

**PENGUKUR POSISI BAWAH AIR
DENGAN MENGGUNAKAN SENSOR PIEZORESISTIVE DAN
SENSOR MAGNETORESISTIVE**

**Oleh :
CECEP SUJANA
0606001203**



**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM PASCA SARJANA
KEKHUSUSAN FISIKA INSTRUMENTASI
DEPOK
2008**

**PENGUKUR POSISI BAWAH AIR
DENGAN MENGGUNAKAN SENSOR PIEZORESISTIVE DAN
SENSOR MAGNETORESISTIVE**

Thesis diajukan sebagai persyaratan untuk menyelesaikan
Pendidikan pada program
Magister Fisika

Oleh :
CECEP SUJANA
0606001203



DEPOK
2008

LEMBAR PENGESAHAN

**TESIS: PENGUKUR POSISI BAWAH AIR DENGAN MENGGUNAKAN
SENSOR PIEZORESISTIVE DAN SENSOR MAGNETORESISTIVE**

NAMA: CECEP SUJANA

NPM : 0606001203

TESIS INI TELAH DIPERIKSA DAN DISETUJUI OLEH :

DR. SANTOSO SOEKIRNO
PEMBIMBING

DR. PRAWITO
PENGUJI

DR. CUK IMAWAN
PENGUJI

DR. MARTARIZAL
PENGUJI

MENGETAHUI

PROGRAM STUDI MAGISTER FISIKA
PROGRAM PASCA SARJANA FMIPA-UI

KETUA

DR. DEDI SUYANTO
NIP 130935271

Tanggal Lulus 16 Juli 2008

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah Yang Maha Pengasih dan Penyayang atas segala berkat dan karunianya sehingga penulisan Thesis ini selesai.

Penulis menghaturkan banyak terima kasih kepada Bapak Dr. Santoso Soekirno selaku Pembimbing, yang dengan sabar membimbing, memberi saran, dan bantuan selama penelitian berlangsung hingga tersusunya thesis ini. Penulis juga berterimakasih kepada bapak Dr. Prawito dan seluruh Staf pengajar program pasca sarjana Fisika Instrumentasi yang telah memberikan ilmu, bimbingan dan saran secara tulus kepada penulis.

Selanjutnya penulis menyampaikan terimakasih kepada Bapak Parman, serta seluruh rekan magister Fisika Instrumentasi angkatan 2006 atas segala bantuannya dan persahabatannya.

Terakhir, terimakasih secara khusus kepada orang tua, istri tercinta Puput (Cira Putri Anggraeni) dan saudara-saudara tercinta yang selalu memberikan kasih sayang dan semangat selama ini.

Cecep Sujana
2008

ABSTRAK

Untuk memperoleh informasi yang akurat mengenai posisi data yang diambil dibawah permukaan air laut Maka diperlukan posisi kedalaman air wahana dan arah wahana terhadap kutub utara. Informasi ini penting karena dengan digabungkan dengan panjang tali alat maka dapat diperoleh panjang alat secara garis lurus dari GPS di kapal. Alat ini mengubah tekanan air yang diterimanya menjadi perubahan tahanan. Selanjutnya diumpankan tegangan ekstisasi pada sensor tersebut, dimana akan keluar tegangan yang besarnya sebanding dengan kedalaman air laut. Dengan sensor tekanan ke tahanan piezoresistive yang mampu mengukur sampai kedalaman 200 meter dengan keluaran tegangan sampai 2,5 volt. Dengan menggunakan mikrokontroler serial 80 dari Ateml sinyal analog tadi diubah ke sinyal digital 11 bit sehingga mampu mengukur sampai ketelitian 9,77 cm kedalaman. Tegangan ini kemudian diolah oleh rangkaian elektronik sehingga hasil akhirnya berupa petunjuk kedalaman dalam bentuk display dan data serial. Demikian juga dengan arah kompas, medan magnet bumi mengubah tahanan dari bahan permaloy menjadi berubah tergantung besarnya medan magnet yang diterima oleh bahan tersebut, bahan disusun menjadi konfigurasi jembatan wheatstone untuk kemudian diberi tegangan eksitasi seperti susunan sebelumnya pada sensor kedalaman, keluaran dari sensor ini berupa lebar pulsa dimana besarnya sudut azimuth berbanding lurus dengan lebar pulsa yang dihasilkan. Lebar pulsa ini kemudian dihitung dengan perbandingan terkecil sampai terendah berpadanan dengan sudut 0 derajat sampai 360 derajat.

Kata kunci : piezoresistive; magnetoresistive; adc;

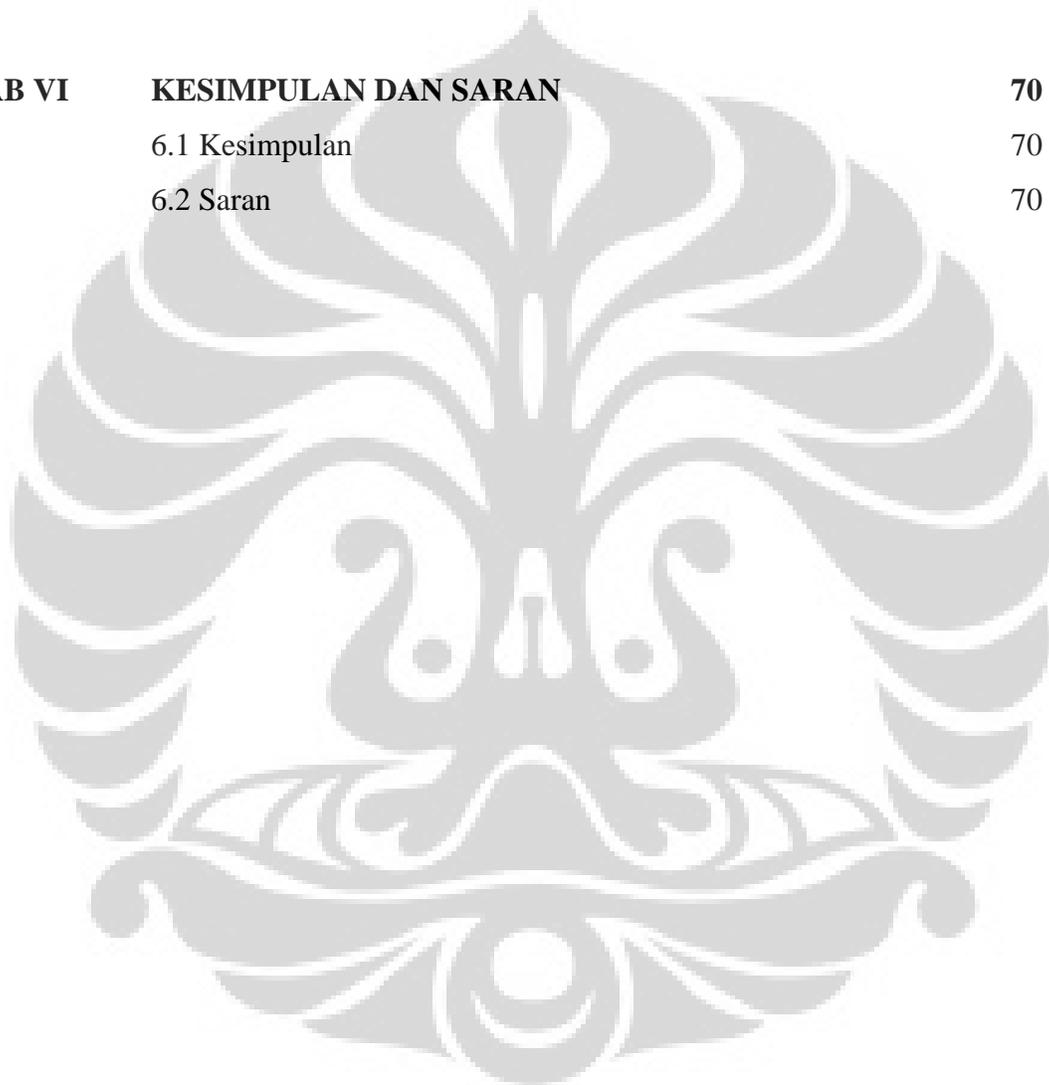
xiii + 102 hlm.;gbr.;lamp.;tab.

DAFTAR ISI

		Halaman
LEMBAR PENGESAHAN		i
KATA PENGANTAR		ii
ABSTRAK		iii
DAFTAR ISI		iv
DAFTAR GAMBAR		vi
DAFTAR LAMPIRAN		viii
BAB I	PENDAHULUAN	1
	1.1 Latar Belakang	1
	1.2 Tujuan dan Sasaran	2
	1.3 Ruang Lingkup Kegiatan	2
	1.4 Pembatasan Masalah	3
	1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB II	LANDASAN TEORI	4
	2.1 Sensor Tekanan Piezoresistive	6
	2.2 Sensor Arah Magnetoresistive	9
	2.3 Rangkaian ADC	15
	2.4 Mekanisme Perubahan Analog ke Digital	17
	2.5 Rangkaian Digital	19
	2.6 Mikrokontroler	19
BAB III	PERANCANGAN ALAT POSISI BAWAH AIR	21
	3.1 Tujuan Perancangan	21
	3.2 Rancangan Rangkaian	21
	3.3 Sensor Kedalaman Piezoresistive	23
	3.4 Pengolah Sinyal	26
	3.5 Rangkaian ADC Sensor Piezoresistive	28

3.6	Sensor Kompas Magnetoresistive	30
3.7	Rangkaian Sensor Magnetoresistive	31
3.8	Pemetikan Data Kedua Sensor	34
3.9	Rangkaian Penguat Transmisi Data (Driver)	34
3.10	Bagian Unit Pengontrol	35
3.10.1	Mikrokontroler AT89C51	36
3.10.2	Display dan DB-9	37
3.10.3	Rangkaian Driver Display	38
3.10.4	Rangkaian Lengkap Unit Pengontrol	39
BAB IV	PEMBUATAN ALAT POSISI BAWAH AIR	40
4.1	Pembuatan PCB	40
4.2	Pemrograman dan Pengisian ROM	41
4.3	Pembuatan Kasing	45
4.4	Display Data	46
4.5	Cara Kerja Alat	47
4.5.1	Cara Kerja Rangkaian	47
4.6	Cara Mengoperasikan Alat	48
4.7	Spesifikasi Rancangan	49
4.7.1	Kontrol Unit Display	49
4.7.2	Pengubah DC ke DC	50
BAB V	METODOLOGI PENELITIAN	51
5.1	Waktu, Tempat dan Objek	51
5.2	Metoda Penelitian	51
5.3	Alat dan Bahan	52
BAB V	PENGUKURAN DAN ANALISA	53
5.1	Data Pengukuran	53
5.1.1	Pengukuran Catu Daya Regulator	53
5.1.2	Pengukuran Pengubah DC ke DC	53
5.1.3	Pengukuran Blok Pembangkit Frekuensi	53

5.1.4 Pengukuran Rangkaian Digital	53
5.1.5 Data Kedalaman	55
5.1.6 Data Kompas	57
5.2 Analisa Data	63
5.2.1 Analisa Hasil Pengukuran Kedalaman	63
5.2.2 Analisa Hasil Pengukuran Arah	66
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	70
6.1 Kesimpulan	70
6.2 Saran	70



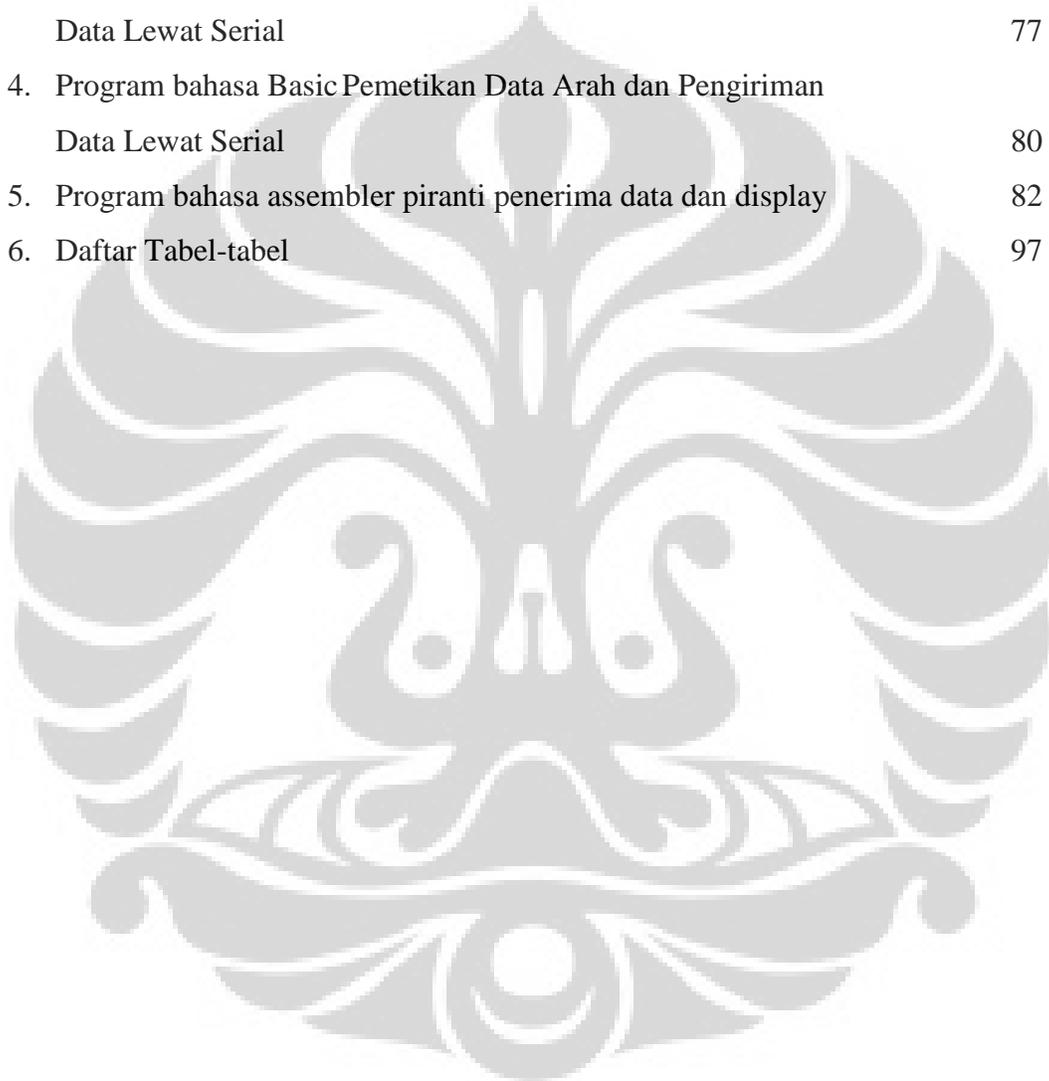
DAFTAR GAMBAR

Gambar		Halaman
2.1	Elemen-elemen fungsional suatu instrumen atau sistem pengukuran	4
2.2	Rangkaian jembatan sensor piezoresistive	8
2.3	Medan Magnet Bumi	9
2.4	Vektor Medan Bumi	11
2.5	Efek magnetoresistive dalam permalloy	11
2.6	Karakteristik sensor standar	13
2.7	Sensor Kutub Barber	13
2.8	Konfigurasi jembatan sensor kutub barber	14
2.9	Medan magnet oleh Set/Reset dan Koil Kompensasi	15
2.10	16-bit terhadap resolusi 3-bit 95 kHz gelombang sinus	16
2.11	Rangkaian Ladder	18
2.12	Blok diagram ADC	19
2.13	Susunan pin MC AT89C2051	20
3.1	Blok Diagram Lengkap Sistem Posisi Bawah Air	22
3.2	Struktur Dasar Sensor Piezoresistive	23
3.3	Rangkaian Jembatan Wheatstone	24
3.4	Sensor Piezoresistive SeriesPR-26W produksi Keller	25
3.4	Penguat instrumentasi	26
3.6	Rangkaian ADC pengukur kedalaman	29
3.7	Rangkaian Jembatan Wheatstone Pengukur Arah	30
3.8	Rangkaian Penguat Sinyal Data kompas	31
3.9	Rangkaian Pemetik Data Kompas	32
3.10	CMPS03 Robot Compass Module	33
3.11	Rangkaian Penguat Sinyal Serial	34
3.12	Blok Diagram Unit Pengontrol	35
3.13	Mikrokontroler AT89C51	36

3.14	Modul Display DEM 16217	37
3.15	Skema Rangkaian Unit Pengontrol	39
4.1	Diagram Flowchart Pemetikan Data Kedalaman	42
4.2	Diagram Flowchart Pemetikan Data Arah	43
4.3	Rangkaian Tactile Switch untuk Proses Calibrate	44
4.4	Diagram Flowchart Penampilan Data di Display	46
6.1	Bentuk Gelombang Osilator Kristal	54
6.2	Bentuk Gelombang Digital Data	54
6.3	Sinyal DC keluaran sensor piezoresistive kedalaman	55
6.4	Grafik keluaran tegangan terhadap kedalaman air	55
6.5	Grafik keluaran digital terhadap tegangan sensor	56
6.6	Grafik keluaran tegangan dan digital terhadap kedalaman air	56
6.7	Bentuk Gelombang PWM	57
6.7	Grafik hasil pengujian presisi pada sudut 0°	58
6.8	Grafik hasil pengujian presisi sudut 45°	58
6.9	Grafik hasil pengujian presisi sudut 90°	59
6.10	Grafik hasil pengujian presisi sudut 135°	59
6.11	Grafik hasil pengujian presisi sudut 180°	60
6.12	Grafik hasil pengujian presisi sudut 225°	60
6.13	Grafik hasil pengujian presisi sudut 270°	61
6.14	Grafik hasil pengujian presisi sudut 315°	61

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN	Halaman
1. Skema Rangkaian	73
2. Lay-out PCB	76
3. Program bahasa Basic Pemetikan Data Kedalaman Air dan Pengiriman Data Lewat Serial	77
4. Program bahasa Basic Pemetikan Data Arah dan Pengiriman Data Lewat Serial	80
5. Program bahasa assembler piranti penerima data dan display	82
6. Daftar Tabel-tabel	97



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Sejalan dengan perkembangan teknologi di Indonesia di segala bidang, maka hal yang tidak dapat kita kesampingkan adalah pengkajian dan penerapan teknologi di bidang kelautan. Posisi Geografis negara republik Indonesia sebagai negara kepulauan yang dikelilingi laut dan lautan mempunyai arti bahwa kelautan merupakan aspek yang sangat penting. Konsekwensi logisnya adalah pengkajian, penerapan dan pengembangan teknologi kelautan harus dilakukan untuk menunjang kemampuan dalam memanfaatkan potensi sumberdaya laut, baik hayati maupun non hayati. Perkembangan Teknologi kelautan yang sangat cepat di negara-negara industri telah menjadikan negara berkembang sebagai obyek pemasarannya. Teknologi kelautan seperti fish finder (pendeteksi keberadaan ikan pada suatu lapisan kedalaman air), akuisisi data dengan sistem telemetri , teknologi video bawah laut (pengambilan gambar video di bawah permukaan laut secara real time) merupakan contoh teknologi yang sangat dibutuhkan untuk inventarisasi data-data kelautan serta dalam memanfaatkan potensi laut kita secara optimal dan efisien. Hal yang penting adalah bahwa tidak semua teknologi yang kita beli dapat digunakan dengan berbagai alasan ,baik secara ekonomi maupun dari segi kemampuannya di lapangan. Selain itu adanya kelemahan dalam segi kemampuan peralatan, harga yang tidak terjangkau, dan peningkatan kemampuannya.

Dewasa ini perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi semakin pesat, terutama dalam ilmu pengetahuan dan teknologi dibidang elektronika, khususnya dengan kehadiran mikrokontroler yang memberikan dampak yang sangat besar dan luas sekali dalam perkembangan teknik elektronika tersebut. Dengan digunakannya mikrokontroler banyak kemungkinan rangkaian alat pengontrol yang dibuat dengan lebih sederhana sampai dengan alat kontrol yang lebih rumit, termasuk salah satunya dalam sistem pengukuran. Dari kemampuan besar yang dimiliki mikrokontroler, sehingga dengan kemampuan tersebut bisa menghasilkan suatu hasil yang diharapkan sekalipun rumit.

Salah satu alat yang dibutuhkan untuk keperluan survey laut adalah pengukur kedalaman dan arah. Alat ini diperlukan sebagai alat bantu untuk keperluan survey yakni untuk membantu pada peralatan oseanography diantaranya magnetometer dan side scan sonar.

SSS yang ada hanya memberi informasi kedalaman dari alat ini ke arah dasar laut tapi tidak memberi kedalaman dari alat ke permukaan laut. Informasi ini penting untuk menentukan posisi SSS secara tepat berdasarkan referensi posisi Global Positioning System atau GPS. Oleh karena alat yang digunakan harganya mahal dan keinginan untuk bisa menghasilkan sendiri alat yang dipakai maka direncanakan untuk pembuatannya.

Alat ini harus secara optimal dalam akuisisi data merupakan hal yang harus dikaji dan dikembangkan. Dengan demikian diperlukan suatu kegiatan pengkajian dan penerapan teknologi, serta pembuatannya sehingga nantinya kemampuan teknologi tersebut dapat kita tingkatkan, serta dapat meningkatkan pula kemampuan sumberdaya manusia dalam penguasaan teknologi di bidang kelautan .

1.2 TUJUAN DAN SASARAN

Kegiatan ini bertujuan untuk :

- Membuat prototype alat pengukur posisi bawah laut
- Bisa memproduksi sendiri peralatan untuk survey
- Pengembangan dan peningkatan kemampuan sumber daya manusia di bidang teknologi kelautan.

Sasaran dari kegiatan ini adalah terciptanya kemampuan untuk menghasilkan peralatan sendiri untuk kebutuhan survey.

1.3 RUANG LINGKUP KEGIATAN

Ruang Lingkup kegiatan :

- Teknologi sistem penentuan posisi
- Peningkatan dan pengembangan kemampuan peralatan survei laut
- Pengkajian sampai kedalaman 1,6 meter
- Penelitian keakuratan kompas elektronik
- Pengkajian sensor arah terhadap bahan kasing pelindung

1.4 PEMBATASAN MASALAH

Dalam merealisasikan pembuatan alat pengukur posisi bawah laut ini, penulis membatasi alat ini sebagai pengukur kedalaman dengan batas sampai kedalaman tertentu dan arah yang terukur pada posisi horizontal saja. Untuk posisi lainnya seperti pitch, roll dan yaw tidak dilibatkan karena memerlukan sensor lainnya yang lebih rumit.

Untuk sensor kedalaman difokuskan pada bahan piezoresistive, sedangkan untuk sensor arah dibatasi pada bahan magnetoresistive. Transfer data antara bagian yang dibawah air dengan bagian pengontrol dan display dibagian permukaan dihubungkan melalui kabel, sehingga digunakan kabel yang tahan terhadap tekanan air dan tidak bocor.

Untuk penelitian kali ini lebih difokuskan pada bagian elektroniknya sedangkan untuk bagian casingnya tidak dilakukan karena membutuhkan disiplin ilmu tersendiri.

1.5 SISTEMATIKA PENULISAN

Untuk penulisan thesis ini diperlukan sistematika penulisan agar lebih terperinci, adapun penulisan dibagi menjadi 6 bab, yaitu :

Bab 1 : Bab ini menjelaskan mengenai maksud dan tujuan thesis, latar belakang pemilihan judul, pembatasan masalah dan sistematika penulisan.

Bab 2 : Bab ini menjelaskan landasan teori yang menunjang dan berhubungan dengan pembuatan alat.

Bab 3 : Bab ini menjelaskan rancangan hardware, rancangan software, cara kerja rangkaian dan diagram alur program.

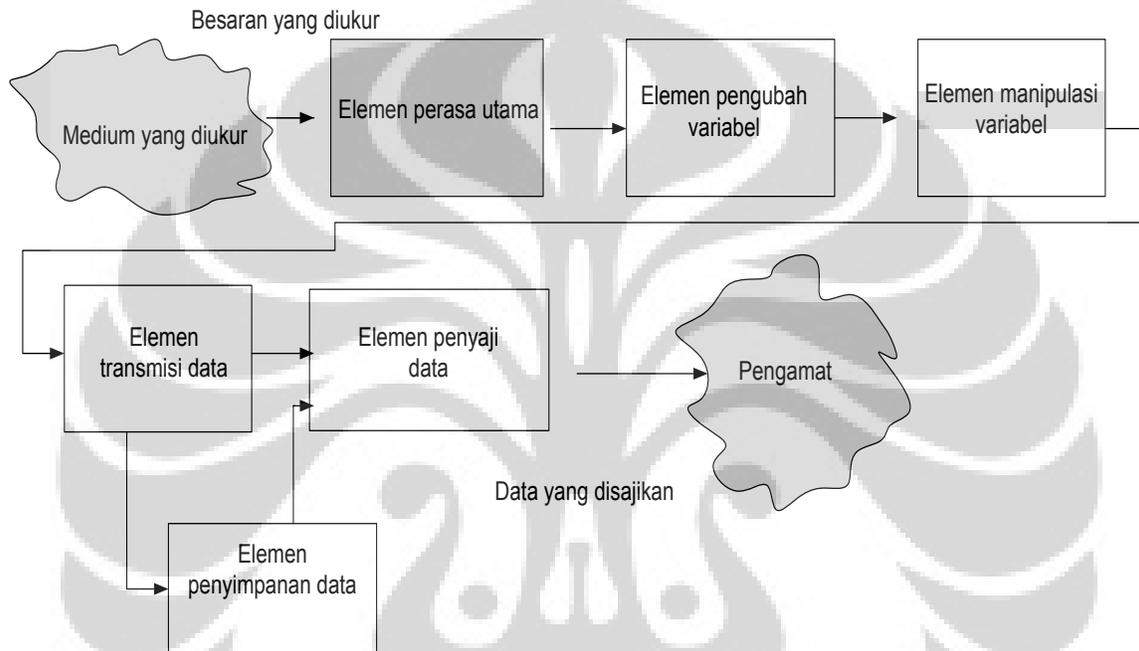
Bab 4 : Bab ini menjelaskan tentang pembuatan PCB, program monitor, casing dan lain sebagainya

Bab 5 : Bab ini menjelaskan pengukuran dan analisa data hasil rancangan.

Bab 6 : Bab ini merupakan bagian penutup dari penulisan yang berisi kesimpulan dan saran

II. LANDASAN TEORI

Cara kerja dan penampilan instrumen pengukuran dan perangkat keras fisik tertentu dapat diuraikan dalam bentuk elemen-elemen sistem instrumen fungsional, dan penampilan didefinisikan dalam bentuk karakteristik penampilan statis dan dinamis.



Gambar 2.1 Elemen-elemen fungsional suatu instrumen atau sistem pengukuran
Seperti terlihat pada gambar 2.1 yang menyatakan semua kemungkinan susunan elemen – elemen fungsional dalam suatu instrumen dan mengandung semua fungsi dasar yang dianggap perlu untuk menerangkan setiap instrumen. Elemen perasa utama adalah yang pertama kali menerima energi dari medium yang diukur dan menghasilkan keluaran yang sedikit banyaknya bergantung pada besaran yang diukur. Penting dicatat bahwa instrumen selalu menyerap sebagian energi dari medium yang diukur. Jadi besaran yang diukur selalu terganggu oleh kegiatan pengukuran, yang menyebabkan pengukuran yang sempurna secara teoritis tidak mungkin. Instrumen yang baik, dirancang untuk meminimumkan pengaruh ini, tetapi akan selalu muncul sampai derajat tertentu.

Sinyal keluaran elemen perasa utama merupakan variabel fisik seperti tekanan atau tegangan listrik. Agar instrumen berfungsi sesuai dengan keinginan, mungkin diperlukan perubahan variabel tersebut ke variabel lain yang lebih sesuai namun tetap mengandung sinyal aslinya. Elemen yang melakukan fungsi ini disebut elemen pengubah variabel.

Gambar 2.1 menunjukkan instrumen yang dipisahkan ke dalam blok-blok, yang mungkin menimbulkan anggapan seolah-olah bendanya secara fisik betul-betul terpisah dan masing-masing melakukan fungsi tertentu seperti yang terlihat. Pada umumnya tidaklah demikian, misalnya bagian tertentu dari perangkat keras mungkin saja melakukan beberapa fungsi dasar.

Untuk memenuhi keinginan tertentu, suatu instrumen mungkin memerlukan sinyal yang diwakili oleh beberapa variabel fisik yang dimanipulasi dengan berbagai cara. Manipulasi disini secara khusus diartikan sebagai suatu perubahan nilai numerik yang mengikuti aturan tertentu, tetapi sifat fisik dari variabelnya tidak berubah. Jadi suatu penguat elektronik menerima sinyal tegangan kecil sebagai masukan dan menghasilkan sinyal keluaran yang tetap berupa tegangan tetapi beberapa kali lipat dari masukannya. Elemen yang menjalankan fungsi ini disebut elemen manipulasi-variabel. Elemen manipulasi-variabel tidak perlu mengikuti elemen pengubah variabel, tetapi dapat juga mendahuluinya, muncul pada sembarang urutan, atau tidak muncul sama sekali,

Jika elemen-elemen fungsional instrumen memang secara fisik terpisah, maka diperlukan transmisi data dari satu ke lainnya. Elemen yang menjalankan fungsi ini disebut elemen transmisi data. Elemen ini dapat sangat sederhana seperti susunan poros dan bantalan, atau sangat rumit seperti telemetri untuk mentransmisikan sinyal dari satelit ke stasiun bumi dengan radio.

Jika informasi tentang besaran yang diukur akan dikomunikasikan ke manusia untuk tujuan pemantauan, pengendalian atau analisis, maka informasi tersebut harus disajikan dalam bentuk yang dapat diterima oleh salah-satu indera manusia. Elemen yang menjalankan fungsi penterjemahan ini disebut elemen penyajian data. Fungsi ini meliputi penunjukan sederhana dari jarum yang bergerak diatas skala dan perekaman dari pena bergerak di atas kertas grafik. Namun banyak instrumen masa kini yang mendigitkan sinyal listrik dan menyimpannya di dalam sejenis memori komputer digital.

2.1 Sensor Tekanan Piezoresistive

Suatu konduktor dengan luas penampang serbasama A dan panjang L , yang terbuat dari bahan dengan resistifitas ρ . Hambatan R konduktor ini diberikan oleh

$$R = \frac{\rho L}{A} \quad (2-1)$$

Jika konduktor ini diregangkan atau ditekan, hambatannya akan berubah karena adanya perubahan dimensi (panjang dan luas penampang) dan karena sifat dasar bahan yang disebut piezoresistansi, yang menunjukkan ketergantungan resistifitas ρ pada regangan mekanis. Untuk mendapatkan bagaimana perubahan dR dalam R bergantung pada parameter dasar, pers. (2-1) didiferensialkan untuk memperoleh

$$dR = \frac{A(\rho dL + Ld\rho) - \rho LdA}{A^2} \quad (2-2)$$

Karena volume $V = AL$, $dV = Adl + LdA$, juga

$$dV = L(1 + \varepsilon)A(1 - \varepsilon v)^2 - AL \quad (2-3)$$

dimana regangan satuan dan v perbandingan Poisson. Karena kecil, $(1-v) \approx 1 - 2v$ dan persamaan (2-3) menjadi

$$dV = AL\varepsilon(1 - 2v) = AdL + LdA \quad (2-4)$$

dan karena $\varepsilon \cong dL/L$,

$$AdL(1 - 2v) = AdL + LdA \quad (2-5)$$

$$- 2vAdL = LdA \quad (2-6)$$

Substitusi dalam persamaan (2-2) menghasilkan

$$dR = \frac{\rho AdL + LAd\rho + 2v\rho AdL}{A^2} \quad (2-7)$$

dan dengan demikian

$$dR = \frac{\rho dL(1 + 2\nu)}{A} + \frac{L d\rho}{A} \quad (2-8)$$

Dengan membagi persamaan (2-1) memberikan

$$\frac{dR}{R} = \frac{dL}{L} (1 + 2\nu) + \frac{d\rho}{\rho} \quad (2-9)$$

dan akhirnya

$$\text{Faktor pengukur} \cong \frac{dR/R}{dL/L} = 1 + 2\nu + \frac{d\rho/\rho}{dL/L} \quad (2-10)$$

Jadi jika faktor pengukur diketahui, pengukuran memungkinkan pengukuran regangan $dL/L = \varepsilon$. Ini merupakan prinsip pengukur regangan hambatan. Istilah

$(d\rho/\rho)/(dL/L)$ dapat pula dinyatakan sebagai $\pi_1 E$, dengan

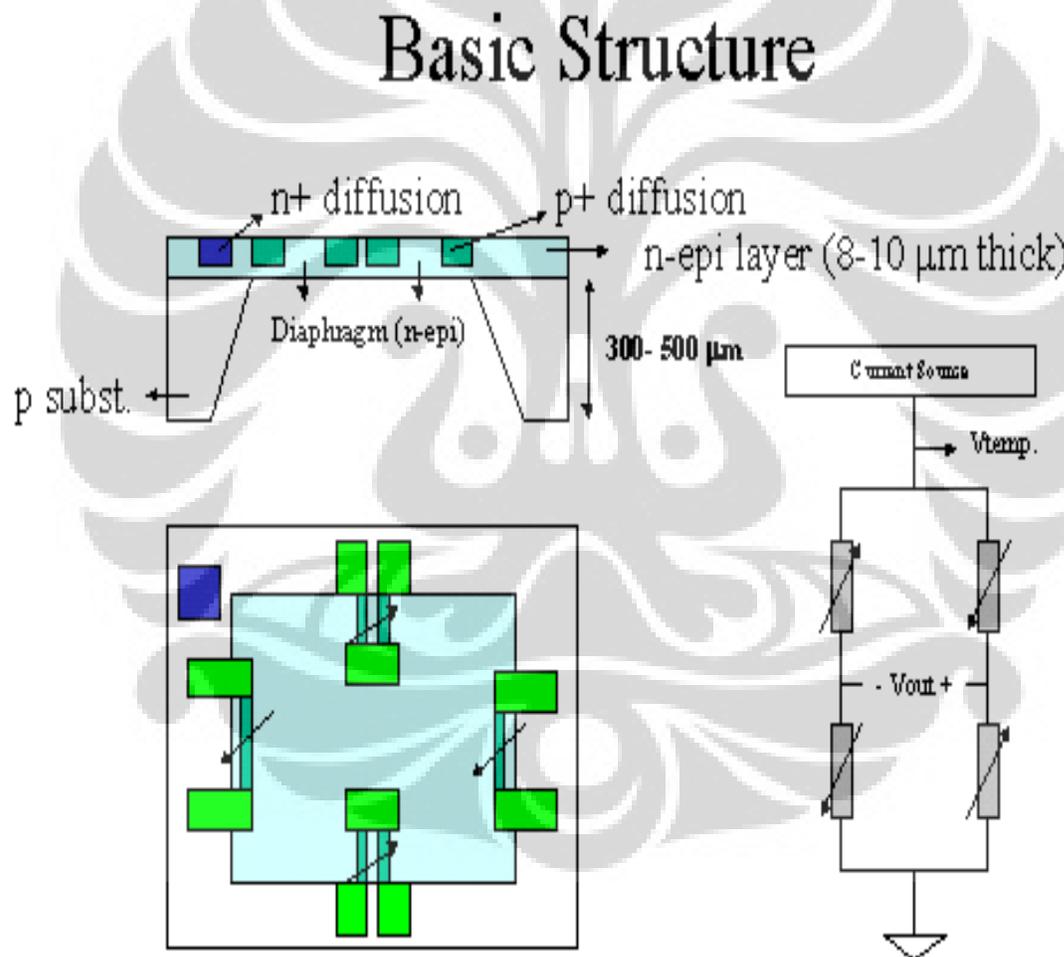
$\pi_1 \cong$ koefisien piezoresistansi longitudinal

$E \cong$ modulus elastisitas

Sifat bahan dapat positif atau negatif. Perbandingan Poisson selalu antara 0 dan 0,5 untuk semua bahan.

Piezoresistive adalah benda padat, sensor monolitik yang menggunakan proses silikon. Piezo artinya tekanan, sedang resistan artinya berlawanan dengan aliran arus DC. Dengan sensor ini, tahanan-tahanan disusun dalam konfigurasi jembatan wheatstone penuh, yang menambah sensitivitas dibandingkan terhadap element tunggal atau dua element sensor. Ketika tekanan diferensial positif diterapkan pada keempat elemen jembatan, dua dari elemen-elemen ini akan bereaksi saat ada tegangan dan dua lainnya berubah terhadap keadaan tekanan. Ketika tekanan differensial negatif diterapkan pada sensor, diaphragma diregangkan dalam arah yang berlawanan dan tahanan yang dikompres berubah ke keadaan tegang, sementara tahanan-tahanan yang berada dalam keadaan tension berubah menjadi keadaan kompresi. Sensor tekanan piezoresistive boleh memiliki atau tidak memiliki tekanan internal referensi.

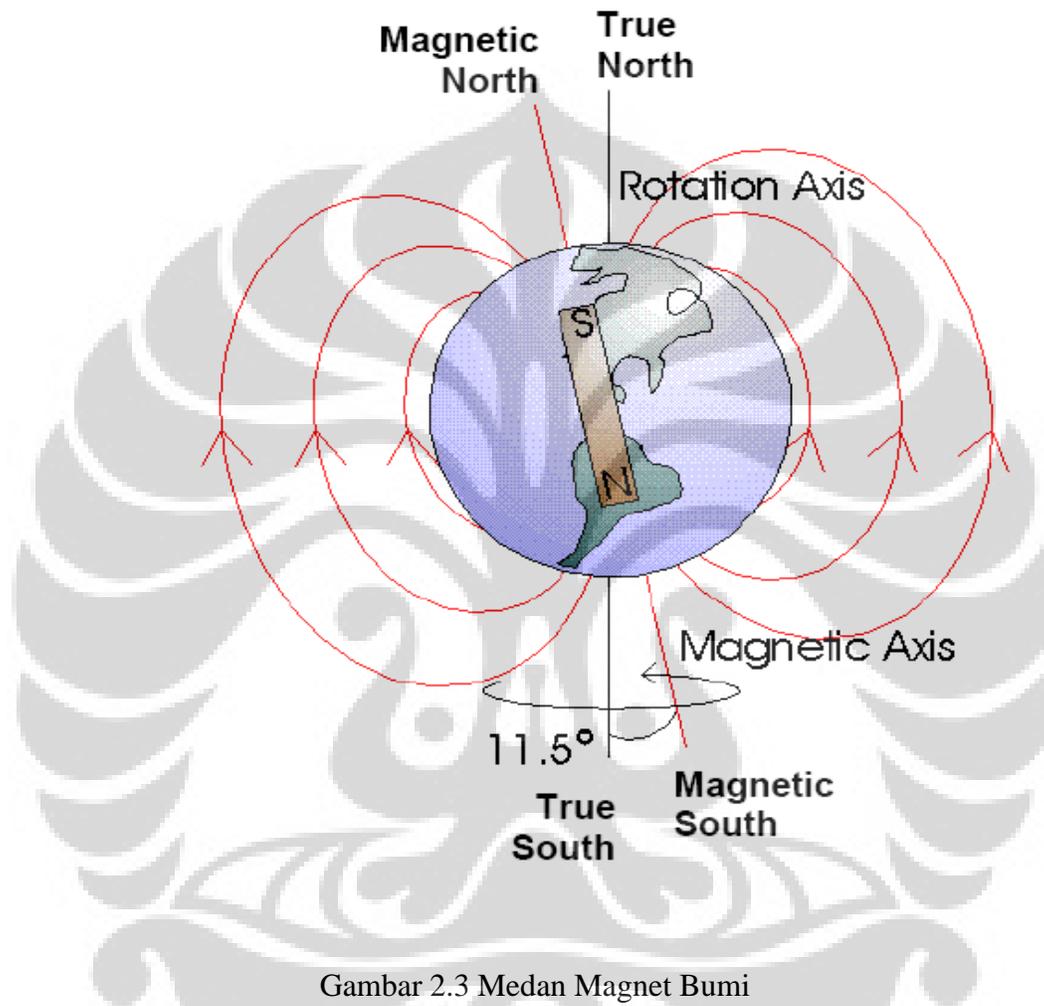
Bagian atas dari sensor ini adalah bahan resistive dan bagian bawahnya adalah diaphragma. Bagian atas dari jembatan piezoresistive diperlihatkan gambar 2.2 diberi sumber tegangan atau sumber arus. Perbedaan maksimum antara V_{out+} dan V_{out-} secara umum terentang dari 10s milivolt sampai beberapa ratus milivolt. Rangkaian elektronik berikutnya setelah sensor digunakan untuk mengubah keluaran sinyal diferensial ke single ended untuk memperkuat gainnya dan memfilternya untuk menghasilkan sinyal yang siap diubah ke bentuk digital.



Gambar 2.2 Rangkaian jembatan sensor piezoresistive

2.2 Sensor Arah Magnetoresistive

Magnetoresistive adalah suatu teknologi untuk sensor medan magnet didalam sistem kompas. Dibandingkan dengan sensor flux-gate, yang dapat ditemukan dalam peralatan kompas elektronik lainnya, magnetoresistive tidak memerlukan koil berupa lilitan.



Gambar 2.3 Medan Magnet Bumi

Kompas magnet merupakan alat navigasi yang sangat penting dalam segala bidang, bahkan untuk waktu pada sistem GPS. Alat ini menggantikan jarum magnet yang sudah usang atau gyrokompas oleh suatu rangkaian elektronik dengan menawarkan berbagai kelebihan dan mudah digabungkan dengan sistem elektronik lainnya.

Medan Magnet Bumi

Medan magnet bumi merupakan besaran fisika yang dapat diukur oleh kompas. Dengan demikian pemahaman terhadap prinsip dasarnya sangat dibutuhkan, saat mendisain suatu kompas. Gambar 2.3 memberikan gambaran mengenai bentuk medan magnet bumi.

Kekuatan medan magnet di bumi bervariasi tergantung lokasi dan meliputi area dari sekitar 20 sampai 50 A/m. Pengertian mengenai bentuk medan magnet dapat diperkuat dengan perumpamaan bahwa medan magnet dihasilkan oleh batang magnet didalam bumi. Garis medan magnet bumi bergerak dari kutub selatan ke kutub utara. Gambar 2.3, memperlihatkan konveksi fisik yang berlawanan nilai terhadap kutub dari batang magnet. Garis-garis medan tegak lurus terhadap permukaan bumi pada kutub-kutubnya dan sejajar terhadap garis equator. Jadi, medan magnet bergerak menurun di bagian utara belahan bumi dan naik pada bagian selatan belahan bumi. Hal yang penting adalah kutub magnet tidak sama dengan kutub geografis, yang dijelaskan oleh sumbu rotasi bumi. Sudut antara magnet dan sumbu rotasi adalah $11,5^\circ$. Sebagai akibatnya, garis medan magnet tidak secara tepat pada garis geografik atau utara "true".

Gambar 2.4 memberikan pernyataan 3-D dari medan vektor bumi H_e pada beberapa lokasi di bumi. Disini, koordinat x dan koordinat y paralel terhadap permukaan bumi, dimana koordinat z bergerak secara vertikal menuju ke bawah.

- **Azimuth α**

Sudut antara utara magnet dengan arah heading. Utara magnet adalah arah dari H_{eh} , komponen medan bumi tegak lurus terhadap gravitasi. H_{eh} akan direferensikan sebagai komponen horizontal dari medan bumi. Gambar 2.4 memperlihatkan bahwa :

$$\alpha = \arctan \frac{H_{ey}}{H_{ex}} \quad \blacksquare \quad (2-11)$$

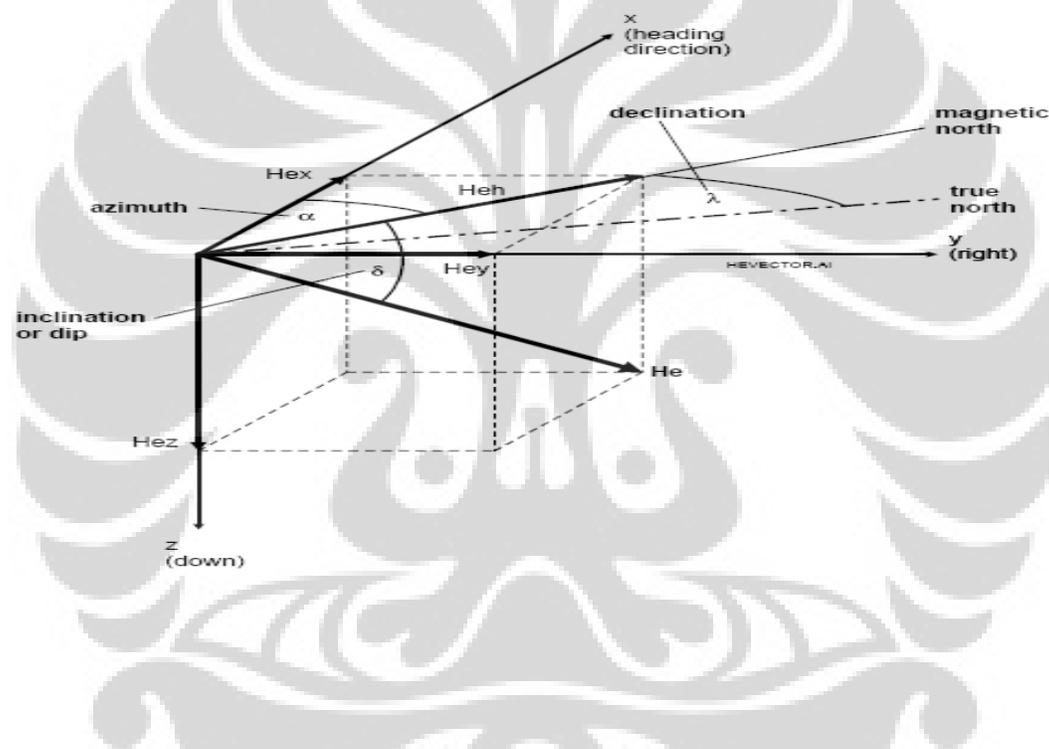
Azimuth adalah pembacaan besarnya arah kompas. Sepanjang pembahasan ini, dihitung searah jarum jam dari utara magnetik, sebagai contoh 360° atau 0° , timur adalah 90° , selatan 180° , dan barat 270° .

- **Inclination atau dip δ**

Sudut antara vektor medan bumi dan bidang datar, inklinasi bervariasi terhadap berbagai lokasi di bumi, mendekati nilai nol pada garis ekuator, dan mendekati nilai $\pm 90^\circ$ dekat kutub-kutubnya. Jika posisi kompas miring, maka sudut inklinasi dipertimbangkan.

- **Deklinasi λ**

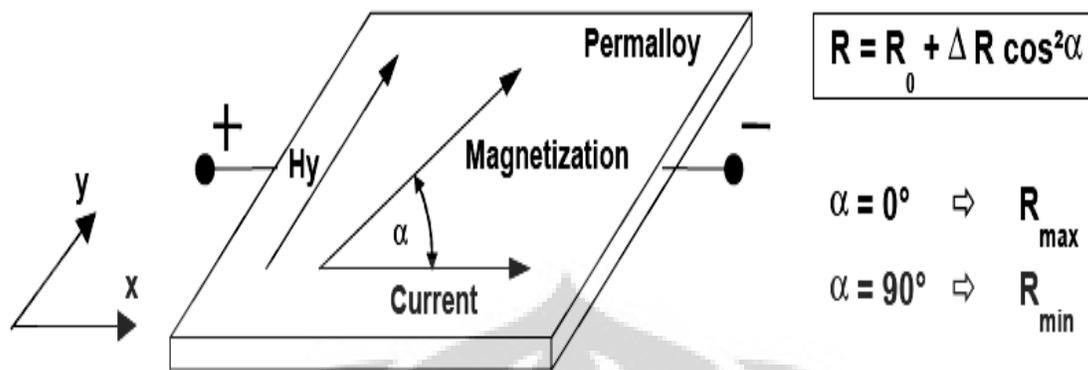
Sudut antara geografik atau utara true dengan utara magnet. Deklinasi tergantung dari posisi aktual di bumi. Deklinasi bisa menuju timur atau barat dan dapat mencapai nilai $\pm 25^\circ$. Aimuth yang diukur oleh kompas harus dikoreksi oleh sudut deklinasi dengan maksud untuk menemukan arah heading terhadap utara geografik.



Gambar 2.4 Vektor Medan Bumi

Elemen Sensor Magnetoresistive

Sensor magnetoresistive menggunakan sifat efek magnetoresistive, sifat suatu arus yang membawa bahan magnet untuk merubah nilai tahanannya jika terkena medan magnet luar. Gambar 2.5 menunjukkan sepotong bahan feromagnetik, yang disebut permaloy (19% Fe, 81% Ni).



Gambar 2.5 Efek magnetoresistive dalam permalloy

Selama pergeseran serpihan permalloy, suatu medan magnet luar yang kuat diterapkan secara paralel terhadap sumbu serpihan. Dengan melakukan ini, arah magnetisasi yang dianjurkan dilakukan didalam strip. Dalam gambar 2.5, hal ini diasumsikan pada arah x, yang juga arah dari aliran arus. Suatu sensor MR sekarang didasarkan atas dua akibat dasar:

- Tahanan R potongan permalloy tergantung sudut α antara arah arus dengan arah magnetisasi
- Arah magnetisasi dan dengan demikian α dapat dipengaruhi oleh medan magnet eksternal H_y , dimana H_y paralel terhadap bidang strip dan tegak lurus terhadap arah yang dilakukan.

Ketika tidak ada medan magnet luar, permalloy memiliki vektor magnetik internal paralel terhadap arah yang dituju $\alpha = 0$. Dalam masalah ini, tahanan R strip mencapai nilai tertingginya R_{\max} . Jika sekarang suatu medan magnet luar H_y diterapkan, vektor magnet internal dari permalloy akan berputar sekeliling sudut. Pada kuat medan yang tinggi, magnetisasi cenderung sejajar dengan dengan garis H_y dan berputar pada sudut 90. Dalam hal ini, tahanan mencapai nilai minimum R_{\min} . Persamaan berikutnya pada gambar 4 memberikan suatu fungsi yang tergantung terhadap nilai R dan α , dimana

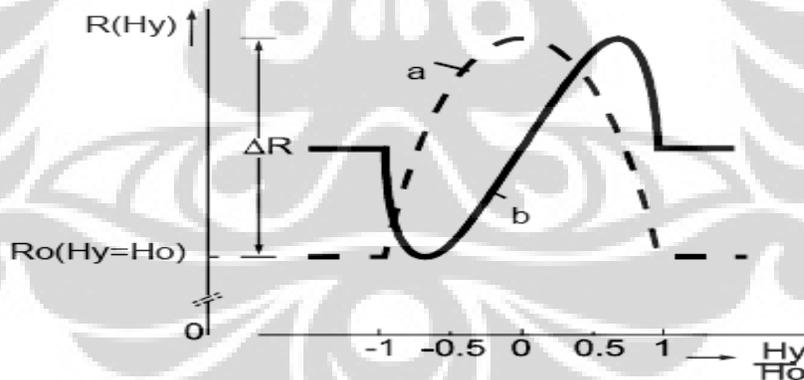
$R_0=R_{\min}$ dan $\Delta R=(R_{\max}-R_{\min})$. Akhirnya, fungsi R terhadap H_y dinyatakan sebagai berikut :

$$R = R_0 + \Delta R \cdot \left(1 - \left(\frac{H_y}{H_0} \right)^2 \right) \quad (2-12)$$

Gambar 2.6a menunjukkan diagram untuk persamaan (2-12). H_0 adalah suatu parameter, yang tergantung pada bahan material dan geometri dari strip. Persamaan 2 didefinisikan untuk besaran kuat medan $H_y < H_0$. Untuk $H_y > H_0$, R sama dengan R_0 . R_0 dan ΔR adalah parameter bahan. Untuk permaloy, nilai ΔR berkisar antara 2% sampai 3% dari nilai R_0 .

Optimalisasi karakteristik sensor menggunakan struktur kutub Barber.

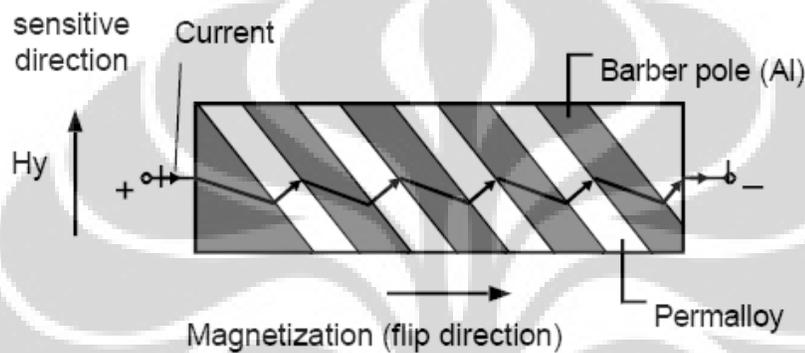
Gambar 2.6a menggambarkan karakteristik sensor berdasarkan persamaan (2-12). Untuk besaran H_y yang kecil, sensitivitas sangat rendah dan tidak linear. Selanjutnya, karakteristik seperti ini tak memungkinkan untuk dideteksi, apakah H_y positive atau negative. Dengan demikian struktur dasar sensor pada gambar 2.5 harus ditingkatkan untuk pemakaian kompas.



Gambar 2.6 Karakteristik sensor standar

Peningkatan sensor yang diinginkan dapat dicapai dengan melapisi serpihan aluminium pada bagian atas (yang disebut kutub-kutub barber) pada bagian atas strip permaloy pada

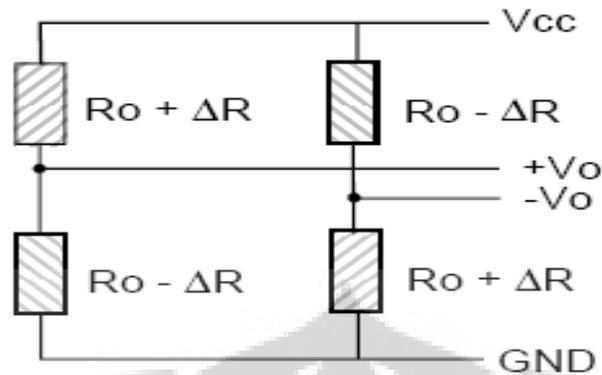
sudut 45° terhadap sumbu strip. Gambar 2.7 menunjukkan prinsip kerjanya. Karena aluminium memiliki sifat konduktivitas yang lebih tinggi dibandingkan permalloy, efek dari kutub barber adalah memutar arah arus sebesar 45° , secara efektif mengubah sudut antara magnetisasi dengan arus listrik dari α ke $(\alpha - 45)$. Grafik b pada gambar 2.6 menunjukkan karakteristik sensor terhadap struktur kutub barber. Untuk medan magnet yang lemah seperti medan bumi, sensitivitas merupakan hal yang sangat penting, karakteristik harus dilinearisasi dan memungkinkan untuk mendeteksi tanda H_y .



Gambar 2.7 Sensor Kutub Barber

Konfigurasi Jembatan

Secara praktek, adalah merupakan hal yang menguntungkan untuk membangun elemen-elemen sensor disusun dengan sistem jembatan Wheatstone, yang terdiri dari empat potongan magnetoresistive, sebagaimana ditunjukkan gambar 2.8. Untuk sensor kompas, struktur kutub barber digunakan, dimana sepasang diagonal elemen sensor diarahkan 45° terhadap sumbu strip, sedangkan pasangan lainnya diarahkan -45° . Dengan demikian, perubahan tahanan ΔR akibat medan magnet diubah secara linear kedalam perubahan tegangan keluaran diferensial $\Delta V = +V_o - (-V_o)$. Lebih jauh lagi, koefisien suhu yang terdapat pada keempat tahanan jembatan dapat dihilangkan.



Gambar 2.8 Konfigurasi jembatan sensor kutub barber

Set/Reset dan Koil kompensasi

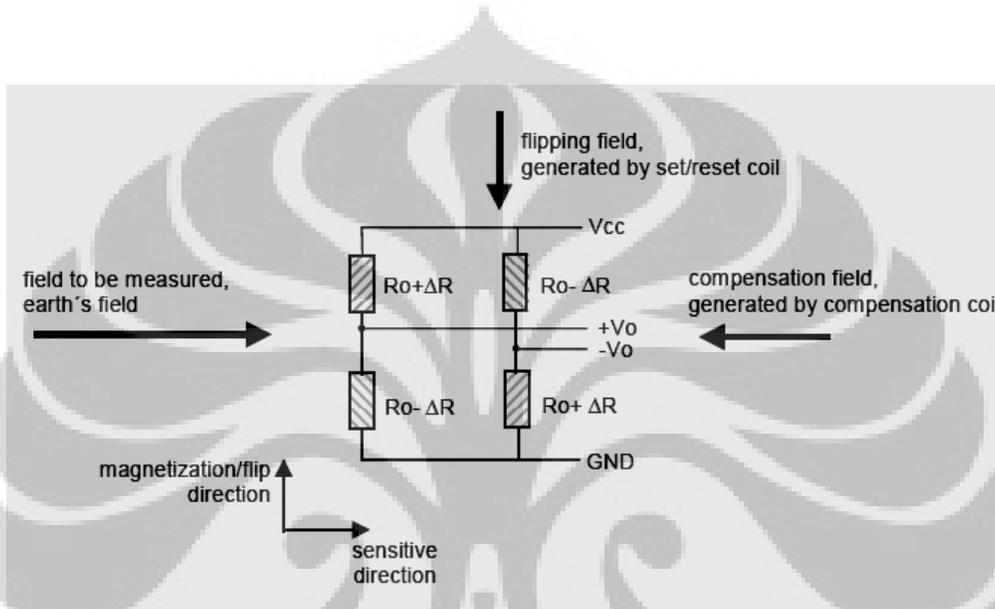
Sensor MR adalah secara alami bi-stable, yaitu arah dari magnet internalnya dapat dibalikkan atau “flipped”/lempar,jentik. Hal ini dapat dicapai oleh medan magnet yang cukup kuat, jika medan ini diterapkan secara paralel terhadap magnetisasi, tetapi memiliki arah yang berlawanan seperti ditunjukkan pada gambar 2.9. Flipping dapat menyebabkan pembalikan karakteristik dari sensor, seperti keluaran tegangan sensor berubah polaritasnya.

Sensor MR dapat distabilkan terhadap flipping yang tidak diinginkan dengan menerapkan medan magnet bantuan yang diletakkan secara paralel terhadap sumbu flipping. Medan ini harus dipulsakan, sebagai medan permanen yang akan menurunkan sensitivitasnya. Ketika pengukuran medan melemah, adalah hal yang diharuskan untuk membalikkan atau “flip” karakteristik sensor secara berturut-turut. Hal ini memungkinkan untuk mengkompensasi offset sensor dalam hal perbandingan terhadap teknik chopping yang digunakan dalam penguatan sinyal listrik yang kecil. Koil set/reset dekat elemen sensor adalah alat untuk menerapkan medan bantu untuk proses flipping.

Dalam sistem kompas dengan ketelitian tinggi, sensor juga harus bisa mengatasi pergeseran sensitivitas terhadap suhu dan mengatasi medan interferensi. Keduanya dapat

diatasi dengan bantuan medan buatan pada arah sensitive. Hal ini bisa dihasilkan oleh koil “kompensasi” dekat bahan elemen.

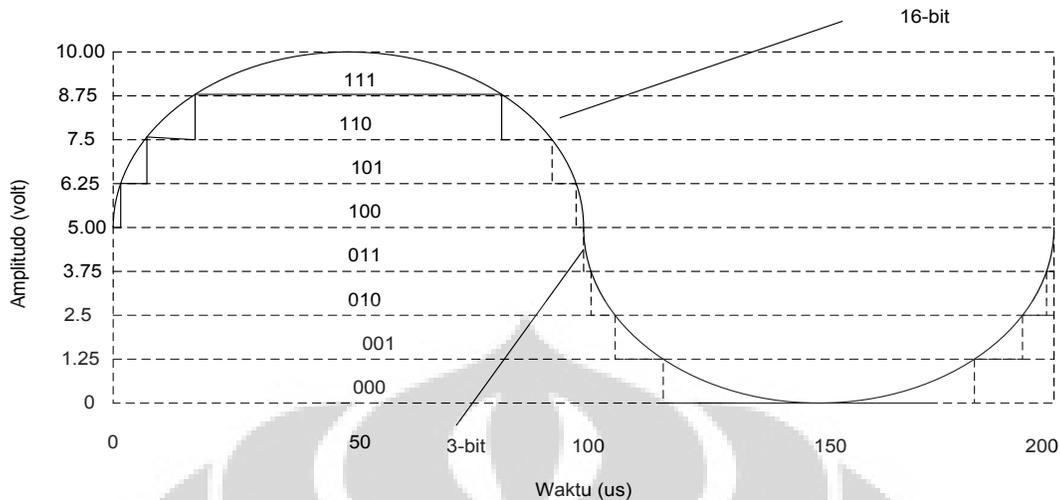
Sensor MR dibuat untuk penerapan kompas, tersedia dengan gabungan set/reset dan koil kompensasi. Lebih jauh lagi, sebagai koil terintegrasi dapat disusun lebih dekat ke sensor elemen, mereka membutuhkan arus yang secara penting lebih sedikit untuk menghasilkan medan magnet yang diperlukan.



Gambar 2.9 Medan magnet oleh Set/Reset dan Koil Kompensasi

2.3 Rangkaian ADC

Jumlah bit yang digunakan untuk menyatakan suatu sinyal analog menentukan resolusi ADC dari pengubah analog ke digital. Semakin tinggi resolusi suatu ADC, maka semakin tinggi pula jumlah pembagian dari rentang ADC sehingga dengan demikian semakin teliti pula sinyal analog yang ditampilkan. Sebagai contoh, suatu ADC 3-bit membagi rentang sinyal ke dalam 2^3 bagian, dengan setiap bagian dinyatakan oleh bilangan biner atau kode digital antara 000 dan 111. ADC kemudian mengubah pengukuran sinyal analog ke salah



Gambar 2.10 16-bit terhadap resolusi 3-bit 95 kHz gelombang sinus

satu bagian digital. Gambar 2.10 memperlihatkan gambar gelombang sinus digital yang diperoleh dari ADC 3-bit. Dengan jelas terlihat, sinyal digital tidak cukup menunjukkan sinyal asal sebab sedikit sekali bagian untuk menunjukkan perubahan tegangan dari sinyal analog. Dengan meningkatkan resolusi sampai 16 bit, maka jumlah bagian ADC bertambah dari 2^3 menjadi 2^{16} . Rangkaian ADC sekarang cukup memperlihatkan untuk mewakili sinyal analog.

Rentang atau range menunjukkan besar minimum dan maksimum level sinyal analog yang dapat ditangani ADC. Gambar 2.10 menunjukkan ADC 3-bit yang memiliki 8 pembagian digital dalam rentang tegangan 0 sampai 10 Volt. Jika memilih rentang -10.00 sampai +10.00 V, sebagaimana ditunjukkan gambar ADC yang sama sekarang membagi rentang 20 Volt kedalam 8 bagian. Tegangan terkecil yang dapat dideteksi bertambah dari 1.25 sampai 2.5 volt sehingga mengurangi ketelitian dari nilai sinyal.

Limit seting adalah nilai sinyal maksimum dan minimum yang akan diukur. Dengan menggunakan ADC 3-bit dan seting range 0 sampai 10 volt, pada gambar kita melihat efek limit seting antara 0 sampai 5 volt dan 0 sampai 10 volt. Dengan limit seting 0 sampai 10 volt, ADC hanya menggunakan empat dari 8 pembagian dari konversi, dengan limit seting 0 sampai 5 volt, ADC sekarang memiliki jangkauan pada semua 8 pembagian digital. Hal ini membuat penyajian digitl sari sinyal lebih akurat.

Sampling rate adalah kecepatan dimana ADC mencuplik sample dari sinyal analog yang datang. Gambar menunjukkan sinyal sample yang cukup bagus efek undersampling.

Kecepatan pemetikan data menentukan seberapa cepat suatu ADC mengambil tempat. Perhitungan pemakaian kecepatan sampling yang tepat membutuhkan pengetahuan dari frekuensi maksimum dari sinyal yang datang dan ketepatan membutuhkan tampilan digital dari sinyal analog. Kecepatan pemetikan yang cepat membutuhkan banyak titik pada waktu yang diberikan, semakin baik pernyataan sinyal asal dari pada sampling rate yang rendah. Pada kenyataannya pengambilan sample yang terlalu rendah mungkin akan menghasilkan data yang salah dari sinyal yang datang.

Akibat dari undersampling ini adalah sinyal yang dihasilkan terlihat berbeda frekuensinya dari sinyal asalnya. Kesalahan ini dinamakan alias. Untuk mencegah undersampling, maka frekuensi minimal yang digunakan harus dua kali dari frekuensi maksimal sinyal yang datang.

2.4 Mekanisme Pengubahan Analog ke Digital

Untuk pengubahan sinyal tegangan analog dari sensor kedalaman menjadi besaran digital digunakan sistem aproksimasi berturut-turut seperti ditunjukkan pada gambar.

Dengan menggunakan teorema analisa rangkaian seperti Thevenin dan Norton, dapat ditunjukkan bahwa jaringan ladder R-2R akan menghasilkan keluaran tegangan rangkaian terbuka :

$$V = \frac{Va}{2} + \frac{Vb}{4} + \frac{Vc}{8} + \dots \quad (2-13)$$

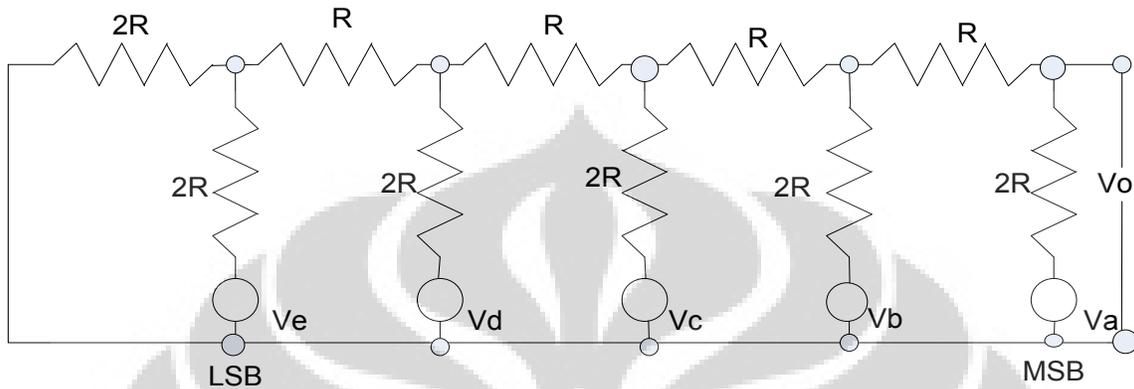
Yang memberikan penjumlahan dalam rangkaian biner. Persamaan diatas dapat ditulis kembali dengan menggabungkan multiplier digital menurut bobot digit binernya dan mengganti variabel tegangan Va, Vb, dan Vc.... dengan Vref, maka akan dihasilkan :

$$Vo = \left[\frac{1}{2^1} b_{n-1}^* + \frac{1}{2^2} b_{n-2}^* + \frac{1}{2^3} b_{n-3}^* + \dots + \frac{1}{2^{n-1}} b_1^* + \frac{1}{2^n} b_0^* \right] V_{ref} \quad (2-14)$$

atau

$$Vo = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{2^0} b_{n-1}^* + \frac{1}{2^1} b_{n-2}^* + \frac{1}{2^2} b_{n-3}^* + \dots + \frac{1}{2^{n-2}} b_1^* + \frac{1}{2^{n-1}} b_0^* \right] V_{ref} \quad (2-15)$$

Hanya perbedaan rangkaian penting dibutuhkan untuk dua switch pada pengubah ladder, terhadap ground pada berbagai input yang tak aktif. Diagram untuk DAC tipe ladder diberikan oleh gambar 2.11. Rangkaian ladder sering digunakan dalam IC yang berfungsi sebagai DAC.



Gambar 2.11 Rangkaian Ladder

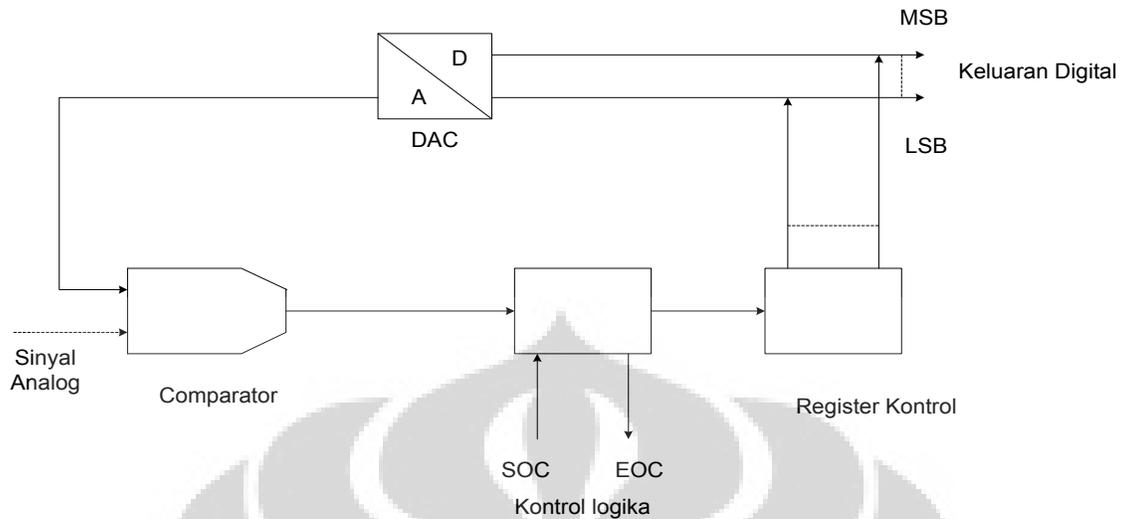
Sinyal analog yang dihasilkan oleh transduser dan dipilih dan diberikan kepada pemetik data oleh multiplexer harus terlebih dahulu di ubah ke format digital.

Cara kerja pengubahan analog ke digital didasarkan atas pengubahan sinyal analog kontinyu ke sejumlah tingkat diskrit (kuantisasi) dan penempatan kode biner pada level ini. Kuantisasi suatu sinyal analog akan menggeser sinyal informasi.

Istilah pengubah analog ke digital mengacu pada pengubahan informasi dari bentuk analog ke bentuk digital. Gambar 2.12 memberikan struktur umum untuk suatu pengubah analog ke digital. ADC ini menerima pada masukannya suatu tegangan analog, yang mana mengubahnya representasi digital yang sama pada keluarannya. Bilangan biner yang mewakili tegangan sinyal analog

Suatu ADC lebih rumit dibandingkan DAC, yang terdiri dari suatu komparator, sejumlah register, pengontrol logika dan sebuah DAC. Terdapat dua metoda dasar konversi, Keduanya diketahui sebagai konverter loop tertutup. Perbedaannya terletak pada apakah pencacah pengontrol keluaran register yang dihubungkan dengan DAC itu menghitung naik atau turun.

Kebanyakan Pengubah analog ke digital tidak bekerja secara kontinyu. Normalnya memulai konversi dengan menerima sinyal *start of conversion* (SOC) dan tanda konversi lengkap dengan sinyal *end of conversion* (EOC).



Gambar 2.12 Blok diagram ADC

2.5 Rangkaian Digital

Setelah semua masuk ke kawasan digital maka piranti digital-lah yang berperan. Salah satu piranti yang paling penting adalah CPU, mikroprosesor atau mikrokontroler. Pada percobaan kali ini digunakan mikrokontroler. Mikrokontroler yang digunakan adalah AT89C51 dan AT89C2051. Mikrokontroler ini melakukan kontrol pada pengumpulan, pemrosesan, dan penyimpanan data. Mikrokontroler ini mengontrol perangkat peripheral atau interface lainnya.

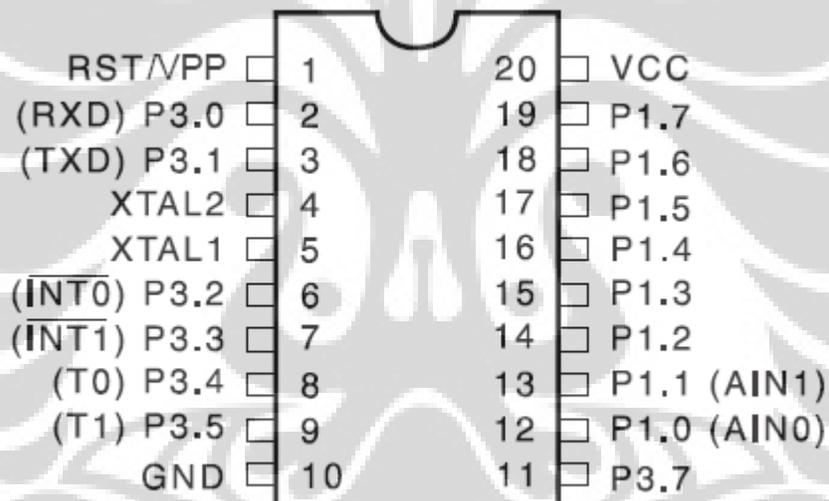
2.6 Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah sebuah piranti terintegrasi yang ditujukan sebagai pengontrol rangkaian elektronik diluarnya. Mikrokontroler merupakan pengembangan lebih lanjut dari penggunaan mikroprosesor, dimana pada mikrokontroler pada umumnya sudah terdapat ROM, RAM, I/O dan piranti pendukung lainnya seperti ADC, DAC dan piranti komunikasi. Dengan adanya mikrokontroler maka pengantarmukaan dengan piranti luar dapat dengan relatif mudah dilakukan dan digunakan.

Dalam penelitian kali ini digunakan mikrokontroler 8 bit AT89C2051 dimana mikrokontroler jenis ini dibuat dengan teknologi CMOS data rendah. Mikrokontroler ini berbasis AVR RISC dimana akan mengeksekusi instruksi program dalam satu kali siklus clock. Hal ini dimungkinkan karena AVR menggunakan arsitektur Harvard dimana

memori untuk program dan data dipisah yang merupakan kebalikan dari arsitektur Princeton/Von Neuman. Instruksi pada memori program dieksekusi, satu instruksi diumpankan/pre-fetched dari memori program. Keseluruhan register yang ada dihubungkan dengan Arithmetic Logic Unit (ALU), dua register yang berbeda dapat diakses dalam satu siklus clock. Hasil dari arsitektur tersebut membuatnya lebih cepat sepuluh kali dibandingkan dengan mikrokontroler CISC.

AT89C2051 merupakan mikrokontroler CMOS 8-bit dengan penampilan prima yang memiliki PEROM Flash sebesar 2K Bytes. AT89C2051 juga memiliki keunggulan lainnya yakni memiliki RAM 128 bytes, 15 saluran I/O, dua timer/pencacah 16 bit, terminal serial full duplex, komparator analog presisi, rangkaian oscilator dan clock on-chip.



Gambar 2.13 Susunan pin MC AT89C2051

Mikrokontroler ini digunakan pada bagian pertama karena memiliki masukan analog komparator P1.0 dan P1.1 yang digunakan untuk melakukan perubahan analog ke digital. Data digital berupa bilangan counter atau pencacah kemudian disimpan sementara dilatch kemudian dikirimkan secara serial ke bagian display.

BAB III PERANCANGAN ALAT POSISI BAWAH AIR

3.1 Tujuan Perancangan

Perancangan adalah tahap terpenting dari seluruh pembuatan thesis ini. Pada tahap ini dilakukan pemilihan komponen yang sesuai dengan karakteristik dan fungsi-fungsi yang diinginkan dengan melihat dari data sheetnya. Pada tahap ini juga dilakukan percobaan-percobaan di laboratorium, pembuatan lay-out PCB, pengukuran-pengukuran dan pekerjaan lainnya yang bertujuan untuk merealisasikan sehingga menjadi sistem yang jadi. Proyek ini merupakan perancangan dan pembuatan alat pengukur kedalaman air laut dan arah sensor. Pada penelitian kali untuk sensor tekanan dirancang dengan mengukur kedalaman air laut dari alat tersebut ditempatkan. Tekanan didalam air berbeda-beda tergantung pada kedalamannya, gravitasi bumi dan masa jenisnya. Hubungan ini dinyatakan dengan $P = \rho gh$, ρ dan g biasanya tetap dan yang berubah adalah h dari suatu objek. Makin dalam atau makin tinggi h -nya maka tekanannya makin tinggi juga. Supaya dapat mengukur ketinggian maka diperlukan sensor yang bereaksi terhadap tekanan air. Salah satu sensor yang bereaksi terhadap tekanan adalah sensor piezoresistive. Sensor ini akan mengalami perubahan hambatan jika mengalami tekanan air. Jika diberikan tegangan eksitasi pada sensor ini maka tegangan keluarannya akan berubah berbanding lurus terhadap tekanan. Tegangan ini berisi informasi kedalaman yang selanjutnya diolah oleh rangkaian elektronik.

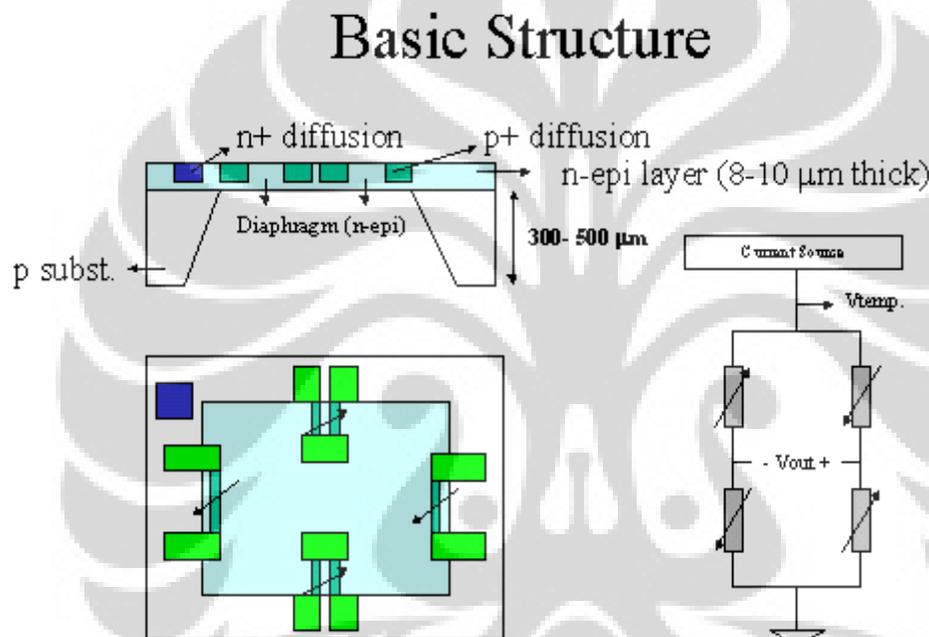
3.2 Rancangan Rangkaian

Terdapat dua hal yang harus diperhatikan dalam merancang dan membuat alat ini, yaitu dari segi software dan hardware. Hal ini dapat dimengerti karena alat tersebut merupakan sistem yang berdasarkan mikroprosesor atau mikrokontroler, dimana fungsi kerja alat ditentukan oleh program. Dari segi hardware secara blok diagram dapat ditunjukkan pada gambar 3.1 dibawah ini. Bagian terpenting dari blok diagram ini adalah digunakannya rangkaian jembatan wheatstone sebagai rangkaian utama dalam pengubahan energi fisik ke energi listrik. Disamping itu digunakannya mikrokontroler pada kedua sensor untuk memperoleh data yang lebih berguna untuk diolah lebih lanjut. Juga digunakannya ADC sebagai sarana untuk pengubahan besaran analog pada dunia real ke besaran digital yang terdapat pada rangkaian mikrokontroler.

manusia seperti menampilkannya dalam bentuk display. Pada jalur sinyal ini hanya satu filter analog yang dibutuhkan dan posisinya terletak pada keluaran dari multiplexer.

3.3 Sensor Kedalaman Piezoresistive

Pengukur semi konduktor terikat digunakan terutama pada transduser; namun kadang-kadang dijumpai pula dalam pemakaian analisis tegangan jika regangan sangat kecil. Transduser ini terbuat dari bagian kecil irisan dari kristal silikon yang diproses secara khusus dan tersedia dalam jenis N dan jenis P. Pengukur jenis P menaikkan hambatan

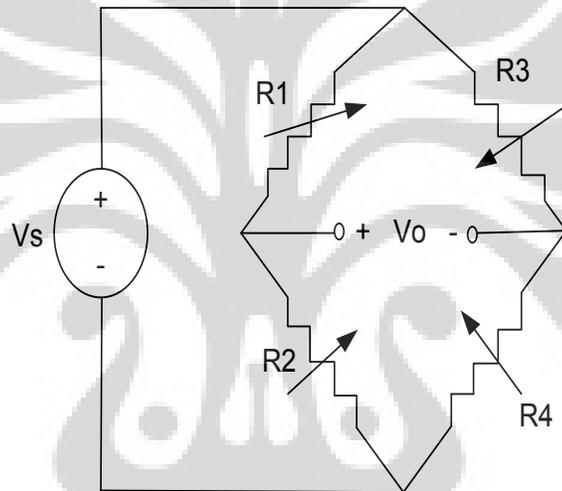


Gambar 3.2 Struktur Dasar Sensor Piezoresistive

terhadap regangan tarik sedangkan jenis N menurunkan hambatan. Keunggulannya adalah faktor pengukur yang tinggi, sampai 100. Persamaan memperlihatkan bahwa hampir seluruh faktor pengukur ini datang dari efek piezoresistansi, sedangkan perubahan dimensional menyatakan sebagian besar faktor pengukur untuk pengukur metalik. Transduser yang didasarkan pada pengukur semikonduktor, sering disebut transduser piezoresistive. Namun faktor pengukur yang tinggi diikuti oleh kepekaan temperature tinggi, ketidak-linieran, dan kesukaran penempatannya.

Instrumentasi pada dasarnya mengubah besaran fisik dalam hal ini suatu tekanan ke besaran listrik seperti tegangan agar dapat diolah oleh rangkaian listrik. Tegangan ini menyimpan informasi besarnya tekanan yang diukur atau menimpa sensor. Besarnya tegangan yang dihasilkan berbanding lurus dan bervariasi dengan tekanan yang dialami sensornya.

Salah satu teknik yang digunakan untuk mendapatkan tegangan yang bervariasi menurut tekanan adalah dengan menggunakan rangkaian jembatan wheatstone untuk pengukuran dc. Dalam pengujian presisi tinggi dan kalibrasi, digunakan prinsip jembatan Wheatstone dengan pengaman serta pengukuran tahanan-tahanan yang sangat tinggi.



Gambar 3.3 Rangkaian Jembatan Wheatstone

$$R_2 = R_3 = (1 + \alpha_1)R_0 \quad (3-1)$$

$$R_1 = R_4 = (1 - \alpha_2)R_0$$

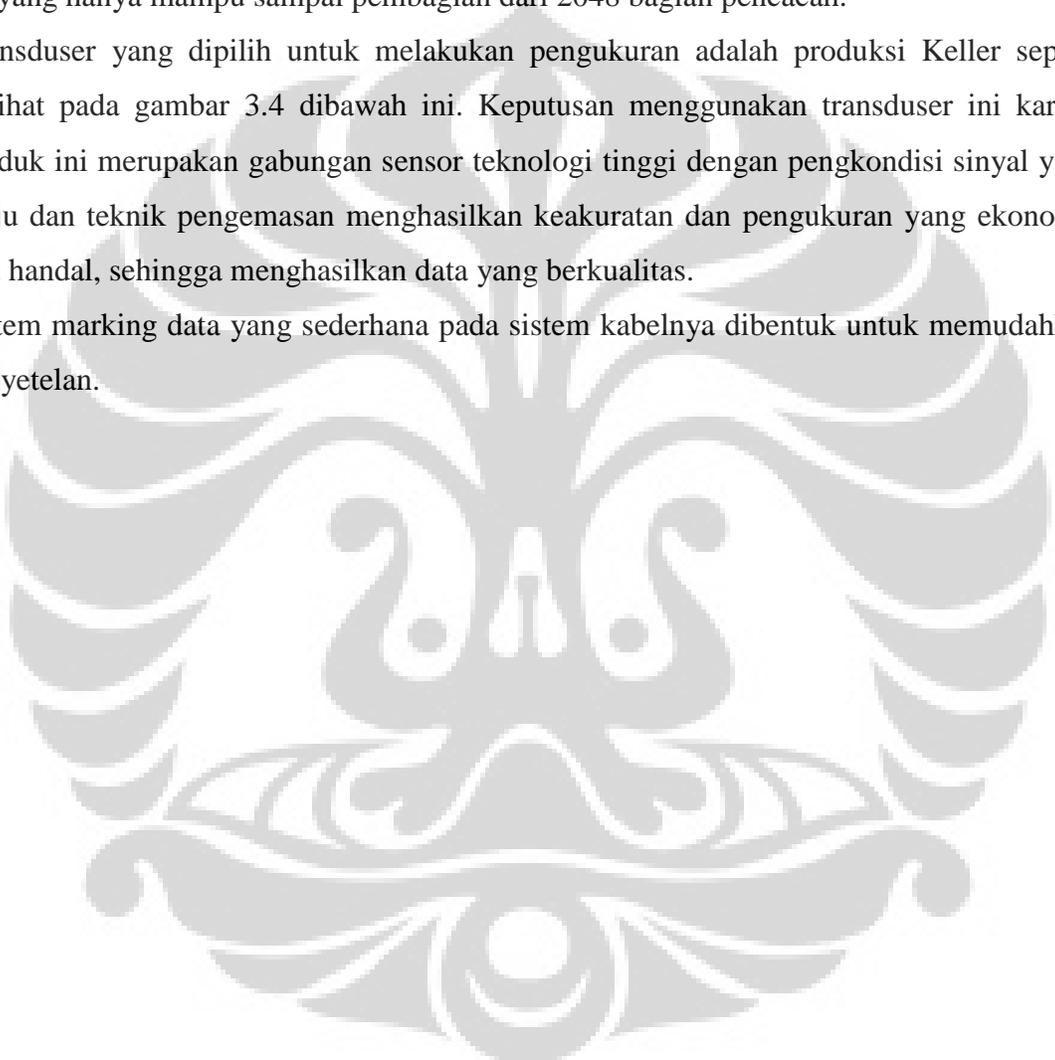
$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{R_2 R_3 - R_1 R_4}{(R_2 + R_1)(R_3 + R_4)} \approx \frac{2(\alpha_1 + \alpha_2)}{1 + \alpha_1 - \alpha_2} \quad (3-2)$$

R diatas merupakan tahanan yang terbuat dari silikon. Dengan memberikan sumber tegangan DC pada dua lengan diatas maka diperoleh tegangan keluaran pada lengan lainnya. Tegangan keluaran Vout yang dihasilkan dinyatakan oleh persamaan diatas.

Data yang diperoleh dari pengukuran kedalaman air laut didapat hasil yang cukup baik dimana terdapat antara kedalaman air dengan tegangan yang dihasilkan ataupun nilai pencacah yang dihasilkan. Tegangan yang dikeluarkan akan bertambah sebanding dengan bertambahnya kedalaman air. Namun perubahan yang terjadi hanya dapat dideteksi jika perubahan meliputi kelipatan 9,77 cm. Hal ini karena bilangan biner yang digunakan 11 bit yang hanya mampu sampai pembagian dari 2048 bagian pencacah.

Transduser yang dipilih untuk melakukan pengukuran adalah produksi Keller seperti terlihat pada gambar 3.4 dibawah ini. Keputusan menggunakan transduser ini karena produk ini merupakan gabungan sensor teknologi tinggi dengan pengkondisi sinyal yang maju dan teknik pengemasan menghasilkan keakuratan dan pengukuran yang ekonomis dan handal, sehingga menghasilkan data yang berkualitas.

Sistem marking data yang sederhana pada sistem kabelnya dibentuk untuk memudahkan penyetaan.





Gambar 3.4 Sensor Piezoresistive Series PR-26W produksi Keller

Keunggulan dari sensor ini adalah :

1. Rentang mulai dari 0 mH₂O sampai 200 mH₂O
2. Kelinieran <+/- 0,05% skala penuh
3. Kabel polyurethane dan flourpolymer
4. Anti korosi selama lima tahun
5. Tahan terhadap gangguan gelombang kejut pada permukaan air.

Sensor Piezoresistive series PR-26W adalah generasi terakhir sensor bawah air dengan bahan titanium untuk pengukuran permukaan cairan dengan kinerja yang tinggi.

Rentang kerja tekanan mulai dari 0 mH₂O sampai 200 mH₂O. Tegangan masukan yang diperlukan berkisar pada nilai 8 Volt sampai 30 Volt. Keluarannya berada dalam kisaran

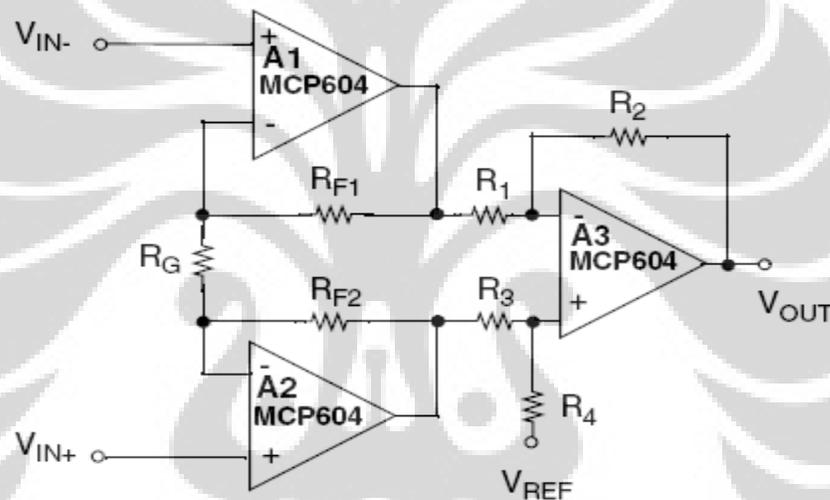
0 sampai 2,5 Volt. Sedangkan nilai impedansi keluarannya berada pada nilai 2 k Ω . Suplay tegangan minimum (V_{min}) yang harus terlihat melalui terminal tansmitter tegangan adalah 8 Volt dan diberikan oleh persamaan :

$$V_{min} = V_{sup} - (0,02 \times R_{loop})$$

Dimana V_{sup} tegangan suplay dalam Volt, sedanga R loop adalah tegangan total dalam Ohm.

3.4 Pengolah Sinyal

Penguat instrumentasi adalah sebuah penguat differensial yang dioptimasikan untuk impedansi input yang tinggi, CMRR yang tinggi dan sifat-sifat lain. Dalam versi penguat instrumentasi yang sederhana ini, sinyal input menggerakkan pengikut tegangan yang



Gambar 3.5 Penguat instrumentasi

kemudian menggerakkan penguat differensial. Penguat seperti ini berguna pada bagian muka dari instrumen pengukur karena impedansi inputnya yang tinggi.

Pabrikan dapat menyimpan tegangan pengikut dan penguat differensial pada sebuah chip tunggal untuk mendapatkan penguat instrumentasi yang terintegrasi.

Suatu rangkaian amplifer instrumen ditunjukkan pada gambar 3.5 diatas tersebut.

Dengan susunan rangkaian ini, dua dari tiga ampilfier (A1 dan A2) menguatkan kedua sinyal masukan. Amplifier ketiga, A3, digunakan untuk mengurangi dua penguat sinyal masukan, sehingga menghasilkan keluaran single ended. Fungsi transfer untuk rangkaian ini adalah :

$$V_{OUT} = V_{IN+} \left(1 + \frac{2R_{F2}}{R_G} \right) R_4 \left(\frac{R_1 + R_2}{(R_3 + R_4)R_1} \right) - V_{IN-} \left(1 + \frac{2R_{F1}}{R_G} \right) \left(\frac{R_2}{R_1} \right) + V_{REF} R_3 \left(\frac{R_1 + R_2}{(R_3 + R_4)R_1} \right) \quad (3-5)$$

Jika $R_{F2}=R_{F1}$, $R_1=R_3$, dan $R_2=R_4$, persamaan ini dapat disederhanakan menjadi :

$$V_{OUT} = (V_{IN+} - V_{IN-}) \left(1 + \frac{2R_F}{R_G} \right) + V_{REF} \quad (3-6)$$

Empat amplifier biasa digunakan pada ketiga rancangan op-amp instrumen amplifier karena kualitas amplifier matching dengan silikon yang sama.

Sinyal masukan (pada V_{IN+} dan V_{IN-}) secara lengkap seimbang. Hal ini dicapai dengan mengirim sinyal V_{IN-} dan V_{IN+} melalui sejumlah ampli yang sama ke output dan menggunakan resistor gain tanah, R_G .

Sejak masukan seimbang, arus common mode tak akan mengalir melalui R_G . CMR dari rangkaian sepadan melalui A3. Ketika $R_1=R_2=R_3=R_4$, sinyal common mode akan diperkuat dengan faktor satu dengan mengabaikan penguatan bagian akhir rangkaian.

Jika diandaikan R_1/R_2 sama dengan R_3/R_4 adalah tidak benar, maka error tegangan comon mode. Perhitungan common-mode rejection error pada rangkaian adalah:

$$CMR = 100 * \left(\frac{1 + \frac{R_2}{R_1}}{\%ofmismatcherror} \right) \quad (3-7)$$

untuk $R_1 = R_3$ dan $R_2 = R_4$

3.5 Rangkaian ADC Sensor Piezoresistive

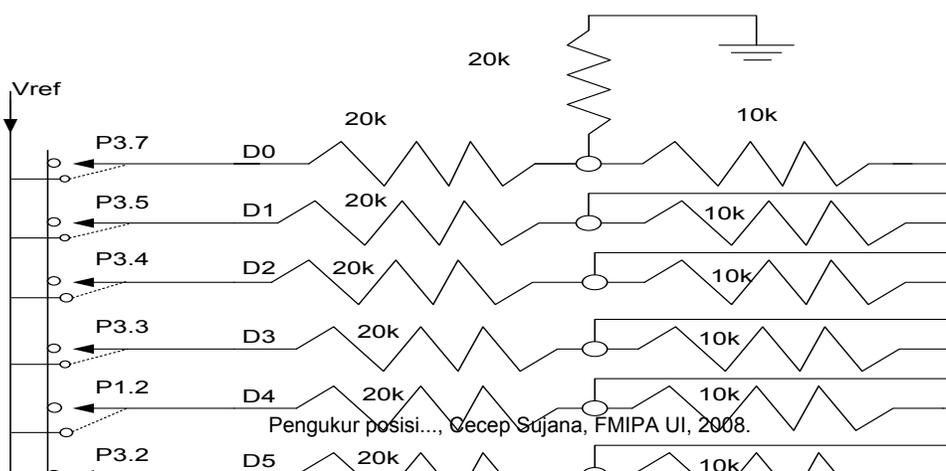
Tahanan-tahanan disusun dengan system R-2R sehingga memberikan tegangan analog yang sebanding dengan bobot bit-bit yang berlogika 1 dari mikrokontroler AT89C2051. Keluaran dari tegangan ini kemudiandibandingkan dengan keluaran dari sensor kedalaman melalui suatu rangkaian komparator. Dalam hal ini sinyal tegangan dari sensor kedalaman dimasukkan ke input negative dari komparator, sedangkan sinyal dari pencacah masuk ke input positive dari komparator.

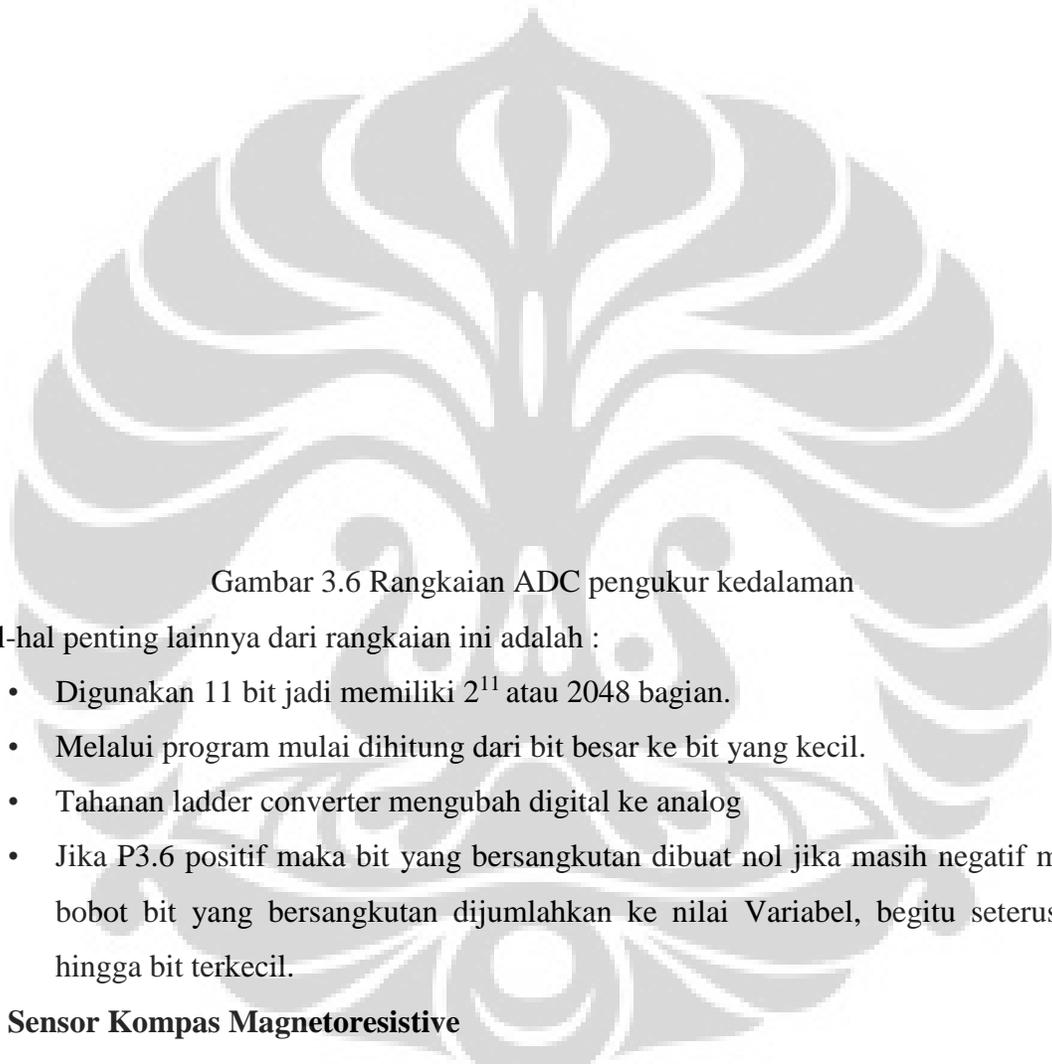
Pada saat pemetikan data digital akan dilakukan maka semua nilai bit-bit data terlebih dahulu direset sehingga nilai awalnya nol. Karena nilai awalnya nol maka tegangan analog yang dihasilkannya juga nol.

Diumpamakan masukan dari sensor dengan tegangan tertentu masuk ke bagian negative komparator selanjutnya dengan menggunakan program bit paling besar diberi logika 1 sedangkan yang lainnya nol selanjutnya oleh D/A converter yakni R-2R diubah menjadi tegangan analog. Tegangan dari terminal mikrokontroler dibandingkan dengan tegangan dari sensor, jika tegangan dari D/A converter lebih besar dari tegangan sensor maka keluarannya positive sebaliknya jika tegangan dari D/A converter lebih kecil maka keluaran dari komparator menjadi kecil atau berlogika nol. Perubahan dari keluaran komparator dihubungkan pada terminal P3.6 dari mikrokontroler. Dengan mengamati terus nilai dari terminal P3.6 melalui program maka perubahan pada komparator dapat selalu diketahui. Jika masukan dari MC lebih besar maka nilai bit terminal data yang bersangkutan direset menjadi nol sedangkan jika lebih kecil dari masukan sensor maka bobot bit pada terminal itu dijumlahkan ke suatu variable data, setelah bit ini selesai maka selanjutnya beralih ke bit berikutnya yang lebih kecil, begitu seterusnya hingga bit terakhir. Nilai terakhir yang bertipe word kemudian dikirimkan ke bagian display dan bagian lainnya.

Pada akhirnya nilai digital yang berpadanan dengan tegangan analog sensor tidak sama persis tetapi lebih kecil dari nilai tegangan sensor tetapi paling dekat nilainya. Program lengkap mengenai pengubahan analog ke digital ditunjukkan pada Lampiran 3.

Selanjutnya data ini dikirim secara serial melalui pin Transmit ke bagian luar dengan sistem RS-232. Dengan mengatur besarnya baudrate, parity eror, jumlah bit data dan yang lainnya data kedalaman ini dikirim ke bagian pengguna dipermukaan laut untuk dianalisa. Karena jaraknya cukup panjang dan menggunakan kabel maka sinyal ini diberikan suplay daya untuk mengurangi penurunan tegangan.





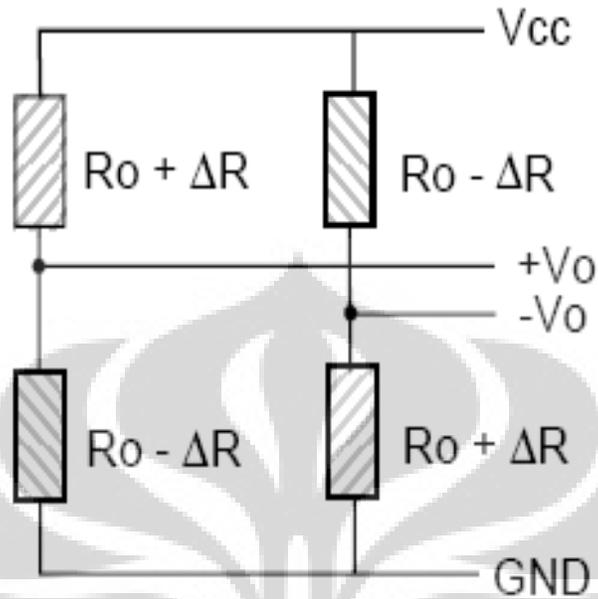
Gambar 3.6 Rangkaian ADC pengukur kedalaman

Hal-hal penting lainnya dari rangkaian ini adalah :

- Digunakan 11 bit jadi memiliki 2^{11} atau 2048 bagian.
- Melalui program mulai dihitung dari bit besar ke bit yang kecil.
- Tahanan ladder converter mengubah digital ke analog
- Jika P3.6 positif maka bit yang bersangkutan dibuat nol jika masih negatif maka bobot bit yang bersangkutan dijumlahkan ke nilai Variabel, begitu seterusnya hingga bit terkecil.

3.6 Sensor Kompas Magnetoresistive

Supaya perubahan arah ini dapat diubah kedalam sinyal listrik maka digunakanlah sistem jembatan Wheatsone yang sangat peka. Jika diumpankan suatu tegangan luar VCC pada rangkaian ini maka perubahan tahanan yang disebabkan oleh gejala medan bumi akan menghasilkan perbedaan tegangan yang dihasilkan.



Gambar 3.7 Rangkaian Jembatan Wheatstone Pengukur Arah

$$R = R_0 + \Delta R \cos^2 \alpha$$

$$\alpha = 0^\circ \Rightarrow R_{\max}$$

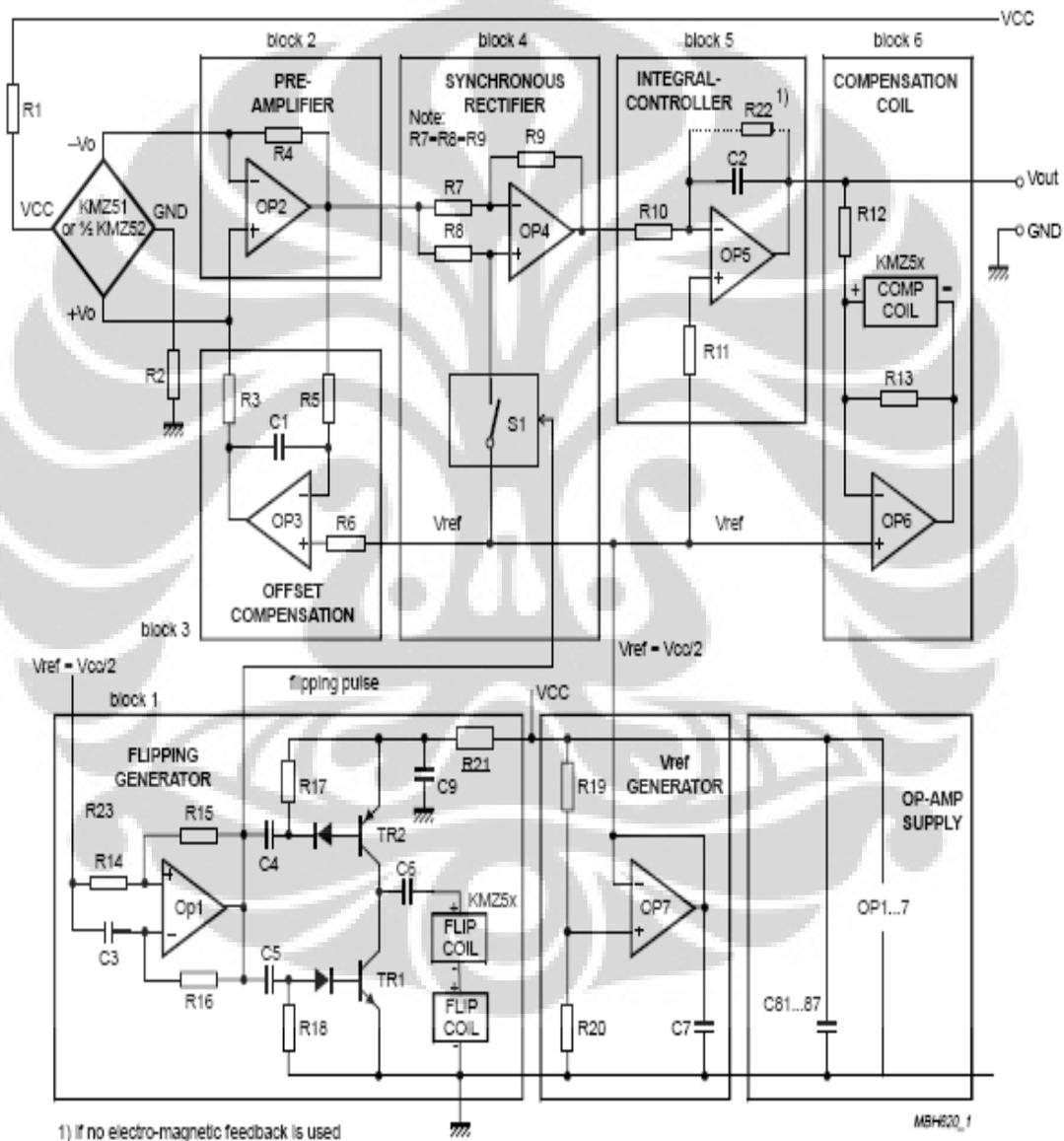
$$\alpha = 90^\circ \Rightarrow R_{\min}$$

$$R = R_0 + \Delta R \cdot \left(1 - \left(\frac{H_y}{H_o} \right)^2 \right)$$

(3-8)

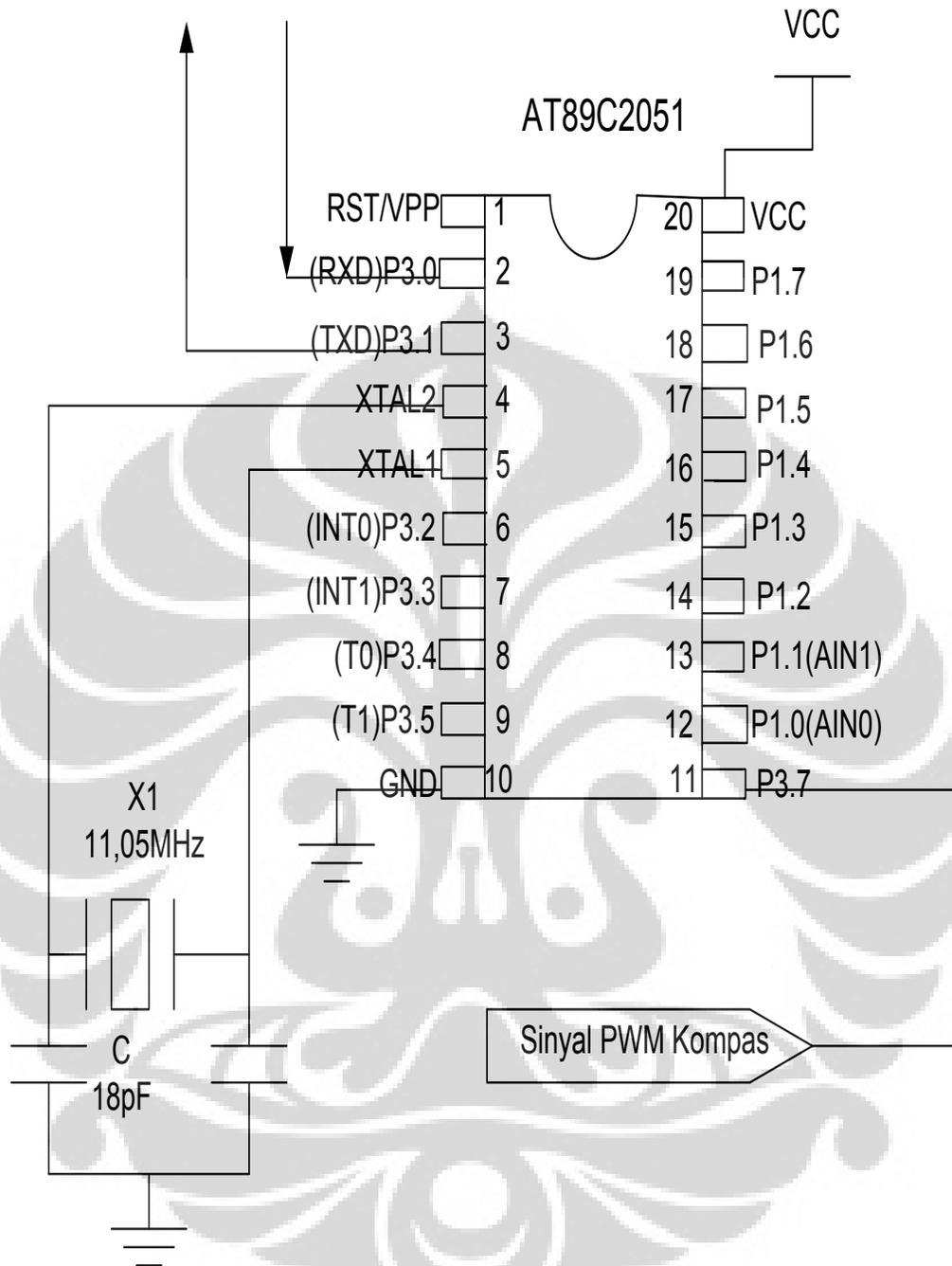
3.7 Rangkaian Sensor Magnetoresistive

Seperti terlihat pada gambar diatas perubahan medan magnet akan mengakibatkan perubahan pada tahanan-tahanan jembatan. Jika rangkaian jembatan diberi tegangan luar yang tetap maka perubahan arah medan akan menyebabkan perubahan tahanan dan akhirnya menyebabkan perubahan tegangan keluaran. Besarnya perubahan tegangan ini akan berbanding lurus dengan perubahan arah yang dilakukan terhadap sudut utara.



Gambar 3.8 Rangkaian Penguat Sinyal Data kompas

Keluaran dari rangkaian diatas yakni V_{out} kemudian masuk kedalam rangkaian pemetikan data yang dilakukan oleh AT89C2051.



Gambar 3.9 Rangkaian Pemetik Data Kompas

Untuk mendapatkan sinyal listrik dari sensor magnet maka digunakan modul kompas CMPS03 seperti pada Gambar 3.10. Modul kompas ini dirancang untuk pemakaian navigasi. Kompas ini menggunakan sensor medan magnet produksi Philips KMZ51, yang cukup peka untuk mendeteksi medan magnet bumi. Keluaran dari modul kompas ini digunakan untuk menghitung arah dari komponen horizontal medan magnet bumi.



Gambar 3.10 CMPS03 Robot Compass Module

Sambungan dari modul kompas dinyatakan sebagai berikut :

Modul kompas membutuhkan daya 5 volt dengan arus nominal 15mA. Ada dua cara untuk mendapatkan data arah dari modul. Sinyal PWM yang tersedia pada pin 4, atau interface I2C yang dikeluarkan oleh pin 2 dan 3.

Sinyal PWM adalah sinyal Pulse Width Modulated atau Modulasi Lebar Pulsa dimana lebar pulsa positifnya menunjukkan data arah. Lebar pulsa berubah dari $1\text{ms}(0^\circ)$ sampai $36,99\text{ms}(359,9^\circ)$ – atau dengan kata lain $100\mu\text{s}/^\circ$ dengan $+1\text{ms}$ offset. Sinyal berubah rendah untuk 65ms diantara pulsa-pulsa, sehingga siklus waktunya adalah 65ms ditambah lebar pulsa, sebagai contoh $66\text{ms}-102\text{ms}$. Pulsa diproduksi oleh Timer 16 bit didalam prosesor yang memberikan resolusi $1\mu\text{s}$, bagaimanapun tidak dianjurkan untuk mengukur hal ini terhadap apapun lebih baik dari $0,1^\circ$ ($10\mu\text{s}$).

Sinyal PWM dari modul kompas ini masuk ke pin P3.7 dari MC2051, Lebar pulsa positif yang masuk dihitung mulai saat pulsa menaik dan pulsa menurun. Rentang waktu itu dihitung dengan perbandingan $100\mu\text{s}/^\circ$. Setelah pulsa turun maka perhitungan dihentikan dan data arah yang diperoleh kemudian diambil dan dikirim secara serial melalui pin P3.01 yakni bagian Transmit/TXD.

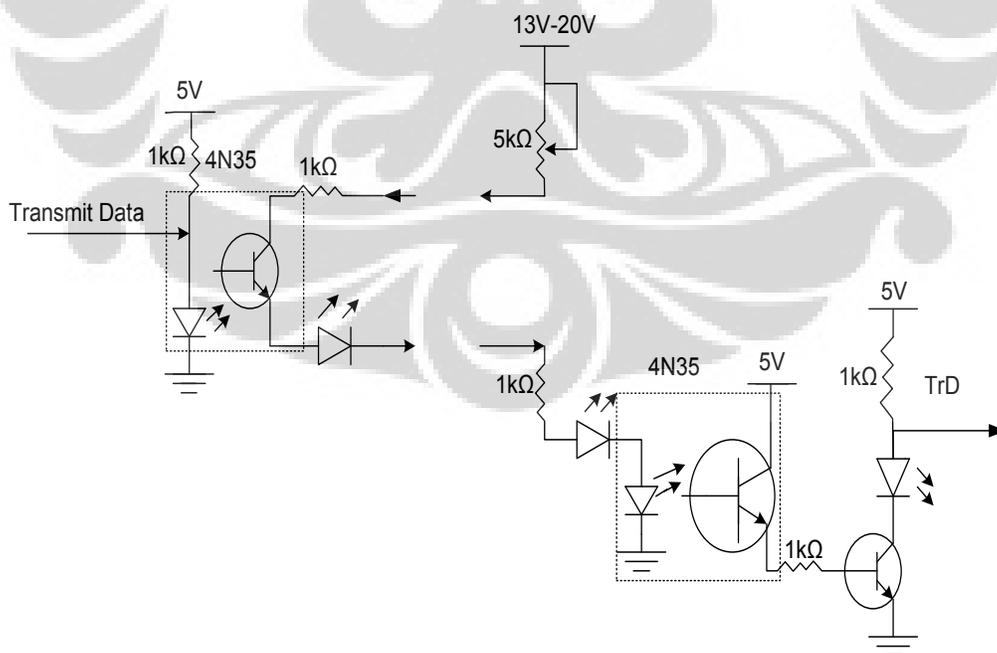
3.8 Pemetikan Data Kedua Sensor

Pemetikan data kedalaman dan data arah dilakukan oleh mikrokontroler AT89C2051 pada masing-masing sensornya. Untuk pin-pin Reset, transmit data dan receive data disambungkan untuk kedua MC. Hal ini terjadi karena untuk pengiriman data dilakukan dengan satu pintu.

Pemetikan data dilakukan secara bergantian antara pemetikan kedalaman dan dilanjutkan dengan pemetikan data arah. Untuk membedakan antara data kedalaman dan data arah maka pada bagian depan data diberi tanda “1” dan “2”. Tanda “1” untuk data kedalaman dan tanda “2” untuk data arah. Data ini dikirim secara serial ke bagian luar untuk digunakan oleh user.

3.9 Rangkaian Penguat Transmisi Data (Driver)

Karena jarak antara alat underwater dengan display bisa cukup jauh yakni 100 meter maka dibutuhkan kabel untuk menghubungkannya. Kabel sepanjang itu dapat menurunkan tegangan dari data sehingga datanya menjadi tidak valid atau tidak terbaca. Untuk mengatasi hal ini maka diperlukan rangkaian penguat atau driver. Salah satu yang digunakan untuk teknik penguatan adalah dengan menggunakan rangkaian optocoupler yakni dengan IC 4N35, seperti ditunjukkan oleh gambar 3.11 dibawah ini.



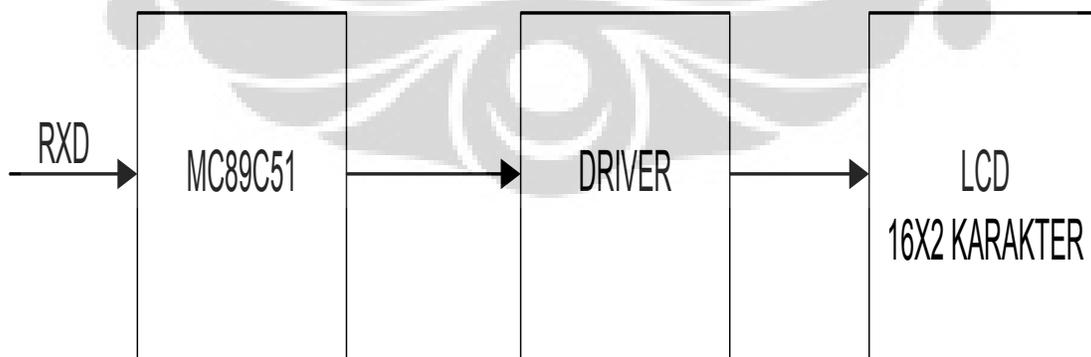
Gambar 3.11 Rangkaian Penguat Sinyal Serial

Gambar 3.11 menunjukkan sebuah LED yang menggerakkan sebuah phototransistor. Rangkaian optocoupler ini lebih sensitive dibandingkan LED-photodiode. Ideanya adalah bias maju. Setiap perubahan pada V_s menghasilkan perubahan dalam arus LED, yang mengubah perubahan arus melalui phototransistor. Hal ini menimbulkan perubahan tegangan sepanjang terminal kolektor-emiter. Dengan demikian sinyal tegangan dikopel dari rangkaian input ke rangkaian output. Keuntungan besar lainnya dari optocoupler adalah isolasi listrik antara rangkaian input dan outputnya.

Data dari pin P3.1 MC2051 masuk ke pin 1, data ini dikirim melalui kabel dengan tambahan daya dari VCC luar. Saat data masuk ke IC 4N35 tegangan datanya diubah menjadi lebih besar sesuai dengan besarnya tegangan yang diberikan pada pin 5. Setelah melewati kabel sepanjang 100 meter maka sinyal ini sampai diujungnya untuk kemudian masuk lagi ke pin 1 dari 4N35. Keluaran dari tegangan 4N35 disesuaikan lagi dengan menggunakan transistor yang diberi tegangan 5 Volt supaya dapat kembali ke format RS-232 dan dapat dibaca oleh bagian Display.

3.10 Bagian Unit Pengontrol

Data dari Driver diterima oleh mikrokontroler AT89S51 pada pin no.10 yakni P3.0 yang merupakan pin RXD yang menerima data secara serial seperti terlihat pada Gambar 3.11 dibawah ini.. Data serial ini dihubungkan secara paralel pada konektor DB-9 untuk dihubungkan ke bagian komputer untuk dipetik datanya. Data yang diterima secara serial ini kemudian ditampilkan ke modul display melalui pin-pin data Alamat/Data.

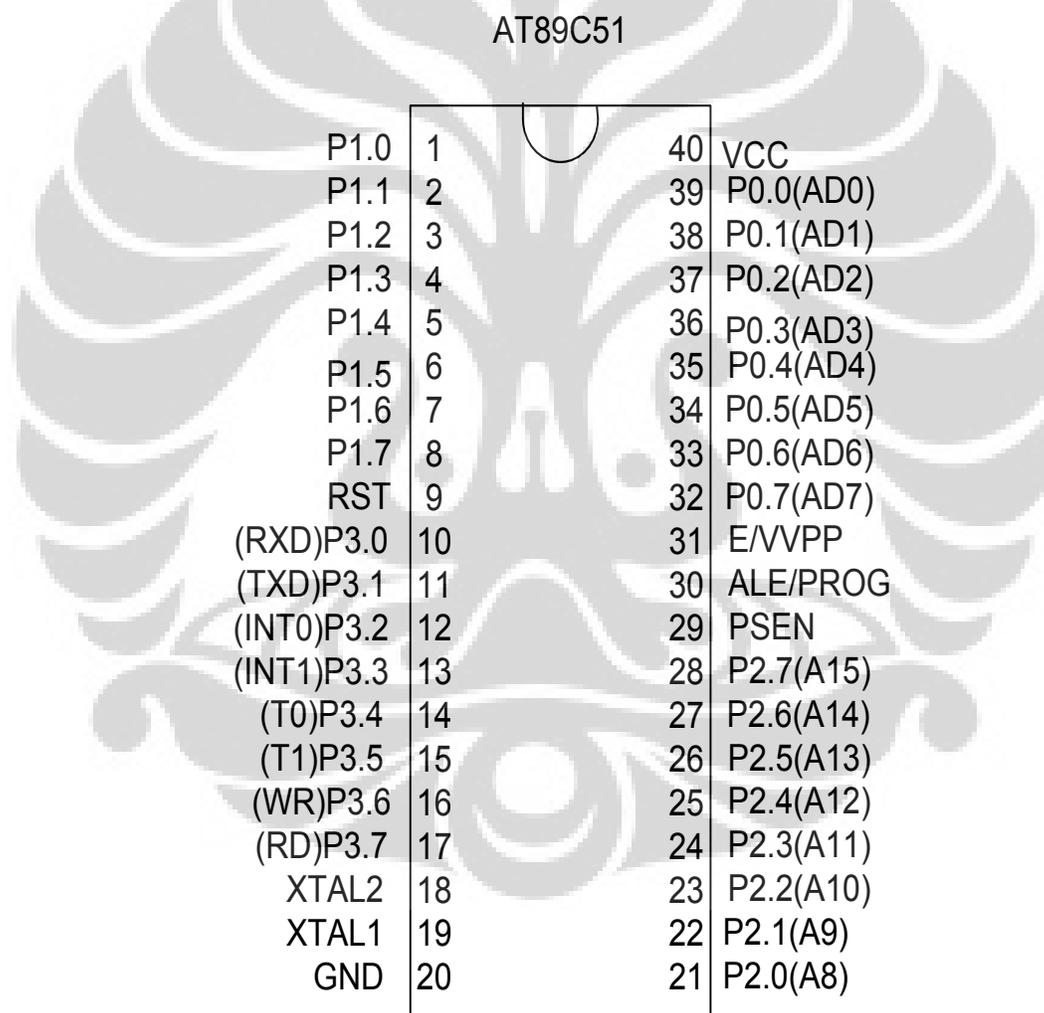


Gambar 3.12 Blok Diagram Unit Pengontrol

3.10.1 Mikrokontroler AT89C51

Pada bagian display digunakan mikrokontroler AT89C51. Piranti ini menerima data kedalaman secara serial dari AT89C2051 melalui penguat arus 4N35. Data ini dikirim ke driver display dan ke display untuk ditampilkan.

Mikrokontroler AT89C51 adalah mikrokomputer CMOS 8 bit dengan 4 KB Flash Programmable and Erasable Read Only Memory (PEROM). Mikrokontroler berteknologi memori non-volatile berkerapatan tinggi dari Atmel ini kompatibel dengan mikrokontroler MCS-51 yang telah menjadi standar industri, baik dalam jumlah pin IC maupun set instruksinya.



Gambar 3.13 Mikrokontroler AT89C51

AT89C51 mempunyai memori yang terdiri dari RAM internal dan Special Function Register. RAM internal berukuran 128 byte dan beralamatkan 00H-7FH serta dapat diakses menggunakan RAM address register. RAM internal terdiri dari delapan buah register (R0-R7) yang membentuk register banks. Special Function Register yang berjumlah 21 buah berada di alamat 80H-FFH. RAM ini berbeda lokasi dengan Flash PEROM dengan alamat 000H – 7FFH.

3.10.2 Display dan DB-9

Untuk menampilkan data yang terdiri dari dua parameter yakni kedalaman dan arah maka cukup digunakan display yang menampilkan dua baris karakter dengan banyaknya karakter dalam satu baris sebesar 16 karakter. Spesifikasi ini dipenuhi oleh modul display DEM 16217 sebagaimana terlihat pada Gambar 3.14 dibawah ini.



Gambar 3.14 Modul Display DEM 16217

DEM 16217 merupakan Modul LCD Matrix dengan konfigurasi 16 karakter dan 2 baris dengan setiap karakternya dibentuk oleh 8 baris pixel dan 5 kolom pixel (1 baris pixel terakhir adalah kursor). Untuk mengendalikan LCD ini maka digunakan IC HD44780 yang diperuntukan bagi modul DEM16217.

Hubungan antara modul display LCD dengan AT89C51 dinyatakan oleh Tabel 3.1

Tabel 3.1 Hubungan antara modul display LCD dengan AT89C51

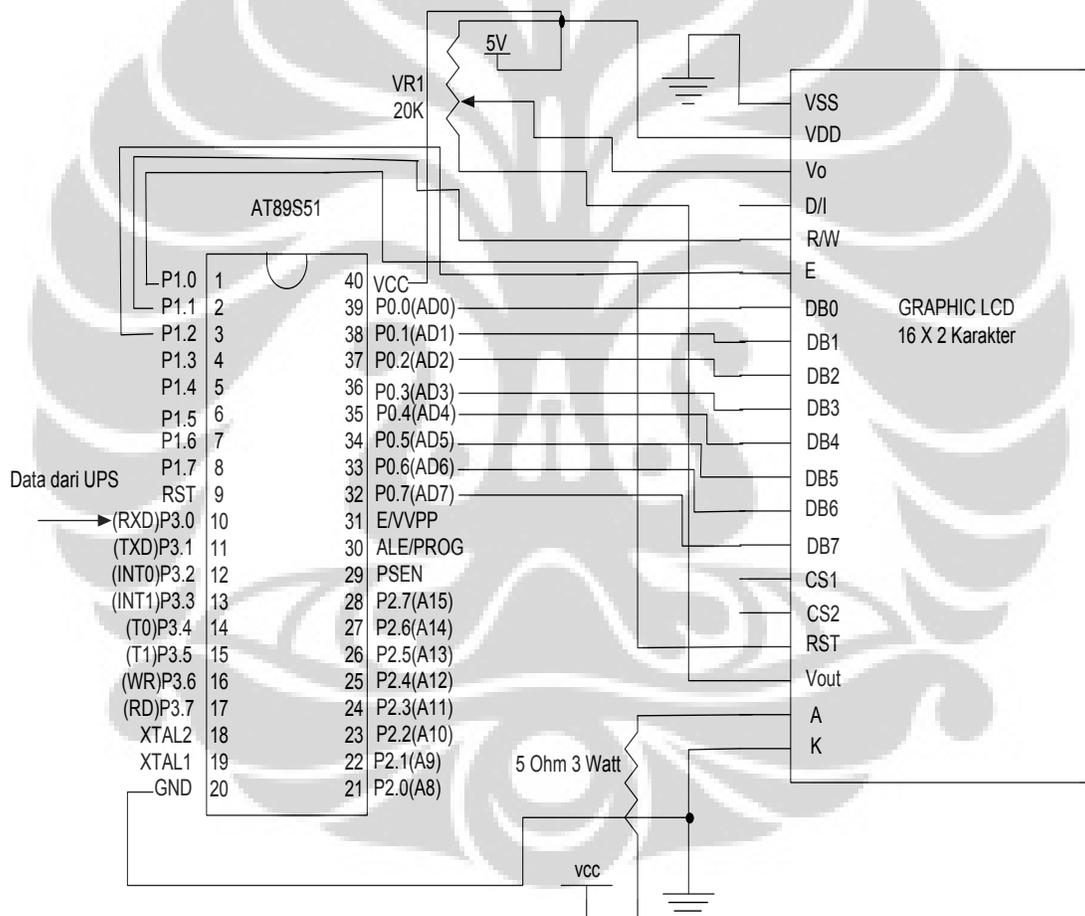
Modul LCD		AT89C51
1	GND	GND
2	VCC	VCC
3	VO	CON
4	RS	P1.0
5	R/W	P1.1
6	E	P1.2
7	DB0	P0.0
8	DB1	P0.1
9	DB2	P0.2
10	DB3	P0.3
11	DB4	P0.4
12	DB5	P0.5
13	DB6	P0.6
14	DB7	P0.7
15	A	VCC
16	K	GND

3.10.3 Rangkaian Driver Display

Setelah semua komponen disiapkan dan blok diagram dilengkapi maka dibuatlah rancangan akhir rangkaian untuk menampilkan data seperti gambar 3.15 dibawah ini.

Data dari bagian sensor bawah air yang berupa sinyal digital serial masuk melalui pin no 10 pada MC AT 89C51. Sinyal ini sudah masuk ke kawasan TTL setelah disesuaikan oleh rangkaian Driver. Data keluaran dari Driver ini mengalir secara paralel ke bagian Display dan ke bagian komputer melalui MAX232. Untuk ke bagian display maka datanya ditampilkan sehingga bisa dilihat oleh pengguna sedangkan yang ke bagian komputer datanya dipetik dan disimpan atau digunakan untuk keperluan lainnya.

3.10.4 Rangkaian Lengkap Unit Pengontrol



Gambar 3.15 Skema Rangkaian Unit Pengontrol

Sebagaimana terlihat pada gambar 3.15 diatas sinyal dari bagian bawah air masuk ke pin no. 10 pada mikrokontroler AT89C51 yakni port P3.0 yang berupa data serial. Selanjutnya data ini diubah menjadi data paralel dan dikirimkan ke modul LCD yang

terdiri dari mikrokontroler pengendali dan driver lcd. Melalui program yang ada pada MC AT89C51 maka dapat diatur bentuk huruf dan tampilan yang akan ditunjukkan pada displaynya dalam hal ini menampilkan data kedalaman dan arah.

BAB IV PEMBUATAN ALAT POSISI BAWAH AIR

Pada bagian inilah semua hasil dari teori dan perancangan diwujudkan. Skema rangkaian yang telah diuji coba di protoboard dan dinyatakan bekerja akan diletakan pada tempat yang semestinya dan permanen. Tempat komponen ini dinamakan Print Circuit Board atau Papan Rangkaian Tercetak atau PCB. PCB ini berisi jalur-jalur penghubung antar komponen dan tempat komponen elektronik diletakan.

Disamping itu dibuat juga kasing untuk tempat PCB diletakan didalam air yang terbuat dari besi dan harus kedap air. Juga sebagai tempat menyimpan sensor kedalaman dan sensor kompas. Jika terjadi kebocoran dan mengenai rangkaian di PCB maka akan menimbulkan kerusakan pada alatnya.

4.1 Pembuatan PCB

Untuk membuat PCB atau Print Circuit Board atau Papan Rangkaian Tercetak digunakan dengan menggunakan software Protel. Pada protel kita bisa menggambar skema rangkaian dan layout PCB yang merupakan gambar jalur rangkaian dan tempat komponen-komponen elektronik ditempatkan.

Layout PCB dibuat berdasarkan skema rangkaian yang telah dibuat pada bagian perancangan. Pada layout kali ini digunakan dua lapisan pcb bagian atas dan bagian bawah. Sebutan untuk ini adalah top layer dan bottom layer. Top layer adalah jalur PCB pada bagian atas paralel dengan komponen elektronik yang akan diletakan. Sedangkan bagian bawah PCB dinamakan botom layer dimana kaki komponen-komponen elektronik diletakan dan disolder supaya terkoneksi dengan jalur pcb dan terikat kuat. Untuk pcb dua layar pada bagian tertentu diperlukan menghubungkan layar atas dan layar bawah. Bagian ini dihubungkan melalui via dan sambungannya dinamakan *through hole*.

Pada bagian bawah air berisi komponen-komponen mikrokontroler AT89S2051 yang memiliki kaki 20 atau DIP 20, tahanan, kapasitor, modul kompas dan komponen lainnya.

Komponen-komponen disusun sedemikian rupa sehingga terlihat rapi dengan jarak antar komponen yang cukup dan memudahkan untuk menyambungkan antara kaki-kaki komponennya. Setelah jalur bagian atas dan bagian bawah gambar PCB selesai, maka gambar tersebut dicetak dengan menggunakan printer laser supaya hasilnya tajam dan jelas. Gambar tersebut kemudian dibuat filmnya dimana bagian positif gambar tersebut ditempelkan ke PCB. Setelah disinari dengan menggunakan sinar ultraviolet, pcb tersebut dicelupkan ke larutan NaOH sehingga bagian lainnya terlarut dan yang tinggal adalah bagian yang tidak terkena sinar ultra violet yakni jalur-jalur PCB. PCB yang telah jadi tersebut pada kaki-kaki komponennya dilubangi sebagai tempat memasukan kaki komponen. Hasil dari gambar rangkaian dan foto pcb yang telah jadi dapat dilihat pada Lampiran 1 dan Lampiran 2.

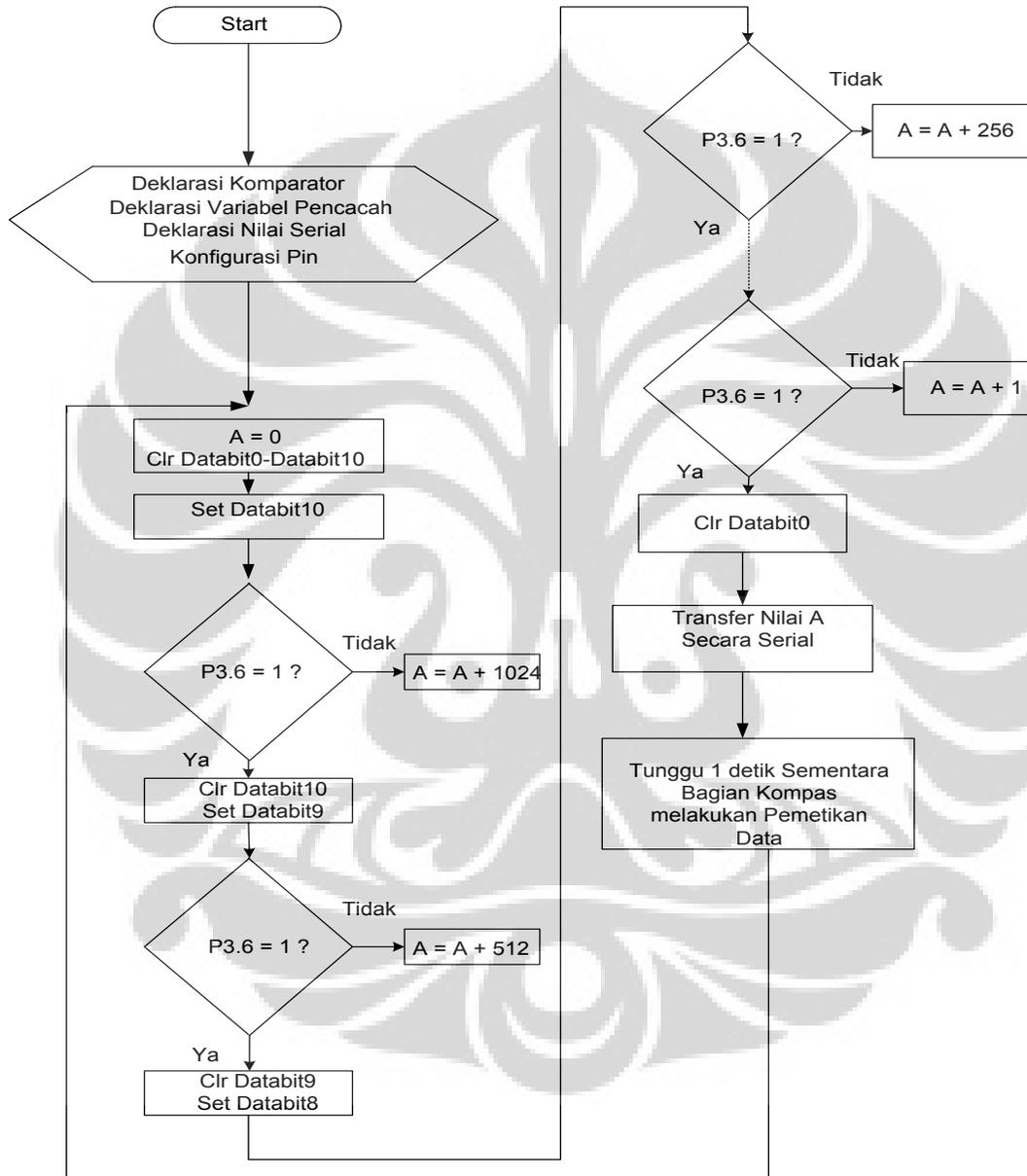
Setelah PCB-nya jadi maka sekarang komponen-komponennya diletakan pada tempatnya. Penguatan dan penyambungan dilakukan dengan penyolderan. Penyolderan dilakukan sedemikian rupa sehingga hasilnya bagus dan tidak meninggalkan bekas bakar karbon kehitaman yang bisa menyimpan muatan yang tidak diinginkan dan menimbulkan tahanan.

4.2 Pemrograman dan Pengisian ROM

PCB dan komponen-komponen elektronik lainnya merupakan perangkat keras. Supaya komponen ini bekerja maksimal maka program harus diisikan ke dalam mikrokontroler. Program dibuat dengan menggunakan bahasa assembler Mikrokontroler jenis Atmel dan ditulis pada bagian edit DOS. Program yang telah jadi disimpan untuk kemudian diubah menjadi bahasa mesin dengan menggunakan program ASM51.EXE. Keluaran dari program ini berupa file list dan file biner. File biner inilah yang diisikan kedalam ROM mikrokontroler 89S2051 melalui EPROM Programmer. Untuk mikrokontroler 89S2051 bahasa pemrograman yang digunakan adalah BASIC untuk MCS51 dengan compiler BASCOM-8051 sehingga aplikasi begitu mudah. Pada saat program melakukan compiler dari lingkungan DOS ke bahasa mesin, maka pada saat running program juga dapat mendeteksi kesalahan. Kesalahan-kesalahan ini dapat berupa kesalahan sintak atau kesalahan huruf ataupun kesalahan-kesalahan fungsi dari program itu sendiri. Setelah

ditunjukkan kesalahannya baik itu pada saat jalan ataupun saat dilihat pada file listnya maka kita dapat mengoreksinya kembali.

Flowchart program pemetikan data ADC dengan metoda perangkat lunak adalah sebagai berikut:



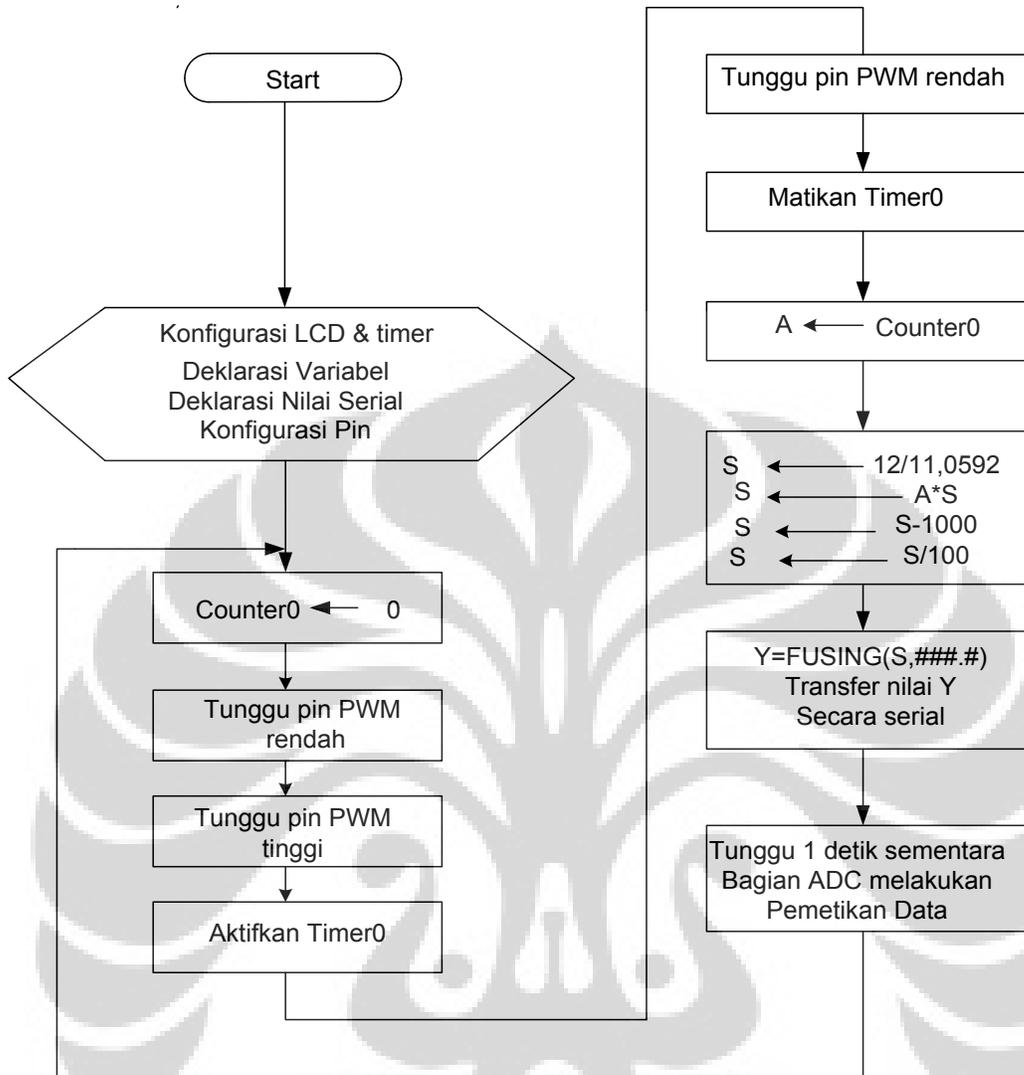
Gambar 4.1 Diagram Flowchart Pemetikan Data Kedalaman

Diumpamakan masukan dari sensor dengan tegangan tertentu masuk ke bagian negative komparator selanjutnya dengan menggunakan program bit paling besar diberi logika 1

sedangkan yang lainnya nol selanjutnya oleh D/A converter yakni R-2R diubah menjadi tegangan analog. Tegangan dari terminal mikrokontroler dibandingkan dengan tegangan dari sensor, jika tegangan dari D/A converter lebih besar dari tegangan sensor maka keluarannya positive sebaliknya jika tegangan dari D/A converter lebih kecil maka keluaran dari komparator menjadi kecil atau berlogika nol. Perubahan dari keluaran komparator dihubungkan pada terminal P3.6 dari mikrokontroler. Dengan mengamati terus nilai dari terminal P3.6 melalui program maka perubahan pada komparator dapat selalu diketahui. Jika masukan dari MC lebih besar maka nilai bit terminal data yang bersangkutan direset menjadi nol sedangkan jika lebih kecil dari masukan sensor maka bobot bit pada terminal itu dijumlahkan ke suatu variable data, setelah bit ini selesai maka selanjutnya beralih ke bit berikutnya yang lebih kecil, begitu seterusnya hingga bit terakhir. Nilai terakhir yang bertipe word kemudian dikirimkan ke bagian display dan bagian lainnya.

Flowchart program untuk kompas dengan metoda PWM adalah sebagai berikut :





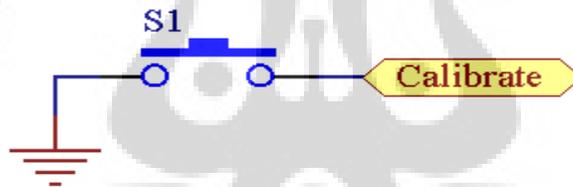
Gambar 4.2 Diagram Flowchart Pemetikan Data Arah

Aliran program disusun seperti ditunjukkan dalam flowchart dan diproses sebagai berikut:

1. Proses yang pertama adalah dilakukan adalah konfigurasi Timer0(mode 1 dan gate-internal);konfigurasi pin I/O(input sinyal PWM); serta deklarasi variabel yaitu antara lain:
 - A = variabel bertipe word untuk menampung 16 bit data Timer0 yang merupakan hasil pembacaan CMPS03 secara PWM,
 - Y = variabel bertipe string untuk menampung data yang akan dituliskan ke LCD.
 - S = variabel bertipe single untuk menampung data bernilai real yang merupakan hasil pengolahan data dari variabel A

2. Setelah itu program mengisi register Timer0 dengan data bernilai 0. Lalu menunggu perubahan transisi naik pada pin input sinyal PWM. Setelah terdeteksi perubahan tersebut Timer0 diaktifkan, lalu menunggu lagi pin PWM berubah menjadi logika 0 dan kemudian mematikan Timer0.
3. Program membaca data dari register Timer 0 dan diletakan ke dalam variabel A
4. Program melakukan normalisasi data hasil pengukuran Timer0 (variabel A) disesuaikan dengan nilai crystal yang digunakan mikrokontroler dan hasilnya disimpan ke dalam variabel S. Lalu variabel S dikurangi dengan nilai offset yaitu 1000uS dan kemudian dibagi 100.
5. Lalu dengan menggunakan fungsi FUSING, dilakukan perubahan format data dari real variabel S kedalam bentuk string dan disimpan ke dalam variabel Y.
6. Data dari variabel Y kemudian ditransfer secara serial ke bagian luar.
7. Tunggu sesaat sementara program pemetikan data kedalaman dilakukan lalu kembali ke langkah 3.

Kedua bahasa pemrograman diatas dengan menggunakan bahasa BASIC dapat dilihat pada Lampiran 3 dan Lampiran 4.



Gambar 4.3 Rangkaian Tactile Switch untuk Proses Calibrate

Modul kompas CMPS03 harus dikalibrasi untuk setiap tempat yang berbeda karena setiap tempat berbeda dalam hal sudut inklinasinya. Cara mengkalibrasi CMPS03 ada dua cara, yaitu dengan metoda I2C atau pin(manual). Dalam aplikasi ini dipilih kalibrasi dengan metoda pin (manual) karena dinilai lebih muda dan efisien. Berikut ini adalah langkah-langkahnya:

1. Gunakan rangkaian tactile switch seperti Gambar 4.3
2. Posisikan orientasi utara dari CMPS03 ke arah utara bumi yang sebenarnya lalu tekan tactile switch
3. Putar secara perlahan-lahan sampai orientasi utara dari CMPS03 menuju ke arah timur bumi, lalu tekan tactile switch

4. Putar secara perlahan-lahan sampai orientasi utara dari CMPS03 menuju ke arah selatan bumi, lalu tekan tactile switch.
5. Putar secara perlahan-lahan sampai orientasi utara dari CMPS03 menuju ke arah barat bumi, lalu tekan tactile switch.
6. Periksa apakah kompas telah menampilkan arah yang benar sesuai dengan arah sebenarnya. Jika belum sesuai ulangi lagi mulai langkah 1.
7. Jika penunjukan sudah sesuai dengan arah sebenarnya, maka CMPS03 dinyatakan telah terkalibrasi dengan baik.

Kalibrasi ini hanya dilakukan sekali saja, karena hasil dari pengkalibrasian disimpan dalam EEPROM yang terdapat pada CMPS03. Untuk penggunaan selanjutnya pada lokasi dengan sudut inklinasi sama, tidak perlu dilakukan kalibrasi ulang.

4.3 Pembuatan Casing

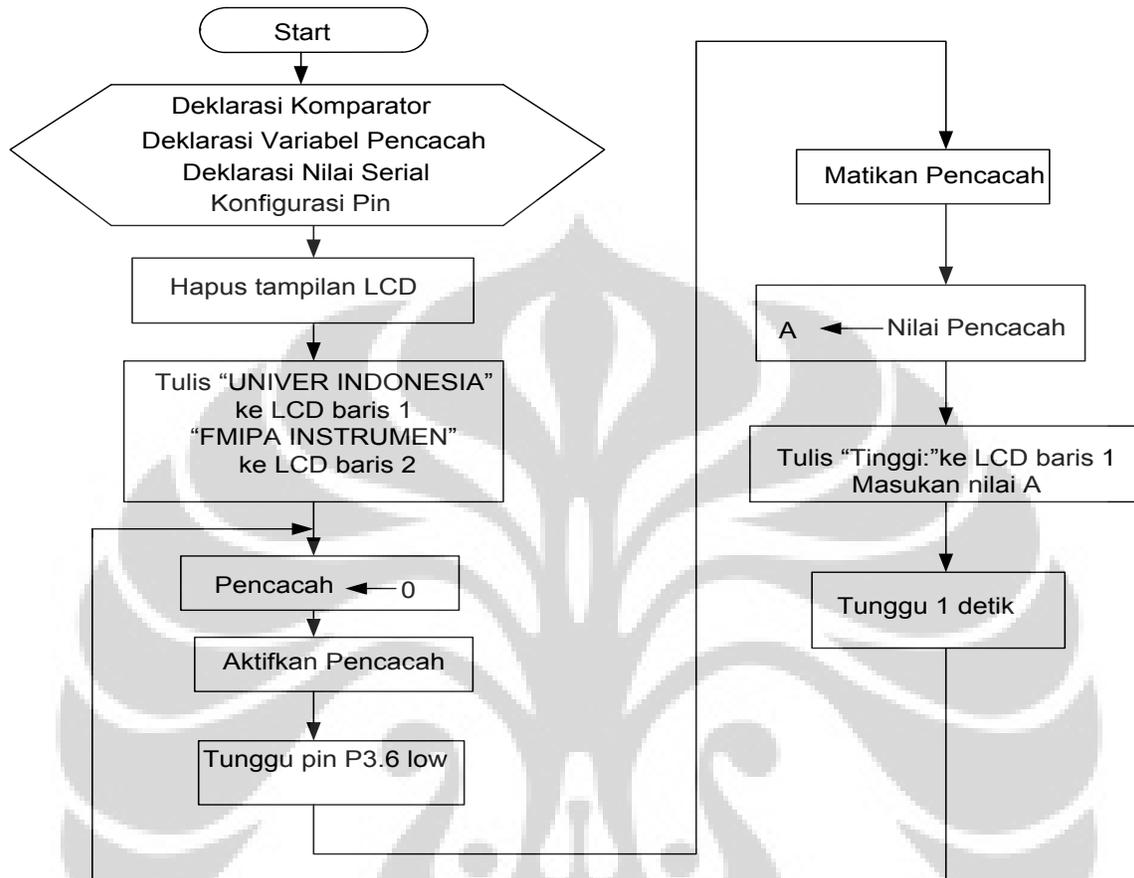
Sensor kedalaman piezoresistive diletakan pada casing khusus untuk bawah air. Casing ini harus kedap air dan tahan terhadap tekanan air laut sampai kedalaman 10 meter. Casing ini terbuat dari besi dengan ketebalan dua centimeter. Lubang sensor tekanan diletakan pada bagian luar casing supaya terkena air laut sedangkan keluaran kabel datanya dihubungkan dengan bagian dalam casing bersama dengan PCB dan sensor tekanan. Setelah semua komponen yakni PCB underwater, sensor kompas, dan sensor tekanan diletakan pada tempatnya maka kemudian ditutup sampai kedap air.

Sedangkan untuk menampilkan data berupa display dan rangkaian penguatnya juga untuk rangkaian penguat daya transmisi data maka dibuat juga suatu kotak. Pada bagian ini terdapat tombol untuk menyalakan kontrol unit, tombol reset juga casing.

4.4 Display Data

Data serial yang dikirim dari bagian underwater melalui kabel yang panjangnya sekitar 1000 centimeter. Supaya data yang dikirim tidak turun tegangannya sehingga datanya tidak terbaca maka terlebih dahulu sinyal datanya diperkuat dengan menggunakan rangkaian opto-coupler. Keluaran dari rangkaian opto-coupler ini merupakan jenis tegangan RS-232 sehingga dapat langsung dihubungkan ke bagian pin Receiver pada mikrokontroler 89C51 dibagian display. Format data yang dikirim oleh bagian underwater

tersusun atas awalan angka 1 dan angka 2. Hal ini untuk membedakan dua data yang berbeda yaitu angka 1 untuk jenis data kedalaman dan angka 2 untuk jenis data arah.



Gambar 4.4 Diagram Flowchart Penampilan Data di Dislpay

Bahasa pemrograman yang dilakukan pada bagian display ini adalah bahasa assembler MC89C51 yang ditulis pada bagian edit dalam sistem operasi DOS. Ekstensi program yang dihasilkan adalah .ASM. File ini diubah menjadi bahasa biner dan listingnya dengan menggunakan file ASM51.EXE. Setelah diolah oleh ASM51.EXE maka dihasilkan file biner dengan ekstensi .BIN dan file listing dengan ekstensi .LST. File dengan ekstensi .LST berisi listing program yang berisi kode mnemonik dari bahasa assembler yang digunakan dan sebagai tempat untuk koreksi data. Sedangkan file dengan ekstensi .BIN diisikan kedalam memori MC89S51 dengan menggunakan software ISP. Isi lengkap dari bahasa pemrograman yang dihasilkan dapat dilihat pada Lampiran 5.

4.5 Cara Kerja Alat

Setelah bagian yang masuk ke air dan driver dihubungkan melalui kabel sepanjang 100 meter dan bagian driver dengan unit pengontrol melalui kabel pendek RS-232, berikan tegangan AC 220 Volt pada ke dua unit terakhir. Setelah di-onkan pada bagian unit pengontrol maka pada display akan tertulis. Setelah pembacaan sensor kedalaman dan arah dimulai maka tampilan itu akan berubah menjadi informasi kedalaman dan arah. Pembacaan kompas dan kedalaman air dilakukan secara bergantian oleh mekanisme software. Pertama program membaca ketinggian dulu kemudian membaca arah kompas.

4.5.1 Cara Kerja Rangkaian

Cara kerja rangkaian ini seperti terlihat pada skema terlampir adalah sebagai berikut: Sinyal yang datang dari sensor tekanan berupa rentang tegangan dari 0 sampai 2,5 volt masuk ke pin P1.0 yang merupakan masukan + dari analog komparator internal dari mikrokontroler AT89C2051. Sinyal ini dibandingkan dengan masukan dari keluaran D/A yang tersusun dari tahanan-tahanan.

Data digital dari D0 sampai D10 tersusun dari terminal P1.2 – P1.7 , P3.2 –P3.5, dan P3.7 dengan menghubungkan keluaran dari terminal ini ke rangkaian D/A.

Metoda konversi A/D yang dihasilkan ditunjukkan dalam rangkaian diatas. Metoda ini dengan menggunakan metoda aproksimasi berturut-turut perangkat lunak. Dari rangkaian diatas V_{in} adalah tegangan dari sensor tekanan piezoeresistive., D0 sampai D10 merupakan keluaran digital dari mikrokontroler. Keluaran digital ini menggerakkan sebuah konverter D/A yang terbuat dari susunan tahanan dan menghasilkan keluaran analog V_{out} . V_{out} ini kemudian masuk ke terminal P1.1 yang merupakan masukan negatif dari analog komparator internal MC.

Konversi A/D berlangsung sebagai berikut. Mula-mula V_{out} sama dengan nol, karena itu op-amp mempunyai keluaran tinggi maka P3.6 dalam keadaan tinggi. Masukan untuk D0 sampai D10 kemudian melakukan pencacahan naik dimulai dari nol melalui program dari mikrokontroler. Karena konverter D/A digerakan oleh keluaran dari sinyal digital mikrokontroler, keluaran konverter ini berbentuk tegangan tangga positif. Selama nilai V_{in} lebih besar dari V_{out} , op-amp memberi keluaran positif, P3.6 tetap tahan dalam keadaan tinggi, dan sinyal tegangan naik terus.

Pada titik tertentu sepanjang tangga tersebut, tingkat berikutnya akan membuat nilai V_{out} lebih besar daripada V_{in} . Keadaan ini mendorong P3.6 menjadi rendah, dan melalui rutin program hal ini mendorong pencacahan menjadi berhenti. Sekarang keluaran digital dari D0 sampai D10 memberikan ekivalen digital dari masukan analog. Tepi negatif dari sinyal P3.6 tersebut digunakan sebagai sinyal selesai-konversi, sinyal ini memberitahu rutin program dan rangkaian lainnya bahwa konversi A/D telah selesai. Apabila konversi telah selesai dilaksanakan, data digital yang ekivalen akan ditahan oleh register latch dari port1 dan port3.

Bila masukan analog V_{in} diubah, rangkaian eksternal harus mengirimkan pulsa start yang lain untuk memulai konversi. Pulsa ini mengosongkan pencacah dan memulai siklus yang baru.

Sinyal digital yang dihasilkan selanjutnya dikirimkan ke rangkaian berikutnya untuk diubah menjadi bilangan fisik. Bilangan fisik ini diperoleh dengan mengalikan bilangan pencacah hasil konversi ke bilangan konstanta kalibrasi. Selanjutnya data ini ditampilkan melalui display alphanumerik sehingga bisa dilihat oleh indera manusia. Selain itu agar data ini dapat diakuisisi oleh komputer atau perangkat akuisisi lainnya maka disediakan saluran output lainnya melalui RS-232 dengan sinyal serial TX. Data dikirimkan dalam bentuk serial dengan baud rate tertentu.

4.6 Cara Mengoperasikan alat

Pengukur posisi ini terdiri atas empat bagian yakni bagian bawah air, bagian penguat transmisi, bagian pengontrol dan display serta bagian pemetikan data oleh komputer.

Kabel daya dan data disambungkan antara bagian bawah air dan penguat transmisi. Kabel ini terdiri atas dua kabel pemasok daya DC yakni bagian plus dan minus serta bagian penguat daya data yang terdiri dari dua kabel juga. Besaran Tegangan yang diberikan berkisar antara 8 sampai 30 Volt sesuai dengan kebutuhan tegangan dc sensor dan 12 volt untuk kebutuhan pengolah sinyalnya. Dengan demikian diambil catu tegangan sebesar 12 volt agar bisa digunakan oleh kedua bagian yakni sensor dan pengolah sinyal.

Data yang masuk ke bagian transmisi berupa sinyal pulsa data digital berkisar antara 7 sampai 20 volt yang kemudian oleh rangkaian opto-coupler diubah menjadi pulsa data berkisar pada tegangan 5 volt sehingga bisa digunakan oleh rangkaian TTL.

Kemudian disambungkan lagi kabel antara bagian penguat transmisi dengan bagian pengontrol dan display. Sinyal ini berupa sinyal RS-232 yang memiliki baud rate tertentu sesuai dengan setingnya. Data berupa informasi kedalaman dan arah kemudian ditampilkan pada displaynya, sehingga bisa diamati oleh pengguna alat. Disamping itu data RS-232 juga dikirimkan ke komputer untuk dipetik datanya dan disimpan. Melalui program pemetikan data maka informasi kedalaman dan arah dari RS-232 ditampilkan pada komputer.

4.7 Spesifikasi Rancangan

4.7.1 Kontrol Unit Display

Tegangan Catu	= 220 Volt
Tegangan sebelum regulator	= 18 Volt
Tegangan sesudah regulator	= 5 Volt
Frekuensi Osilator MC89C51	= 11,0592 MHz
Display	= 2 baris dengan 16 kolom karakter
Pemakaian arus	= 500 mA
Resolusi Kompas	= 0,1°
Resolusi kedalaman	= 9,77 cm
Besarnya data bit kedalaman	= 11 bit
Frekuensi Osilator MC2051	= 11,0592 MHz

4.7.2 Pengubah DC ke DC

Tegangan sebelum regulator 1	= 15 Volt
Tegangan sesudah regulator 1	= 12 Volt
Tegangan sebelum regulator 2	= 15 Volt
Tegangan sesudah regulator 2 untuk MC2051	= 5 Volt



BAB V METODOLOGI PENELITIAN

5.1 WAKTU, TEMPAT DAN OBBJEK

Penelitian ini direncanakan dilaksanakan dalam kurun waktu 6 bulan. Tempat penelitian akan dilaksanakan pada laboratorium dan workshop di Balai Teknologi Survey Kelautan - Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.

Objek penelitian ini adalah sensor kedalaman piezoresistive series 26-W produksi Keller dan sensor arah magnetoresistive modul CMPS03 produksi Philips serta rangkaian pemetikan datanya.

5.2 METODA PENELITIAN

Berikut ini langkah-langkah utama dalam penelitian ini :

1. Studi Literatur

Memperoleh bahan dan acuan yang berkaitan dengan topik dari buku-buku instrumentasi pengukuran, Jurnal, data sheet ataupun internet.

2. Perancangan dan Pembuatan Alat

Merancang dan membangun sistem dan skema rangkaian serta komponen/peralatan yang akan digunakan.

3. Pengujian Sistem

Melakukan pengujian terhadap alat yang telah dibuat dan disesuaikan dengan sistem serta fungsi kerjanya dalam hal ini dititikberatkan pada perangkat keras yang telah dibuat.

4. Pembuatan Program

Membuat program untuk pemetikan data analog ke digital serta pemetikan dan arah dan program untuk menampilkan data ke display lcd.

5. Pengujian Sistem dan Pengambilan Data

Melakukan pengujian terhadap sistem keseluruhan yang telah dibuat dan disesuaikan dengan fungsinya kemudian dilakukan pengambilan data untuk kemudian diolah dengan program yang telah dibuat.

6. Penulisan Hasil Penelitian

Hasil dari pengujian dan pengambilan data kemudian dianalisa sehingga dihasilkan kesimpulan dan saran untuk perbaikan dari pengembangan penelitian lebih lanjut.

5.3 ALAT DAN BAHAN

Berikut ini secara umum alat dan bahan utama yang akan digunakan pada penelitian ini:

1. Personal komputer

Komputer ini digunakan sebagai alat untuk mengolah dan menampilkan data sekaligus sebagai pengendali sistem.

2. Perangkat Lunak Pendukung(Bahasa Assembler 89C51, BASCOM Serial Demo Compiler 1.11.8.1)

Perangkat lunak ini digunakan untuk membuat program pemetikan data kedalaman dan arah serta mengirimkannya. Selain itu Bahasa Assembler digunakan untuk menampilkan data ke display LCD

3. Rangkaian terpadu Mikrokontroler AT89C2051

Komponen ini dipakai sebagai alat pengendali akuisisi data.

4. Komponen Elektronik (Resistor, Kapasitor, Op-amp, dan lain-lain)

Komponen-komponen ini digunakan untuk membangun sistem perangkat keras khususnya pada bagian analog dan digital.

5. Osiloskop PM 3065 100MHz Philips

Alat ini digunakan untuk mengamati bentuk sinyal dan menguji sistem

6. Power Suplay Philips 0 – 40 VDC/10 A

Untuk menyuplai kebutuhan daya rangkaian

7. Multimeter Digital CONSTANT

Untuk mengukur besaran parameter listrik

8. Multimeter Analog Sanwa

Untuk mengecek rangkaian dan mengukur besaran listrik

9. Tool Set

Alat ini digunakan untuk membantu pekerjaan pembuatan

BAB VI PENGUKURAN DAN ANALISA

Rancangan alat yang telah jadi kemudian diuji dilapangan untuk mengetahui kinerjanya. Data pengukuran yang dihasilkan secara elektronik dicatat untuk dibandingkan dengan nilai dari pembacaan langsung. Pengukuran-pengukuran yang diperoleh dari hasil rancangan terdiri dari pengukuran/penunjukan level gelombang /bentuk gelombang pada output rangkaian sumber pewaktu, pemakaian arus, pengukuran tegangan-tegangan sebelum dan sesudah regulator, dan tegangan pada rangkaian analog maupun rangkaian digitalnya.

5.1 Data Pengukuran

5.1.1 Pengukuran Catu Daya Kontrol Unit Display

Tegangan DC sebelum regulator	: 8,70 V
Tegangan DC setelah regulator	: 5,045 V

5.1.2 Pengukuran Catu Daya Pengubah DC ke DC

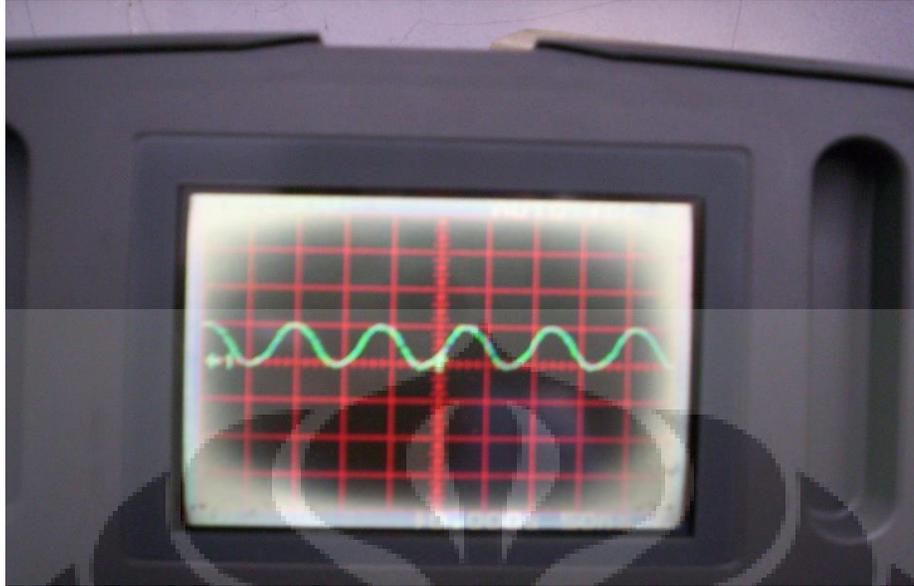
Tegangan DC Input	: 15 Volt
Tegangan DC Output	: 5,1 Volt
Tegangan DC Output	: 12,2 Volt

5.1.3 Pengukuran Blok Pembangkit Frekuensi

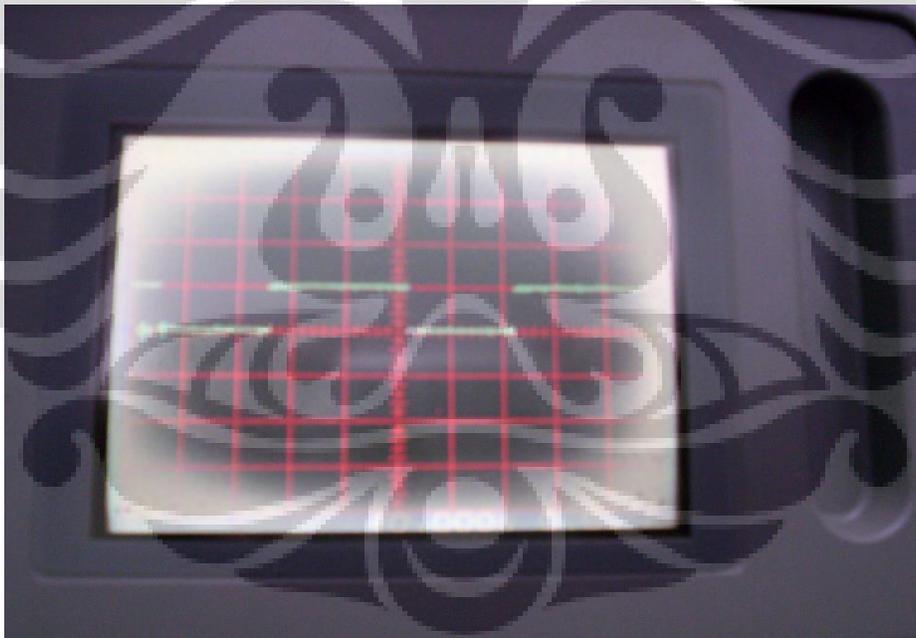
Tegangan logik 1	: 4,3 V
Tegangan logika 0	: 0,3 V
Frekuensi Osilator MC89C51	: 10,99MHz
Frekuensi Osilator MC2051	: 10,98MHz
Pemakaian Arus	: 500 mA

5.1.4 Pengukuran Rangkaian Digital

Bentuk gelombang yang dihasilkan oleh rangkaian pembangkit pewaktu adalah seperti gambar 5.1 dan gambar 5.2 di bawah ini yakni pada pin data mikrokontroler. Untuk menggerakkan atau membangkitkan pulsa maka MC perlu diberikan gelombang pulsa atau clock. Untuk menyuplai pulsa ke MC maka dibuatlah suatu osilator yakni kristal. Kristal ini diberikan pada pin masukan 4 dan 5 pada MC2051 sedangkan pada MC8951 terletak pada pin masukan 18 dan 19. Sebagai terlihat pada osiloskop terlihat masukan gelombang osilator pada pin 4 dan 5 berbentuk sinus. Gelombang ini belum sempurna seperti yang disyaratkan pada kawasan digital. Tetapi karena didalam MC sendiri ada rangkaian schmit triger yang menyempurnakan gelombang osilator menjadi gelombang kotak yang memenuhi persyaratan digital, maka ketidak sempurnaan ini dapat diatasi. Ini terlihat dari adanya gelombang kotak pada pin data dengan rentang tegangan 0,1 volt sampai 4,8 volt

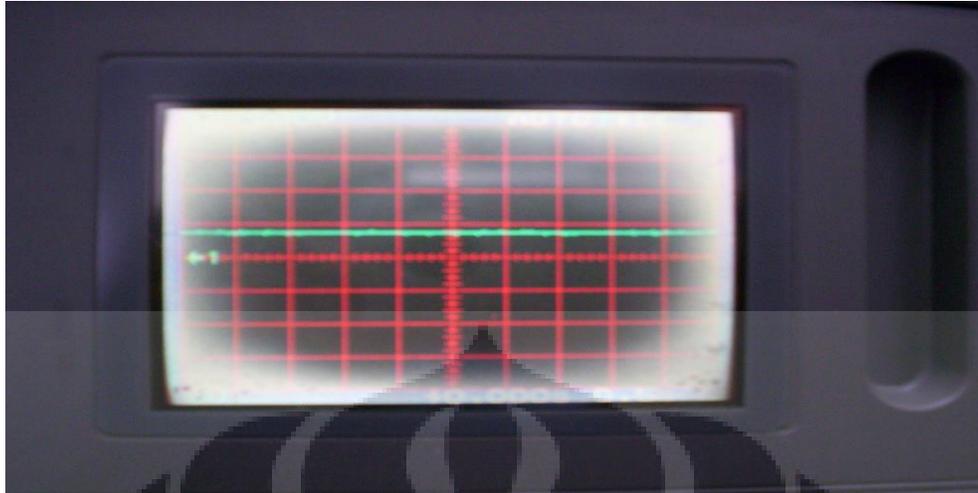


Gambar 5.1 Bentuk Gelombang Osilator Kristal



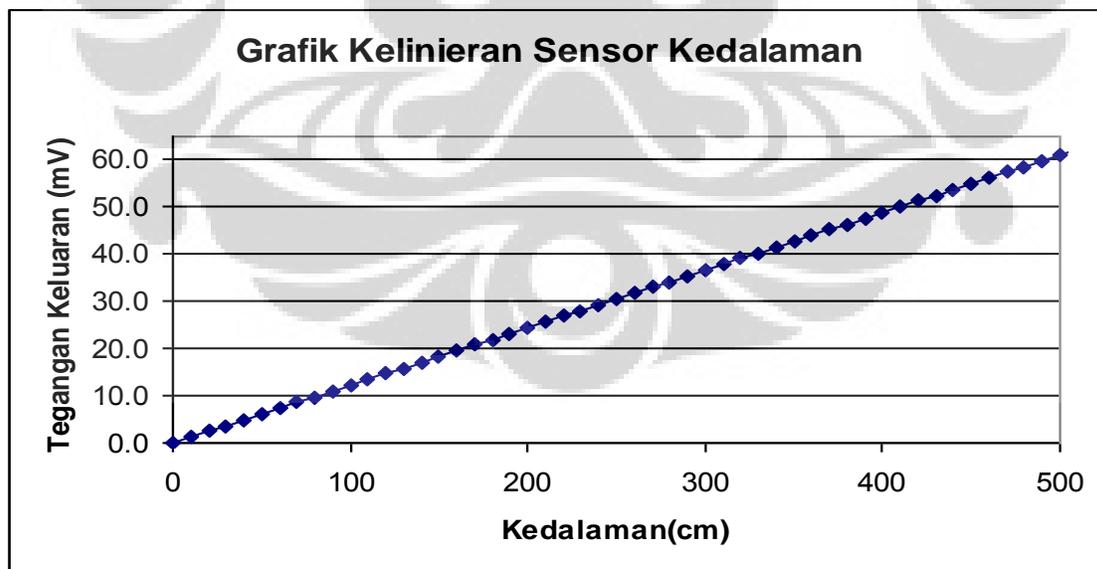
Gambar 5.2 Bentuk Gelombang Data Digital

5.1.5 Data Kedalaman

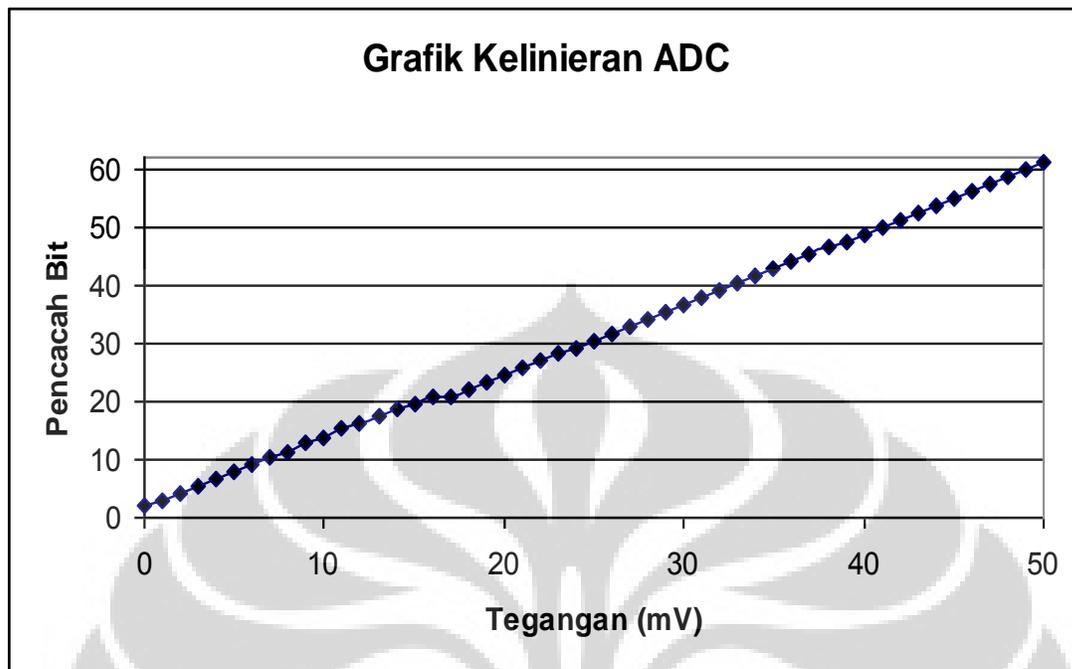


Gambar 5.3 Sinyal DC keluaran sensor piezoresistive kedalaman

Pengukuran kedalaman air dibandingkan terhadap tegangan yang dihasilkan dengan menggunakan tabung dari bahan fiber dapat dilihat pada tabel di bagian Lampiran 6. Sebagai terlihat hasil pembacaan voltase terhadap kedalaman cukup menunjukkan trend kelinieran. Uji linearitas ADC merupakan pengujian antara keluaran dari sensor dengan outputnya atau kita terlebih dahulu menguji keluaran dari sensor berupa tegangan analog terhadap kedalaman sensor tekanan piezoresistive. Hasil dari pengujian terlihat pada grafik dibawah ini. Langkah Pertama mengukur Kedalamannya kemudian diukur keluaran tegangannya.

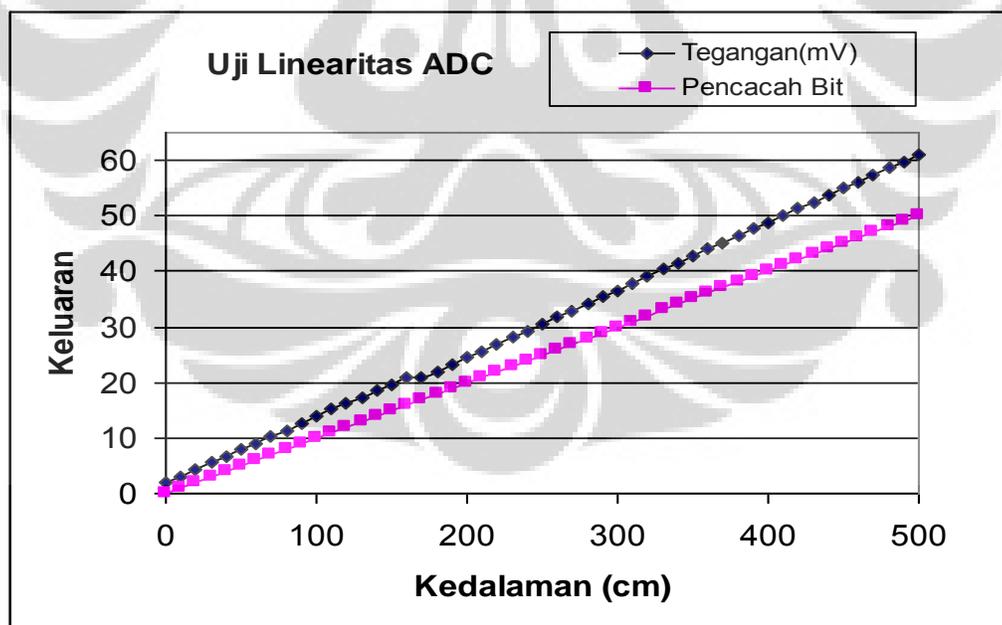


Gambar 5.4 Grafik keluaran tegangan terhadap kedalaman air
Langkah Kedua mengukur keluaran digital terhadap masukan tegangan analog



Gambar 5.5 Grafik keluaran digital terhadap tegangan sensor

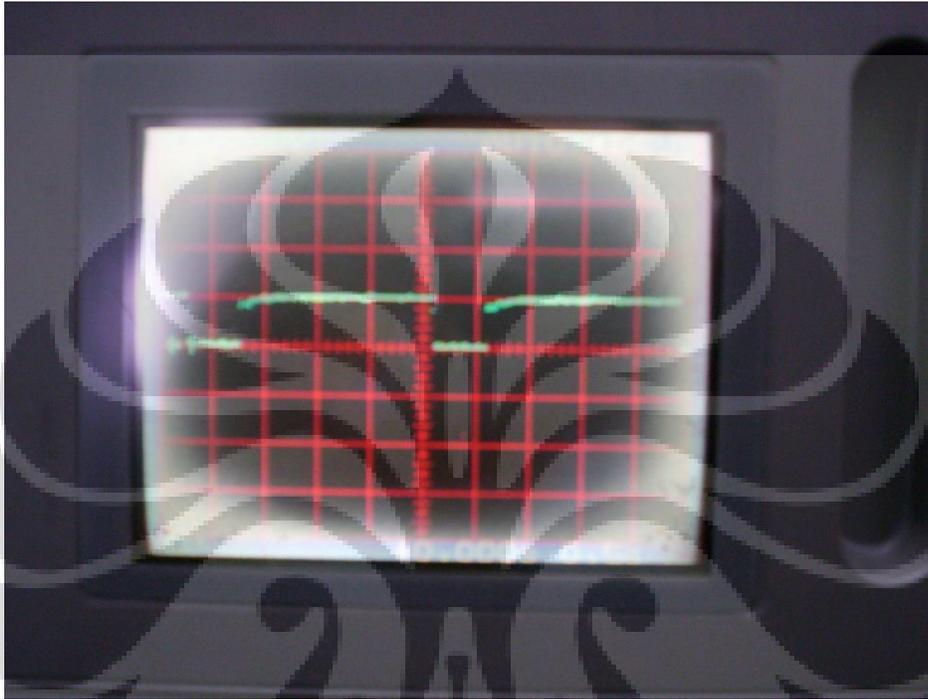
Langkah Ketiga mengukur keluaran digital dan tegangan terhadap masukan kedalaman



Gambar 5.6 Grafik keluaran tegangan dan digital terhadap kedalaman air

Dari grafik terlihat bahwa rangkaian adc dalam keadaan linear terhadap masukannya berupa kedalaman air dan keluarannya berupa tegangan dan bilangan digital.

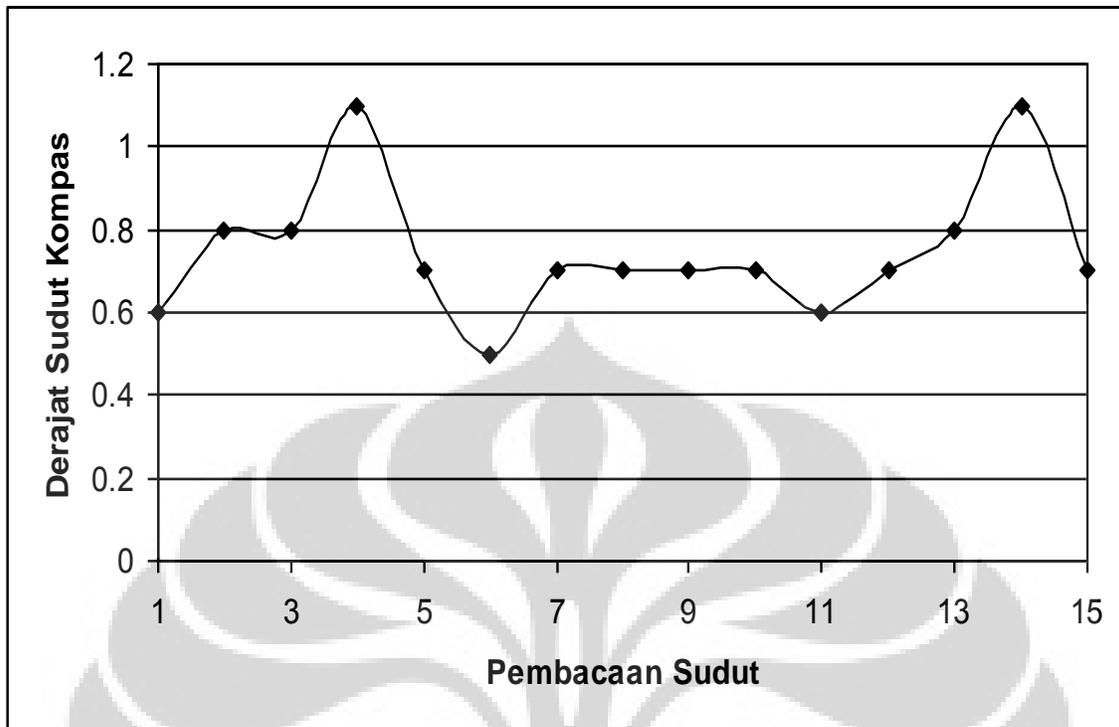
5.1.6 Data Kompas



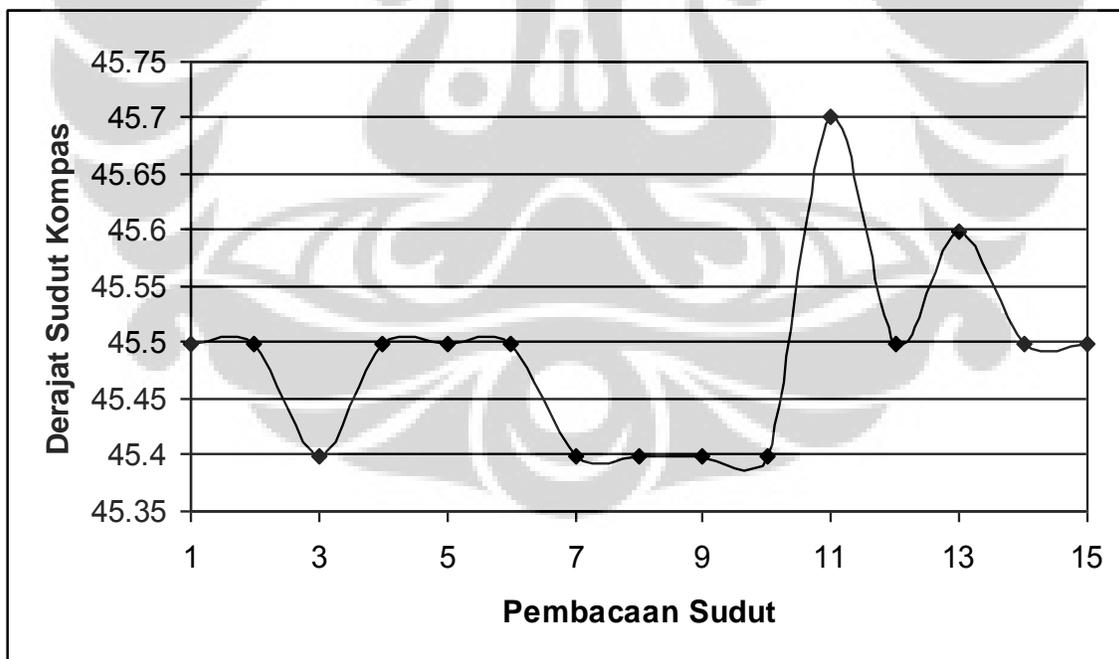
Gambar 5.7 Bentuk Gelombang PWM

Sinyal PWM adalah sinyal pulsa yang dimodulasi dengan lebar pulsa positif yang menyatakan sudut seperti ditunjukkan pada gambar 5.7 diatas. Lebar pulsa bervariasi mulai dari 1 mS samapai 36,99 mS(359) dengan kata lain 100uS/ dengan a +1mS offset. Sinyal bergerak ke bawah untuk 65mS diantara pulsa-pulsa, dengan demikian 65 mS + lebar pulsa. Seperti terlihat di atas lebar kotaknya sebesar 5 mS dengan lebar pulsa 3,5 kotak kali 5mS berarti 17,5 mS. Pulsa dihasilkan oleh pewaktu 16 bit pada procesor yang memberikan resolusi 1 uS dan pengukuran tidak dilakukan lebih dari $0,1^\circ$ (10uS).

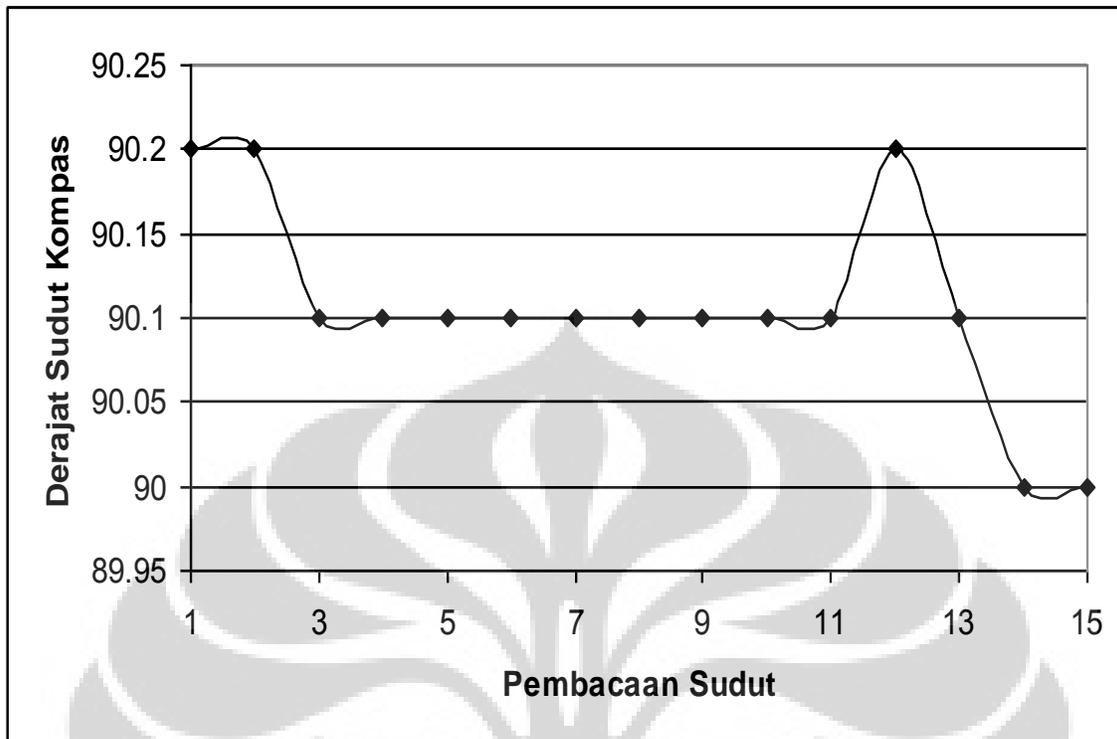
Pembacaan data untuk kompas dilakukan pada sudut-sudut utama yakni dari 0 derajat sampai 360 dengan interval 45° dan ditampilkan untuk lima belas penampilan data pertama dapat dilihat pada Lampiran Tabel dan ditunjukkan pada gambar grafik dibawah ini.



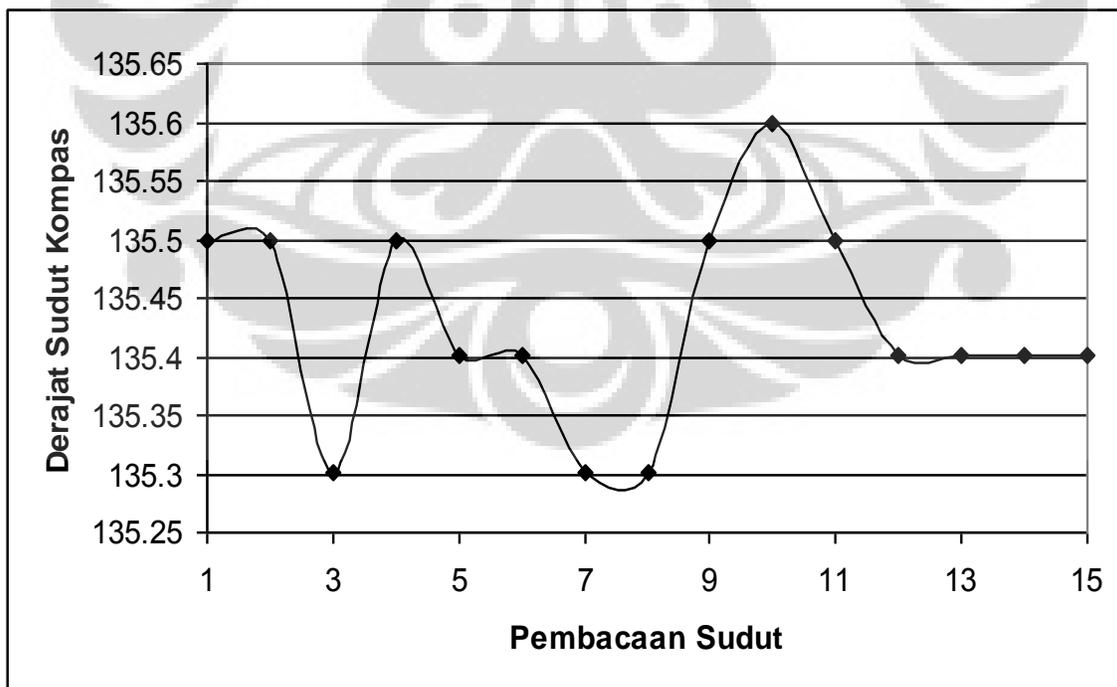
Gambar 5.8 Grafik hasil pengujian presisi pada sudut 0°



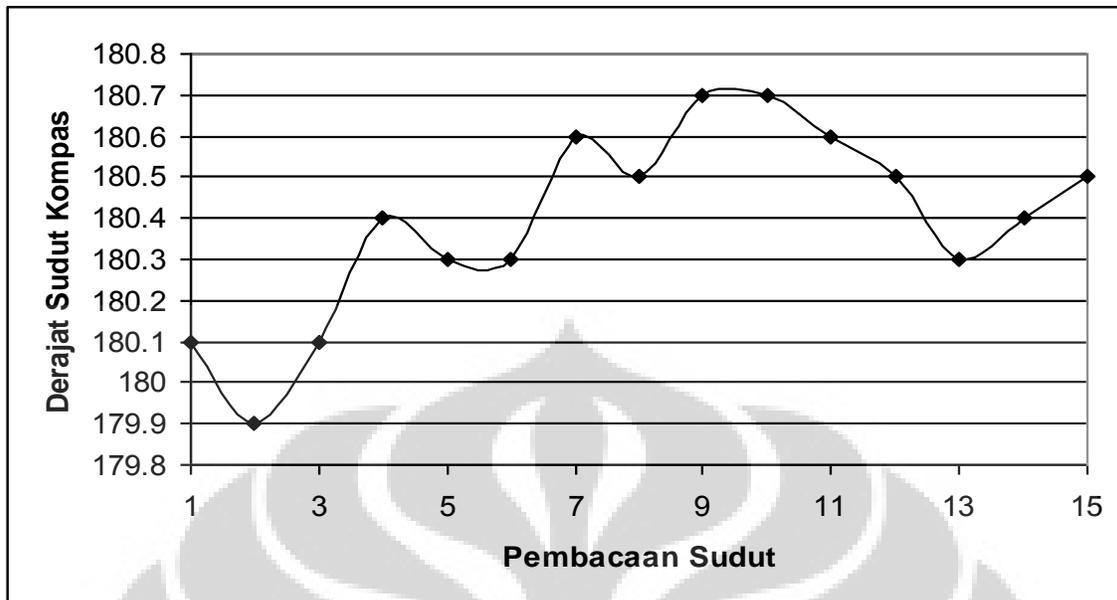
Gambar 5.9 Grafik hasil pengujian presisi sudut 45°



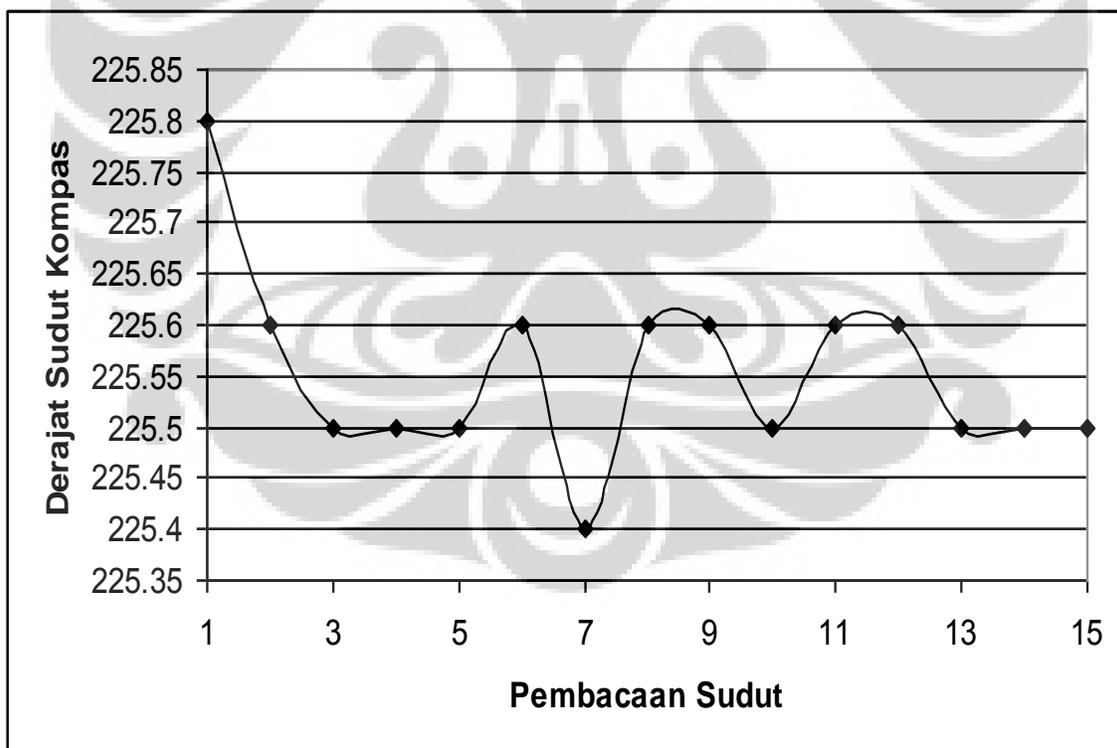
Gambar 5.10 Grafik hasil pengujian presisi sudut 90°



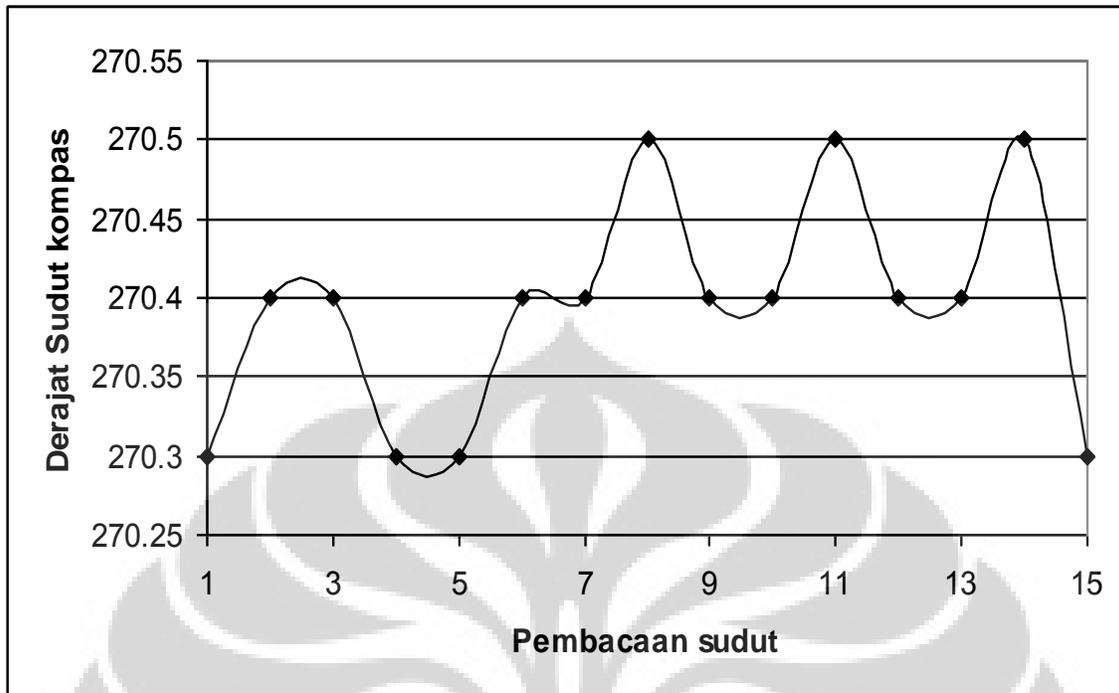
Gambar 5.11 Grafik hasil pengujian presisi sudut 135°



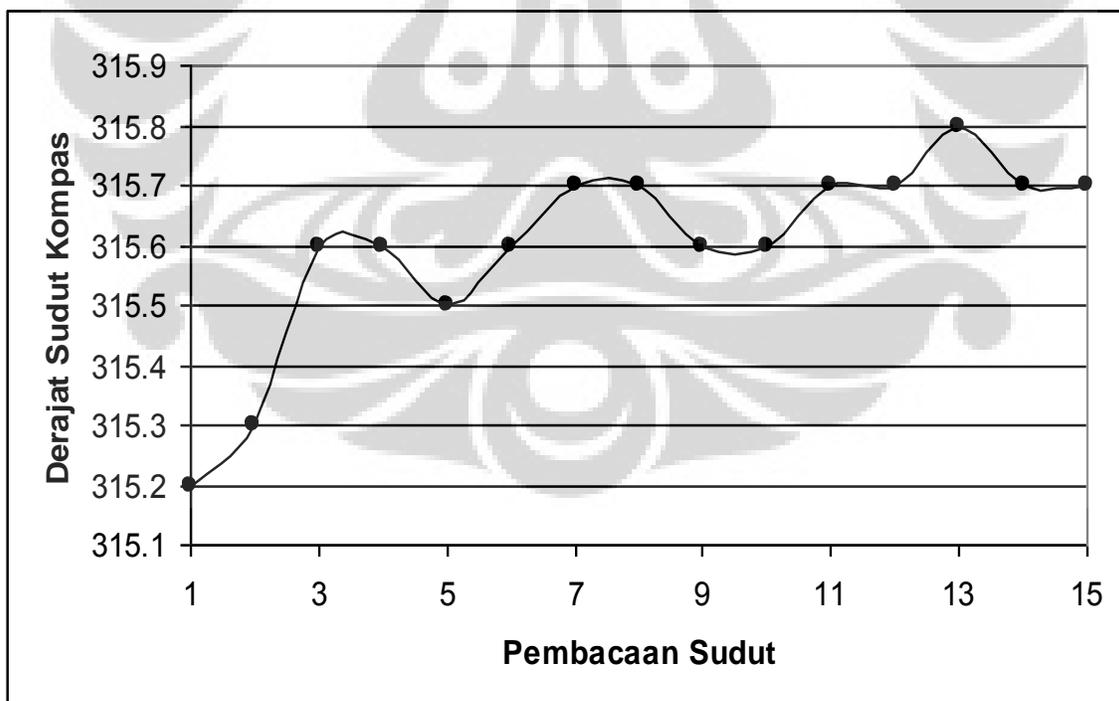
Gambar 5.12 Grafik hasil pengujian presisi sudut 180°



Gambar 5.13 Grafik hasil pengujian presisi sudut 225°



Gambar 5.14 Grafik hasil pengujian presisi sudut 270°



Gambar 5.15 Grafik hasil pengujian presisi sudut 315°

Tabel 5.1 Data Pengujian Pengukur Arah

Urutan	Pengukuran(°)	Nilai Sebenarnya(°)
1	0.6	0
2	10.3	10
3	20.3	20
4	30.2	30
5	40.2	40
6	50.6	50
7	60.5	60
8	70.5	70
9	80.7	80
10	90	90
11	100.2	100
12	110.1	110
13	120.4	120
14	130.4	130
15	140.2	140
16	150	150
17	160.1	160
18	170.1	170
19	180.4	180
20	190.2	190
21	200.1	200
22	210.1	210
23	220.3	220
24	230.3	230
25	240	240
26	250	250
27	260.2	260
28	270.4	270
29	280.1	280
30	290.1	290
31	300.3	300
32	310.3	310
33	320.1	320
34	330.2	330
35	340.1	340
36	350	350
37	357.1	359

5.2 Analisa Data

Pada bentuk gelombang keluaran pewaktu, ternyata tidak merupakan bentuk gelombang persegi murni, akan tetapi ada bentuk gelombang “overshoot”. Hal ini disebabkan tidak stabilnya komponen yang dipergunakan. Tetapi gelombang overshoot ini tidak mempengaruhi sistem, karena puncak overshoot masih dalam kondisi toleransi.

5.2.1 Analisa Hasil Pengukuran Kedalaman

Langkah-1 : Menentukan persentase kesalahan setiap pengukuran

$$\% \text{kesalahan} = \left(\frac{\text{Pengukuran} - \text{Perhitungan}}{\text{Pengukuran}} \right) \times 100\%$$

$$\text{Saat } D = 0 \text{ cm ; \%kesalahan} = \left(\frac{1,9 - 0}{1,9} \right) \times 100\% = 100\%$$

$$\text{Saat } D = 10 \text{ cm; \%kesalahan} = \left(\frac{3,1 - 1,25}{3,1} \right) \times 100\% = 59,67\%$$

$$\text{Saat } D = 20 \text{ cm; \%kesalahan} = \left(\frac{4,2 - 2,5}{4,2} \right) \times 100\% = 40,47\%$$

$$\text{Saat } D = 30 \text{ cm; \%kesalahan} = \left(\frac{5,6 - 3,75}{5,6} \right) \times 100\% = 33,03\%$$

$$\text{Saat } D = 40 \text{ cm; \%kesalahan} = \left(\frac{6,7 - 5}{6,7} \right) \times 100\% = 25,37\%$$

$$\text{Saat } D = 50 \text{ cm; \%kesalahan} = \left(\frac{7,9 - 6,25}{7,9} \right) \times 100\% = 20,88\%$$

$$\text{Saat } D = 60 \text{ cm; \%kesalahan} = \left(\frac{9 - 7,5}{9} \right) \times 100\% = 16,66\%$$

$$\text{Saat } D = 70 \text{ cm; \%kesalahan} = \left(\frac{10,2 - 8,75}{10,2} \right) \times 100\% = 14,21\%$$

$$\text{Saat } D = 80 \text{ cm; \%kesalahan} = \left(\frac{11,4 - 10}{11,4} \right) \times 100\% = 12,28\%$$

$$\text{Saat D} = 90 \text{ cm; \%kesalahan} = \left(\frac{12,7 - 11,25}{12,7} \right) \times 100\% = 11,41\%$$

$$\text{Saat D} = 100 \text{ cm; \%kesalahan} = \left(\frac{13,8 - 12,5}{13,8} \right) \times 100\% = 9,42\%$$

$$\text{Saat D} = 110 \text{ cm; \%kesalahan} = \left(\frac{15,4 - 13,75}{15,4} \right) \times 100\% = 10,7\%$$

$$\text{Saat D} = 120 \text{ cm; \%kesalahan} = \left(\frac{16,3 - 15}{16,3} \right) \times 100\% = 7,97\%$$

$$\text{Saat D} = 130 \text{ cm; \%kesalahan} = \left(\frac{17,4 - 16,25}{17,4} \right) \times 100\% = 6,61\%$$

$$\text{Saat D} = 140 \text{ cm; \%kesalahan} = \left(\frac{18,6 - 17,5}{18,6} \right) \times 100\% = 5,91\%$$

$$\text{Saat D} = 150 \text{ cm; \%kesalahan} = \left(\frac{19,7 - 18,75}{19,7} \right) \times 100\% = 4,82\%$$

$$\text{Saat D} = 160 \text{ cm; \%kesalahan} = \left(\frac{20,9 - 20}{20,9} \right) \times 100\% = 4,3\%$$

Langkah-2: Menentukan kesalahan rata-rata efektif

$$\begin{aligned} \% \text{kesalahan rata-rata efektif } (\sigma) &= \sum \% \left(\frac{\text{Kesalahan tiap pengukuran}}{\text{Banyaknya Pengukuran}} \right) \\ &= 22,44\% \end{aligned}$$

Langkah-3 : Menentukan persentase kelinieran setiap pengukuran

$$\% \text{kelinieran} = \left(\frac{\text{Pengukuran } k - \text{Pengukuran } (n-1)}{\text{konstanta kelinieran}} \right)$$

Dari perhitungan diperoleh bahwa untuk setiap kenaikan kedalaman 10 cm terdapat kenaikan tegangan sebesar 1,25mV. Dengan demikian konstanta kelinierannya adalah 1,25 mV.

$$\text{Saat } D = 0 \text{ cm dengan } D = 10 \text{ cm; \% kelinieran} = \left(\frac{3,1 - 1,9}{1,25} \right) \times 100\% = 96\%$$

$$\text{Saat } D = 10 \text{ cm dengan } D = 20 \text{ cm; \% kelinieran} = \left(\frac{4,2 - 3,1}{1,25} \right) \times 100\% = 88\%$$

$$\text{Saat } D = 20 \text{ cm dengan } D = 30 \text{ cm; \% kelinieran} = \left(\frac{5,5 - 4,2}{1,25} \right) \times 100\% = 104\%$$

$$\text{Saat } D = 30 \text{ cm dengan } D = 40 \text{ cm; \% kelinieran} = \left(\frac{6,7 - 5,5}{1,25} \right) \times 100\% = 96\%$$

$$\text{Saat } D = 40 \text{ cm dengan } D = 50 \text{ cm; \% kelinieran} = \left(\frac{7,9 - 6,7}{1,25} \right) \times 100\% = 96\%$$

$$\text{Saat } D = 50 \text{ cm dengan } D = 60 \text{ cm; \% kelinieran} = \left(\frac{9 - 7,9}{1,25} \right) \times 100\% = 88\%$$

$$\text{Saat } D = 60 \text{ cm dengan } D = 70 \text{ cm; \% kelinieran} = \left(\frac{10,2 - 9}{1,25} \right) \times 100\% = 96\%$$

$$\text{Saat } D = 70 \text{ cm dengan } D = 80 \text{ cm; \% kelinieran} = \left(\frac{11,4 - 10,2}{1,25} \right) \times 100\% = 96\%$$

$$\text{Saat } D = 80 \text{ cm dengan } D = 90 \text{ cm; \% kelinieran} = \left(\frac{12,7 - 11,4}{1,25} \right) \times 100\% = 104\%$$

$$\text{Saat } D = 90 \text{ cm dengan } D = 100 \text{ cm; \% kelinieran} = \left(\frac{13,8 - 12,7}{1,25} \right) \times 100\% = 88\%$$

$$\text{Saat } D = 100 \text{ cm dengan } D = 110 \text{ cm; \% kelinieran} = \left(\frac{15,2 - 13,8}{1,25} \right) \times 100\% = 112\%$$

$$\text{Saat } D = 110 \text{ cm dengan } D = 120 \text{ cm; \% kelinieran} = \left(\frac{16,3 - 15,2}{1,25} \right) \times 100\% = 88\%$$

$$\text{Saat } D = 120 \text{ cm dengan } D = 130 \text{ cm; \% kelinieran} = \left(\frac{17,4 - 16,3}{1,25} \right) \times 100\% = 88\%$$

$$\text{Saat } D = 130 \text{ cm dengan } D = 140 \text{ cm; \% kelinieran} = \left(\frac{18,6 - 17,4}{1,25} \right) \times 100\% = 96\%$$

$$\text{Saat } D = 140 \text{ cm dengan } D = 150 \text{ cm; \% kelinieran} = \left(\frac{19,7 - 18,6}{1,25} \right) \times 100\% = 88\%$$

$$\text{Saat } D = 150 \text{ cm dengan } D = 160 \text{ cm; \% kelinieran} = \left(\frac{20,9 - 19,7}{1,25} \right) \times 100\% = 96\%$$

Langkah-4: Menentukan kelinieran rata-rata efektif

$$\begin{aligned} \% \text{ kelinieran rata-rata efektif } (\sigma) &= \sum \% \frac{\text{kelinieran tiap pengukuran}}{\text{banyaknya pengukuran}} \\ &= 95\% \end{aligned}$$

Langkah-5: Menentukan kesalahan kelinieran rata-rata efektif

$$\begin{aligned} \% \text{ kesalahan kelinieran rata-rata efektif} &= 100\% - \% \text{ kelinieran rata-rata efektif } (\sigma) \\ &= 100\% - 95\% = 5\% \end{aligned}$$

5.2.2 Analisa Hasil Pengukuran Arah

Langkah-1 : Menentukan persentase kesalahan setiap pengukuran

$$\% \text{ kesalahan} = \left(\frac{\text{Pengukuran} - \text{Perhitungan}}{\text{Pengukuran}} \right) \times 100\%$$

$$\text{Saat } S = 0^\circ; \% \text{ kesalahan} = \left(\frac{0 - 0}{0} \right) \times 100\% = 0\%$$

$$\text{Saat } S = 10^\circ; \% \text{ kesalahan} = \left(\frac{10,3 - 10}{10,3} \right) \times 100\% = 2,91\%$$

$$\text{Saat } S = 20^\circ; \% \text{ kesalahan} = \left(\frac{20,3 - 20}{20,3} \right) \times 100\% = 1,47\%$$

$$\text{Saat } S = 30^\circ; \% \text{ kesalahan} = \left(\frac{30,2 - 30}{30,2} \right) \times 100\% = 0,66\%$$

$$\text{Saat } S = 40^\circ; \% \text{ kesalahan} = \left(\frac{40,2 - 40}{40,2} \right) \times 100\% = 0,49\%$$

$$\text{Saat } S = 50^\circ; \% \text{ kesalahan} = \left(\frac{50,6 - 50}{50,6} \right) \times 100\% = 1,19\%$$

$$\text{Saat } S = 60^\circ; \% \text{kesalahan} = \left| \left(\frac{60,5 - 60}{60,5} \right) \right| \times 100\% = 0,83\%$$

$$\text{Saat } S = 70^\circ; \% \text{kesalahan} = \left| \left(\frac{70,5 - 70}{70,5} \right) \right| \times 100\% = 0,7\%$$

$$\text{Saat } S = 80^\circ; \% \text{kesalahan} = \left| \left(\frac{80,7 - 80}{80,7} \right) \right| \times 100\% = 0,87\%$$

$$\text{Saat } S = 90^\circ; \% \text{kesalahan} = \left| \left(\frac{90 - 90}{90} \right) \right| \times 100\% = 0\%$$

$$\text{Saat } S = 100^\circ; \% \text{kesalahan} = \left| \left(\frac{100,2 - 100}{100,2} \right) \right| \times 100\% = 0,19\%$$

$$\text{Saat } S = 110^\circ; \% \text{kesalahan} = \left| \left(\frac{110,1 - 110}{110,1} \right) \right| \times 100\% = 0,09\%$$

$$\text{Saat } S = 120^\circ; \% \text{kesalahan} = \left| \left(\frac{120,4 - 120}{120,4} \right) \right| \times 100\% = 0,33\%$$

$$\text{Saat } S = 130^\circ; \% \text{kesalahan} = \left| \left(\frac{130,4 - 130}{130,4} \right) \right| \times 100\% = 0,3\%$$

$$\text{Saat } S = 140^\circ; \% \text{kesalahan} = \left| \left(\frac{140,2 - 140}{140,2} \right) \right| \times 100\% = 0,14\%$$

$$\text{Saat } S = 150^\circ; \% \text{kesalahan} = \left| \left(\frac{150 - 150}{150} \right) \right| \times 100\% = 0\%$$

$$\text{Saat } S = 160^\circ; \% \text{kesalahan} = \left| \left(\frac{160,1 - 160}{160,1} \right) \right| \times 100\% = 0,06\%$$

$$\text{Saat } S = 170^\circ; \% \text{kesalahan} = \left| \left(\frac{170,1 - 170}{170,1} \right) \right| \times 100\% = 0,05\%$$

$$\text{Saat } S = 180^\circ; \% \text{kesalahan} = \left| \left(\frac{180,4 - 180}{180,4} \right) \right| \times 100\% = 0,22\%$$

$$\text{Saat } S = 190^\circ; \% \text{kesalahan} = \left| \left(\frac{190,2 - 190}{190,2} \right) \right| \times 100\% = 0,1\%$$

$$\text{Saat } S = 200^\circ; \% \text{kesalahan} = \left(\frac{200,1 - 200}{200,1} \right) \times 100\% = 0,05\%$$

$$\text{Saat } S = 210^\circ; \% \text{kesalahan} = \left(\frac{210,1 - 210}{210,1} \right) \times 100\% = 0,05\%$$

$$\text{Saat } S = 220^\circ; \% \text{kesalahan} = \left(\frac{220,3 - 220}{220,3} \right) \times 100\% = 0,14\%$$

$$\text{Saat } S = 230^\circ; \% \text{kesalahan} = \left(\frac{230,3 - 230}{230,3} \right) \times 100\% = 0,13\%$$

$$\text{Saat } S = 240^\circ; \% \text{kesalahan} = \left(\frac{240 - 240}{240} \right) \times 100\% = 0\%$$

$$\text{Saat } S = 250^\circ; \% \text{kesalahan} = \left(\frac{250 - 250}{250} \right) \times 100\% = 0\%$$

$$\text{Saat } S = 260^\circ; \% \text{kesalahan} = \left(\frac{260,2 - 260}{260,2} \right) \times 100\% = 0,07\%$$

$$\text{Saat } S = 270^\circ; \% \text{kesalahan} = \left(\frac{270,2 - 270}{270,2} \right) \times 100\% = 0,07\%$$

$$\text{Saat } S = 280^\circ; \% \text{kesalahan} = \left(\frac{280,1 - 280}{280,1} \right) \times 100\% = 0,04\%$$

$$\text{Saat } S = 290^\circ; \% \text{kesalahan} = \left(\frac{290,1 - 290}{290,1} \right) \times 100\% = 0,03\%$$

$$\text{Saat } S = 300^\circ; \% \text{kesalahan} = \left(\frac{300,3 - 300}{300,3} \right) \times 100\% = 0,09\%$$

$$\text{Saat } S = 310^\circ; \% \text{kesalahan} = \left(\frac{310,3 - 310}{310,3} \right) \times 100\% = 0,09\%$$

$$\text{Saat } S = 320^\circ; \% \text{kesalahan} = \left(\frac{320,1 - 320}{320,1} \right) \times 100\% = 0,03\%$$

$$\text{Saat } S = 330^\circ; \% \text{kesalahan} = \left(\frac{330,2 - 330}{330,2} \right) \times 100\% = 0,06\%$$

$$\text{Saat } S = 340^\circ; \% \text{ kesalahan} = \left| \left(\frac{340,1 - 340}{340,1} \right) \right| \times 100\% = 0,03\%$$

$$\text{Saat } S = 350^\circ; \% \text{ kesalahan} = \left| \left(\frac{350 - 350}{350} \right) \right| \times 100\% = 0\%$$

$$\text{Saat } S = 359^\circ; \% \text{ kesalahan} = \left| \left(\frac{357 - 359}{357} \right) \right| \times 100\% = 0,53\%$$

Langkah-2: Menentukan kesalahan rata-rata efektif

$$\begin{aligned} \% \text{ kesalahan rata-rata efektif } (\sigma) &= \sum \% \frac{\text{kesalahantiap pengukuran}}{\text{Banyaknya Pengukuran}} \\ &= 0,33\% \end{aligned}$$

Dari hasil pembacaan seperti tercantum pada tabel di atas menunjukkan pembacaan terkecil yang dapat dilakukan sampai resolusi $0,1^\circ$. Ketepatan atau presisi yakni suatu ukuran kemampuan untuk mendapatkan hasil pengukuran yang serupa untuk setiap pembacaan terletak dalam rentang $0,8$ derajat.

VII. KESIMPULAN DAN SARAN

VI.1 KESIMPULAN

Setelah dilakukan percobaan hasil pengukuran maka dapat disimpulkan:

- Dapat melakukan pencacahan sampai 2048 bagian dengan 11 bit data
- Resolusi atau bilangan terkecil yang dapat diukur adalah sebesar 9,77 cm
- Kelinieran sensor kedalaman adalah sebesar 0,5%
- Sinyal yang dihasilkan dalam bentuk PWM
- Kesalahan pada pengukuran arah sebesar 0,33%
- Resolusi untuk kompas dapat mencapai 0,1 derajat
- Presisi untuk sensornya berada dalam rentang 0° sampai $0,8^{\circ}$

VI.2 SARAN

Pengukur posisi bawah laut ini dapat dikembangkan lagi sehingga pengiriman tidak melalui kabel tetapi melalui gelombang akustik

Saran-saran yang diusulkan :

- Alat terbatas hanya untuk pemetikan data secara real time tanpa bisa menyimpan di memori. Untuk kedepan diharapkan alat ini dapat menyimpan data yang diakuisisinya ke dalam memori sehingga suatu waktu bisa di-download datanya
- Kemampuan ukurnya dapat ditingkatkan lebih dalam lagi untuk sensor tekanannya
- Resolusinya dapat lebih ditingkatkan dengan memperbesar jumlah bit datanya
- Untuk transmit datanya bisa dikembangkan lagi melalui akustik

DAFTAR ACUAN

1. George C. Barney, Intelligent Instrument, Prentice-Hall, Inc, USA
2. Albert Paul Malvino, Electronic Principles, Glencoe McGraw-Hill
3. William Kelitz, Digital Electronics, New Jersey, Prentice-Hall, Inc, 1996
4. Widodo Budiharto, S.Si, Interfacing Komputer dan Mikrokontroler, PT elex Media Komputindo, Jakarta, 2004
5. Ernest O. Doebelin, Sistem Pengukuran, Jakarta, Penerbit Erlangga, 1992
6. David Buchla, wayne McLachlan, Allied Electronic Instrumentation and Measurement, Maxwell Macmillan International Edition, New York, 1992
7. Albert Paul Malvino, PhD, Hanafi Gunawan, Prinsip-prinsip Elektronik, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1992
8. Wasito S, Vademekum Elektronika, Jakarta, Penerbit Erlangga, 2000
9. Rodney Zaks, Sofyan H. Nasution, Teknik Perantaraan Mikroprosesor, Jakarta, Penerbit Erlangga, 1996.
10. Thomas C. Bartee, the How Liong Ph.D, Dasar Komputer Digital, Jakarta, Penerbit Erlangga, 1996.
11. JP Holman, Ir. E. Jasjfi, M.Sc, Metoda Pengukuran Teknik, Jakarta, Penerbit Erlangga, 1985