

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Setiap peralatan yang menggunakan energi listrik memiliki bahan isolasi sebagai pengaman. Bahan isolasi adalah bahan yang memberikan tahanan tinggi terhadap aliran arus listrik. Bahan dan ukuran bahan yang digunakan untuk mengisolasi rangkaian listrik harus mempunyai tahanan tinggi, biasanya dalam daerah megaohm, terhadap aliran arus. Sebagai contoh, kumparan jangkar generator harus mempunyai isolasi yang memadai untuk mencegah kebocoran arus ke kumparan tetangganya atau ke inti besi jangkar. Operasi dari peralatan listrik seperti transformator, motor, generator dan kabel-kabel bergantung pada pemeliharaan tahanan isolasi yang tepat untuk rangkaian yang bersangkutan (Suryatmo,1986).

Tahanan isolasi tiap motor, transformator, generator dan kabel-kabel memiliki batas minimal yang berbeda-beda. Pada motor, batas minimal tahanan isolasi ditentukan berdasarkan tegangan kerja motor tersebut (Bishop, 2008).

Selain itu seringkali terjadi kesalahan dalam menentukan batas minimal tahanan isolasi. Sehingga terjadi perdebatan dalam menentukan kondisi dari motor yang diuji. Oleh karena itu dibuat alat yang digunakan untuk mengukur tahanan isolasi yang mampu menunjukkan kondisi dari motor yang diuji.

Perdebatan mengenai tahanan isolasi dapat diatasi dengan mengimplementasikan logika yang dapat menegaskan suatu kondisi. Logika ini adalah logika fuzzy (Sri, 2003).

Penelitian skripsi ini akan membahas mengenai logika fuzzy pada pengukuran tahanan isolasi. Berdasarkan nilai tahanan isolasi yang terukur, dapat ditentukan kondisi dari motor.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dibahas sebelumnya, maka dapat disusun rumusan masalah yaitu bagaimana merancang dan mengimplementasikan alat yang menerapkan *fuzzy logic* pada pengukuran tahanan isolasi.

1.3 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membuat alat yang menerapkan *fuzzy logic* pada pengukuran tahanan isolasi.

1.4 Batasan Masalah

Dengan mengacu pada rumusan masalah yang telah dibuat, maka hal-hal yang berkaitan dengan perancangan akan diberi batasan sebagai berikut:

1. Suhu dan kelembapan saat pengukuran diabaikan.
2. Motor listrik tidak dibahas.
3. Pengukuran tahanan isolasi hanya dilakukan pada motor listrik.



BAB II

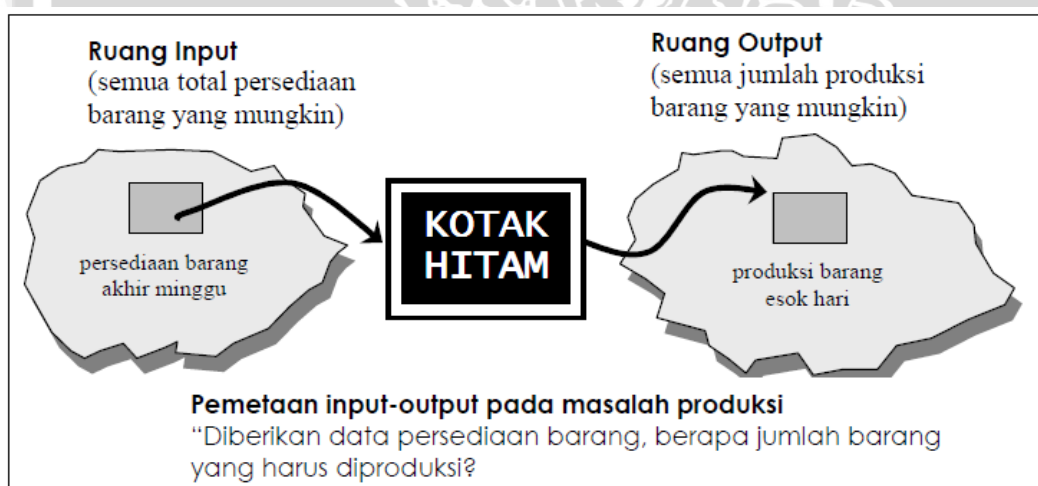
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Logika Fuzzy

Logika fuzzy adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang *input* ke dalam suatu ruang *output*. Logika fuzzy selain itu adalah sistem berbasis aturan (*rule based system*) yang di dalamnya terdapat himpunan aturan fuzzy yang mempresentasikan mekanisme pengambilan keputusan. Aturan yang dibuat digunakan untuk memetakan variabel *input* ke variabel *output* dengan pernyataan *if – then*.

Logika fuzzy menggunakan data tertentu (*crisp*) dari sejumlah sensor kemudian mengubahnya menjadi bentuk linguistic atau fungsi keanggotaan melalui proses fuzzifikasi. Lalu dengan aturan fuzzy, *inference engine* yang akan menentukan hasil keluaran fuzzy. Setelah itu hasil ini akan diubah kembali menjadi bentuk numeric melalui proses defuzzifikasi (Sri,2003).

Salah satu contoh pemetaan suatu *input-output* dalam bentuk grafis ditunjukkan dalam Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Contoh pemetaan input ke output

Sumber: Sri (2003)

Antara *input* dan *output* terdapat satu kotak hitam yang harus memetakan *input* ke *output* yang sesuai.

2.1.1 Alasan Digunakannya Logika Fuzzy

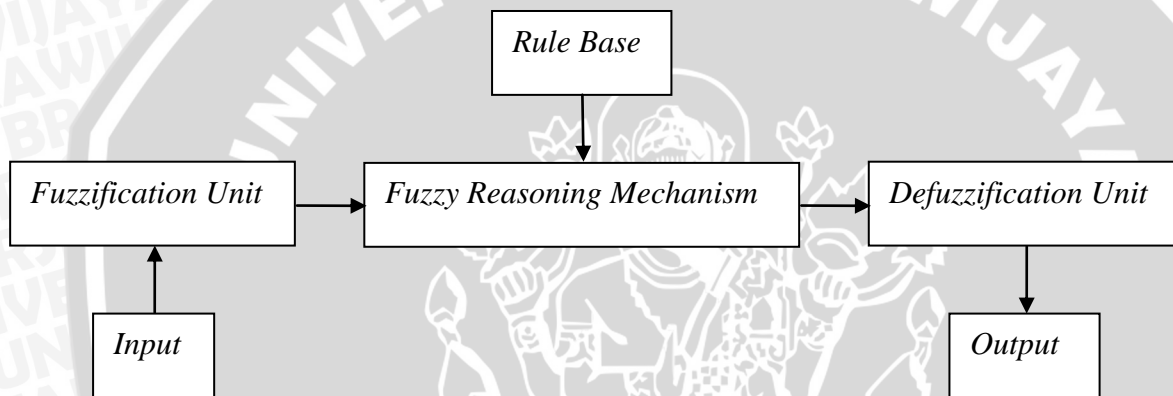
Ada beberapa alasan mengapa orang menggunakan logika fuzzy, antara lain:

- Konsep logika fuzzy mudah dimengerti. Konsep matematis yang mendasari penalaran fuzzy sangat sederhana dan mudah dimengerti.
- Logika fuzzy sangat fleksibel.

- Logika fuzzy memiliki toleransi terhadap data-data yang tidak tepat.
- Logika fuzzy mampu memodelkan fungsi-fungsi nonlinear yang sangat kompleks.
- Logika fuzzy dapat membangun dan mengaplikasikan pengalaman-pengalaman para pakar secara langsung tanpa harus melalui proses pelatihan.
- Logika fuzzy dapat bekerjasama dengan teknik-teknik kendali secara konvensional.
- Logika fuzzy didasarkan pada bahasa alami.

2.1.2 Struktur Dasar Logika Fuzzy

Komponen utama penyusun logika fuzzy adalah unit fuzzifikasi, unit penalaran logika fuzzy, basis pengetahuan dan unit defuzzifikasi. Struktur dasar kontrol logika fuzzy ditunjukkan dalam Gambar 2.2 (Yan, Ryan dan Power, 1994).



Gambar 2.2 Struktur dasar logika fuzzy
Sumber : Yan, Ryan dan Power : 1994

2.1.3 Himpunan Fuzzy

Pada himpunan tegas (crisp), nilai keanggotaan suatu item x dalam suatu himpunan A , yang sering ditulis dengan $\mu_A[x]$, memiliki 2 kemungkinan, yaitu:

1. Satu (1), yang berarti bahwa suatu item menjadi anggota dalam suatu himpunan, atau
2. Nol (0), yang berarti bahwa suatu item tidak menjadi anggota dalam suatu himpunan.

Himpunan fuzzy memiliki 2 atribut, yaitu:

1. Linguistik, yaitu penamaan suatu grup yang mewakili suatu keadaan atau kondisi tertentu dengan menggunakan bahasa alami, seperti: MUDA, PAROBAYA, TUA.
2. Numerik, yaitu suatu nilai (angka) yang menunjukkan ukuran dari suatu variabel seperti: 40, 25, 50, dsb.

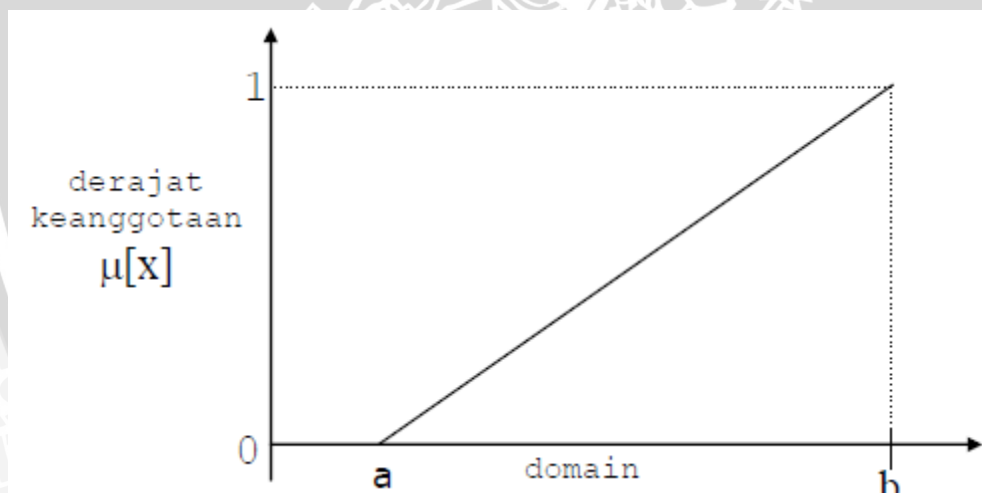
2.1.4 Fungsi Keanggotaan Logika Fuzzy

Fungsi keanggotaan (*membership function*) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaannya yang memiliki interval antara 0 dan 1. Salah satu cara yang digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah dengan pendekatan fungsi. Ada beberapa fungsi yang dapat digunakan (Sri,2003).

2.1.4.1 Representasi Linear

Pada representasi linear, pemetaan input ke derajat keanggotaannya digambarkan sebagai satu garis lurus. Bentuk ini paling sederhana dan menjadi pilihan yang baik untuk mendekati suatu konsep yang kurang jelas.

Ada dua representasi himpunan fuzzy yang linear yaitu representasi naik dan representasi turun seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.3 dan Gambar 2.4. Representasi naik dimulai dari nilai domain nol kemudian bergerak ke kanan menuju nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan yang lebih tinggi. Sedangkan representasi turun adalah kebalikan dari representasi naik. Dimulai dari nilai domain tertinggi pada sisi kiri kemudian bergerak ke kanan menuju nilai domain yang lebih rendah.

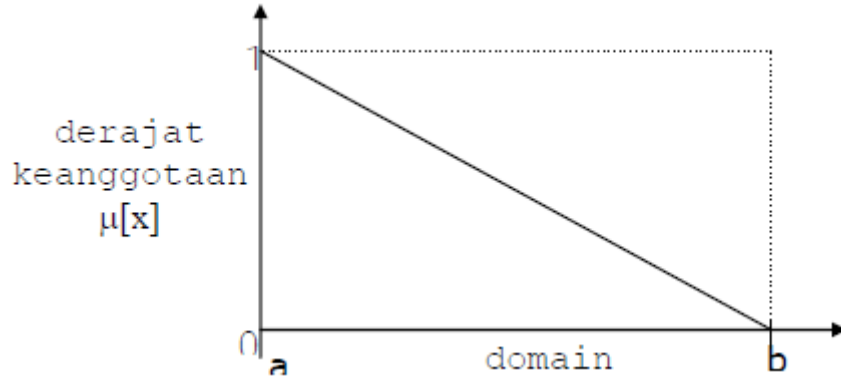


Gambar 2.3 Representasi linear naik

Sumber: Sri (2003)

Fungsi keanggotaan representasi linear naik adalah sebagai berikut :

$$\mu[x] \begin{cases} 0; x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}; a \leq x \leq b \\ 1; x \geq b \end{cases}$$



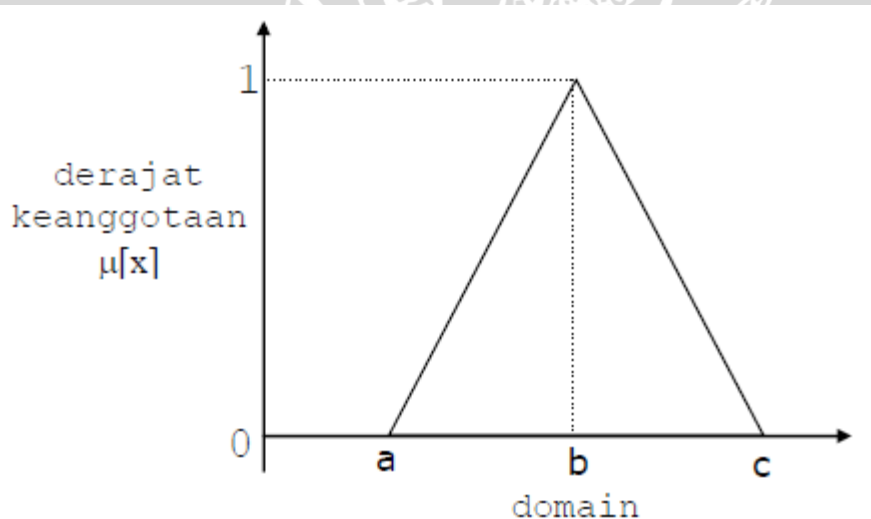
Gambar 2.4 Representasi linear turun
Sumber: Sri (2003)

Fungsi keanggotaan representasi linear turun adalah sebagai berikut :

$$\mu[x] \begin{cases} \frac{b-x}{b-a}; a \leq x \leq b \\ 0; x \geq b \end{cases}$$

2.1.4.2 Representasi Segitiga

Representasi segitiga merupakan gabungan dari dua garis seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.5. Representasi segitiga digunakan bila diinginkan himpunan fuzzy yang mempunyai nilai proporsional terhadap nol maupun satu.



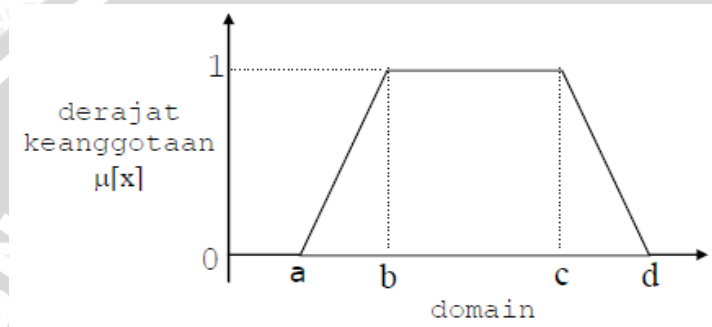
Gambar 2.5 Representasi segitiga
Sumber: Sri (2003)

Fungsi keanggotaan representasi segitiga adalah sebagai berikut :

$$\mu[x] \begin{cases} 0; x \leq a, x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a}; a \leq x \leq b \\ \frac{b-x}{c-b}; b \leq x \leq c \end{cases}$$

2.1.4.3 Representasi Kurva Trapesium

Kurva trapesium pada dasarnya sama seperti segitiga, hanya saja ada beberapa titik yang memiliki nilai keanggotaan 1 seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Representasi trapesium

Sumber: Sri (2003)

Fungsi keanggotaan representasi trapesium adalah sebagai berikut :

$$\mu[x] \begin{cases} 0; x \leq a, x \geq d \\ \frac{x-a}{b-a}; a \leq x \leq b \\ 1; b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}; c \leq x \leq d \end{cases}$$

2.1.5 Fuzzifikasi

Proses fuzzifikasi merupakan proses untuk mengubah variabel non fuzzy menjadi variabel fuzzy. Nilai masukan-masukan yang masih dalam bentuk variabel numerik yang telah dikuantisasi sebelum diolah oleh pengendali logika fuzzy harus diubah terlebih dahulu ke dalam variabel fuzzy. Melalui fungsi keanggotaan yang telah disusun, maka dari nilai-nilai masukan tersebut menjadi informasi fuzzy yang berguna nantinya untuk proses pengolahan secara fuzzy pula.

Proses ini disebut fuzzifikasi (Yan, Ryan dan Power, 1994). Proses fuzzifikasi diekspresikan sebagai berikut :

$$X = \text{fuzzifier}(x_0)$$

Dengan:

X_0 = nilai crisp variabel masukan

X = himpunan fuzzy variabel yang terdefinisi

Fuzzifier = operator fuzzifikasi yang memetakan himpunan crisp ke himpunan fuzzy.

Pedoman memilih keanggotaan untuk proses fuzzifikasi, menurut Yan, J., Ryan, M., dan Power, J. menggunakan :

- Himpunan fuzzy dengan distribusi simetris.
- Himpunan fuzzy yang digunakan berjumlah ganjil, berkaitan erat dengan jumlah kaidah. Umumnya digunakan himpunan fuzzy dengan jumlah 5 atau 7.
- Himpunan fuzzy diatur agar saling menumpuk.
- Fungsi keanggotaan yang digunakan bentuk segitiga atau trapesium.

2.1.6 Kaidah Aturan Fuzzy (*Fuzzy Rule*)

Fuzzy rule adalah bagian yang menggambarkan dinamika suatu sistem terhadap masukan yang dikarakteristikan oleh sekumpulan-sekumpulan variabel linguistic dan berbasis pengetahuan seorang operator ahli. Pernyataan tersebut umumnya dinyatakan oleh suatu pernyataan bersyarat.

Dalam pengendali berbasis fuzzy, aturan pengendalian berbentuk aturan IF-THEN. Untuk sebuah sistem Single Input Single Output (SISO) basis aturan pengendalian fuzzy sebagai berikut

Rule 1 if X is A_1 then Y is B_1

Rule 2 if X is A_2 then Y is B_2

Dengan X dan Y merupakan variabel linguistic, dimana X merupakan variabel masukan dan Y merupakan variabel keluaran sistem. A_1 , A_2 , B_1 , dan B_2 merupakan nilai linguistic dan X dan Y (Yan, Ryan dan Power, 1994).

2.1.7 Metode Defuzzifikasi *Weighted Average*

Defuzzifikasi adalah proses untuk mendapatkan nilai numerik dari data fuzzy yang dihasilkan dari proses inferensi. Proses defuzzifikasi dinyatakan sebagai berikut :

Y_0 = defuzzifier (Y)

Dengan:

X_0 = nilai crisp

X = nilai fuzzy

Defuzzifier = operator defuzzifikasi

Metode *Weighted Average* didefinisikan sebagai berikut :

$$U = \frac{\sum_{i=1}^n w_i u_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

Dengan:

U = keluaran

w_i = bobot nilai benar

u_i = nilai linguistic pada fungsi keanggotaan keluaran

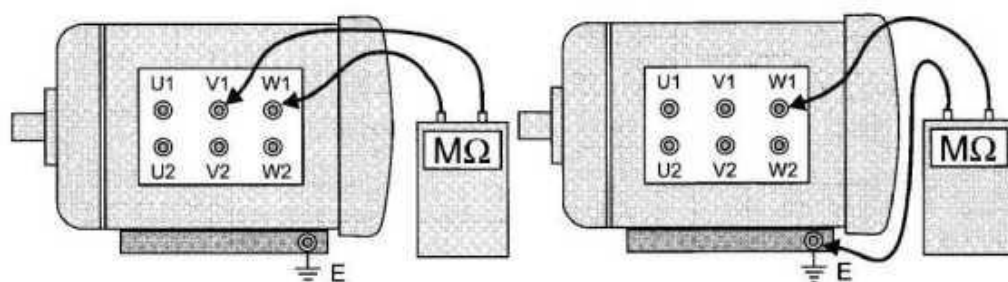
n = banyak derajat keanggotaan

2.2 Tahanan Isolasi

Bahan isolasi adalah bahan yang memberikan tahanan tinggi terhadap aliran arus listrik. Bahan dan ukuran bahan yang digunakan untuk mengisolasi rangkaian listrik haruslah mempunyai tahanan tinggi, biasanya dalam daerah megaohm, terhadap aliran arus. Sebagai contoh, kumparan jangkar generator harus mempunyai isolasi yang memadai untuk mencegah kebocoran arus ke kumparan tetangganya atau ke inti besi jangkar. Operasi dari peralatan listrik seperti transformator, motor, generator dan kabel-kabel bergantung pada pemeliharaan tahanan isolasi yang tepat untuk rangkaian yang bersangkutan.

Dalam banyak hal diinginkan mengukur tahanan isolasi rangkaian listrik secara periodik, sehingga isolasi yang rusak dapat ditemukan sebelum ia menyebabkan kerusakan atau kegagalan pada peralatan. Kerusakan isolasi dapat disebabkan oleh panas, uap air, kerusakan mekanis, reaksi kimia, atau penyebab lain. Dari berbagai metode pengukuran isolasi yang ada, metode voltmeter dan metode Megger merupakan yang paling umum digunakan (Suryatmo,1986).

Pengukuran tahanan isolasi pada motor listrik dilakukan dengan mengukur tahanan isolasi antara fasa dengan fasa dan fasa dengan ground seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.7 (Fluke, 2008).



Gambar 2.7 Pengukuran tahanan isolasi pada motor listrik

Sumber : www.marineinsight.com

Selama beberapa tahun, standar IEEE 43 menggunakan aturan “kv + 1” untuk menentukan nilai minimum tahanan isolasi pada motor listrik. Setelah hampir tiga decade, standar diubah dengan signifikan. IEEE 43 menyatakan bahwa untuk motor dengan tegangan kerja dibawah satu kV nilai tahanan isolasi minimum adalah 5 megaohm. Untuk motor dengan tegangan kerja 460 volt, dengan menggunakan aturan “kv + 1” nilai tahanan isolasi minimum adalah 1,46 megaohm, sedangkan menurut aturan yang sekarang adalah 5 megaohm untuk nilai tahanan isolasi minimum (Bishop, 2008).

Tahanan isolasi menunjukkan kondisi motor listrik. Semakin kecil nilai tahanan isolasi maka kondisi motor semakin buruk. Seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Kondisi Motor Listrik berdasarkan nilai tahanan isolasi

Nilai Tahanan Isolasi (M Ω)	Kondisi Motor
Kurang dari 2	Buruk
2-5	Kritis
5-10	Abnormal
10-50	Cukup
50-100	Baik
Lebih dari 100	Sangat Baik

2.2.1 Megger Penguji Isolasi

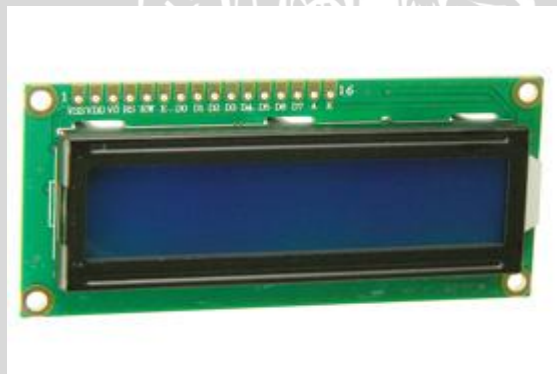
Megger penguji isolasi sangat luas digunakan untuk pengukuran tahanan isolasi. Megger menggunakan sumber tenaga dari baterai dan alat penunjuknya berupa jarum juga. Pada mega ohm meter jenis analog, skala dapat diubah sesuai besarnya tahanan isolasi yang akan diukur, caranya dengan mengubah selector pada meger menuju batas ukur tahanan isolasi pada motor atau generator. Salah satu contoh penggunaan dari alat ukur ini adalah untuk mengukur kemungkinan gangguan lain adalah terjadinya hubung singkat pada belitan antar fasa, antara fasa dengan *body* dan antar belitan pada fasa yang sama (Lister, 1988). Megger ditunjukkan dalam Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Megger
Sumber : www.instrumart.com

2.3 Liquid Crystal Display (LCD)

Liquid Crystal Display (LCD) adalah suatu display dari bahan cairan Kristal yang pengoperasiannya menggunakan sistem dot matriks. LCD banyak digunakan sebagai display alat-alat elektronika seperti kalkulator, multimeter digital, jam digital dan sebagainya. LCD ditunjukkan dalam Gambar 2.9.



Gambar 2.9 *Liquid Crystal Display* (LCD)
Sumber : www.sparkfun.com

Masukan modul LCD berupa bus data dan 3 sinyal kontrol yaitu RS, R/W, dan E. Pengendali dot matriks LCD dilakukan secara internal oleh kontroler yang telah terpasang di dalam modul LCD.

LCD memiliki 16 pin koneksi antarmuka setiap pin memiliki fungsi tertentu. Fungsi masing-masing pin ditunjukkan dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Fungsi pin *Liquid Crystal Display* (LCD)

Pin	Nama pin	Level	Fungsi
1	VSS	0 V	Power ground
2	VDD	+5 V	Power supply for logic
3	V0	-	Contrast adjust
4	RS	High/Low	High : data Low : Command
5	R/W	High/Low	High : read Low : write
6	E	High. High to Low	Enable Signal
7	DB0	High/Low	Data bus bit 0
8	DB1	High/Low	Data bus bit 1
9	DB2	High/Low	Data bus bit 2
10	DB3	High/Low	Data bus bit 3
11	DB4	High/Low	Data bus bit 4
12	DB5	High/Low	Data bus bit 5
13	DB6	High/Low	Data bus bit 6
14	DB7	High/Low	Data bus bit 7
15	LEDA	+5 V	Power supply for LED backlight
16	LEDK	0 V	Power supply for LED Backlight

2.4 Arduino Uno

Arduino / Genuino Uno adalah papan mikrokontroler berdasarkan ATmega328P memiliki 14 digital pin input / output (dimana 6 dapat digunakan sebagai output PWM), 6 input analog, 16 MHz Kristal kuarsa, koneksi USB, jack listrik, header ICSP dan tombol reset. Board Arduino Uno ditunjukkan dalam Gambar 2.10 dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Tegangan operasi : 5V
- Tegangan masukan (dianjurkan) : 7-12V
- Tegangan masukan (batas) : 6-20V

- Digital I / O Pins : 14 (6 output PWM)
- PWM Digital I / O Pins : 6
- Pins Masukan Analog : 6
- DC Current per I / O Pin : 20 mA
- DC saat ini untuk 3.3V Pin : 50 mA
- Flash Memory : 32 kB (ATmega328P)
- SRAM : 2 kB (ATmega328P)
- EEPROM : 1 kB (ATmega328P)
- *Clock Speed* : 16 MHz
- Panjang : 68.6 mm
- Lebar : 53,4 mm
- Berat : 25 g



Gambar 2.10 Board Arduino Uno
sumber: www.arduino.cc

Berikut merupakan komponen penyusun dari modul Arduino Uno ATmega 328P.

2.4.1 ATmega328P

Pada ATmega328P terdapat tiga jenis memori, yaitu *data memory*, *program memory*, dan EEPROM. *Bus* ketiga memori tersebut terpisah, sehingga dapat mengakses ketiga jenis memori tersebut dalam waktu yang bersamaan. ATmega328P menggunakan *Flash Memory* untuk program memori. *Flash Memory* dibagi menjadi dua bagian, yaitu *Boot Loader* dan *Application Program*. Pembagian ini bertujuan untuk keamanan perangkat lunak. *Flash Memory* memiliki ketahanan tulis atau hapus sebanyak 10.000 kali.

SRAM digunakan oleh ATmega328P untuk *data memory*. Kapasitas SRAM dari ATmega328P adalah 2KB. SRAM terbagi menjadi empat bagian yaitu 32 GPR (*General Purpose Register*), 64 I/O register, *Additional I/O register*, dan SRAM Internal. *Data*

memory map dari SRAM. Sifat dari memori ini adalah *volatile* sehingga data yang ada pada SRAM akan hilang ketika sudah tidak diberikan catu daya.

2.4.2 USART

USART (*Universal Synchronous and Asynchronous Serial Receiver and Transmitter*) dapat difungsikan sebagai transmisi data sinkron dan asinkron. Sinkron berarti clock yang digunakan antara *transmitter* dan *receiver* satu sumber *clock*. Asinkron berarti *transmitter* dan *receiver* mempunyai sumber clock yang berbeda. USART terbagi dalam tiga bagian yaitu *clock generator*, *transmitter*, dan *receiver*.

2.4.3 ADC

ADC atau kepanjangan dari *Analog to Digital Converter* merupakan alat yang digunakan untuk mengubah data analog menjadi data digital. Pada Arduino Uno sudah terdapat modul ADC, sehingga dapat langsung digunakan. Fitur ADC yang terdapat pada ATmega328P adalah sebagai berikut:

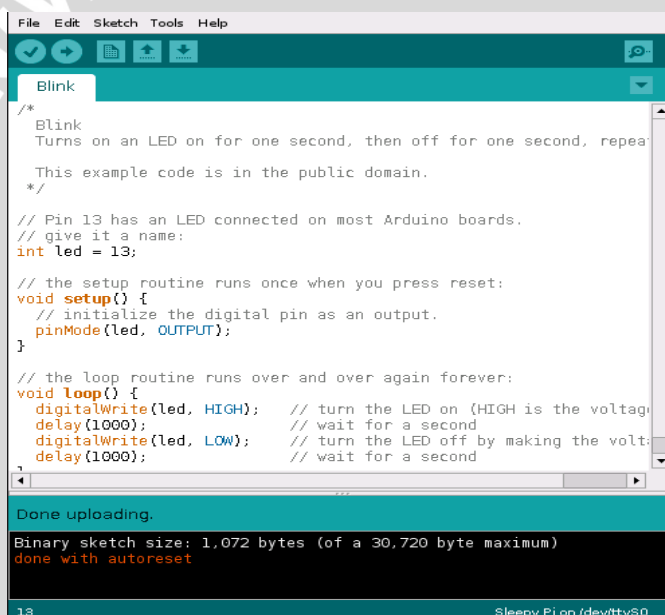
- Resolusi mencapai 10-bit.
- 0,5 LSB *Integral Non-linearity*.
- Akurasi mencapai ± 2 LSB.
- Waktu konversi 13-260 μ s.
- Mempunyai 6 saluran ADC.
- *Optional Left Adjustment* untuk pembacaan hasil ADC.
- 0 - vcc untuk kisaran *input* ADC.
- Disediakan 1,1V tegangan referensi ADC.
- Mode konversi kontinyu.
- Interupsi ADC.
- *Sleep mode noise canceler*.

Sinyal masukan dari pin ADC akan dipilih oleh multiplekser (register ADMUX) untuk diproses oleh ADC. Karena konverter ADC dalam chip hanya satu buah sedangkan saluran masukannya lebih dari satu, maka dibutuhkan multiplekser untuk memilih pin masukan ADC secara bergantian. ADC mempunyai rangkaian untuk mengambil sampel dan menahan tegangan masukan ADC, sehingga tetap dalam keadaan konstan selama proses konversi. Sinyal masukan ADC tidak boleh melebihi tegangan referensi.

2.4.4 Arduino 1.6.7

Arduino 1.6.7 merupakan *open-source Arduino environment* yang digunakan untuk penulisan kode. Dengan menggunakan Arduino 1.6.7 penulisan kode menjadi mudah dan

kode yang ditulis dapat diunggah ke Arduino. *Software* ini dapat digunakan di Windows, Mac OS X, dan Linux. Arduino *environment* ditulis dalam bahasa Java dengan didasarkan pada *Processing*, *avr-gcc*, dan *open source software* lainnya. Bahasa pemrograman Arduino didasarkan pada bahasa pemrograman C/C++ serta terhubung dengan AVR Libc sehingga dapat menggunakan fungsi-fungsi yang terdapat pada AVR Libc. AVR Libc berisi fungsi-fungsi yang digunakan untuk menggunakan AVR, seperti pengaturan register. Pada Arduino 1.6.7 penggunaan AVR Libc dipermudah karena secara default library pada Arduino 1.6.7 sudah mencakup AVR Libc tanpa harus mengetahui AVR Libc mana yang digunakan. Jika dalam penulisan kode membutuhkan AVR Libc, maka penambahan AVR Libc pada header kode program dapat dilakukan. Tampilan Arduino 1.6.7 ditunjukkan dalam Gambar 2.11.



```

File Edit Sketch Tools Help
Blink
/*
  Blink
  Turns on an LED on for one second, then off for one second, repeats.
  This example code is in the public domain.
*/

// Pin 13 has an LED connected on most Arduino boards.
// give it a name:
int led = 13;

// the setup routine runs once when you press reset:
void setup() {
  // initialize the digital pin as an output.
  pinMode(led, OUTPUT);
}

// the loop routine runs over and over again forever:
void loop() {
  digitalWrite(led, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage)
  delay(1000);             // wait for a second
  digitalWrite(led, LOW);  // turn the LED off by making the voltage LOW
  delay(1000);             // wait for a second
}

Done uploading.
Binary sketch size: 1,072 bytes (of a 30,720 byte maximum)
done with autoreset
13 Sleepy Pi on /dev/ttyS0

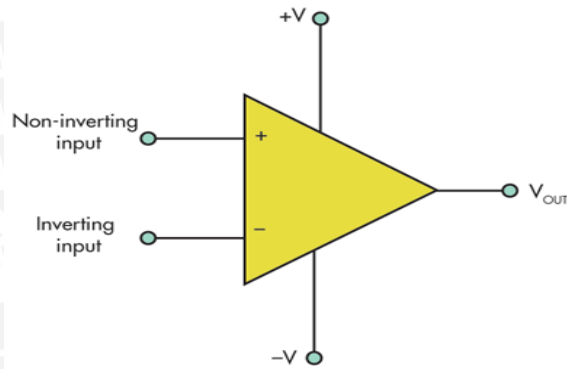
```

Gambar 2.11 Tampilan Arduino 1.6.7

Sumber :spellfoundry.com

2.5 Operational Amplifier

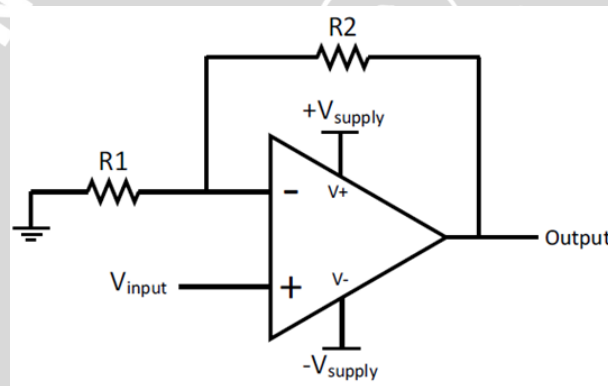
Operational amplifier atau Op-Amp adalah suatu penguat berpenguatan tinggi yang terintegrasi dalam sebuah IC yang memiliki dua *input inverting* dan *non-inverting* dengan sebuah terminal output. Selain sebagai penguat, Op-Amp juga dapat digunakan sebagai filter aktif, pembanding, integrator atau diferensiator, dan multivibrator. Simbol Op-Amp ditunjukkan dalam Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Simbol *Operational Amplifier*
 Sumber : *electronicdesign.com*

2.5.1 Penguat *Non-inverting*

Penguat *Non-Inverting* merupakan penguat sinyal dengan karakteristik dasar sinyal keluaran yang dikuatkan memiliki fasa yang sama dengan sinyal masukan. Penguat *non-inverting* ditunjukkan dalam Gambar 2.13.



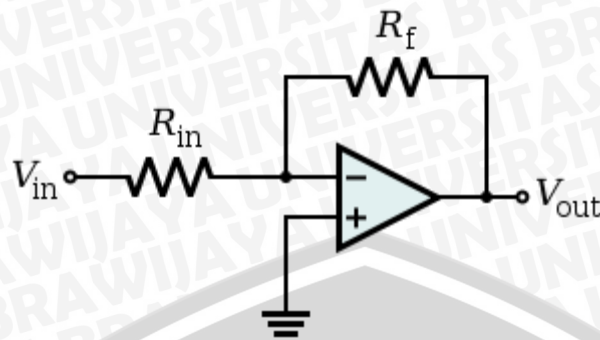
Gambar 2.13 Penguat *Non-Inverting*
 Sumber : *Texas Instruments*

Dengan sinyal masukan yang diberikan pada terminal masukan *non-inverting*, maka besarnya penguatan tegangan rangkaian penguat tak membalik diatas tergantung pada harga R_1 dan R_2 yang dipasang. Besarnya penguatan sinyal keluaran dari rangkaian penguat tak membalik diatas dapat dituliskan dalam persamaan matematis sebagai berikut.

$$A = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \left(\frac{R_2}{R_1} \right) + 1$$

2.5.2 Penguat *Inverting*

Penguat *Inverting* merupakan penguat sinyal dengan karakteristik dasar sinyal keluaran yang dikuatkan memiliki fasa yang berkebalikan dengan sinyal masukan. Penguat *inverting* ditunjukkan dalam Gambar 2.14.



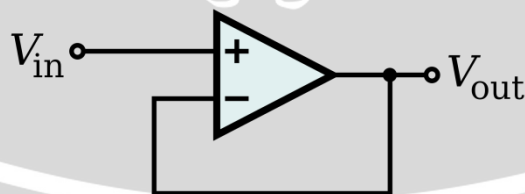
Gambar 2.14 Penguat *Inverting*
 Sumber : *electronicdesign.com*

Dengan sinyal masukan yang diberikan pada terminal masukan *inverting*, maka besarnya penguatan tegangan rangkaian penguat tak membalik diatas tergantung pada harga R_{in} dan R_f yang dipasang. Besarnya penguatan sinyal keluaran dari rangkaian penguat tak membalik diatas dapat dituliskan dalam persamaan matematis sebagai berikut.

$$A = \frac{V_{out}}{V_{in}} = - \left(\frac{R_f}{R_{in}} \right)$$

2.5.3 Op-Amp Sebagai Buffer

Buffer biasanya didefinisikan sebagai rangkaian dengan penguatan satu. Keluaran dari op amp terhubung pada masukan *inverting* dan tegangan masukan dihubungkan pada masukan non *inverting*. Rangkaian penyangga dibangun menggunakan penguat operasional dengan konfigurasi salah satu inputnya digunakan sebagai jalur umpan balik secara langsung tanpa menggunakan resistansi, sehingga nilai resistansi umpan balik adalah 0Ω . Rangkaian op-amp sebagai buffer ditunjukkan dalam Gambar 2.15



Gambar 2.15 Op-Amp sebagai Buffer
 Sumber : *electronicdesign.com*

2.6 LM741

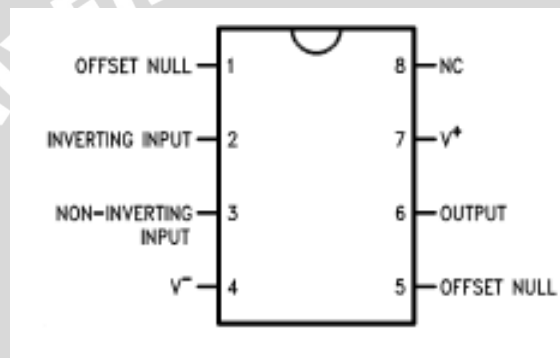
LM741 adalah IC yang umumnya digunakan sebagai penguat. Selain sebagai penguat, LM741 juga dapat digunakan sebagai filter aktif, pembanding, integrator atau diferensiator,

dan multivibrator. Tabel 2.3 menunjukkan *absolute maximum rating* dari IC LM741.

Gambar 2.16 menunjukkan *pin* konfigurasi dari LM741.

Tabel 2.3 *Absolute Maximum Rating Pin* LM741

Parameter	Nilai	Unit
Suplai Tegangan	± 22	V
Disipasi Daya	500	mW
Tegangan Masukan	± 15	V
Tegangan Masukan Diferensial	± 30	V
Suhu Operasi	-50 to 125	$^{\circ}\text{C}$
Suhu Sambungan	150	$^{\circ}\text{C}$
Suhu Penyimpanan	-65 to 150	$^{\circ}\text{C}$



Gambar 2.16 Konfigurasi pin LM741

Sumber: Texas Instruments

Tabel 2.4 Konfigurasi pin LM741

Nama	Pin		I/O	Keterangan
	Nomor			
Inverting Input	2		I	Masukan inverting
NC	8		N/A	Tidak ada hubungan
Non Inverting Input	3		I	Masukan non inverting
Offset Null	1,5		I	Untuk menghilangkan offset tegangan
Output	6		O	Keluaran IC
V+	7		I	Catu tegangan positif
V-	4		I	Catu tegangan negatif

BAB III

METODE PENELITIAN

Penyusunan penelitian ini berdasarkan pada masalah yang bersifat aplikatif, yaitu perencanaan dan perealisasiian alat agar dapat bekerja sesuai dengan yang direncanakan dengan mengacu pada rumusan masalah.

Langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk merealisasikan alat yang akan dibuat adalah sebagai berikut :

3.1 Penentuan Spesifikasi Sistem

Penentuan spesifikasi dari alat ini, bertujuan agar dapat dibuat sesuai yang diinginkan dan dapat bekerja dengan efektif serta efisien. Alat yang dirancang memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- 1) Alat mampu mengukur tahanan untuk orde megaohm.
- 2) Mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Uno dengan resolusi ADC sebesar 10 bit.
- 3) LCD yang digunakan adalah LCD 16x2.
- 4) LM741 digunakan sebagai buffer dan penguat.

3.2 Blok Diagram

Pembuatan diagram blok merupakan dasar dari perancangan sistem agar perancangan dan perealisasiian alat berjalan secara sistematis. Seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram blok sistem

Penjelasan mengenai diagram blok sistem di atas adalah sebagai berikut:

1. Rangkaian sensor berfungsi mengubah masukan berupa tegangan menjadi keluaran berupa tegangan serta mencegah penurunan tegangan pada megger.
2. Rangkaian pengondisi sinyal menggunakan berfungsi menguatkan tegangan keluaran dari sensor sehingga dapat diolah oleh mikrokontroler.

3. Mikrokontroler berfungsi sebagai melakukan konversi data analog menjadi data digital, melakukan konversi tahanan, melakukan perhitungan fuzzy dan menentukan kondisi motor.
4. *Liquid Crystal Display* berfungsi untuk menampilkan data perhitungan dari mikrokontroler.

3.3 Perancangan Perangkat Keras

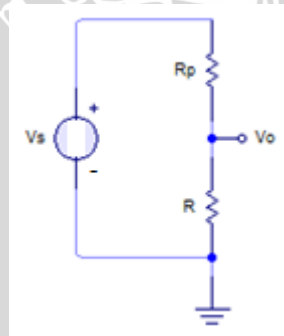
Perancangan perangkat keras alat menjadi beberapa bagian, antara lain:

1. Perancangan rangkaian sensor
2. Perancangan rangkaian pengondisi sinyal
3. Perancangan antarmuka modul mikrokontroler

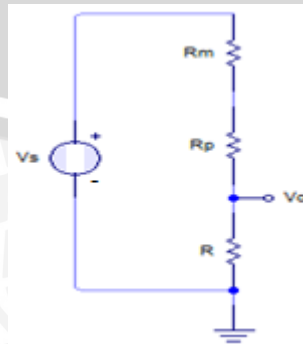
3.3.1 Perancangan Rangkaian Sensor

Rangkaian sensor terdiri dari dua resistor yang dihubungkan secara seri. Untuk mencari nilai resistor dihitung nilainya pada saat keadaan tanpa tahanan dan tahanan maksimum. Rangkaian sensor ditunjukkan dalam Gambar 3.2 dan Gambar 3.3.

1. Sumber tegangan dari megger sebesar 414V.
2. Pada keadaan tanpa tahanan tegangan keluaran sensor adalah sebesar 5V.
3. Pada keadaan dimana tahanan isolasi mencapai nilai maksimum tegangan keluaran sensor sebesar 10 mV



Gambar 3.2 Rangkaian sensor tanpa tahanan



Gambar 3.3 Rangkaian sensor dengan tahanan

Dari Gambar 3.2 dan Gambar 3.3 nilai V_o didapat Persamaan (3-1) dan Persamaan (3-2).

$$R_{sensor} = R_p + R \dots\dots\dots (3-1)$$

$$V_o = \frac{R}{R + R_p + R_m} \times V_s \dots\dots\dots (3-2)$$

Saat tanpa tahanan, maka tegangan keluaran sensor adalah 5V dan R_m adalah nol sehingga didapat Persamaan (3-3).

$$5 = \frac{414R}{R + R_p + 0}$$

$$R_p = 81,8R \dots\dots\dots (3.3)$$

Saat nilai tahanan maksimum yaitu 1000 MΩ, tegangan keluaran sensor adalah sebesar 10mV. Dengan mensubstitusikan nilai ini ke Persamaan (3-2) sehingga didapatkan nilai R.

$$0,01 = \frac{414R}{82,8R + 1000}$$

$$0,828R + 10 = 414R$$

$$413,162R = 10$$

$$R \approx 24,2 \text{ k}\Omega$$

Kemudian mensubstitusikan nilai R kedalam Persamaan (3-2) sehingga didapatkan nilai R_p .

$$R_p = 81,8R$$

$$R_p = 1,98 \text{ M}\Omega$$

Saat menggunakan R_p dan R dengan nilai resistor mendekati sesuai perhitungan, terjadi penurunan tegangan. Sehingga dirancang nilai resistor yang lebih tinggi untuk menghindari penurunan tegangan. Tabel perancangan sensor ditunjukkan dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Perancangan Sensor

Tahanan (MΩ)	Tegangan (V)
11	360,7
13,2	369
15,4	375,1
17,6	379,6
19,8	382
22	387
24,2	390
26,4	390



Dari Tabel 3.1 didapat tegangan mulai stabil pada tahanan $24,2 \text{ M}\Omega$ sehingga digunakan sensor dengan nilai tahanan sebesar $24,2 \text{ M}\Omega$. Nilai ini disubstitusikan ke Persamaan (3-1) Sehingga didapat nilai R_p dan R sebesar :

$$24,2 = R_p + R$$

Dengan mensubstitusikan Persamaan (3-3) didapat nilai R

$$24,2 = 81,8R + R$$

$$24,2 = 82,8R$$

$$R \approx 292 \text{ k}\Omega$$

Kemudian nilai R disubstitusikan ke Persamaan (3-3) didapat nilai R_p

$$R_p = 24,2 - R$$

$$R_p \approx 23,91 \text{ M}\Omega$$

Setelah didapat nilai R_p dan R , kemudian dilakukan perhitungan daya pada resistor yang digunakan. Berikut adalah perhitungan arus pada rangkaian sensor.

$$I = \frac{V_s}{R_p + R}$$

$$I = \frac{414}{24,2} = 17,11 \text{ }\mu\text{A}$$

Setelah nilai arus diketahui, kemudian dilakukan perhitungan daya pada tiap resistor. Berikut adalah perhitungan daya pada R_p dan R .

Daya pada R_p adalah sebesar :

$$P_{R_p} = I^2 \times R_p$$

$$P_{R_p} = (17,11 \times 10^{-6})^2 \times (23,91 \times 10^6)$$

$$P_{R_p} \approx 7 \text{ mW}$$

Daya pada R adalah sebesar :

$$P_R = I^2 \times R$$

$$P_R = (17,11 \times 10^{-6})^2 \times (292 \times 10^3)$$

$$P_R \approx 85,48 \text{ }\mu\text{W}$$

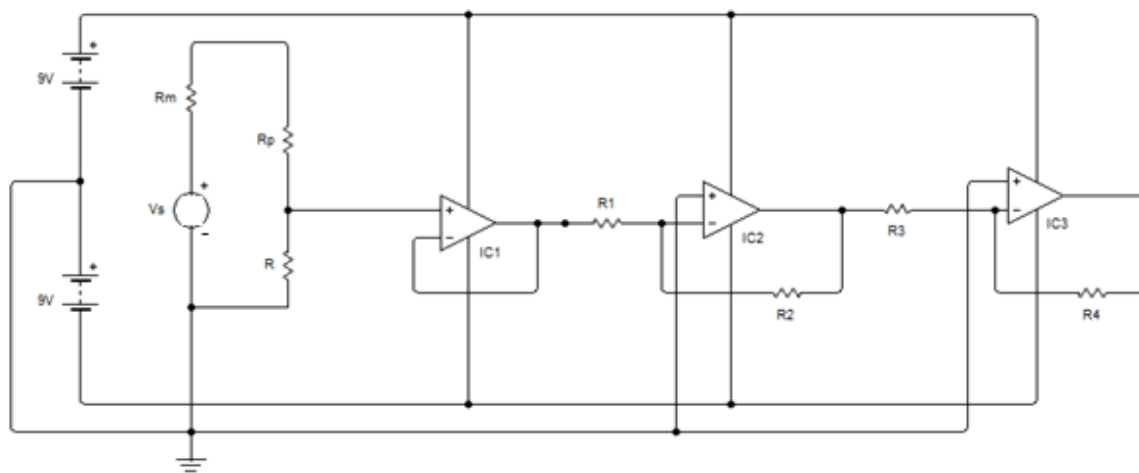
Berdasarkan perhitungan daya pada R_p dan R , maka dipilih resistor dengan daya $0,25$ Watt untuk perancangan sensor.

3.3.2 Perancangan Rangkaian Pengondisi Sinyal

Pada perancangan pengondisi sinyal menggunakan IC LM741 sebagai penguat arus dan tegangan pada sensor. IC LM741 menerima *input* berupa tegangan dari sensor. *Output*

dari IC LM741 adalah tegangan. *Output* IC LM741 dihubungkan ke pin analog pada mikrokontroler sebagai masukan analog untuk kemudian dikonversi menjadi data digital.

IC₁ berfungsi sebagai buffer. IC₂ sebagai penguat invertirng. IC₃ berfungsi sebagai pembalik tegangan dan keluaran dari IC₃ dihubungkan ke mikrokontroler. Seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Rangkaian sensor dan pengondisi sinyal

Tegangan keluaran maksimal sensor adalah sebesar 4,14 V pada saat tanpa tahanan ($R_m = 0$). Untuk mendapatkan tegangan 5 V maka diperlukan penguatan. Berikut perhitungan penguatan dan R_2 :

$$V_{in} = 4,14 \text{ V}$$

$$V_{out} = 5 \text{ V}$$

$$R_1 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$A = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

$$A = \frac{5}{4,14}$$

$$A = 1,2077 \text{ kali}$$

$$A = \frac{R_2}{R_1}$$

$$1,2077 = \frac{R_2}{1000}$$

$$R_2 \approx 1,2 \text{ k}\Omega$$

Sehingga keluaran pada IC₂ menjadi :

$$V_{o2} = -\frac{R_2}{R_1} \times V_{in}$$

$$V_{o2} = -\frac{1,2}{1} \times 4,14$$

$$V_{o2} = -4,96 \text{ volt}$$

IC₃ berfungsi sebagai pembalik tegangan. Berikut perhitungan R₄ pada IC₃ :

$$R_3 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$A = 1 \text{ kali}$$

$$A = \frac{R_4}{R_3}$$

$$1 = \frac{R_4}{1000}$$

$$R_4 = 1 \text{ k}\Omega$$

Sehingga tegangan keluaran IC₃ menjadi :

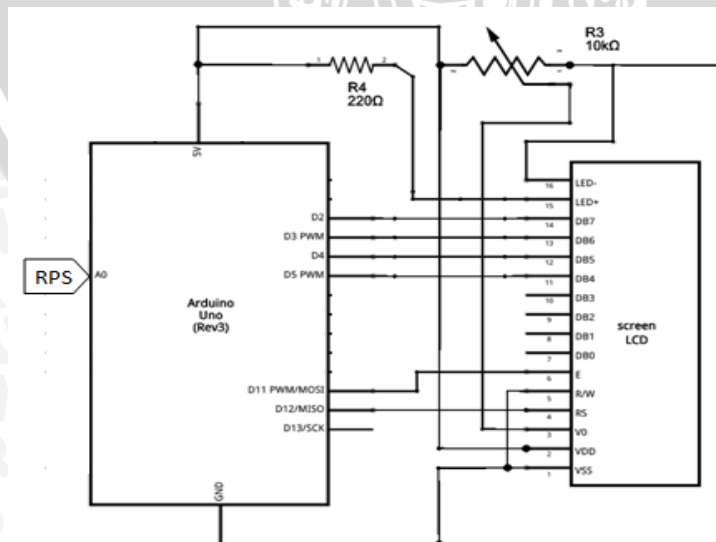
$$V_{o3} = -\frac{R_4}{R_3} \times V_{out2}$$

$$V_{o3} = -\frac{1}{1} \times -4,96$$

$$V_{o3} = 4,96 \text{ volt}$$

3.3.3 Perancangan Antarmuka Modul Mikrokontroler

Mikrokontroler yang digunakan dalam perancangan alat ini adalah Atmega328P yang terangkai pada modul mikrokontroler Arduino Uno. Data analog yang diterima dari rangkaian akan di kirim ke mikrokontroler melalui A0 berupa tegangan. Data analog akan dikonversi menjadi data digital menjadi nilai 10 bit. Kemudian data hasil konversi akan ditampilkan pada LCD. Antarmuka modul mikrokontroler ditunjukkan dalam Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Antarmuka modul mikrokontroler

- 1) Pin VSS LCD dihubungkan ke ground dari mikrokontroler.
- 2) Pin VDD LCD dihubungkan ke tegangan 5V mikrokontroler.
- 3) Pin V0 LCD dihubungkan ke kaki 2 potensiometer. Kaki 1 terhubung ke pin 5V dan kaki 3 terhubung ke ground.
- 4) Pin RS LCD dihubungkan ke pin data 12 mikrokontroler.
- 5) Pin R/W dihubungkan ke ground mikrokontroler.
- 6) Pin E dihubungkan ke pin data 11 mikrokontroler.
- 7) Pin Data 4,5,6, dan 7 LCD dihubungkan ke pin data 5,4,3, dan 2 mikrokontroler.
- 8) Pin Led+ dihubungkan ke resistor 220 Ω kemudian ke pin 5V mikrokontroler.
- 9) Pin Led- dihubungkan ke ground.
- 10) Masukan analog dari rangkaian dihubungkan ke pin A0 mikrokontroler.

3.4 Perancangan Perangkat Lunak

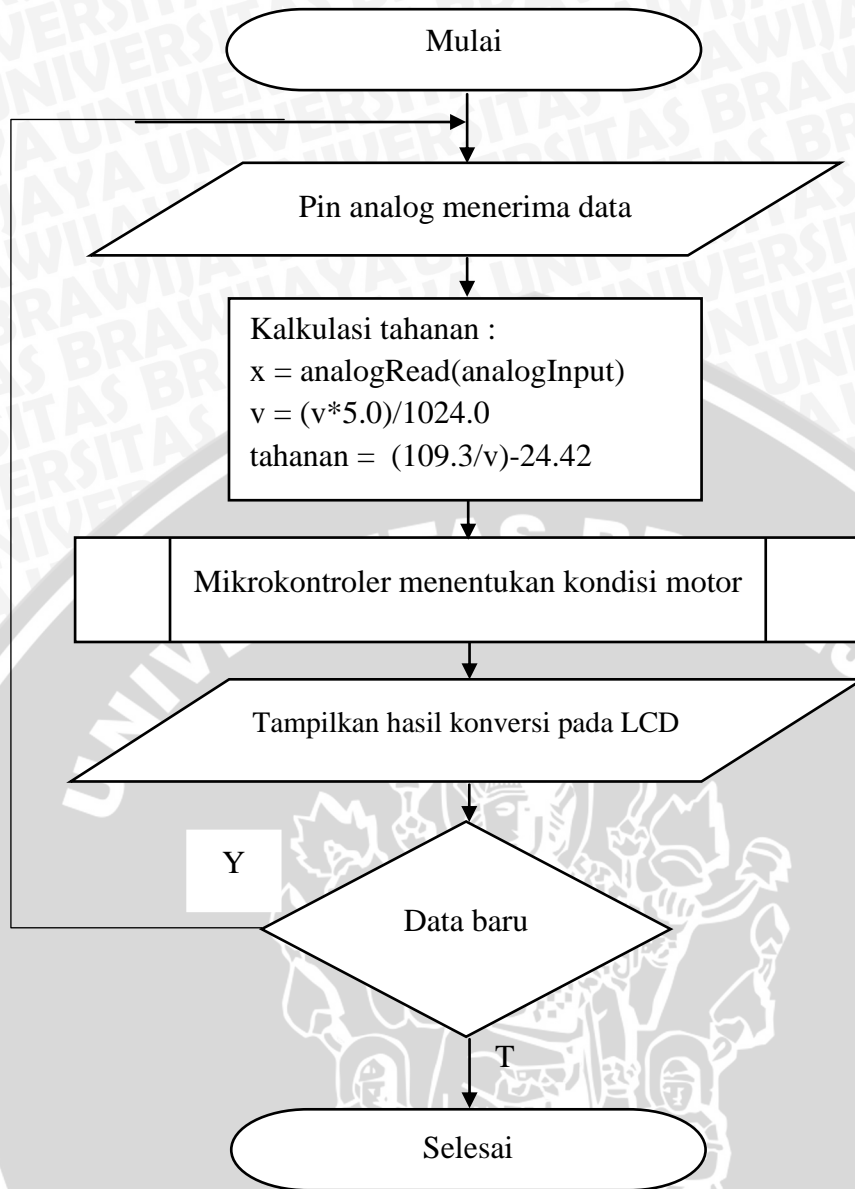
Perancangan program perangkat lunak terdiri dari program utama dan sub program penentuan kondisi motor.

3.4.1 Program Utama

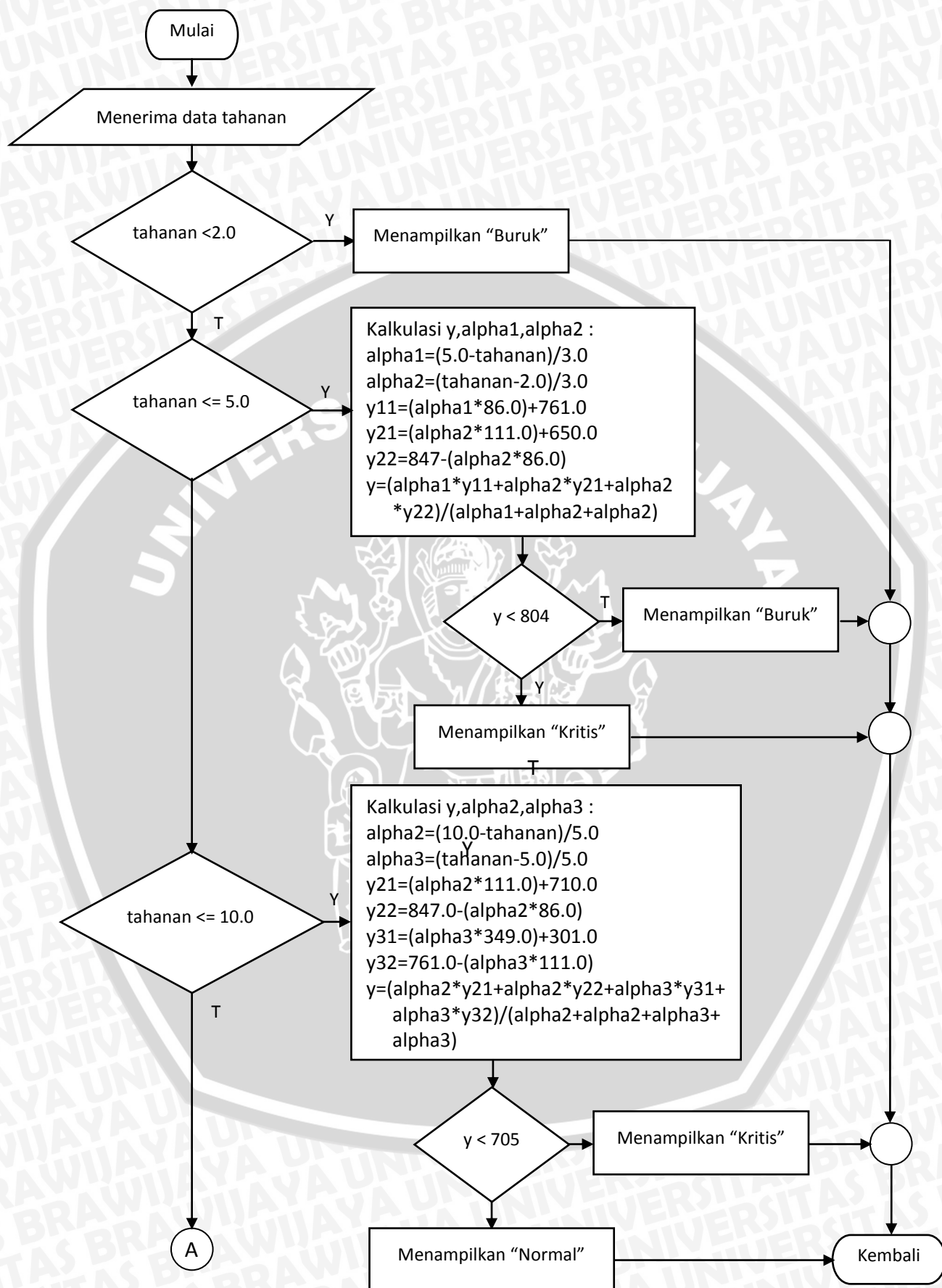
Tujuan program utama adalah mengatur urutan kerja sistem yang diwujudkan melalui suatu algoritma, sehingga sistem mampu menjalankan fungsinya dengan baik. Tugas yang harus dikerjakan oleh program utama meliputi membaca masukan analog, mengkonversi data analog, memanggil sub program dan memberikan perintah untuk menampilkan di LCD. Diagram alir program utama ditunjukkan dalam Gambar 3.6.

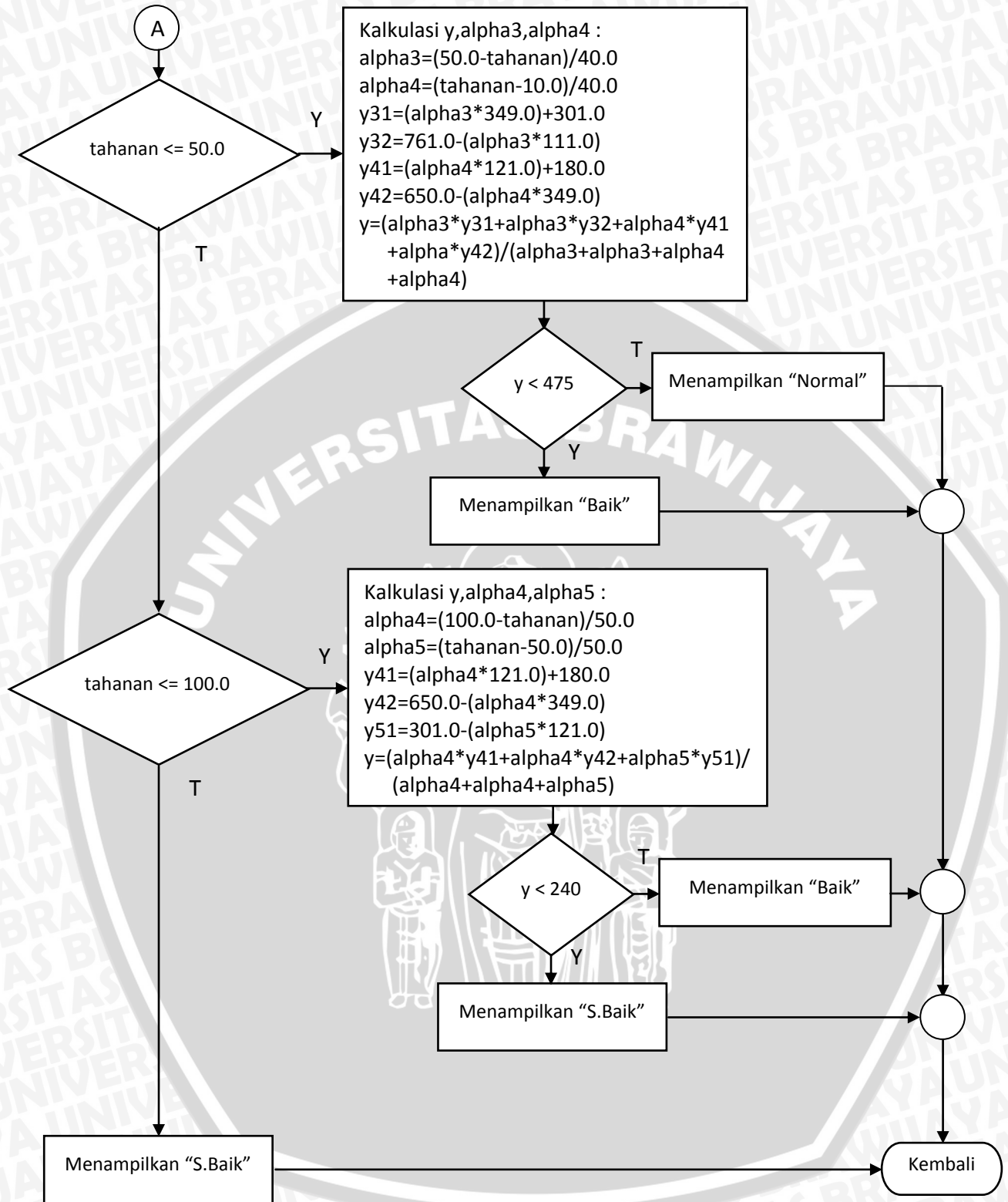
3.4.2 Sub Program Penentuan Kondisi Motor

Sub program penentuan kondisi motor berfungsi untuk menentukan kondisi motor berdasarkan nilai ADC yang didapat dari proses konversi. Diagram alir sub program penentuan kondisi motor ditunjukkan dalam Gambar 3.7.



Gambar 3.6 Diagram alir program utama





Gambar 3.7 Diagram alir sub program penentuan kondisi motor



3.5 Konversi Tahanan

Data tahanan isolasi akan di konversi agar dapat diolah untuk proses perhitungan logika fuzzy di mikrokontroler. Berikut ini adalah perhitungan konversi tahanan.

Tegangan keluaran RPS saat tanpa tahanan adalah sebesar 4,96 volt sehingga didapatkan nilai keluaran ADC sebesar :

$$x = \frac{4,96}{5} \times 1024 = 1015$$

Dari perhitungan di atas didapatkan nilai keluaran ADC sebesar 1015. Nilai ini kemudian digunakan untuk perhitungan konversi tegangan dan selanjutnya konver tahanan. Berikut ini adalah perhitungan konversi tegangan dan tahanan.

$$v = \frac{1015}{1024} \times 5 = 4,96 \text{ volt}$$

$$R_m = \left(\frac{109,3}{4,96} \right) - 24,42 = -2,38 \text{ M}\Omega$$

Dari perhitungan konversi tegangan dan tahanan didapat nilai R_m sebesar $-2,38 \text{ M}\Omega$. Akan tetapi, sesuai dengan program pada mikrokontroler maka yang akan ditampilkan di LCD adalah $0 \text{ M}\Omega$. Selain itu juga dari perhitungan konversi tahanan didapatkan resolusi alat sebesar $0,01 \text{ M}\Omega$.

3.6 Perancangan Logika Fuzzy

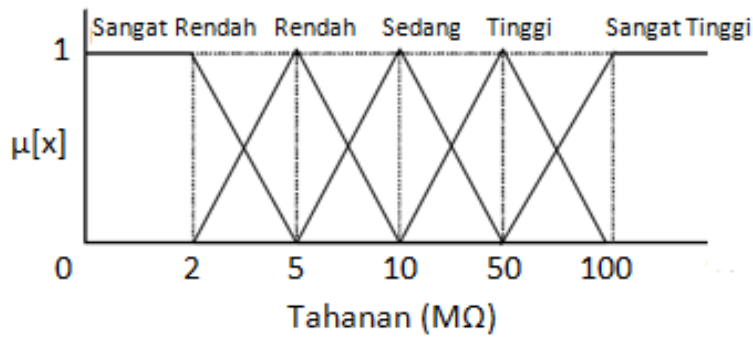
Perancangan logika fuzzy terdiri dari variable masukan dan keluaran, fungsi keanggotaan, fungsi keanggotaan keluaran, perancangan aturan fuzzy, penentuan metode inferensi, dan metode defuzifikasi.

3.6.1 Variabel Masukan dan Keluaran

Perancangan logika fuzzy pada penelitian ini memiliki satu *crisp input* yaitu tahanan isolasi dan satu *crisp output* berupa kondisi motor.

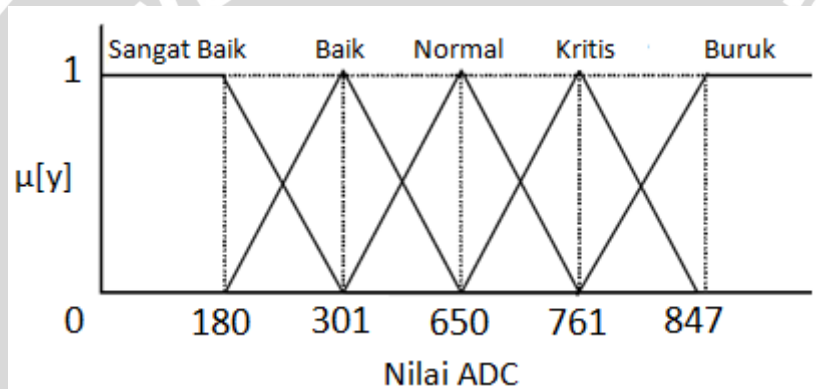
3.6.2 Fungsi Keanggotaan Masukan dan Keluaran

Fungsi keanggotaan masukan memiliki 5 label yaitu, Sangat Rendah, Rendah, Sedang, Tinggi, dan Sangat Tinggi. Nilai masukan dari fungsi keanggotaan didapat dari nilai tahanan isolasi yang dibaca oleh megger. Fungsi keanggotaan masukan ditunjukkan dalam Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Fungsi keanggotaan masukan

Fungsi keanggotaan keluaran memiliki 5 label yaitu Sangat Baik, Baik, Normal, Kritis, dan Buruk. Nilai keluaran dari fungsi keanggotaan merupakan representasi besarnya nilai ADC yang dikeluarkan oleh mikrokontroler. Fungsi keanggotaan keluaran ditunjukkan dalam Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Fungsi keanggotaan keluaran

3.6.3 Perancangan Aturan Fuzzy

Aturan fuzzy digunakan sebagai penentu keluaran dari fuzifikasi yang akan diolah dalam proses defuzifikasi. Aturan fuzzy didapat dari 5 label fungsi keanggotaan. Aturan fuzzy ditentukan sebagai berikut :

1. *If* tahanan isolasi sangat rendah *then* kondisi motor buruk.
2. *If* tahanan isolasi rendah *then* kondisi motor kritis.
3. *If* tahanan isolasi sedang *then* kondisi motor normal.
4. *If* tahanan isolasi tinggi *then* kondisi motor baik.
5. *If* tahanan isolasi sangat tinggi *then* kondisi motor sangat baik.

3.6.4 Penentuan Metode Inferensi Fuzzy

Metode inferensi fuzzy merupakan proses untuk mendapatkan keluaran dari kondisi masukan dengan mengikuti aturan-aturan yang telah ditetapkan. Metode inferensi fuzzy

yang digunakan adalah metode inferensi min dimana aturan min digunakan untuk proses implikasi.

3.6.5 Penentuan Metode Defuzifikasi

Defuzifikasi merupakan proses mengubah keluaran fuzzy menjadi keluaran *crisp*. Hasil defuzifikasi digunakan untuk menunjukkan kondisi motor yang kemudian ditampilkan pada LCD. Metode defuzifikasi yang digunakan adalah metode *weighted average* atau rata-rata terbobot.

3.7 Deskripsi Cara Kerja Sistem

Cara kerja alat ini yaitu, sensor akan menerima masukan berupa tahanan dan mengubah menjadi tegangan keluaran. Kemudian di rangkaian pengondisi sinyal, keluaran dari sensor diberikan penguatan oleh LM 741 agar dapat terbaca oleh mikrokontroler. Keluaran dari pengondisi sinyal akan masuk ke mikrokontroler berupa masukan analog. Di dalam mikrokontroler, oleh ADC masukan analog ini akan dikonversi menjadi data digital yang kemudian akan ditampilkan pada LCD.

3.8 Pengujian Sistem

Untuk menganalisis kinerja alat apakah sesuai dengan yang direncanakan maka dilakukan pengujian rangkaian. Pengujian dilakukan pada masing-masing blok dan kemudian secara keseluruhan sistem. Hal ini diperlukan untuk mengetahui kinerja dari masing-masing blok (kelayakan dari masing-masing komponen) serta memudahkan kita dalam proses *troubleshooting*. Secara garis besar pengujian sistem dilakukan sebagai berikut:

3.8.1 Pengujian Sensor

Pengujian sensor dilakukan untuk mengetahui penurunan tegangan pada megger.

3.8.1.1 Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan untuk pengujian sensor adalah sebagai berikut :

1. *Project board*.
2. Megger
3. Resistor 2,2 M Ω
4. Voltmeter
5. Kabel jumper.

3.8.1.2 Prosedur Pengujian

Pengujian sensor dilakukan dengan menghubungkan megger ke resistor yang dipasang secara seri. Kemudian mengukur tegangan keluaran dari megger. Pengujian

dilakukan pengulangan dengan menambah jumlah resistor yang terhubung seri sampai tegangan keluaran dari megger stabil.

3.8.2 Pengujian Rangkaian Pengondisi Sinyal

Pengujian rangkain pengondisi sinyal bertujuan untuk mengetahui error penguatan tegangan masukan.

3.8.2.1 Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan untuk pengujian rangkaian pengondisi sinyal adalah sebagai berikut:

1. *Project board*.
2. 1 buah potensiometer 10k.
3. 1 buah resistor 1,2 k Ω .
4. 3 buah resistor 1 k Ω .
5. 2 buah IC LM 741.
6. 2 buah baterai 9V.
7. 1 buah voltmeter.
8. Kabel jumper.

3.8.2.2 Prosedur Pengujian

Pengujian ini dilakukan dengan memberi tegangan masukan dengan step 0,41 volt. Kemudian mengukur tegangan keluaran tiap step dan menghitung besar error tegangan keluaran.

3.8.3 Pengujian Analog Digital Converter (ADC)

Pengujian modul mikrokontroler Arduino Uno bertujuan untuk mengetahui apakah perangkat ADC yang digunakan untuk konversi masukan data analog menjadi data digital dapat berfungsi dengan baik.

3.8.3.1 Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan untuk pengujian modul mikrokontroler adalah sebagai berikut:

1. Kabel USB.
2. Komputer.
3. Modul mikrokontroler Arduino Uno.
4. *Project board*.
5. Potensiometer 10k.
6. Kabel jumper

3.8.3.2 Prosedur Pengujian

Pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan mikrokontroller dan komputer melalui kabel USB. Perangkat ADC yang ada dalam modul mikrokontroller Arduino Uno menerima data analog dari rangkaian. Kemudian data tersebut dikonversi menjadi data digital dan dianalisis apakah data yang dikonversi sesuai dengan bit ADC yang digunakan melalui serial monitor pada komputer.

3.8.4 Pengujian Modul *Liquid Crystal Display* (LCD)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui keberhasilan LCD dalam menampilkan karakter sesuai dengan program yang diupload ke mikrokontroler.

3.8.4.1 Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan untuk pengujian LCD adalah sebagai berikut:

1. Komputer.
2. Kabel USB.
3. *Project board*.
4. 1 buah Potensiometer 10k.
5. 1 buah resistor 220 Ω .
6. Modul Arduino Uno.
7. Modul LCD 2x16.
8. Kabel jumper

3.8.4.2 Prosedur Pengujian

Pengujian ini dilakukan dengan membuat program modul mikrokontroller untuk menampilkan karakter yang berisi kalimat “HELLO WORLD”. Kemudian mengamati tampilan karakter yang ditampilkan pada LCD. Diagram blok pengujian LCD ditunjukkan dalam Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Diagram blok pengujian *Liquid Crystal Display* (LCD)

3.7.5 Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian sistem keseluruhan bertujuan untuk mengetahui performansi saat semua blok di gabungkan.

3.7.5.1 Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan untuk pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Megger.
2. Rangkaian pengondisi sinyal.
3. Rangkaian sensor
4. Mikrokontroler.
5. LCD
6. Komputer.
7. Penghubung (*jumper*).

3.7.5.2 Prosedur Pengujian

Pengujian keseluruhan sistem dilakukan dengan mengukur tahanan isolasi dan menentukan kondisi pada hubungan R-Ground. Kemudian pengujian dilakukan pengulangan dengan hubungan S-Ground, dan T-Ground.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Sensor

Pengujian sensor dilakukan pada range tahanan sensor yang merupakan penjumlahan dari R_p dan R dari 2,2 sampai 26,4 $M\Omega$. Hasil pengujian sensor ditunjukkan dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil pengujian sensor

Tahanan ($M\Omega$)	Tegangan (V)
2,2	239,5
4,4	303,3
6,6	332,3
8,8	349,6
11	360,7
13,2	369
15,4	375,1
17,6	379,6
19,8	382
22	387
24,2	390
26,4	390

Berdasarkan tabel di atas, semakin besar tahanan semakin besar tegangan pada megger kemudian tegangan mulai stabil pada tahanan 24,2 $M\Omega$

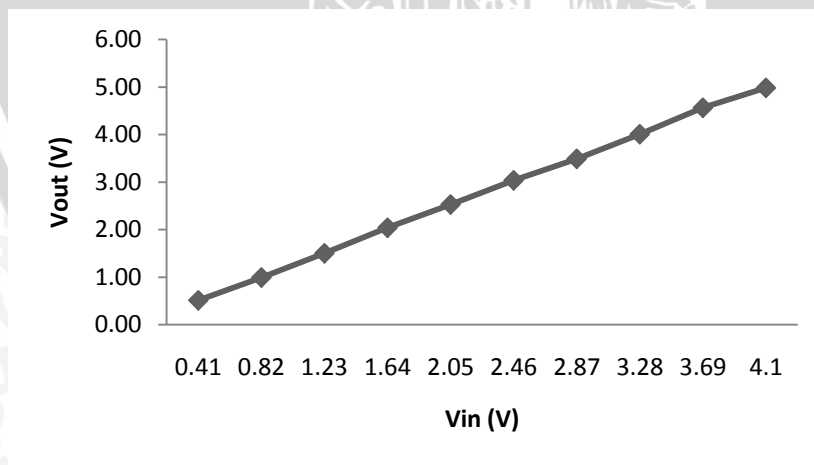
4.2 Hasil Pengujian Rangkaian Pengondisi Sinyal

Pengujian rangkaian pengondisi sinyal dilakukan pada range tegangan masukan 0,41 – 4,1 Volt dengan penguatan 1,2 kali. Hasil pengujian rangkaian pengondisi sinyal ditunjukkan dalam Tabel 4.2 dan Gambar 4.1.

Tabel 4.2 Hasil pengujian rangkaian pengondisi sinyal

Vin (Volt)	Vout (Volt)	Penguatan	Error (%)
0.41	0.51	1.241	3,41
0.82	0.99	1.207	0,57
1.23	1.50	1.218	1,51
1.64	2.04	1.241	3,41
2.05	2.53	1.232	2,65
2.46	3.03	1.233	2,78
2.87	3.49	1.215	1,24
3.28	4.00	1.221	1,75
3.69	4.56	1.236	2,99
4.1	5.09	1.241	3,41
Rata-rata error			2,37

Berdasarkan Tabel 4.2, didapat error paling besar pada pengujian rangkaian pengondisi sinyal adalah 3,41% dan rata-rata error sebesar 2,37%. Hal ini disebabkan karena toleransi pada resistor dan pembacaan pada saat pengukuran.

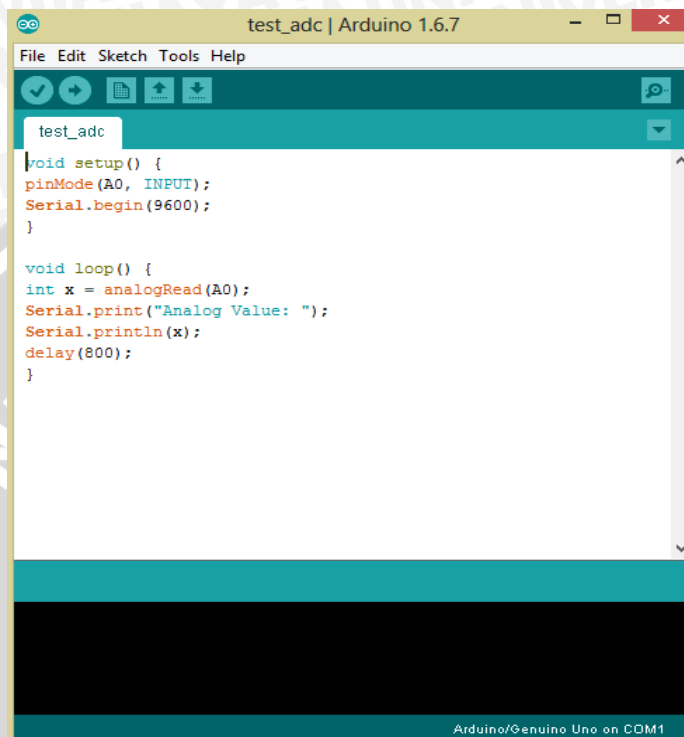


Gambar 4.1 Grafik pengujian rangkaian pengondisi sinyal

Pada Gambar 4.1 terlihat grafik berupa kurva linear dengan hubungan antara tegangan masukan dan tegangan keluaran.

4.3 Hasil Pengujian *Analog Digital Converter* (ADC)

Data yang diterima oleh mikrokontroler adalah data analog dari potensiometer. Oleh ADC data tersebut dikonversi menjadi data digital dengan resolusi 10 bit. Data yang dikirim mikrokontroler ditunjukkan dalam Gambar 4.2. Sedangkan data yang diterima komputer melalui serial monitor ditunjukkan dalam Gambar 4.3.



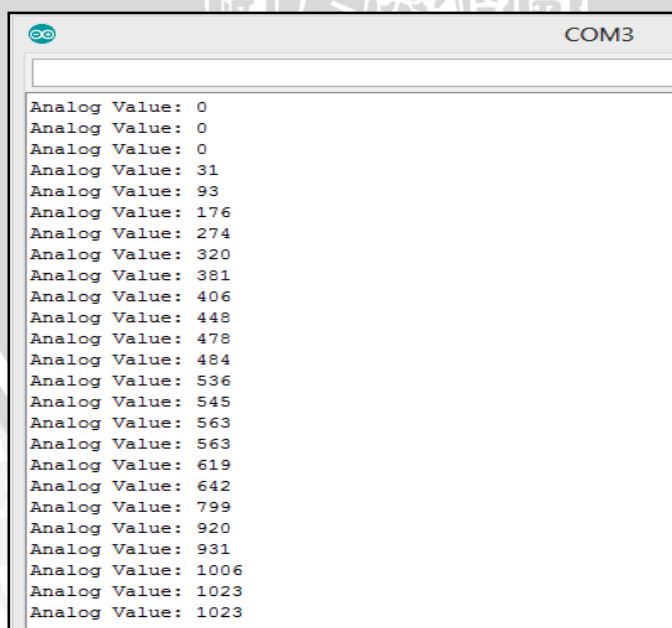
```

test_adc | Arduino 1.6.7
File Edit Sketch Tools Help
test_adc
void setup() {
  pinMode(A0, INPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  int x = analogRead(A0);
  Serial.print("Analog Value: ");
  Serial.println(x);
  delay(800);
}
Arduino/Genuino Uno on COM1

```

Gambar 4.2 Data yang dikirim oleh mikrokontroler



```

COM3
Analog Value: 0
Analog Value: 0
Analog Value: 0
Analog Value: 31
Analog Value: 93
Analog Value: 176
Analog Value: 274
Analog Value: 320
Analog Value: 381
Analog Value: 406
Analog Value: 448
Analog Value: 478
Analog Value: 484
Analog Value: 536
Analog Value: 545
Analog Value: 563
Analog Value: 563
Analog Value: 619
Analog Value: 642
Analog Value: 799
Analog Value: 920
Analog Value: 931
Analog Value: 1006
Analog Value: 1023
Analog Value: 1023

```

Gambar 4.3 Data yang diterima komputer pada serial monitor

4.4 Hasil Pengujian *Liquid Crystal Display (LCD)*

Data yang dikirim oleh mikrokontroler adalah karakter “Hello World”. Kemudian LCD menampilkan data yang dikirim mikrokontroler, seperti ditunjukkan dalam Gambar 4.4 dan Gambar 4.5.



```
test_lcd | Arduino 1.6.7
File Edit Sketch Tools Help
test_lcd $
#include <LiquidCrystal.h>

LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);

void setup()
{
  lcd.begin(16,2);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Hello World");
}

void loop()
{
}
```

Gambar 4.4 Data yang dikirim ke mikrokontroler



Gambar 4.5 Tampilan pada LCD

4.5 Hasil Pengujian Keseluruhan Sistem

Hasil pengujian keseluruhan sistem ditunjukkan dalam Tabel 4.4

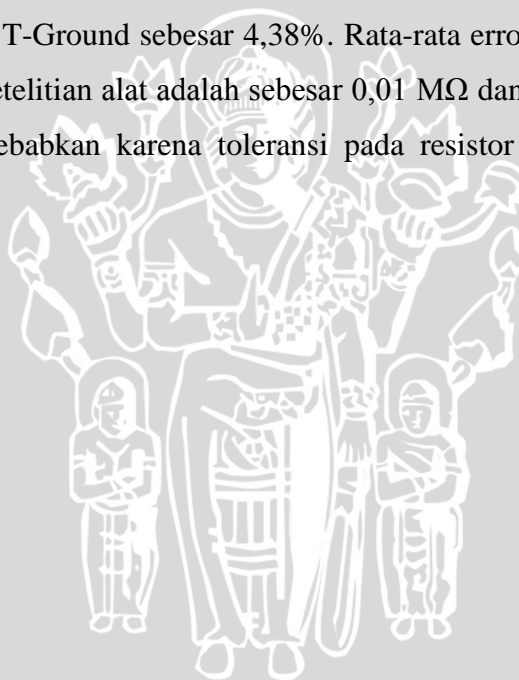
Tabel 4.3 Hasil pengujian keseluruhan sistem

Hubungan	Tahanan (M Ω)*	Tahanan (M Ω **	Kondisi	Error (%)
R – Ground	200	203,99	Sangat Baik	2,00
S – Ground	200	203,99	Sangat Baik	2,00
T – Ground	200	208,75	Sangat Baik	4,38
Rata-rata error				2,79

* Hasil pengukuran menggunakan megger.

** Hasil pengukuran menggunakan alat

Berdasarkan Tabel 4.3, didapat error pada pengujian hubungan R-Ground dan S-Ground sebesar 2,00% serta T-Ground sebesar 4,38%. Rata-rata error sebesar 2,79%. Dari Tabel 4.3 didapatkan juga ketelitian alat adalah sebesar 0,01 M Ω dan ketepatan alat adalah sebesar 2,79%. Hal ini disebabkan karena toleransi pada resistor yang digunakan dan proses pengukuran.



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan rumusan masalah, untuk merancang dan membuat alat yang menerapkan *fuzzy logic* pada pengukuran tahanan isolasi diperlukan pengujian tiap bagian blok dan keseluruhan sistem. Hasil pengujian sistem disimpulkan sebagai berikut:

1. Pengujian sensor dengan *range* tahanan 2,2 M Ω – 26,4 M Ω menggunakan resistor yang dirangkai seri didapatkan tegangan keluaran megger semakin bertambah seiring dengan bertambahnya nilai resistor. Tegangan keluaran megger mulai stabil pada tahanan 24,2 M Ω .
2. Pengujian rangkaian pengondisi sinyal dengan *range* tegangan 0,41 volt – 4,1 volt didapatkan kesalahan paling kecil 0,57 % dan paling besar 3,41 %. Kesalahan rata-rata dari semua pengujian didapatkan sebesar 2,37%.
3. Pengujian keseluruhan sistem didapat error pada hubungan R-Ground sebesar 2,00%, S-Ground sebesar 2,00% dan T-Ground 4,38%. Rata-rata error sebesar 2,79%. Semua hubungan berada pada kondisi sangat baik. Ketelitian dan resolusi alat adalah sebesar 0,01 M Ω dan ketepatan alat adalah sebesar 2,79%.

5.2 Saran

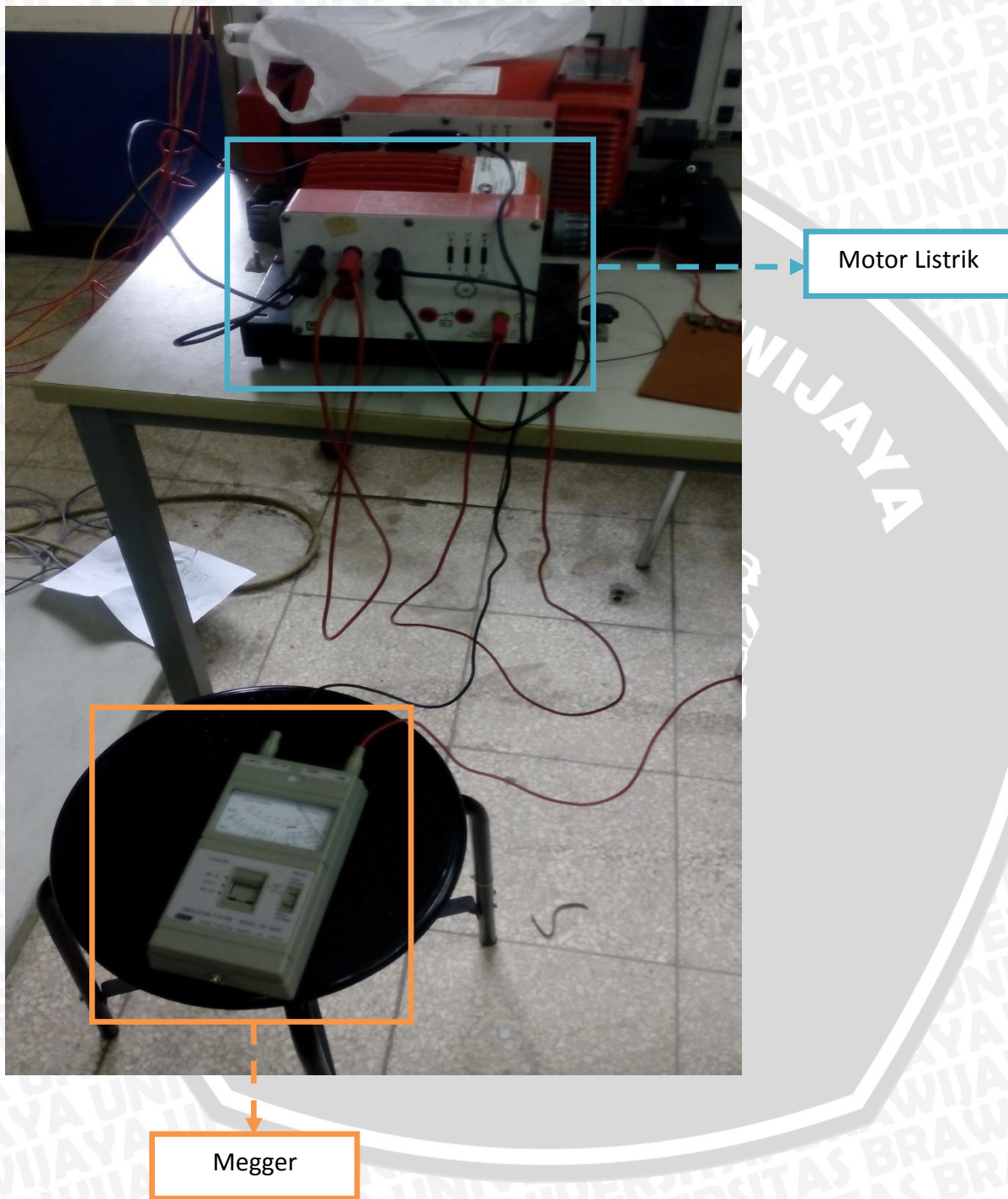
Saran untuk meningkatkan kinerja alat maka akan lebih baik jika pengujian dilakukan dengan resistor variabel yang memiliki nilai sampai megaohm sehingga akan lebih mudah dalam menentukan range ADC dari tiap variabel fuzzy.

DAFTAR PUSTAKA

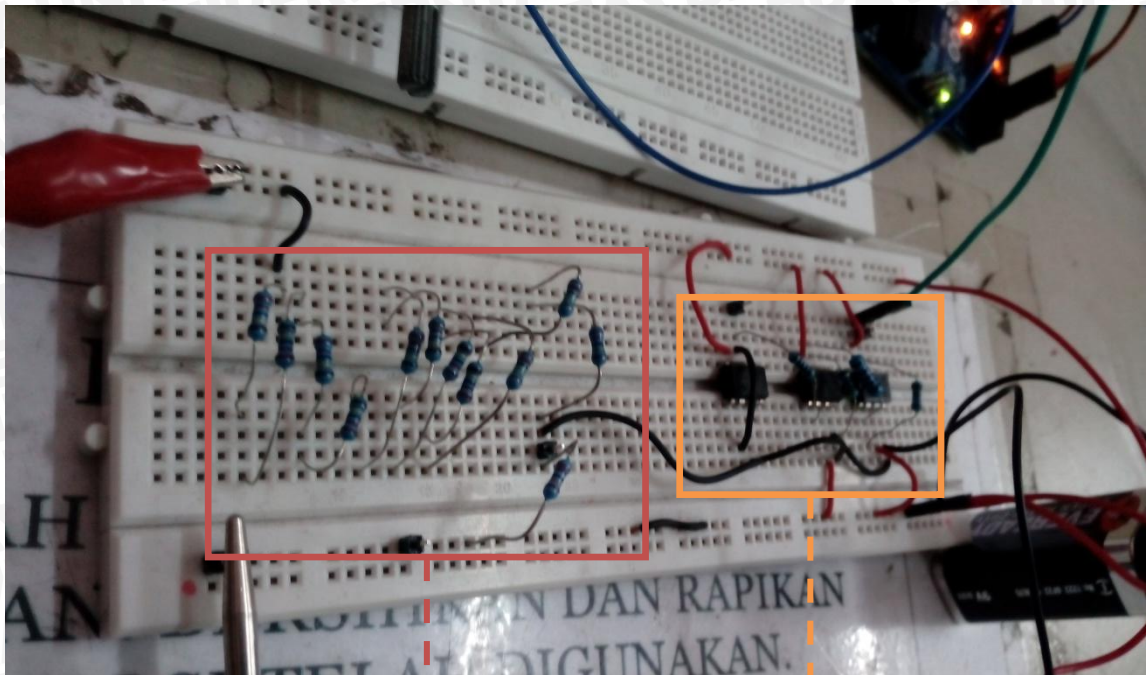
- Bishop, Tom. 2008. *Insulation Resistance Testing : How Many Does Megaohms it Take to Start a Motor?*. New Jersey : Netaworld.
- Coughlin, Robert F.& Driscoll, Frederick F. 1992. *Penguat Operasional dan Rangkaian Terpadu Linear*. Jakarta : Erlangga
- Djuandi, Feri. 2011. *Pengenalan Arduino*. <http://tobuku.com/docs/Arduino-Pengenalan.pdf>. (Diakses 1 Februari 2016).
- Kusumadewi, Sri. 2003. *Artificial Intelligence – Teori dan Aplikasinya*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Lister, Eugene C,. 1988. *Mesin dan Rangkaian Listrik*. Jakarta : Erlangga.
- Suryatmo, F. 1986. *Teknik Digital*. Jakarta : Bina Aksara
- Suryatmo, F. 1986. *Teknik Listrik Pengukuran*. Jakarta : Bina Aksara
- Texas Instruments. 2015. *LM741 Operational Amplifier*. United States of America : Texas Instruments.
- Xiamen Ocular. 2001. *Specifications of LCD Module*. <https://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/GDM1602K-Extended.pdf>. (Diakses 2 Februari 2016).
- Yan, Jun.,Ryan,Michael .& Power,James. 1994. *Using Fuzzy Logic Towards Intelligent System*. London : Prentice Hall.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Alat



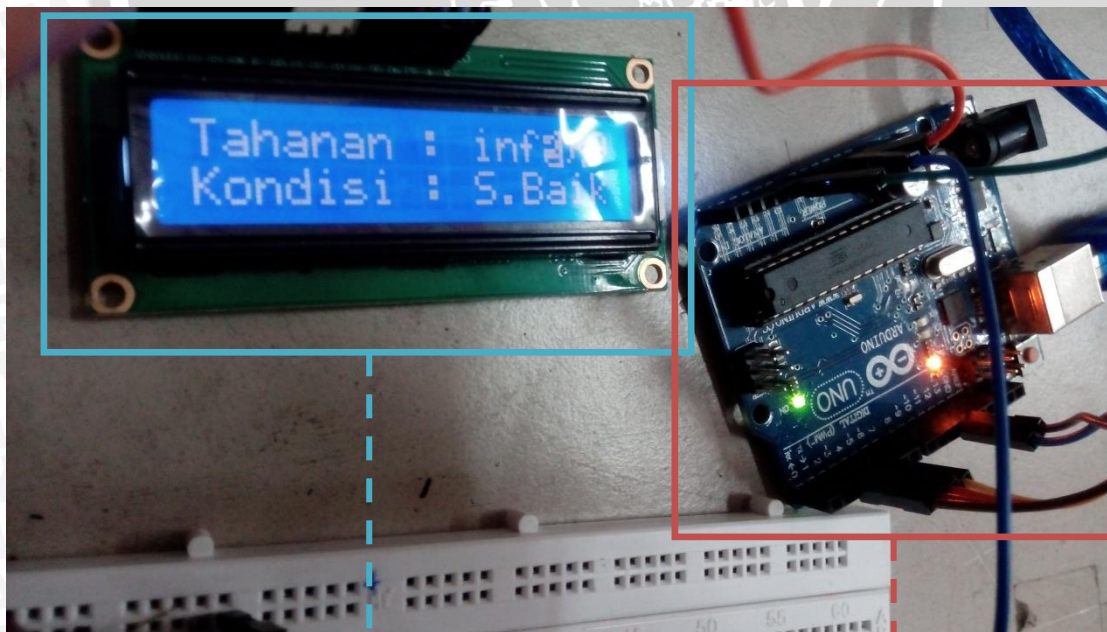
Gambar 1. Megger dan Motor Listrik



Sensor

Blok Pengondisi Sinyal

Gambar 2. Sensor dan Blok Pengondisi Sinyal



LCD

Mikrokontroler

Gambar 3. LCD dan Mikrokontroler

Lampiran 2. Listing Program

```
#include<LiquidCrystal.h>//inisialisasi library LCD
LiquidCrystal lcd(12,11,5,4,3,2);//pin yang digunakan pada interface dengan LCD
float v=0.0;//tegangan RPS
int analogInput=0;//pin masukan untuk RPS
int x=0;//nilai keluaran ADC
int y=0;//nilai hasil defuzifikasi
float tahanan=0.0;//tahanan isolasi motor

void setup() {
  lcd.begin(16,2);//inisialisasi kolom dan baris LCD
  lcd.clear();//clear tampilan LCD
}

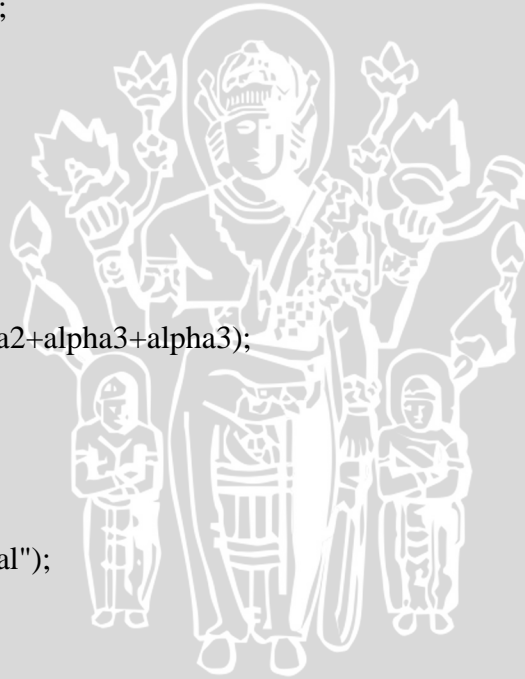
void loop() {
  x = analogRead(analogInput);
  v=(x*5.0)/1024.0;//konversi nilai keluaran ADC menjadi tegangan
  tahanan=(109.3/v)-24.42;//konversi nilai tegangan menjadi tahanan
  lcd.setCursor(0,0);//setting tampilan pada kolom dan baris 0
  lcd.print("Tahanan :");//menampilkan nilai tahanan di LCD
  lcd.println(tahanan);
  delay(1000);
  if(tahanan<=0.0)//pembandingan tahanan
  {
    tahanan=0.0;
    lcd.println(tahanan);
  }
  else if(tahanan<2.0)
  {
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Kondisi : Buruk");
    delay(1000);
  }
  else if(tahanan<=5.0)
  {
```

```

int y11=0;/*inisialisasi variable yang digunakan untuk perhitungan fuzzy
int y21=0;
int y22=0;
int a=0;
int b=0;
int c=0;
float alpha1=0.0;
float alpha2=0.0;*/
alpha1=(5.0-tahanan)/3.0;//perhitungan nilai keanggotaan
alpha2=(tahanan-2.0)/3.0;//angka setelah kata "alpha" menunjukkan rule yang digunakan
y11=(alpha1*86.0)+761.0;/*perhitungan fungsi implikasi
y21=(alpha2*111.0)+650.0;
y22=847-(alpha2*86.0);*/
a=alpha1*y11;
b=alpha2*y21;
c=alpha2*y22;
y=(a+b+c)/(alpha1+alpha2+alpha2);//defuzifikasi
if(y<804)//penentuan kondisi motor
{
  lcd.setCursor(0,1);//set tampilan pada kolom 0 dan baris 1
  lcd.print("Kondisi : Kritis");//menampilkan kondisi motor di LCD
  delay(1000);
}
else
{
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Kondisi : Buruk");
  delay(1000);
}
}
else if(tahanan<=10)
{
  int y21=0;
  int y22=0;

```

```
int y31=0;
int y32=0;
int a=0;
int b=0;
int c=0;
int d=0;
float alpha2=0.0;
float alpha3=0.0;
alpha2=(10.0-tahanan)/5.0;
alpha3=(tahanan-5.0)/5.0;
y21=(alpha2*111.0)+710.0;
y22=847.0-(alpha2*86.0);
y31=(alpha3*349.0)+301.0;
y32=761.0-(alpha3*111.0);
a=alpha2*y21;
b=alpha2*y22;
c=alpha3*y31;
d=alpha3*y32;
y=(a+b+c+d)/(alpha2+alpha2+alpha3+alpha3);
if(y<705)
{
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Kondisi : Normal");
  delay(1000);
}
else
{
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Kondisi : Kritis");
  delay(1000);
}
}
else if(tahanan<=50)
{
```




```

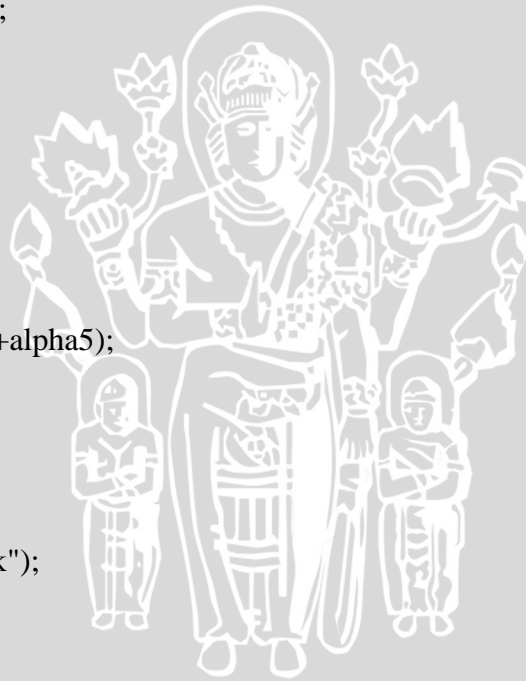
int y31=0;
int y32=0;
int y41=0;
int y42=0;
int a=0;
int b=0;
int c=0;
int d=0;
float alpha3=0.0;
float alpha4=0.0;
alpha3=(50.0-tahanan)/40.0;
alpha4=(tahanan-10.0)/40.0;
y31=(alpha3*349.0)+301.0;
y32=761.0-(alpha3*111.0);
y41=(alpha4*121.0)+180.0;
y42=650.0-(alpha4*349.0);
a=alpha3*y31;
b=alpha3*y32;
c=alpha4*y41;
d=alpha4*y42;
y=(a+b+c+d)/(alpha3+alpha3+alpha4+alpha4);
if(y<475)
{
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Kondisi : Baik");
    delay(1000);
}
else
{
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Kondisi : Normal");
    delay(1000);
}
}

```



```
else if(tahanan<=100)
{
  int y41=0;
  int y42=0;
  int y51=0;
  int a=0;
  int b=0;
  int c=0;
  float alpha4=0.0;
  float alpha5=0.0;
  alpha4=(100.0-tahanan)/50.0;
  alpha5=(tahanan-50.0)/50.0;
  y41=(alpha4*121.0)+180.0;
  y42=650.0-(alpha4*349.0);
  y51=301.0-(alpha5*121.0);
  a=alpha4*y41;
  b=alpha4*y42;
  c=alpha5*y51;
  y=(a+b+c)/(alpha4+alpha4+alpha5);
  if (y<240)
  {
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Kondisi : S.Baik");
    delay(1000);
  }
  else
  {
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Kondisi : Baik");
    delay(1000);
  }
}
else
{

```



```

lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Kondisi : S.Baik");
delay(1000);
}
}

```

Lampiran 3. Datasheet LM741

LM741 Operational Amplifier

1 Features

- Overload Protection on the Input and Output
- No Latch-Up When the Common-Mode Range is Exceeded

2 Applications

- Comparators
- Multivibrators
- DC Amplifiers
- Summing Amplifiers
- Integrator or Differentiators
- Active Filters

3 Description

The LM741 series are general-purpose operational amplifiers which feature improved performance over industry standards like the LM709. They are direct, plug-in replacements for the 709C, LM201, MC1439, and 748 in most applications.

The amplifiers offer many features which make their application nearly foolproof: overload protection on the input and output, no latch-up when the common-mode range is exceeded, as well as freedom from oscillations.

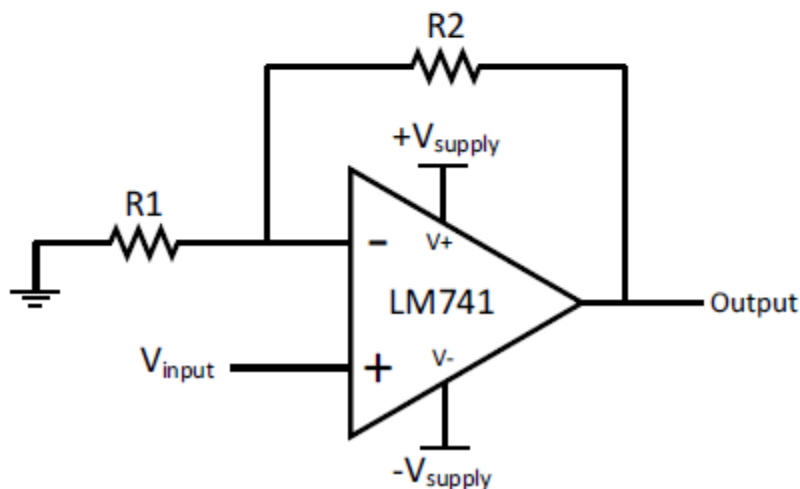
The LM741C is identical to the LM741 and LM741A except that the LM741C has their performance ensured over a 0°C to +70°C temperature range, instead of -55°C to +125°C.

Device Information⁽¹⁾

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LM741	TO-99 (8)	9.08 mm × 9.08 mm
	CDIP (8)	10.16 mm × 6.502 mm
	PDIP (8)	9.81 mm × 6.35 mm

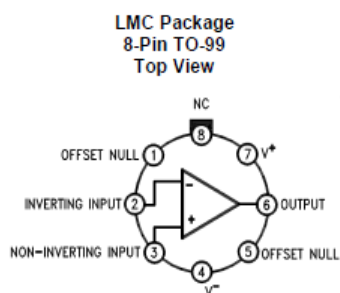
(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.

Typical Application

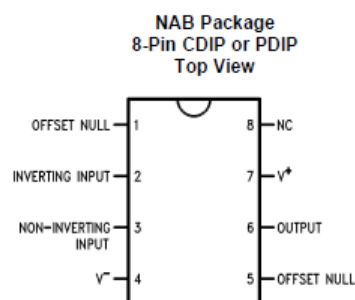


Ac
Go

5 Pin Configuration and Functions



LM741H is available per JM38510/10101



Pin Functions

PIN		I/O	DESCRIPTION
NAME	NO.		
INVERTING INPUT	2	I	Inverting signal input
NC	8	N/A	No Connect, should be left floating
NONINVERTING INPUT	3	I	Noninverting signal input
OFFSET NULL	1, 5	I	Offset null pin used to eliminate the offset voltage and balance the input voltages.
OFFSET NULL			
OUTPUT	6	O	Amplified signal output
V+	7	I	Positive supply voltage
V-	4	I	Negative supply voltage

6 Specifications

6.1 Absolute Maximum Ratings

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾

		MIN	MAX	UNIT
Supply voltage	LM741, LM741A		±22	V
	LM741C		±18	
Power dissipation ⁽⁴⁾			500	mW
Differential input voltage			±30	V
Input voltage ⁽⁵⁾			±15	V
Output short circuit duration			Continuous	
Operating temperature	LM741, LM741A	-50	125	°C
	LM741C	0	70	
Junction temperature	LM741, LM741A		150	°C
	LM741C		100	
Soldering information	PDIP package (10 seconds)		260	°C
	CDIP or TO-99 package (10 seconds)		300	°C
Storage temperature, T _{stg}		-65	150	°C

6.3 Recommended Operating Conditions

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

		MIN	NOM	MAX	UNIT
Supply voltage (VDD-GND)	LM741, LM741A	±10	±15	±22	V
	LM741C	±10	±15	±18	
Temperature	LM741, LM741A	-55		125	°C
	LM741C	0		70	

6.4 Thermal Information

THERMAL METRIC ⁽¹⁾		LM741			UNIT
		LMC (TO-99)	NAB (CDIP)	P (PDIP)	
		8 PINS	8 PINS	8 PINS	
R _{θJA}	Junction-to-ambient thermal resistance	170	100	100	°C/W
R _{θJC(top)}	Junction-to-case (top) thermal resistance	25	—	—	°C/W

6.5 Electrical Characteristics, LM741⁽¹⁾

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Input offset voltage	$R_S \leq 10 \text{ k}\Omega$	$T_A = 25^\circ\text{C}$		1	5	mV
		$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			6	mV
Input offset voltage adjustment range	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20 \text{ V}$			± 15		mV
Input offset current	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			20	200	nA
				85	500	
Input bias current	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			80	500	nA
					1.5	
Input resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20 \text{ V}$		0.3	2		M Ω
Input voltage range	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$		± 12	± 13		V
Large signal voltage gain	$V_S = \pm 15 \text{ V}, V_O = \pm 10 \text{ V}, R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$	$T_A = 25^\circ\text{C}$		50	200	V/mV
		$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			25	
Output voltage swing	$V_S = \pm 15 \text{ V}$	$R_L \geq 10 \text{ k}\Omega$		± 12	± 14	V
		$R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$		± 10	± 13	
Output short circuit current	$T_A = 25^\circ\text{C}$			25		mA
Common-mode rejection ratio	$R_S \leq 10 \Omega, V_{CM} = \pm 12 \text{ V}, T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$		80	95		dB
Supply voltage rejection ratio	$V_S = \pm 20 \text{ V to } \pm 5 \text{ V}, R_S \leq 10 \Omega, T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$		86	96		dB
Transient response	Rise time	$T_A = 25^\circ\text{C}, \text{ unity gain}$		0.3		μs
	Overshoot			5%		
Slew rate	$T_A = 25^\circ\text{C}, \text{ unity gain}$			0.5		V/ μs
Supply current	$T_A = 25^\circ\text{C}$			1.7	2.8	mA
Power consumption	$V_S = \pm 15 \text{ V}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$		50	85	mW
		$T_A = T_{AMIN}$		60	100	
		$T_A = T_{AMAX}$		45	75	

Lampiran 4. Datasheet *Liquid Crystal Display* (LCD)

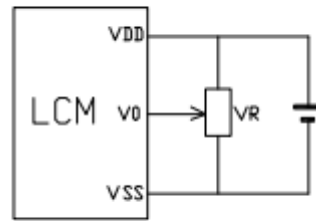
Absolute maximum ratings

Item	Symbol	Standard			Unit
Power voltage	$V_{DD} - V_{SS}$	0	-	7.0	V
Input voltage	V_{IN}	V_{SS}	-	V_{DD}	
Operating temperature range	V_{OP}	0	-	+50	$^\circ\text{C}$
Storage temperature range	V_{ST}	-20	-	+60	

Interface pin description

Pin no.	Symbol	External connection	Function
1	V_{SS}	Power supply	Signal ground for LCM (GND)
2	V_{DD}		Power supply for logic (+5V) for LCM
3	V_0		Contrast adjust
4	RS	MPU	Register select signal
5	R/W	MPU	Read/write select signal
6	E	MPU	Operation (data read/write) enable signal
7~10	DB0~DB3	MPU	Four low order bi-directional three-state data bus lines. Used for data transfer between the MPU and the LCM. These four are not used during 4-bit operation.
11~14	DB4~DB7	MPU	Four high order bi-directional three-state data bus lines. Used for data transfer between the MPU
15	LED+	LED BKL power supply	Power supply for BKL "A" (+4.2V)
16	LED-		Power supply for BKL "K" (GND)

Contrast adjust



$V_{DD}-V_0$: LCD Driving voltage
 VR: 10k~20k

Electrical characteristics

DC characteristics

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
Supply voltage for LCD	$V_{DD}-V_0$	$T_a=25^{\circ}\text{C}$	-	4.6	-	V
Input voltage	V_{DD}		4.7	-	5.5	
Supply current	I_{DD}	$T_a=25^{\circ}\text{C}$, $V_{DD}=5.0\text{V}$	-	1.5	2.5	mA
Input leakage current	I_{LKG}		-	-	1.0	uA
“H” level input voltage	V_{IH}		2.2	-	V_{DD}	V
“L” level input voltage	V_{IL}	Twice initial value or less	0	-	0.6	
“H” level output voltage	V_{OH}	$LOH=-0.25\text{mA}$	2.4	-	-	
“L” level output voltage	V_{OL}	$LOH=1.6\text{mA}$	-	-	0.4	
Backlight supply voltage	V_F		-	4.2	4.6	

