{in}} \quad (5.4)$$

dengan, A_{vp} = penguatan secara praktek
 V_{in} = tegangan masukan (V)
 V_{out} = tegangan keluaran (V)

5.3.2 Peralatan yang digunakan

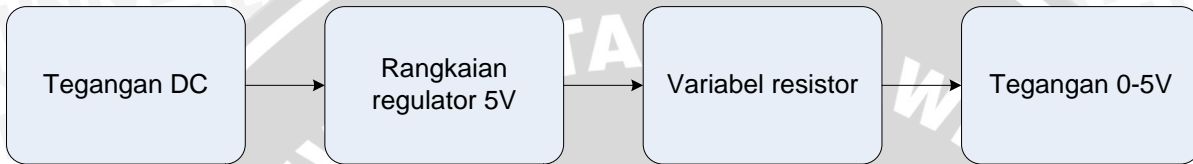
- Supply $\pm 15V$
- Rangkaian pembangkit tegangan
- Multimeter digital

5.3.3 Prosedur pengujian

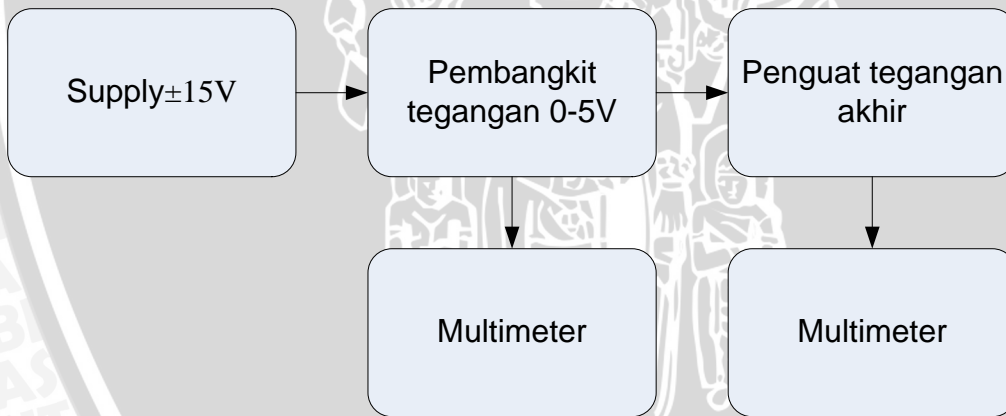
Prosedur pengujian rangkaian penguat tegangan akhir adalah sebagai berikut:

- Membuat rangkaian pembangkit tegangan pada *project board* seperti diagram blok yang ditunjukkan dalam Gambar 5.4. Rangkaian pembangkit ini berfungsi untuk membangkitkan tegangan dengan kisaran 0-5 volt.
- Menyusun rangkaian pengujian rangkaian penguat tegangan akhir seperti dalam Gambar 5.5.
- Mengatur nilai resistansi variabel resistor R16 yang terdapat dalam Lampiran 1 hingga mencapai nilai 10k Ω . Dengan R8 adalah 10k Ω dan dihubungkan seri dengan R16, maka $Z_{feedback}$ akan bernilai 20k Ω . Apabila dilakukan perhitungan secara matematis menggunakan Persamaan 10, maka penguatan (A_{vt}) yang diharapkan adalah -2 kali (*inverting*), mengingat nilai R10 sebagai Z_{in} bernilai 10k Ω .

- d. Mengatur nilai tegangan yang masuk dalam rangkaian pembangkit tegangan dengan nilai dalam range 0 - 1V (V_{in}) dan mengukur tegangan keluaran (V_{out}) pada tiap nilai tegangan tertentu dan dicatat dalam Tabel 5.3.
- e. Membagi nilai tegangan keluaran terukur (V_{out}) dengan nilai tegangan masukan (V_{in}) untuk mengetahui nilai penguatan secara praktek dan dicatat dalam Tabel 5.3.
- f. Mencari persentase kesalahan nilai penguatan secara praktek terhadap nilai ideal (perhitungan).



Gambar 5.4 Rangkaian pembangkit tegangan



Gambar 5.5 Rangkaian pengujian penguat tegangan akhir

5.3.4 Hasil pengujian dan analisis

Hasil pengujian rangkaian penguat tegangan akhir dapat ditunjukkan dalam Tabel 5.3

Tabel 5.3 Hasil pengujian rangkaian penguat tegangan akhir

N	V _{in} (V)	V _{out} (V)	A _v		/Kesalahan/ (%)
			Hasil uji	Teori	
1	0,50	-0,98	-1,96	-2,00	2,00
2	0,70	-1,36	-1,94	-2,00	3,00
3	0,90	-1,77	-1,96	-2,00	2,00
4	1,10	-2,17	-1,97	-2,00	1,50
5	1,30	-2,58	-1,98	-2,00	1,00
6	1,50	-3,00	-2,00	-2,00	0,00
7	1,70	-3,42	-2,01	-2,00	0,50
8	1,90	-3,84	-2,02	-2,00	1,00
9	2,10	-4,25	-2,02	-2,00	1,00
10	2,30	-4,67	-2,03	-2,00	1,50

Dari data yang diperoleh dalam pengujian yang terdapat dalam Tabel 5.3, maka dapat diketahui kesalahan rata-rata dengan menggunakan persamaan 5.2:

$$Kesalahan\ rata - rata = \frac{13\%}{10} = 1,3\%$$

Dengan menggunakan Persamaan 5.2, maka dapat dihitung persentase kesalahan rata-rata yaitu 1,3%. Kesalahan tertinggi 3% dan kesalahan terendah adalah 0%.

5.4 Pengujian ADC mikrokontroler ATMEGA8

5.4.1 Tujuan

Tujuan pengujian ADC ini adalah untuk mengetahui apakah nilai tegangan yang masuk pada pin C.0 (ADC0) yaitu tegangan secara analog, sesuai dengan nilai tegangan yang dihasilkan ADC yang merupakan tegangan digital dengan resolusi sebesar n² atau 256.

5.4.2 Peralatan yang digunakan

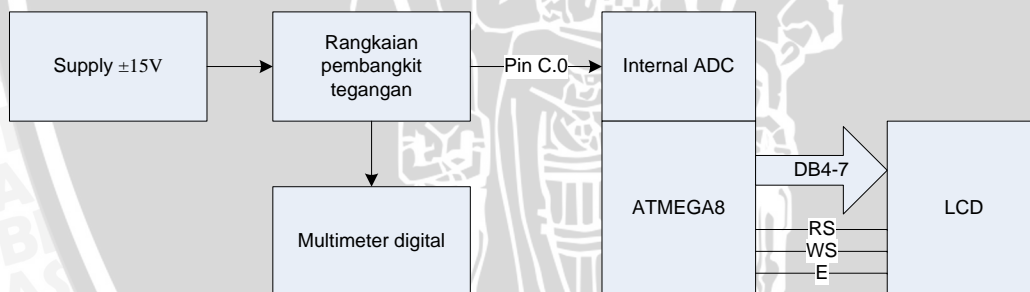
Peralatan-peralatan yang digunakan dalam pengujian ini adalah:

- Supply ±15V
- Multimeter digital
- Rangkaian pembangkit tegangan
- LCD 2x16
- Software CodeVision AVR 1.24 dan MyWrite 1.4

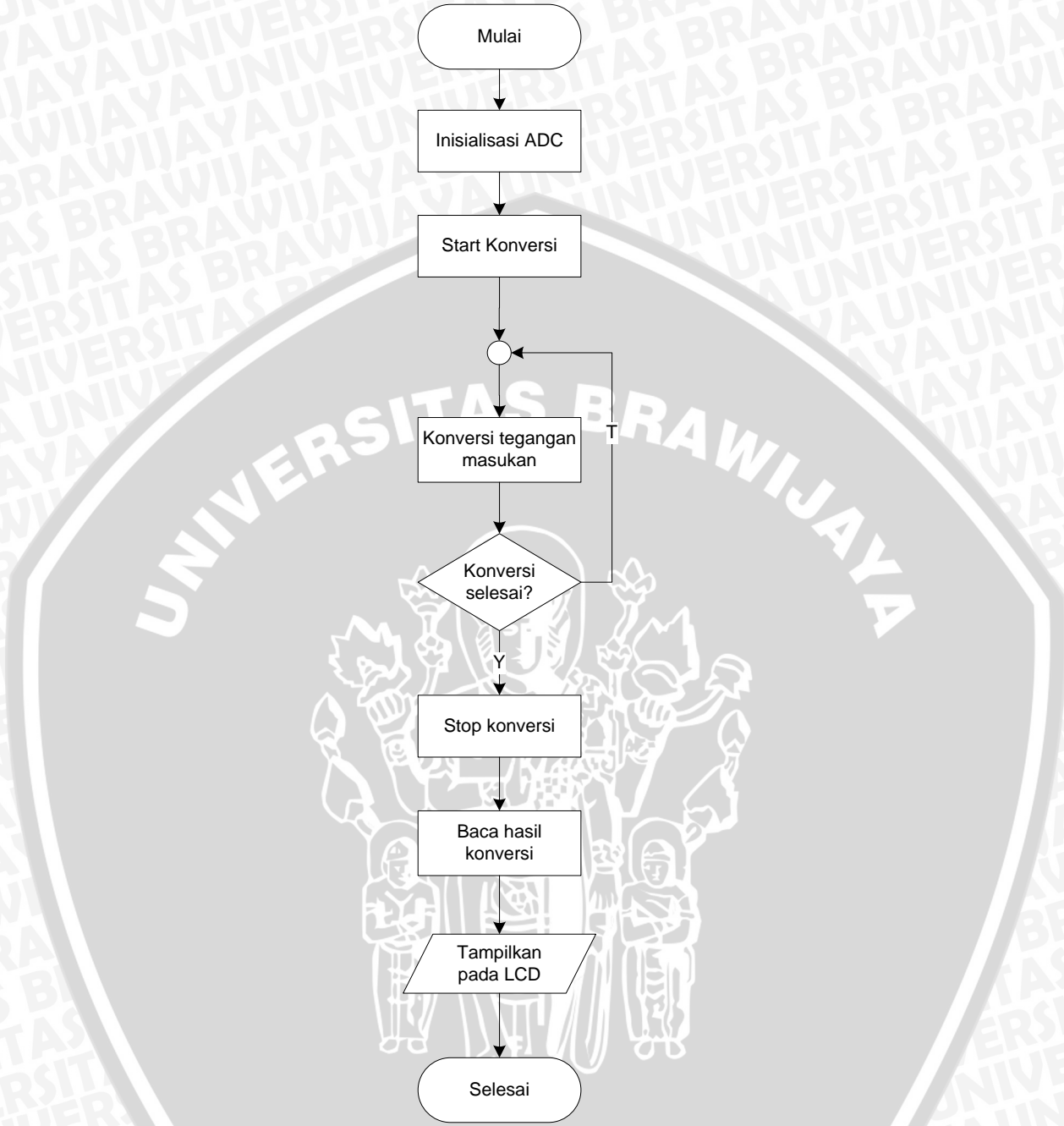
5.4.3 Prosedur pengujian

Prosedur pengujian untuk ADC internal mikrokontroler ATMEGA8 adalah sebagai berikut:

- Membuat rangkaian seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.6.
- Membuat perangkat lunak sesuai dengan diagram alir dalam Gambar 5.7. Dalam Gambar tersebut dapat dilihat bahwa pertama kali yang dilakukan adalah proses inialisasi ADC. Setelah proses inialisasi selesai maka konversi akan dilakukan. Selanjutnya hasil konversi akan dibaca dan ditampilkan pada LCD
- Melakukan *compiling* dengan software CodeVision AVR 1.24 dan menuliskan perangkat lunak ke ATMEGA8 dengan menggunakan software MyWrite 1.4
- Pengujian dilakukan dengan memberikan tegangan pada rangkaian ADC dengan menggunakan rangkaian pembangkit tegangan seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.4. Besarnya tegangan diatur dengan mengubah-ubah tegangan masukan yang diukur dengan multimeter.
- Hasil konversi akan ditampilkan melalui LCD
- Hasil keluaran dicatat pada Tabel 5.4



Gambar 5.6 Rangkaian pengujian ADC mikrokontroler ATMEGA8



Gambar 5.7 Diagram alir program pengujian ADC

5.4.4 Hasil pengujian dan analisis

Hasil pengujian ADC dapat ditunjukkan dalam Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Data hasil pengujian ADC mikrokontroler ATMEGA8

n	$V_{in} (V)$	ADC_{teori}	$ADC\ tampilan\ LCD$	$ Error (%)$
1	0,1	9,96	8	19,68
2	0,3	29,88	27	9,64
3	0,5	49,8	46	7,63
4	0,7	69,73	63	9,65
5	0,9	89,64	83	7,41
6	1,1	109,57	102	6,91
7	1,3	129,49	121	6,56
8	1,5	149,41	139	6,97
9	1,7	169,34	158	6,70
10	1,9	189,26	175	7,53
11	2,1	209,18	195	6,78
12	2,3	229,1	214	6,59
13	2,5	249,02	231	7,24
14	2,7	268,95	250	7,05
Error rata-rata				8,31

Hasil keluaran secara teori (V_{ADCT}) didapat dari persamaan,

$$\text{Hasil Konversi} = \frac{V_{in}}{V_{ref}} \times (2^n - 1) \tag{5.5}$$

Dengan, V_{in} = Tegangan masukan
 V_{ref} = Tegangan referensi (tegangan internal 2,56V)

Berdasarkan data pengujian dalam tabel 5.4, terlihat bahwa terjadi kesalahan yang cukup besar, yaitu mencapai 8,31 %. Oleh karena itu, diperlukan program koreksi untuk meminimalisir kesalahan. Program tersebut akan memasukkan nilai ADC yang sebenarnya ke dalam persamaan 5.6,

$$ADC_{valid} = a \times ADC + b \tag{5.6}$$

- dengan,
- ADC_{valid} = Nilai ADC hasil koreksi
 - ADC = Nilai ADC sebenarnya
 - a = 1,07404251058390
 - b = 0,783044838105221

Nilai koefisien a dan b diperoleh dengan menggunakan *software* MATLAB R2009a.

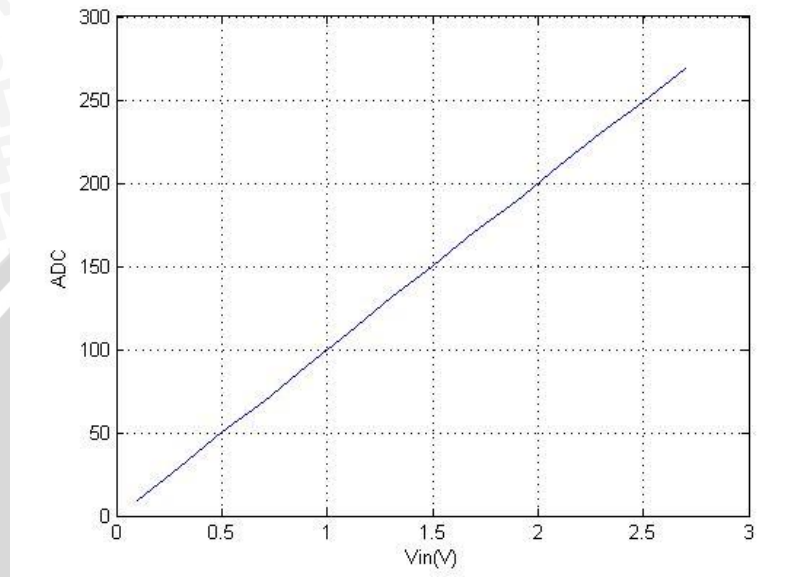
Dengan menggunakan Persamaan 5.5, maka hasil dari koreksi ADC dapat ditunjukkan dalam Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Data hasil pengujian ADC dengan program koreksi

N	$V_{in} (V)$	ADC_{teori}	$ADC_{tampilan LCD}$	$ Error (%)$
1	0,1	9,96	9,38	5,82
2	0,3	29,88	29,78	0,33
3	0,5	49,8	50,19	0,78
4	0,7	69,73	68,45	1,84
5	0,9	89,64	89,93	0,32
6	1,1	109,57	11,34	0,70
7	1,3	129,49	13,74	0,97
8	1,5	149,41	150,07	0,44
9	1,7	169,34	170,48	0,67
10	1,9	189,26	188,74	0,27
11	2,1	209,18	210,22	0,50
12	2,3	229,1	230,63	0,67
13	2,5	249,02	248,89	0,05
14	2,7	268,95	269,29	0,13
Error rata-rata				0,96

Berdasarkan data pengujian ADC mikrokontroler ATMEGA8 dengan menggunakan *software* koreksi dalam Tabel 5.5 menunjukkan bahwa angka kesalahan rata-rata dari konversi

ADC turun secara signifikan dari yang awalnya mencapai 8,31%, setelah diproses dengan program ADC, kesalahannya menjadi hanya 0,96%. Keluaran dari program inilah yang nantinya akan digunakan sebagai data ADC yang valid untuk proses-proses selanjutnya. Grafik ADC_{valid} terhadap V_{in} dapat ditunjukkan dalam Gambar 5.8.



Gambar 5.8 Grafik ADC_{valid} terhadap V_{in}

5.5 Pengujian LCD

5.5.1 Tujuan

Pengujian dilakukan untuk melihat apakah sistem mikrokontroler dapat bekerja dan mampu menampilkan karakter pada LCD.

5.5.2 Peralatan yang digunakan

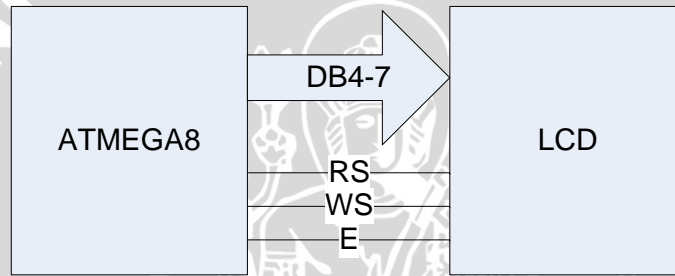
Peralatan-peralatan yang digunakan dalam pengujian ini adalah :

- Minimum sistem mikrokontroler ATMEGA8
- LCD (Liquid Crystal Display) 2x16
- Software CodeVision AVR 1.24 dan MyWrite 1.4.

5.5.3 Prosedur pengujian

Prosedur pengujian LCD adalah sebagai berikut :

- Membuat rangkaian seperti dalam Gambar 5.9
- Membuat perangkat lunak dengan diagram alir seperti dalam Gambar 5.10. Dalam Gambar 5.10 dapat dilihat pada awal program dilakukan inisialisasi mikrokontroler dan LCD terlebih dahulu. Setelah dilakukan inisialisasi dilakukan proses penampilan teks "Anang Darmawan" "0610633005"
- Melakukan *compiling* dengan menggunakan *software* CodeVision AVR 1.24, dan menuliskan program ke ATMEGA8 dengan menggunakan *software* MyWrite 1.4.
- Mengamati tampilan LCD



Gambar 5.9 Rangkaian pengujian LCD



Gambar 5.10 Diagram alir program pengujian LCD

5.5.4 Hasil pengujian dan analisis

Tampilan hasil pengujian dapat dilihat dalam Gambar 5.11. Dari hasil pengujian ini dapat dianalisis bahwa rangkaian LCD dapat bekerja dengan baik begitu juga dengan perangkat lunaknya sudah sesuai dengan diagram alir yang di buat.



Gambar 5. 1. Tampilan pengujian LCD

5.6 Pengujian rangkaian pengkondisi sinyal dan akuisisi data secara keseluruhan

5.6.1 Tujuan

Pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah rangkaian keseluruhan pengkondisi sinyal dan akuisisi data dapat bekerja dengan baik, yaitu dengan mengecek linieritas perubahan tegangan (V) yang masuk pada pin C.0 (ADC0) pada mikrokontroler ATMEGA8 terhadap perubahan arus (I) yang keluar dari elektroda kerja (*working*) dan kemudian dengan melihat angka kadar nitrat yang tertera dalam LCD, apakah sesuai dengan kadar konsentrasi larutan nitrat.

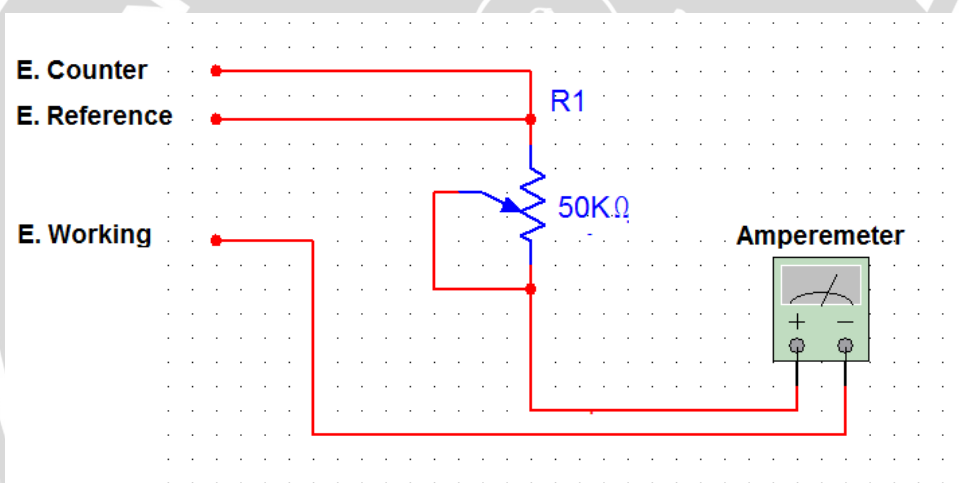
5.6.2 Peralatan yang digunakan

Peralatan-peralatan yang digunakan dalam pengujian ini adalah:

- Rangkaian pengkondisi sinyal dan akuisisi data untuk sensor nitrat
- Project board
- Variable resistor 50k Ω
- Capit buaya

5.6.3 Prosedur Pengujian

- Menyusun rangkaian pengujian rangkaian pengkondisi sinyal dan akuisisi data seperti dalam Gambar 5.11.
- Memutar-mutar variabel resistor sedemikian rupa sehingga arus yang masuk ke potentiostat antara range $3\mu\text{A} - 42\mu\text{A}$ dengan kenaikan arus $1\mu\text{A}$.
- Mengukur tegangan yang masuk ke pin C.0 (ADC0) pada mikrokontroler ATMEGA8 pada tiap-tiap nilai arus masukan potentiostat.
- Membaca dan mencatat nilai kadar nitrat yang tertampil pada LCD pada saat arus (I) yang masuk pada potentiostat (keluaran elektroda kerja) bernilai $22\mu\text{A}$, $28\mu\text{A}$, $31\mu\text{A}$ dan $35\mu\text{A}$, sebagai representasi kadar molar dengan nilai $1000\mu\text{M}$, $100\mu\text{M}$, $10\mu\text{M}$ dan $1\mu\text{M}$



Gambar 5.11 Rangkaian pengujian rangkaian pengkondisi sinyal dan akuisisi data

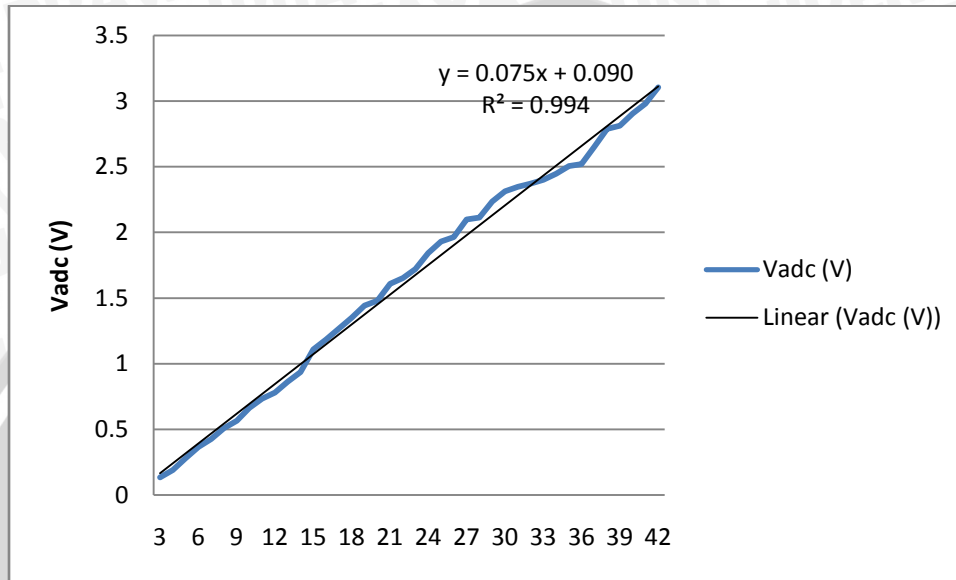
5.6.4 Hasil pengujian dan analisis

Pada pengujian rangkaian pengkondisi sinyal dan akuisisi data ini tidak menggunakan sensor nitrat secara langsung, melainkan menggunakan resistor variabel untuk menggantikan fungsi sensor, karena sensor nitrat yang digunakan tidak tahan terhadap aliran arus dalam jangka waktu yang panjang. Hasil pengujian kelinieritasan perubahan tegangan (V) yang masuk pada pin C.0 (ADC0) pada mikrokontroler ATMEGA8 terhadap perubahan arus (I) yang keluar dari elektroda kerja (*working*) dapat ditunjukkan dalam Tabel 5.6, dengan grafik ditunjukkan dalam Gambar 5.11.

Tabel 5.6 Data I dan V_{adc}

No.	$I (\mu A)$	$V_{adc} (V)$
1	3	0,135
2	4	0,192
3	5	0,282
4	6	0,366
5	7	0,426
6	8	0,511
7	9	0,566
8	10	0,663
9	11	0,735
10	12	0,78
11	13	0,863
12	14	0,937
13	15	1,109
14	16	1,185
15	17	1,266
16	18	1,35
17	19	1,442
18	20	1,478
19	21	1,608
20	22	1,651
21	23	1,72
22	24	1,842
23	25	1,93
24	26	1,964
25	27	2,097
26	28	2,111
27	29	2,233
28	30	2,311
29	31	2,347
30	32	2,37
31	33	2,4
32	34	2,445
33	35	2,505
34	36	2,518
35	37	2,65
36	38	2,787
37	39	2,81

38	40	2,903
39	41	2,978
40	42	3,103



Gambar 5.11 Grafik linieritas V_{adc} terhadap I

Dari data yang ditunjukkan dalam Tabel 5.6 dan grafik dalam Gambar 5.11 terlihat bahwa linieritas antara perubahan V_{adc} (V) dengan perubahan I (μA) mendekati linier dengan nilai $R^2=0,9946$, sehingga dapat dikatakan bahwa rangkaian pengkondisi sinyal bekerja dengan baik.

Untuk melihat apakah LCD mampu menampilkan angka kadar nitrat yang sesuai dengan kadar nitrat hasil uji laboratorium, setelah data masukan berupa tegangan analog yang masuk pada pin C.0 (ADC0) kemudian diolah oleh mikrokontroler ATMEGA8, dapat ditunjukkan dalam Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Data tampilan angka kadar nitrat pada LCD

No.	Arus masukan (μA)	Kadar nitrat hasil perhitungan (μM)	Kadar nitrat tampilan LCD (μM)	% Error
1	35	1,00000	1,02818	2,818
2	31	10,00000	10,01358	0,136
3	28	100,00000	100,00168	0,002
4	22	1000,00000	1000,0169	0,002
Error rata-rata				0,739

Dari data yang ditunjukkan dalam Tabel 5.7, data kadar nitrat yang tertampil di layar LCD memiliki tingkat kesalahan rata-rata mencapai 0,739% terhadap nilai konsentrasi yang seharusnya tertampil dalam LCD yang didapat dari hasil perhitungan arus keluaran sensor dari proses konversi dan penguatan oleh rangkaian pengkondisi sinyal sampai proses akuisisi data oleh mikrokontroler ATMEGA8. Dengan tingkat kesalahan 0,739%, rangkaian pengkondisi sinyal dan akuisisi data untuk sensor nitrat ini masih bisa dikatakan baik, mengingat tidak diperlukannya tingkat ketelitian yang tinggi dalam pengukuran kadar nitrat dalam tanah, karena hanya digunakan untuk mengetahui tingkat kesuburan tanah, dimana tanah dapat dikatakan subur atau tidak, berada dalam *range-range* tertentu, serta masih harus digabungkan dengan faktor kadar beberapa unsur lain seperti fosfor dan kalium.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

1. Rangkaian pengkondisi sinyal dan akuisisi data sensor nitrat ini mampu mengolah dan menampilkan kadar nitrat dengan konsentrasi larutan NaNO_3 antara $1\mu\text{M}$ – 1mM yang telah diuji di laboratorium kimia.
2. Hasil pengukuran kadar nitrat dalam tanah dapat ditampilkan dengan baik pada rangkaian *display*.
3. Hasil akhir tampilan LCD menunjukkan tingkat kesalahan 0,739%, terhadap nilai konsentrasi yang seharusnya tertampil dalam LCD yang didapat dari hasil perhitungan arus keluaran sensor dari proses konversi dan penguatan oleh rangkaian pengkondisi sinyal sampai proses akuisisi data oleh mikrokontroler ATMEGA8. Dalam pembuatan rangkaian pengkondisi sinyal dan akuisisi data sensor nitrat ini tidak dibutuhkan tingkat ketelitian yang terlalu tinggi, karena tujuan akhir perancangan dan pembuatan alat ini adalah untuk mengetahui tingkat kesuburan tanah, dimana tanah dapat dikatakan subur jika memiliki kadar nitrat dalam range tertentu.

6.2 Saran

1. Sensor nitrat yang digunakan perlu ditingkatkan kualitasnya, agar sensor memiliki tingkat ketahanan yang tinggi dan tidak mudah rusak.
2. Sensor nitrat lebih dikembangkan lagi, agar bisa langsung digunakan di tanah, mengingat dalam pengujian alat ini masih menggunakan larutan NaNO_3 dan belum bisa langsung menggunakan media tanah.
3. Rangkaian pengkondisi sinyal dan akuisisi data dalam penelitian ini masih bisa dikembangkan lagi dengan menambahkan sensor fosfat dan kalium, guna mengetahui tingkat kesuburan tanah dengan lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1987. *LCD Module M1632 User Manual*. Japan: Seiko Instruments Inc.
- Atmel. 2006. *8-Bit AVR Microcontroller with 8K Bytes In-System ProgrammableFlash ATmega8*. USA, San Jose: Atmel Corporation. <http://www.atmel.com/literatur>. 4 April 2010.
- Bard, A.J., Faulkner, L.R. 2000. *Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications*. New York: John Wiley & Sons, 2nd Edition.
- Bishop, Owen. 2005. *Understand Amplifiers*. London: Oxford: Newnes.
- Creecraft, D., Gergely, S. 2002, *Analog Electronics Circuits, Systems and Signal Processing*, Woburn: Elsevier Science.
- Franco, Sergio. 2002. *Design with Operational Amplifiers and Analog Intregated Circuits*. New York: McGraw-Hill.
- Grundler, P. 2007. *Chemical Sensor:An Introduction for Scientist and Engineers*. New York: Springer Berlin Heidelberg.
- Huijsing, Johan. 2001. *Operational Amplifiers Theory and Design*. Boston: Kluwer Academic.
- Kissinger, Peter T., Heineman, William R.. 1996. *Laboratory Techniques in Electroanalytical Chemistry*. CRC Press.
- Kularatna, Nihal. 2008. *Electronic Circuit Design Form Concept to Implementation*. London: CRC Press.
- Mani V, S, V; Rayan C, S, Sarma G, R. 1992, *Instrumentation Devices and System*. New Delhi: Tata Mc-Graw Hill Publishing Company.
- Ramon Pallas-Areny, John 4G. Webster. 1991. *Sensor and Signal Conditioning*. John Wiley & Sons Inc.
- Rodriguez, P. R. H., dkk. 2003. *Measuring System for Amperometric Chemical Using The Three-Electrode Technique for Field Application*, Mexico: Universidad Nacional Autonoma.
- Suhaedi. 2010. **Implementasi Teknologi Film Tebal pada Pembuatan Sensor Deteksi Kandungan Fosfat Sebagai Unsur Hara di Dalam Tanah**. Universitas Brawijaya. Malang.

Terrel, D.L. 1996. *Op Amps Design, Application, and Troubleshooting Second Edition*.

Oxford: Elsevier

White, N.M., Turner, J.D. 1996. *Thick Film Sensor: Past, Present, and Future*. Faculty of Engineering and Applied Science, University of Southampton.

Wilson, John S. 2005. *Sensor Technology Handbook*. Oxford: Newnes.

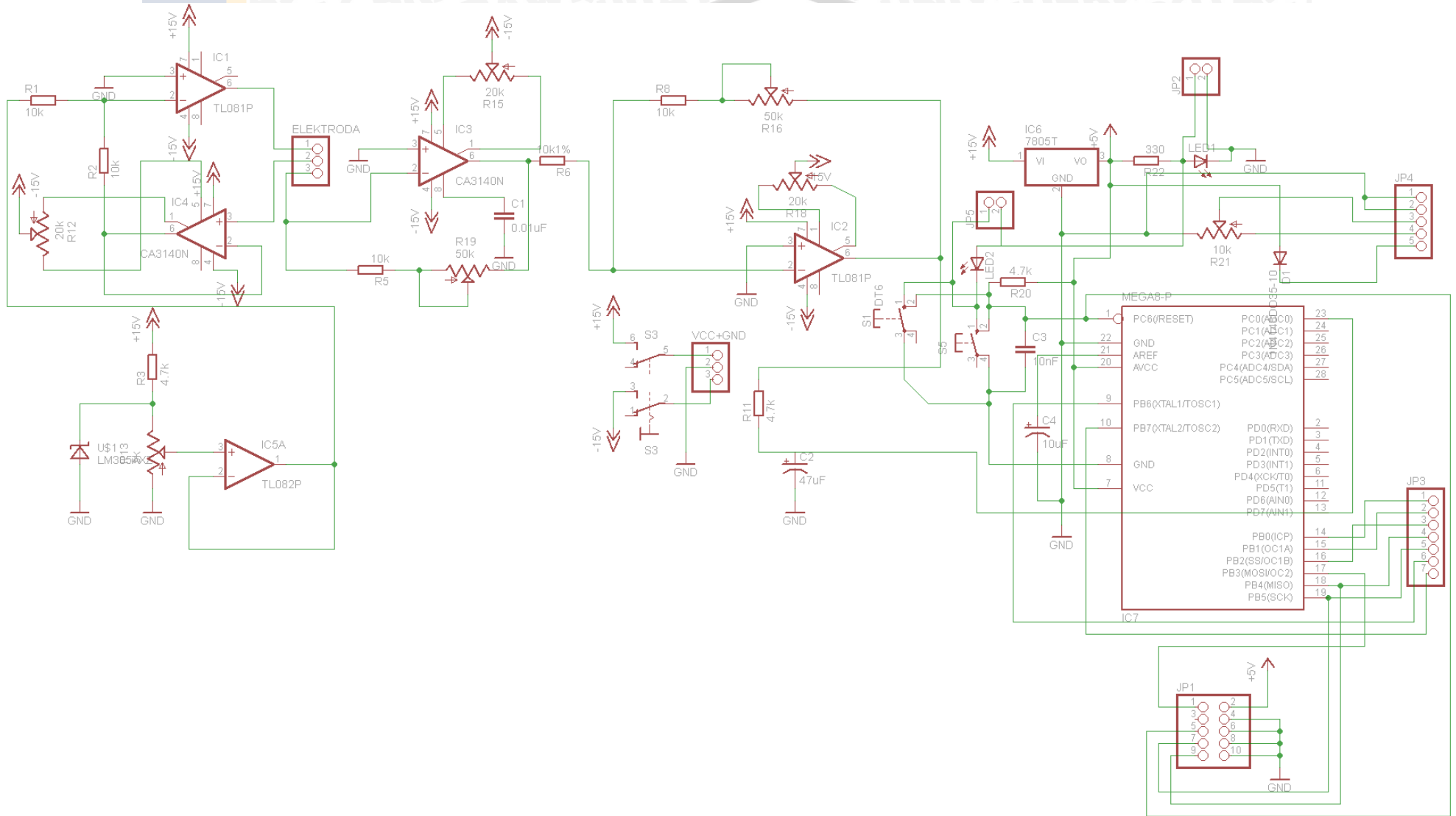




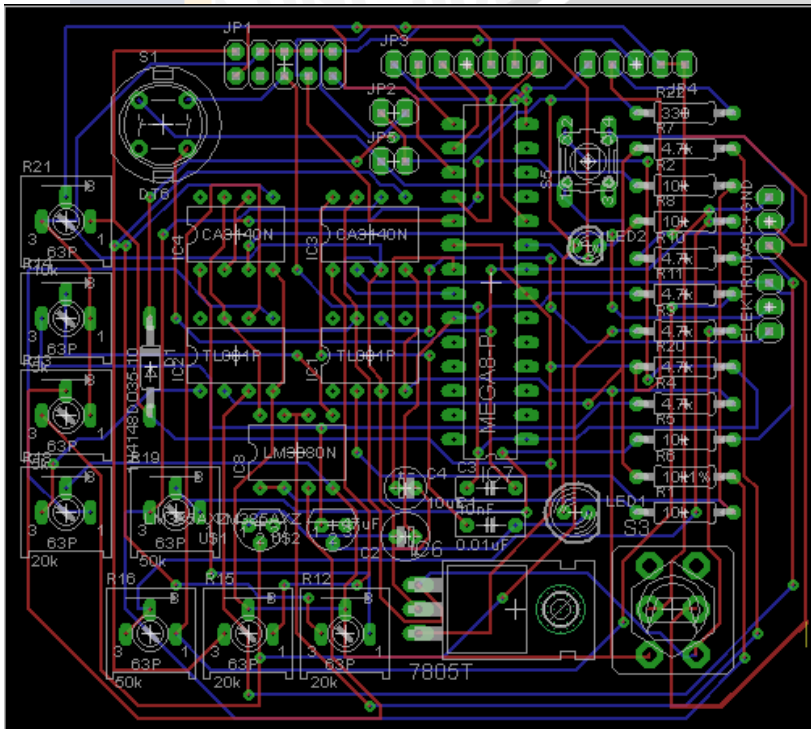
LAMPIRAN



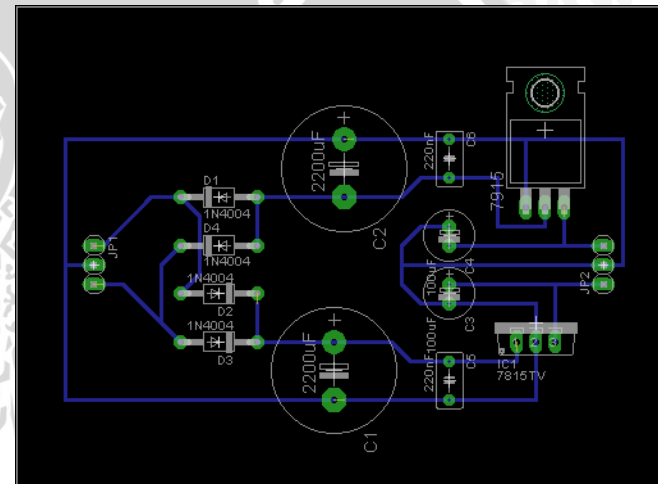
LAMPIRAN I
(SKEMATIK RANGKAIAN DAN DESAIN PCB)



Gambar skematik rangkaian pengkondisi sinyal dan akuisisi data untuk sensor nitrat



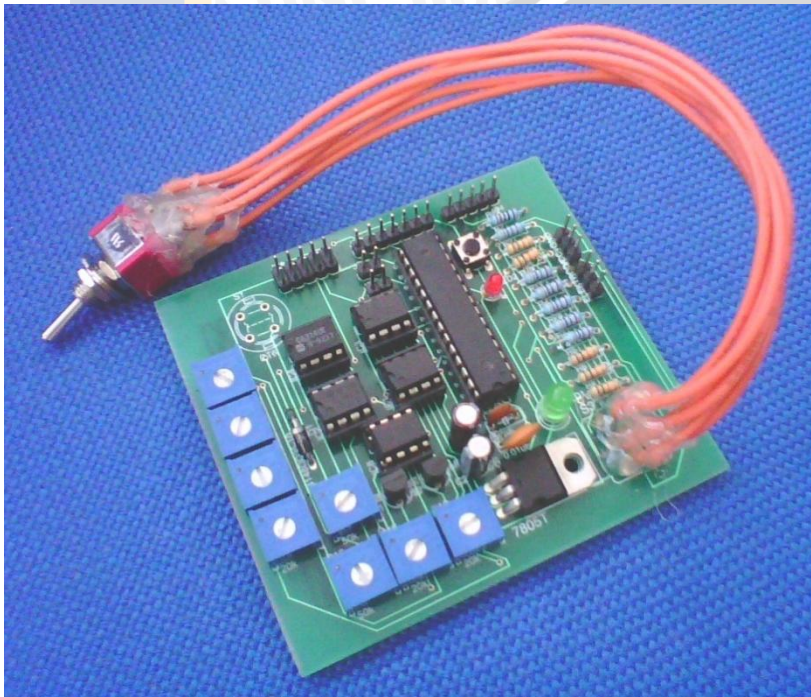
Gambar desain tata letak PCB Rangkaian pengkondisi sinyal dan data akuisisi



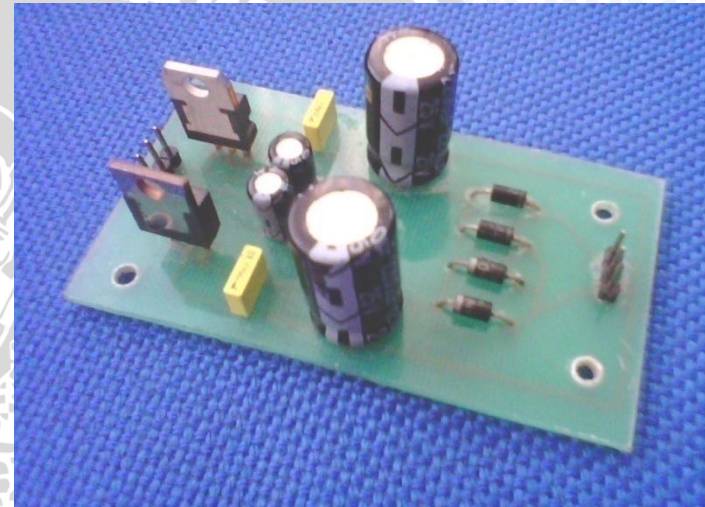
Gambar tata letak PCB rangkaian supply $\pm 15V$



LAMPIRAN II
(HASIL AKHIR RANGKAIAN)



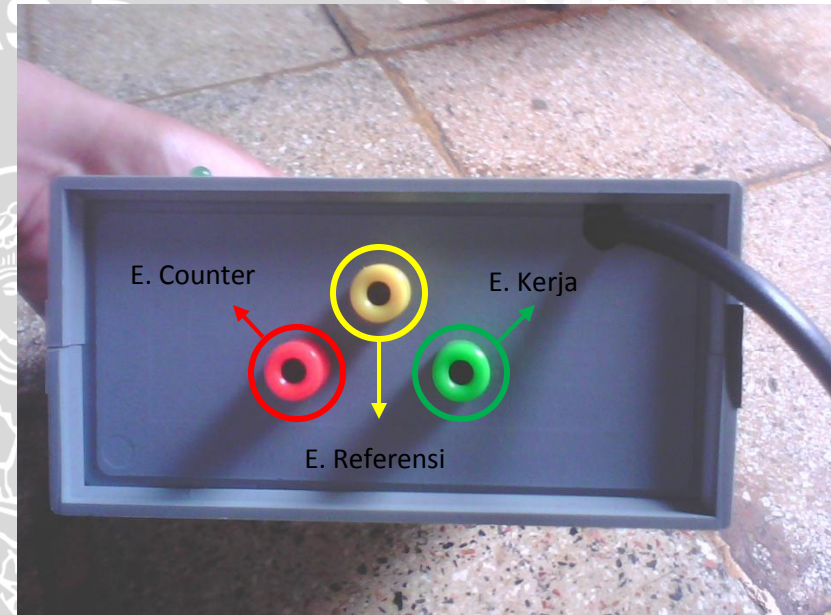
Gambar hasil akhir Rangkaian pengkondisi sinyal dan data akuisisi



Gambar hasil akhir rangkaian supply $\pm 15V$



Gambar *packaging* rangkaian pengkondisi sinyal dan akuisisi data untuk sensor nitrat



Gambar *port* sensor rangkaian pengkondisi sinyal dan akuisisi data untuk sensor nitrat (tampak atas)



LAMPIRAN III
(LISTING PROGRAM)

```
#include <mega8.h>
#include <stdio.h>
#include <delay.h>
#include <math.h>

// Alphanumeric LCD Module functions
#asm
    .equ __lcd_port=0x18 ;PORTB
#endasm
#include <lcd.h>

#define ADC_VREF_TYPE 0xE0

/// Read the 8 most significant bits
// of the AD conversion result
unsigned char baca_adc(unsigned char adc_input)
{
    ADMUX=adc_input|ADC_VREF_TYPE;
    // Start the AD conversion
    ADCSRA|=0x40;
    // Wait for the AD conversion to complete
    while ((ADCSRA & 0x10)==0);
    ADCSRA|=0x10;
    return ADCH;
}
```

```
void main(void)
{
    char kadar[16];
    float kadar_nitrat;
    unsigned int temp;
    float data_adc;
    float a=1.07404251058390;
    float b=0.783044838105221;
    float c=-1.47664017607649e-09;
    float d=1.15412164905758e-06
    float e=-0.000300603511370530
    float f=0.0260957387876664

    // Input/Output Ports initialization
    // Port B initialization
    // Func7=Out Func6=Out Func5=Out Func4=Out Func3=Out Func2=Out
    Func1=Out Func0=Out
    // State7=0 State6=0 State5=0 State4=0 State3=0 State2=0
    State1=0 State0=0
    PORTB=0x00;
    DDRB=0xFF;

    // Port C initialization
    // Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In
    Func0=In
    // State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T
    State0=T
    PORTC=0x00;
    DDRC=0x00;
```



```
// Port D initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In
Func1=In Func0=In
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T
State1=T State0=T
PORTD=0x00;
DDRD=0x00;

// Timer/Counter 0 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 0 Stopped
TCCR0=0x00;
TCNT0=0x00;

// Timer/Counter 1 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 1 Stopped
// Mode: Normal top=FFFFh
// OC1A output: Discon.
// OC1B output: Discon.
// Noise Canceler: Off
// Input Capture on Falling Edge
// Timer 1 Overflow Interrupt: Off
// Input Capture Interrupt: Off
// Compare A Match Interrupt: Off
// Compare B Match Interrupt: Off
```



```
TCCR1A=0x00;
```

```
TCCR1B=0x00;
```

```
TCNT1H=0x00;
```

```
TCNT1L=0x00;
```

```
ICR1H=0x00;
```

```
ICR1L=0x00;
```

```
OCR1AH=0x00;
```

```
OCR1AL=0x00;
```

```
OCR1BH=0x00;
```

```
OCR1BL=0x00;
```

```
// Timer/Counter 2 initialization
```

```
// Clock source: System Clock
```

```
// Clock value: Timer 2 Stopped
```

```
// Mode: Normal top=FFh
```

```
// OC2 output: Disconnected
```

```
ASSR=0x00;
```

```
TCCR2=0x00;
```

```
TCNT2=0x00;
```

```
OCR2=0x00;
```

```
// External Interrupt(s) initialization
```

```
// INT0: Off
```

```
// INT1: Off
```

```
MCUCR=0x00;
```

```
// Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization
```

```
TIMSK=0x00;

// Analog Comparator initialization
// Analog Comparator: Off
// Analog Comparator Input Capture by Timer/Counter 1: Off
ACSR=0x80;
SFIOR=0x00;

// ADC initialization
// ADC Clock frequency: 250.000 kHz
// ADC Voltage Reference: Int., cap. on AREF
// Only the 8 most significant bits of
// the AD conversion result are used
ADMUX=ADC_VREF_TYPE;
ADCSRA=0x83;

// LCD module initialization
lcd_init(16);

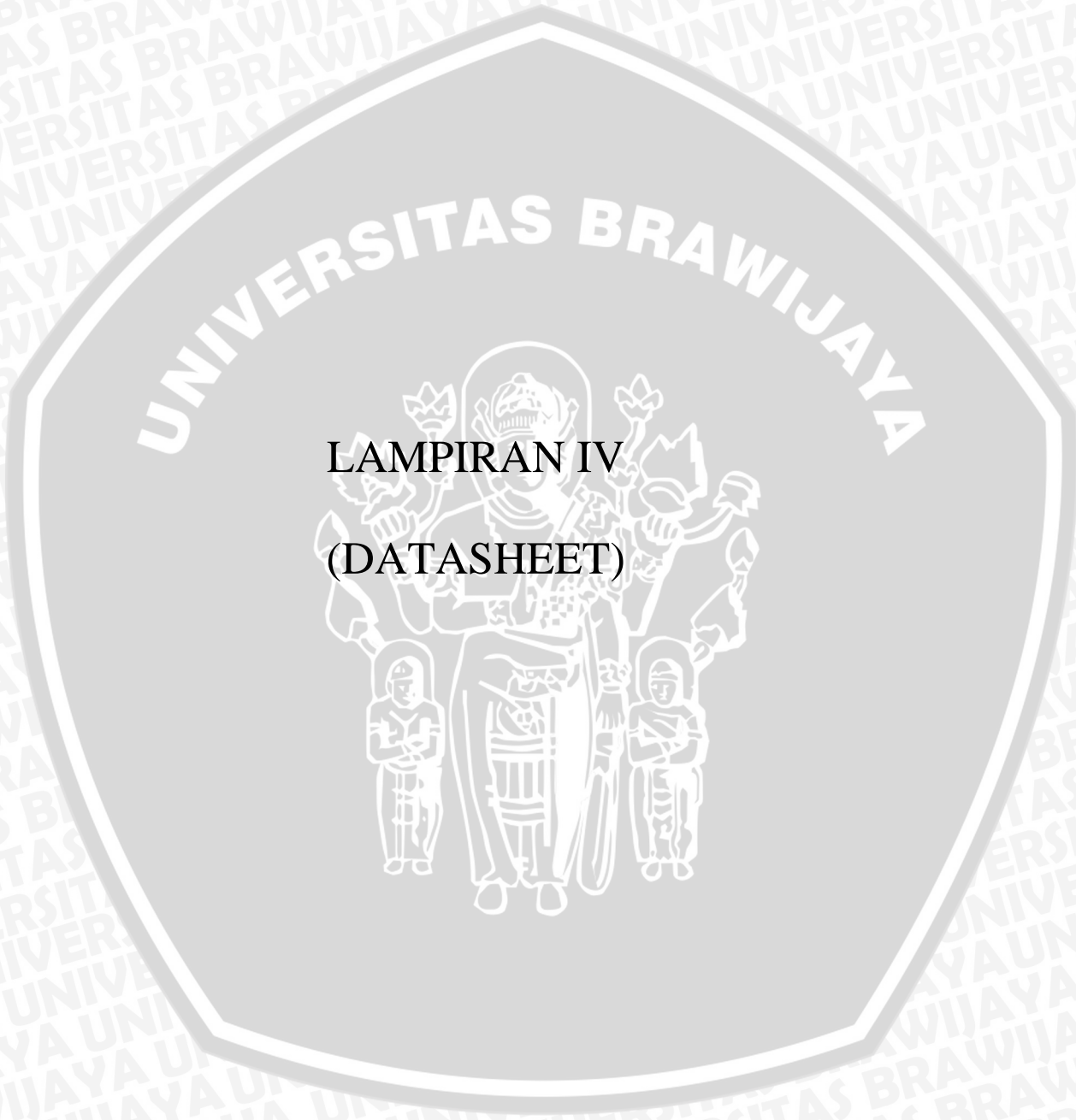
// Global enable interrupts
// #asm("sei")

while (1)
{
    lcd_clear();
    lcd_gotoxy(1,0);
    lcd_putsf("Anang Darmawan");
}
```

```
lcd_gotoxy(3,1);
  lcd_putsf("0610633005");
delay_ms(250);
lcd_clear();
  lcd_gotoxy(4,0);
  lcd_putsf("Detektor");
lcd_gotoxy(2,1);
  lcd_putsf("Kadar Nitrat");
delay_ms(250);
start:
temp=baca_adc(0);
data_adc=(float)a*(float)temp+(float)b;

kadar_nitrat=((float)c*(float)data_adc*(float)data_adc*(float)da
ta_adc+(float)d*(float)data_adc*(float)data_adc+(float)e*(float)
data_adc+(float)f)*1000000;

  lcd_clear();
  lcd_gotoxy(0,0);
  lcd_putsf("Kadar Nitrat= ");
  lcd_gotoxy(0,1);
  sprintf(kadar," %f uM",kadar_nitrat);
  lcd_puts(kadar);
  delay_ms(200);
  goto start;
};
}
```



LAMPIRAN IV
(DATASHEET)