

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penguat Operasional

Penguat operasional atau disebut dengan Op-Amp (Operational Amplifier) adalah suatu penguat beda (penguat diferensial) yang mempunyai penguatan tegangan sangat tinggi dengan impedansi masukan tinggi dan impedansi keluaran rendah. Op-Amp merupakan rangkaian terintegrasi yang dikemas dalam bentuk chip, sehingga sangat praktis penggunaannya. Penggunaan Op-Amp sangat luas, termasuk diantaranya sebagai osilator, filter, rangkaian instrumentasi [2].

Penguat operasional atau yang biasa disebut Op-Amp merupakan suatu jenis penguat elektronika dengan sambatan arus searah yang memiliki bati (*faktor penguatan*) sangat besar dengan dua masukan dan satu keluaran. Penguat operasional pada umumnya tersedia dalam bentuk sirkuit terpadu dan yang paling banyak digunakan adalah seri 741 [3].

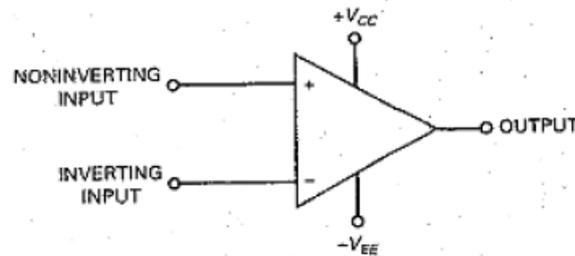
Penguat operasional adalah perangkat yang sangat efisien dan serba guna. Contoh penggunaan penguat operasional adalah untuk operasi matematika sederhana seperti penjumlahan dan pengurangan terhadap tegangan listrik hingga dikembangkan kepada penggunaan aplikatif seperti komparator dan osilator dengan distorsi rendah [3].

Penguat operasional dalam bentuk rangkaian terpadu memiliki karakteristik yang mendekati karakteristik penguat operasional ideal tanpa perlu memperhatikan apa yang terdapat di dalamnya. Karakteristik penguat operasional ideal adalah :

1. Bati tegangan tidak terbatas.
2. Impedansi masukan tidak terbatas.
3. Impedansi keluaran nol.
4. Lebar pita tidak terbatas.
5. Tegangan *offset* nol (kondisi ketika masukan sebesar nol) [3].

Pada rangkaian, Op-Amp biasa dilambangkan seperti pada gambar 1. Pada gambar 1 dapat dilihat bahwa terdapat dua buah input, yaitu input *inverting* dan

non-inverting. Pada **Gambar 2.1** tersebut, terdapat pula dua sumber masukan sebagai sumber daya dari Op-Amp tersebut, yaitu tegangan positif (+Vcc) dan tegangan negative (- Vee) [4].



Gambar 2.1 Simbol Op-Amp pada rangkaian [4]

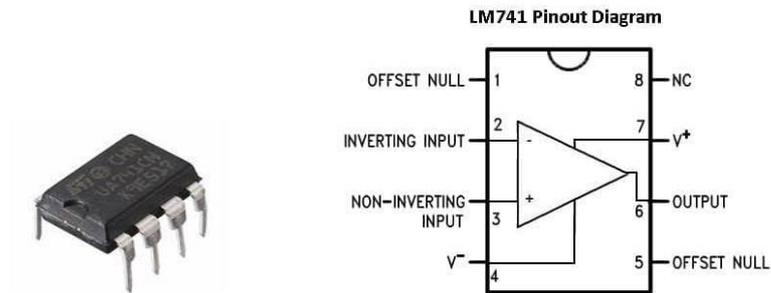
Untuk dapat memahami sistem kerja dari Op-Amp, maka perlu diketahui terlebih dahulu beberapa sifat-sifat Op-Amp ideal, yaitu :

- a. Perbedaan tegangan input (V_{dm}) = 0
- b. Arus input Op-Amp (i_a) = 0
- c. Penguat lingkaran terbuka (AVOL) tak berhingga.
- d. Hambatan keluaran lingkaran terbuka ($R_{o,ol}$) nol.
- e. Hambatan masukan lingkaran terbuka ($R_{i,ol}$) tak berhingga.
- f. Lebar pita (bandwidth) tak berhingga atau Δf tak berhingga
- g. Common Mode Rejection Ratio (CMRR) tak berhingga [4].

Tabel 2.1 Perbandingan Op-Amp ideal dengan LM 741

	Ideal Op-Amp	LM 741
Voltage gain, A	∞	200.000
Input resistance	$\infty \Omega$	2 M Ω
Output resistance	0 Ω	75 Ω

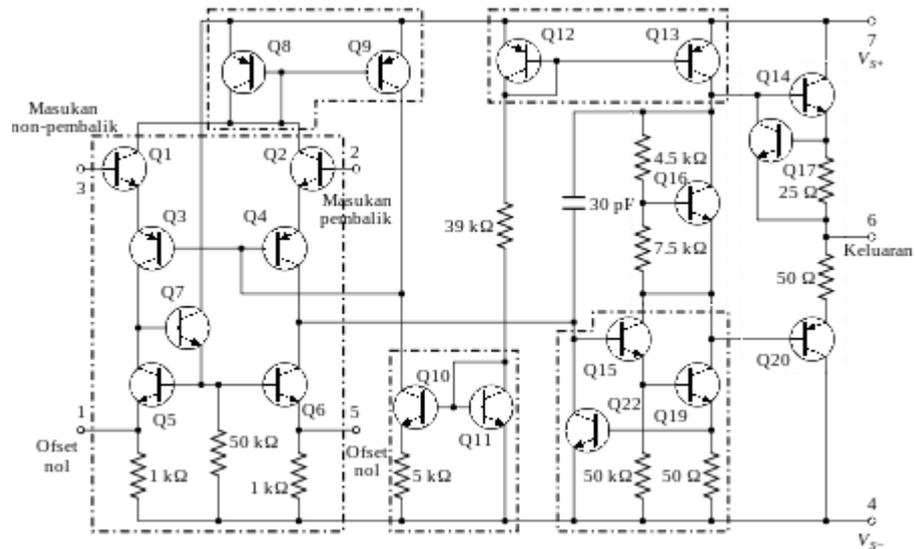
Op-Amp LM-741 mempunyai 8 kaki yang mana masing-masing kaki mempunyai fungsi masing-masing [4].



Gambar 2.2 IC dan kaki-kaki Op-Amp LM 741 [4]

Penjelasan kaki Op-Amp LM-741, yaitu :

- A. Kaki 1 : Offset Null. Kaki ini berfungsi untuk mengontrol offset tegangan untuk meminimalkan kebocoran, karena Op-Amp berjenis differensial.
- B. Kaki 2 : Inverting Input. Kaki ini berfungsi sebagai masukan pada Op-Amp. Sifat keluaran dari masukan melalui kaki ini, yaitu fasa sinyal keluaran akan berlawanan dengan sinyal masukan.
- C. Kaki 3 : Non-Inverting Input. Kaki ini berfungsi sebagai masukan pada Op-Amp. Sifat keluaran dari masukan melalui kaki ini, yaitu fasa sinyal keluaran akan berfasa sama dengan sinyal masukan.
- D. Kaki 4 : V negatif. Kaki ini berfungsi sebagai sumber daya tegangan negatif pada Op-Amp agar dapat bekerja.
- E. Kaki 5 : Offset Null. Fungsi kaki ini sama dengan kaki 1.
- F. Kaki 6 : Output. Kaki ini berfungsi sebagai keluaran dari Op-Amp.
- G. Kaki 7 : V positif. Kaki ini berfungsi sebagai sumber daya tegangan positif.
- H. Kaki 8 : Not Connected. Kaki ini berfungsi pelengkap kemasan standar komponen 8-pin. Kaki ini tidak terhubung ke manapun pada rangkaian [4].



Gambar 2.3 Bagian dalam LM 741 [3]

Pada diagram skema di atas digambarkan susunan bagian dalam sirkuit terintegrasi penguat operasional seri 741. Nomor-nomor yang terdapat di dekat terminal pada gambar menunjukkan nomor kaki terminal pada sirkuit terintegrasi 741 jenis 8-pin. Pin nomor 8 tidak terhubung dengan sirkuit [3].

Ada beberapa hal menarik tentang sirkuit internal 741. Yang pertama adalah transistor masukan terhubung dengan konfigurasi pengikat emiter NPN yang keluarannya terhubung secara langsung kepada sepasang transistor PNP yang terkonfigurasi sebagai penguat basis bersama. Konfigurasi ini memisahkan masukan dan mencegah sinyal umpan balik yang mungkin memiliki efek berbahaya yang bergantung pada frekuensi [3].

Pasangan transistor pada bagian yang diwarnai dengan warna merah pada diagram disebut *cermin arus*, di mana basis terhubung langsung dengan kolektor pada salah satu transistor dari tiap pasangan dan kedua transistor saling terhubung pada emiter. Penggunaan cermin arus pada sirkuit masukan, yaitu pasangan transistor dan serta pasangan dan, memungkinkan masukan menerima ayunan tegangan ragam bersama tanpa melewati rentang daerah aktif tiap transistor dalam sirkuit. Sedangkan cermin arus ketiga, yaitu pasangan transistor dan membentuk cermin arus yang agak berbeda dengan resistor bernilai 5K terhubung secara seri dengan emiter membatasi arus kolektor menjadi hampir nol sehingga dapat menjadi

hubungan impedansi tinggi kepada catu daya negatif dan tidak membebani sirkuit masukan [3].

Keunikan lain dalam sirkuit internal ditunjukkan dengan warna hijau, di mana kedua resistor bias transistor terhubung sedemikian hingga tidak terlihat adanya sinyal masukan kepada basis transistor. Bila diasumsikan tidak ada arus basis yang mengalir pada transistor, dan nilai sebesar 0,625 Volt maka menurut hukum Ohm akan diperlukan arus sebesar $0,625 \text{ V} \div 7,5 \text{ K} = 0,0833 \text{ mA}$ melalui resistor antara basis dan kolektor.^[9] Arus tersebut juga harus mengalir melalui resistor antara basis dan emiter sehingga menimbulkan tegangan jepit sebesar $0,0833 \text{ mA} \times 4,5 \text{ K} = 0,375 \text{ V}$ sehingga menghasilkan total tegangan jepit melalui dua resistor sebesar $0,625 \text{ V} + 0,375 \text{ V} = 1,0 \text{ V}$. Hal ini digunakan untuk memberikan beda tegangan internal sebesar 1 Volt berapa pun tegangan keluaran keseluruhan sirkuit [3].

2.2. Fungsi Operational Amplifier

Penguat operasional atau sering disebut Op-Amp merupakan komponen elektronika yang berfungsi untuk memperkuat sinyal arus searah (DC) maupun arus bolak-balik (AC). Penguat operasional terdiri atas transistor, resistor dan kapasitor yang dirangkai dan dikemas dalam rangkaian terpadu (*Intregated Circuit*) [4].

Dalam penggunaannya Op-Amp dibagi menjadi dua jenis yaitu penguat linier dan penguat tidak linier. Penguat linier merupakan penguat yang tetap mempertahankan bentuk sinyal masukan, yang termasuk dalam penguat ini antara lain penguat non inverting, penguat inverting, penjumlah diferensial dan penguat instrumentasi. Sedangkan penguat tidak linier merupakan penguat yang bentuk sinyal keluarannya tidak sama dengan bentuk sinyal masukannya, diantaranya komparator, integrator, diferensiator, pengubah bentuk gelombang dan pembangkit gelombang [4].

2.3. Sejarah Perkembang Op-Amp

Pengembangan rangkaian terpadu IC luar telah ada sejak tahun 1960, pertama telah dikembangkan pada “chip” silikon tunggal. Rangkaian terpadu itu merupakan susunan antara transistor, dioda sebagai penguat beda dan pasangna Darlington. Kemudian tahun 1963 industri semikonduktor Fairchild memperkenalkan IC OP-AMP pertama kali μA 702, yang mana merupakan pengembangan IC OP-AMP yang lain sebelumnya, dimana tegangan sumber (Catu Daya) dibuat tidak sama yaitu $+U_{CC} = +12$ V dan $-U_{EE} = -6$ V, dan resistor inputnya rendah sekali yaitu (40 KW) dan gain tegangan (3600 V/V)[4].

IC tipe $\mu A702$ ini tidak direspon oleh industri-industri lain karena tidak universal. Tahun 1965 Fairchild memperkenalkan IC MA709 merupakan kelanjutan sebagai tandingan dari $\mu A702$. Dengan banyak kekhususan tipe $\mu A709$ mempunyai tegangan sumber yang simetris yaitu $+U_{CC} = 15$ V dan $-U_{EE} = -15$ V, resistan input yang lebih tinggi (400 KW) dan gain tegangan yang lebih tinggi pula (45.000 V/V) [4].

IC $\mu A709$ merupakan IC linear pertama yang cukup baik saat itu dan tidak dilupakan dalam sejarah dan merupakan generasi OP-AMP yang pertama kali. Generasi yang pertama OP-AMP dari Motorola yaitu MC1537.

Beberapa hal kekurangan OP-AMP generasi pertama yaitu :

- a. Tidak adanya proteksi hubung singkat. Karena OP-AMP sangat rawan terhadap hubung singkat ke grounding, maka seharusnya proteksi ini penting.
- b. Suatu kemungkinan problem “latch up”. Tegangan output dapat di “latch up” sampai pada beberapa harga yang karena kesalahan dari perubahan inputnya.
- c. Memerlukan Jaringan frekuensi eksternal sebagai kompensasi (dua kapasitor dan resistor) untuk operasi yang stabil.

Selanjutnya tahun 1968 teknologi OP-AMP dikembangkan oleh Fairchild dengan IC $\mu A741$ yang telah dilengkapi proteksi hubung singkat, stabil, resistor input yang lebih tinggi (2 MW), gain tegangan yang ekstrim (200.000 V/V) dan kemampuan offset null (zerro offset). OP-AMP 741 termasuk generasi kedua dan

IC yang lain juga termasuk OP-AMP generasi kedua yaitu LM101, LM307, μ A748 dan MC1558 merupakan OP-AMP yang berfungsi secara umum sebagaimana LM307. Untuk tipe – tipe OP-AMP yang khusus seperti mengalami peningkatan dari segi kegunaan atau fungsinya seperti : LM318 (dengan kecepatan tinggi sekitar 15 MHz). Lebar band kecil dengan “slew rate” 50 V/ μ S. IC μ A 771 merupakan OP-AMP dengan input bias arus yang rendah yaitu 200 pA dan “slew rate” yang tinggi 13 V/ μ S. Lalu μ A714 yaitu IC OP AMP yang presisi dengan noise rendah (1,3 μ A/10C), offset tegangan yang rendah (75 μ V), offset arus yang rendah (2,8 nA). Tipe IC OP- AMP lain yaitu μ A791 merupakan OP-AMP sebagai penguat daya (Power Amplifier) dengan kemampuan arus output 1A. Dan IC OP-AMP μ A776 adalah OP-AMP yang multi guna bisa diprogram. Generasi–generasi yang akhir inilah yang banyak dijumpai dalam pameran–pameran untuk pemakaian–pemakaian khusus [4].

IC linear dalam pengembangannya tidak cukup hanya disitu saja bahkan sudah dibuat blok–blok sesuai keperluan seperti untuk keperluan konsumen (audio, radio dan TV), termasuk keperluan industri seperti (timer, regulator dan lain-lainnya). Bahkan belakangan ini dikembangkan OP-AMP dengan teknologi BI-FET dan “laser trimming”. Karena dengan teknologi BI-FET lebar band bisa ditekan dan “slew rate” cepat, bersama ini pula bias arus rendah dan offset input arus rendah. Contoh tipe OP-AMP BI–FET LF351, dan LF353 dengan input bias (200 pA) dan offset arus (100 pA), bandwidth gain unity yang besar (4 MHz), dan “slew rate” yang cepat (13V/MS) dan ditambah lagi pin kaki–kakinya sama dengan IC μ A741 (yang ganda) dan IC MC1458 [4].

Industri Motorola melanjutkan pengembangan OP-AMP dengan teknologi “Trimming dan BI-FET” (disingkat TRIMFET) untuk memperoleh kepresisian karakteristik input dengan harga yang rendah, contoh MC34001/MC34002/MC34004 masing–masing adalah OP-AMP tunggal, ganda dan berjumlah empat (*guard*) [4].

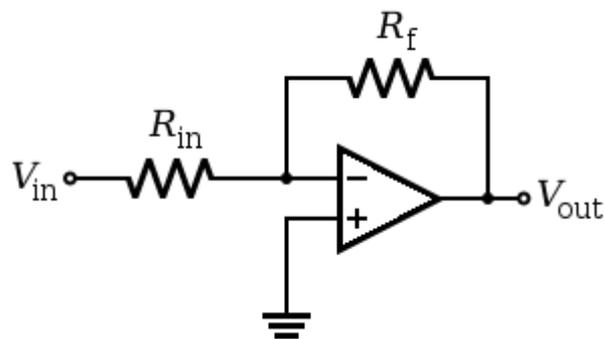
2.4. Jenis-Jenis Rangkaian Penguat Op-Amp (*Operational Amplifier*)

2.4.1. Penguat Op-Amp Linear

Penguat Op-Amp linear adalah salah satu jenis penguat op-amp dimana tetap mempertahankan sinyal aslinya atau sinyal masukannya. Misalnya bila sinyal masukannya sinusoidal, maka sinyal keluarannya juga sinusoidal [5]. Di penguat op-amp linear terdapat 3 penguat op-amp yaitu penguat tegangan balik (*inverting*), penguat tegangan tak pembalik (*non-inverting*), dan penguat penjumlah.

2.4.1.1. Penguat Tegangan Pembalik (*Inverting Voltage Amplifier*)

Rangkaian Op-Amp dasar yang menyediakan penguatan tegangan membalik ini ditunjukkan pada **Gambar 2.4** Ini adalah rangkaian yang sangat berguna yang juga menyediakan landasan untuk rangkaian-rangkaian Op-Amp lainnya. Dari gambar rangkaian tersebut menunjukkan bahwa rangkaiannya adalah suatu rangkaian umpan balik karena resistor R_f menyediakan jalur umpan balik dari output ke input Op-Amp. Umpan balik tersebut adalah jenis umpan balik negatif karena sinyal umpan baliknya dihubungkan ke terminal pembalik [4].



Gambar 2.4 Penguat Tegangan Pembalik [3]

Sebuah penguat pembalik menggunakan umpan balik negatif untuk membalik dan menguatkan sebuah tegangan. Resistor R_f melewati sebagian sinyal keluaran kembali ke masukan. Karena keluaran tak-sefase sebesar 180° , maka nilai keluaran tersebut secara efektif mengurangi besar masukan. Ini mengurangi penguatan keseluruhan dari penguat dan disebut dengan umpan balik negatif [4].

Pada prinsipnya sebuah penguat operasional (*operational amplifier*) ideal memiliki impedansi masukan yang sangat besar hingga dinyatakan sebagai impedansi masukan tak terhingga (*infinite input impedance*). Kondisi penguat operasional yang memiliki impedansi masukan tak terhingga tersebut menyebabkan tidak adanya arus yang melewati masukan membalik (*inverting input*) pada penguat operasional. keadaan tak berarus pada masukan membalik tersebut membuat tegangan jatuh diantara masukan membalik dan masukan tak membalik bernilai 0 Volt. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa tegangan pada masukan membalik adalah bernilai 0 Volt karena kondisi masukan tak membalik (*non-inverting input*) yang di hubungkan ke rel netral/ *ground*. Kondisi masukan membalik (*inverting input*) yang memiliki tegangan 0 Volt tersebut dinyatakan sebagai pentanahan semu (*Virtual Earth/ Ground*) [4].

Tegangan output adalah :

$$V_o = -\frac{R_f}{R_{in}} V_{in} \dots \dots \dots (1)$$

dimana R_{in} = resistansi input, dan R_f = resistansi umpan balik (*feedback resistor*) [4].

Penguatan tegangan dari penguat ditentukan dari rasio antara R_2 dan R_1 , yaitu:

$$A_v = -\frac{V_o}{V_{in}} = -\frac{R_f}{R_{in}} \dots \dots \dots (2)$$

Tanda negatif menunjukkan bahwa keluaran adalah pembalikan dari masukan. Contohnya jika R_f adalah 100K Ω dan R_{in} adalah 1K Ω , maka nilai penguatan adalah -100K Ω / 1K Ω , yaitu -100 [4].

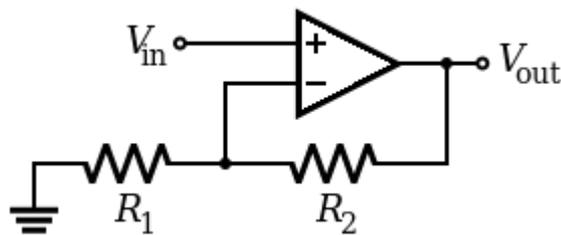
Impedansi input dan output dari rangkaian penguat pembalik pada Gambar 3 juga sangat menarik. Impedansi output pada Op-Amp ideal adalah nol dan oleh karena itu impedansi output pada rangkaian penuhnya adalah nol [4].

Impedansi output, $Z_o = 0 \Omega$

Impedansi input pada rangkaian tersebut ditentukan dengan rasio $Z_i = V_i / i_1$, sedangkan $i_1 = V_i / R_i$, sehingga Impedansi input, $Z_i = R_i$

2.4.1.2. Penguat Tegangan Tak Pembalik (*Non-Inverting Voltage Amplifier*)

Penguat *Non-Inverting Voltage Amplifier* merupakan kebalikan dari penguat *inverting*, dimana input-nya dimasukkan pada *input non-inverting* sehingga polaritas output akan sama dengan polaritas input tetapi memiliki penguatan yang tergantung dari besarnya $R_{feedback}$ (R_2) dan R_{input} (R_1) seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.5** [4].



Gambar 2.5 Penguat Tak Pembalik [3]

Rumus penguatan penguat non-pembalik adalah sebagai berikut :

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

Atau dengan kata lain P :

$$V_{out} = V_{in} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \dots \dots \dots (3)$$

Sehingga penguatan tegangan untuk penguat *non-inverting* ini adalah :

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \dots \dots \dots (4)$$

Dengan demikian, penguat non-pembalik memiliki penguatan minimum bernilai 1. Karena tegangan sinyal masukan terhubung langsung dengan masukan pada penguat operasional maka impedansi input bernilai $Z_{in} = \infty$, dan impedansi output, $Z_o = 0 \Omega$ [4].

2.4.1.3. Penguat Penjumlah

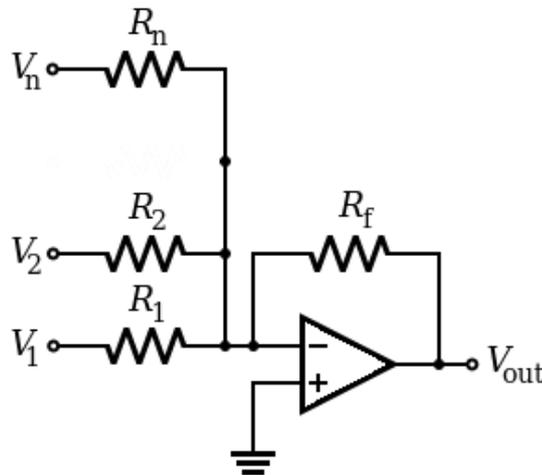
Penguat penjumlah menjumlahkan beberapa tegangan masukan, dengan persamaan sebagai berikut:

$$V_o = - \left(\frac{R_2}{R_a} x V_a + \frac{R_2}{R_b} x V_b + \frac{R_2}{R_c} x V_c \right) \dots \dots \dots (8)$$

Sebagai contoh, jika resistor dengan nilai sama dipilih, katakan $R_A = R_B = R_C = R_1$, maka :

$$V_o = -\frac{R_2}{R_1}(V_a + V_b + V_c)..... (9)$$

Jadi, tegangan output sama dengan jumlah dari seluruh tegangan inputnya di-skala dengan faktor $(-R_2/R_1)$ [4].



Gambar 2.6 Penguat Penjumlah [3]

2.4.2. Penguat Op-Amp Non-Linear

Penguat op-amp linear adalah jenis penguat op-amp yang mengkonversikan atau mengubah sinyal asli atau sinyal masukan. Dalam hal ini bentuk sinyal keluaran berbeda dengan sinyal masukan [5].

2.4.2.1. Komparator (Pembanding)

Merupakan salah satu penerapan yang memanfaatkan penguatan terbuka (*open-loop gain*) penguat operasional yang sangat besar. Ada jenis penguat operasional khusus yang memang difungsikan semata-mata untuk penggunaan ini dan agak berbeda dari penguat operasional lainnya dan umum disebut juga dengan komparator [4].

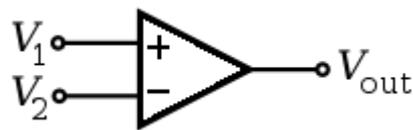
Komparator membandingkan dua tegangan listrik dan mengubah keluarannya untuk menunjukkan tegangan mana yang lebih tinggi [4].

Rangkaian komparator merupakan aplikasi Op-Amp yang mana rangkaian tersebut berada dalam keadaan loop terbuka dan tidak linear. Keluaran dari

rangkaian ini tidak berbanding lurus dengan masukan. Keluaran berupa $+V_{cc}/-V_{cc}$ atau *High/Low* [4].

Prinsip dasar rangkaian ini, yaitu membandingkan nilai masukan pada *inverting* dan *non-inverting*. Jika kaki *non-inverting* dianggap sebagai referensi, maka nilai keluaran bergantung pada masukan kaki *inverting* [4].

Rangkaian komparator pada gambar 5 merupakan komparator dengan histerisis. Komparator dengan histerisis bertujuan untuk meminimalkan efek noise yang terjadi [4].



Gambar 2.7 Rangkaian Komparator [3]

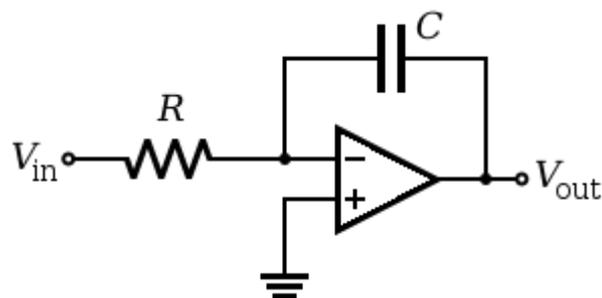
2.4.2.2. Integrator

Penguat *Integrator* ini mengintegrasikan tegangan masukan terhadap waktu, dengan persamaan :

$$V_{out} = -\frac{1}{RC} \int V_{in} dt + V_{mula} \dots \dots \dots (5)$$

di mana t adalah waktu dan V_{mula} adalah tegangan keluaran pada $t = 0$

Sebuah integrator dapat juga dipandang sebagai penapis pelewat-tinggi (*high pass filter*) dan dapat digunakan untuk rangkaian penapis aktif [4].



Gambar 2.8 Rangkaian Integrator [3]

Penguatan tegangan keseluruhan (A_v) adalah :

$$A_v = -\frac{Z_2}{Z_1} \dots \dots \dots (6)$$

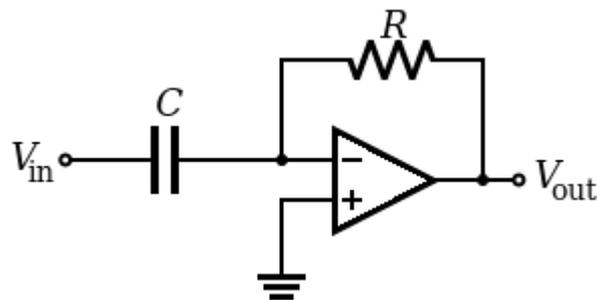
Kemungkinan variasi untuk Z_2 dan Z_1 dapat dieksplorasi. Salah satu pilihan adalah menggunakan sebuah resistor untuk Z_1 dan sebuah kapasitor Z_2 seperti

ditunjukkan pada Gambar 6 yang mana bertindak seperti rangkaian *integrator*, dimana :

$$Z1 = R \text{ dan } Z2 = -\frac{1}{j\omega C} \dots\dots\dots (7) [4]$$

2.4.2.3. Rangkaian *Differensiator*

Rangkaian *differensiator* memiliki keluaran yang sama dengan keluaran rangkaian penapis lolos tinggi (*High Pass Filter*). Keluaran dari rangkaian ini merupakan differensial dari masukan. Rangkaian *differensiator* dapat dilihat pada Gambar 2.9 [4].



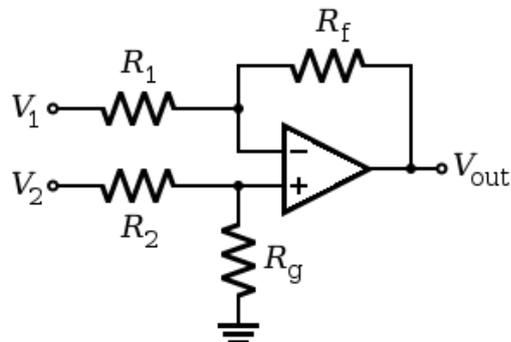
Gambar 2.9 Rangkaian *Differensiator* [3]

Persamaan keluaran dari rangkaian tersebut, yaitu :

$$V_{out} = -RfC \left(\frac{dV_{in}}{dt} \right) \dots\dots\dots (10) [4]$$

2.4.2.4. Diferensial

Penguat ini mampu memperkuat sinyal yang kecil. Keluaran dari penguat ini sebanding dengan perbedaan tegangan kedua masukannya. Penguat diferensial ini mampu mengurangi noise dengan sangat baik. Gambar 1 menunjukkan rangkaian penguat diferensial [4].



Gambar 2.10 Rangkaian Diferensial [3]

Penguat diferensial digunakan untuk mencari selisih dari dua tegangan yang telah dikalikan dengan konstanta tertentu yang ditentukan oleh nilai resistansi yaitu sebesar $\frac{R_f}{R_1}$ untuk $R_1 = R_2$ dan $R_f = R_g$. Penguat jenis ini berbeda dengan diferensiator. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$V_{out} = \frac{(R_f + R_1) R_g}{(R_g + R_2) R_1} V_2 - \frac{R_f}{R_1} V_1$$

Sedangkan untuk $R_1 = R_2$ dan $R_f = R_g$ maka bati diferensial adalah :

$$V_{out} = \frac{R_f}{R_1} (V_2 - V_1) \quad [4]$$

2.5. Komponen Modul

2.5.1. IC LM 741



Gambar 2.11 IC LM 741 [3]

Penguat operasional (Op-Amp) adalah suatu blok penguat yang mempunyai dua masukan dan satu keluaran. Penguat operasional (Op-Amp) dikemas dalam suatu rangkaian terpadu (integrated circuit-IC). Salah satu tipe operasional amplifier (Op-Amp) yang populer adalah LM741. IC LM741 merupakan operasional amplifier yang dikemas dalam bentuk dual in-line package (DIP). Kemasan IC jenis DIP memiliki tanda bulatan atau strip pada salah satu sudutnya untuk menandai arah pin atau kaki nomor 1 dari IC tersebut. Penomoran IC dalam kemasan DIP adalah berlawanan arah jarum jam dimulai dari pin yang terletak paling dekat dengan tanda bulat atau strip pada kemasan DIP tersebut [6].

Pada IC ini terdapat dua pin input, dua pin power supply, satu pin output, satu pin NC (No Connection), dan dua pin offset null. Pin offset null memungkinkan kita untuk melakukan sedikit pengaturan terhadap arus internal di

dalam IC untuk memaksa tegangan output menjadi nol ketika kedua input bernilai nol [6].

IC LM741 berisi satu buah Op-Amp, terdapat banyak tipe IC lain yang memiliki dua atau lebih Op-Amp dalam suatu kemasan DIP. IC Op-Amp memiliki karakteristik yang sangat mirip dengan konsep Op-Amp ideal pada analisis rangkaian. Pada kenyataannya IC Op-Amp terdapat batasan-batasan penting yang perlu diperhatikan [7].

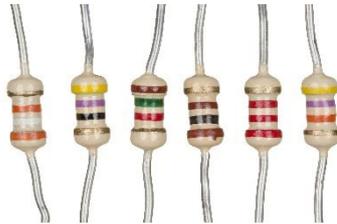
1. Pertama, tegangan maksimum power supply tidak boleh melebihi rating maksimum, karena akan merusak IC.
2. Kedua, tegangan output dari IC op amp biasanya satu atau dua volt lebih kecil dari tegangan power supply. Sebagai contoh, tegangan swing output dari suatu op amp dengan tegangan supply 15 V adalah $\pm 13V$.
3. Ketiga, arus output dari sebagian besar op amp memiliki batas pada 30mA, yang berarti bahwa resistansi beban yang ditambahkan pada output op amp harus cukup besar sehingga pada tegangan output maksimum, arus output yang mengalir tidak melebihi batas arus maksimum.

Pada sebuah penguat operasional (Op-Amp) dikenal beberapa istilah yang sering dijumpai, diantaranya adalah :

1. Tegangan offset masukan (input offset voltage) V_{io} menyatakan seberapa jauh v_+ dan v_- terpisah untuk mendapatkan keluaran 0 volt.
2. Arus offset masukan (input offset current) menyatakan kemungkinan seberapa berbeda kedua arus masukan.
3. Arus panjar masukan (input bias current) memberi ukuran besarnya arus basis (masukan).
4. Harga CMRR menjamin bahwa output hanya tergantung pada $(v_+) - (v_-)$, walaupun v_+ dan v_- masing-masing berharga cukup tinggi. Untuk menghindari keluaran yang berosilasi, maka frekuensi harus dibatasi, unity gain frequency memberi gambaran dari data tanggapan frekuensi. hal ini hanya berlaku untuk isyarat yang kecil saja karena untuk isyarat yang besar penguat mempunyai keterbatasan sehingga output maksimum hanya dihasilkan pada frekuensi yang relative rendah [7].

2.5.2. Resistor

Resistor adalah komponen elektronik dua kutub yang didesain untuk menahan arus listrik dengan memproduksi tegangan listrik di antara kedua kutubnya [8]. Nilai tegangan terhadap resistansi berbanding dengan arus yang mengalir, berdasarkan. Resistor digunakan sebagai bagian dari jejaring elektronik dan sirkuit elektronik, dan merupakan salah satu komponen yang paling sering digunakan. Resistor dapat dibuat dari bermacam-macam kompon dan film, bahkan kawat resistansi (kawat yang dibuat dari paduan resistivitas tinggi seperti nikel-kromium). Karakteristik utama dari resistor adalah resistansinya dan daya listriknya yang dapat dihantarkan. Karakteristik lain termasuk koefisien suhu, desah listrik, dan induktansi. Resistor dapat diintegrasikan kedalam sirkuit hibrida dan papan sirkuit cetak, bahkan sirkuit terpadu. Ukuran dan letak kaki bergantung pada desain sirkuit, kebutuhan daya resistor harus cukup dan disesuaikan dengan kebutuhan arus rangkaian agar tidak terbakar. Resistor merupakan salah satu komponen elektronika yang bersifat pasif dimana komponen ini tidak membutuhkan arus listrik untukberkerja. Resistor memiliki sifat menghambat arus listrik dan resistor sendiri memiliki nilai besaran hambatan yaitu ohm dan dituliskan dengan simbol Ω . Sesuai dengan nama dan kegunaanya untuk membatasi atau menghambat arus listrik yang melewatinya dalam suatu rangkaian maka resistor mempunyai sifat resistif (menghambat) yang umumnya terbuat dari bahan karbon. Hal ini bisa terjadi karena resistor yang memiliki dua kutub akan memproduksi tegangan listrik di antara kedua kutubnya. Dengan mengatur besarnya arus yang mengalir, kita dapat mengatur alat elektronik untuk melakukan berbagai hal. Dari hukum Ohm di jelaskan bahwa resistansi akan berbanding terbalik dengan jumlah arus yang melaluinya. Maka untuk menyatakan besarnya resistansi dari sebuah resistor dinyatakan dalam satuan Ohm yang dilambangkan dengan simbol Ω (Omega). Untuk menggambaranya dalam suatu rangkaian dilambangkan dengan huruf R, karena huruf ini merupakan standart internasional yang sudah disepakati bersama untuk melambangkan sebuah komponen resistor dalam sebuah rangkaian.



Gambar 2.12 Resistor

Selain untuk membatasi atau menghambat arus listrik, resistor mempunyai kegunaan atau fungsi lainnya, diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Sebagai pembagi arus
2. Sebagai pembagi tegangan
3. Sebagai penurun tegangan
4. Sebagai penghambat arus listrik
5. Menghambat arus listrik
6. Pengatur volume (potensiometer)
7. Pengatur kecepatan motor (rheostat), dll [9].

2.5.3. Sensor Tegangan

Sensor tegangan ini digunakan untuk mengukur tegangan AC atau DC. Prinsip kerja modul sensor tegangan yaitu didasarkan pada prinsip penekanan resistansi, dan dapat membuat tegangan input berkurang hingga 5 kali dari tegangan asli. Bentuk modul sensor tegangan seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.12** berikut :



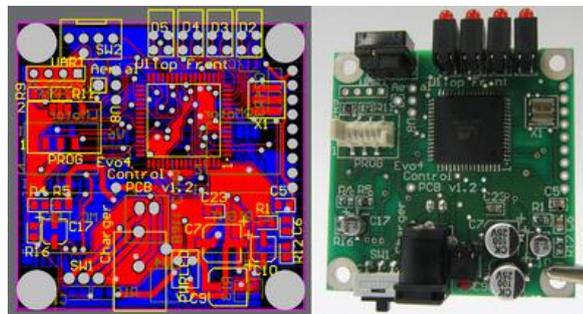
Gambar 2.13 Sensor Tegangan

Fitur-fitur dan kelebihanya:

- Variasi Tegangan masukan: DC 0 - 25 V
- Deteksi tegangan dengan jangkauan: DC 0.02445 V - 25 V
- Tegangan resolusi analog: 0,00489 V
- Tegangan DC masukan antarmuka: terminal positif dengan VCC, negatif dengan GND
- Output Interface: "+" Koneksi 5 / 3.3V, "-" terhubung GND, "s" terhubung Arduino pin A0
- DC antarmuka masukan: red terminal positif dengan VCC, negatif dengan GND [10]

2.5.4. PCB (*Printed Circuit Board*)

Papan sirkuit cetak (printed circuit board atau PCB) adalah papan yang terbuat dari bahan isolator dan permukaanya dilapisi tembaga. PCB berguna sebagai tempat pemasangan dan penghubung komponen - komponen elektronika [11].



Gambar 2.14 Desain PCB

2.5.5. Arduino

Arduino adalah pengendali mikro single-board yang bersifat open-source, diturunkan dari wiring platform, dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang. Perangkat kerasnya memiliki prosesor Atmel AVR dan perangkat lunaknya memiliki bahasa pemrograman sendiri [12].

Dengan kata lain, Arduino adalah kit elektronik atau papan rangkaian elektronik open source yang di dalamnya terdapat komponen utama yaitu sebuah chip mikrokontroler dengan jenis AVR. Mikrokontroler itu sendiri adalah chip atau

IC (integrated circuit) yang bisa diprogram menggunakan komputer. Tujuan menanamkan program pada mikrokontroler adalah agar rangkaian elektronik dapat membaca input, memproses input tersebut dan kemudian menghasilkan output sesuai yang diinginkan. Jadi mikrokontroler bertugas sebagai ‘otak’ yang mengendalikan input, proses dan output sebuah rangkaian elektronik [12].

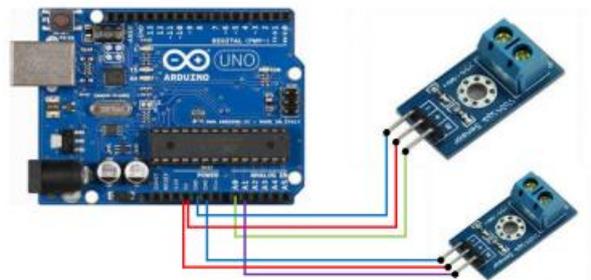
Mikrokontroler ada pada perangkat elektronik di sekeliling kita. Misalnya handphone, MP3 player, DVD, televisi, AC, dan sebagainya. Karena komponen utama Arduino adalah mikrokontroler, maka Arduino pun dapat diprogram menggunakan komputer sesuai kebutuhan kita [13].

Arduino memiliki kelebihan dibandingkan dengan perangkat kontroler lainnya diantaranya adalah :

- ♣ Tidak perlu perangkat chip programmer karena didalamnya sudah ada bootloader yang akan menangani upload program dari komputer.
- ♣ Sudah memiliki sarana komunikasi USB, sehingga pengguna laptop yang tidak memiliki port serial atau RS232 bisa menggunakannya.
- ♣ Memiliki modul siap pakai (shield) yang bisa ditancapkan pada board arduino. Contohnya shield GPS, Ethernet, dan sebagainya [13].

2.5.5.1. Rangkaian Koneksi Arduino dengan Sensor Tegangan

Pada rangkaian ini digunakan 2 modul sensor tegangan yang di koneksi dengan arduino yaitu kabel merah dihubungkan dengan sumber tegangan 5V arduino, kabel biru dihubungkan dengan pin ground (GND) arduino, dan kabel hijau dan ungu dihubungkan dengan Analog Read (A0 dan A1) pada arduino. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 2.15 Rangkaian Koneksi Arduino UNO ke Sensor Tegangan

[14]

2.5.6. Arduino Nano

Arduino merupakan sebuah platform dari physical computing yang bersifat open source. Arduino tidak hanya sekedar sebuah alat pengembang, tetapi merupakan kombinasi dari hardware, bahasa pemrograman dan Integrated Development Environment (IDE) yang canggih IDE adalah sebuah software yang berperan untuk menulis program, meng-compile menjadi kode biner dan mengupload ke dalam memory microcontroller [15].



Gambar 2.16 Arduino Nano [14]

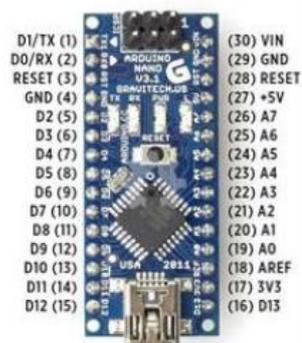
Arduino Nano adalah salah satu board mikrokontroler yang berukuran kecil, lengkap dan mendukung penggunaan breadboard. Arduino Nano diciptakan dengan basis microcontroller ATmega328 (untuk Arduino Nano versi 3.x) atau Atmega 16(untuk Arduino versi 2.x). Arduino Nano kurang lebih memiliki fungsi yang sama dengan Arduino Duemilanove, tetapi dalam paket yang berbeda. ArduinoNano tidak menyertakan colokan DC berjenis Barrel Jack, dan dihubungkan ke komputer menggunakan port USB Mini-B. Arduino Nano dirancang dan diproduksi oleh perusahaan Gravitech [15].

2.5.6.1.Konfigurasi Pin Arduino Nano

Konfigurasi pin Arduino Nano.Arduino Nano memiliki 30 Pin. Berikut Konfigurasi pin Arduino Nano.

1. VCC merupakan pin yang berfungsi sebagai pin masukan catu daya digital.
2. GND merupakan pin ground untuk catu daya digital.

3. AREF merupakan Referensi tegangan untuk input analog. Digunakan dengan fungsi `analogReference()`.
4. RESET merupakan Jalur LOW ini digunakan untuk me-reset (menghidupkan ulang) mikrokontroler. Biasanya digunakan untuk menambahkan tombol reset pada shield yang menghalangi papan utama Arduino.
5. Serial RX (0) merupakan pin sebagai penerima TTL data serial.
6. Serial TX (1) merupakan pin sebagai pengirim TT data serial.
7. External Interrupt (Interupsi Eksternal) merupakan pin yang dapat dikonfigurasi untuk memicu sebuah interupsi pada nilai yang rendah, meningkat atau menurun, atau perubahan nilai.
8. Output PWM 8 Bit merupakan pin yang berfungsi untuk data `analogWrite()`.
9. SPI merupakan pin yang berfungsi sebagai pendukung komunikasi.
10. LED merupakan pin yang berfungsi sebagai pin yang diset bernilai HIGH, maka LED akan menyala, ketika pin diset bernilai LOW maka LED padam. LED Tersedia secara built-in pada papan Arduino Nano.
11. Input Analog (A0-A7) merupakan pin yang berfungsi sebagai pin yang dapat diukur/diatur dari mulai Ground sampai dengan 5 Volt, juga memungkinkan untuk mengubah titik jangkauan tertinggi atau terendah mereka menggunakan fungsi `analogReference()` [15].



Gambar 2.17 Konfigurasi Pin Arduino Nano [15]

Tabel 2.2 Konfigurasi Pin Arduino Nano

Nomor Pin Arduino Nano	Nama Pin Arduino
1	Digital Pin 0 (TX)
2	Digital Pin 0 (RX)
3 & 28	Reset
4 & 29	GND
5	Digital Pin 2
6	Digital Pin 3 (PWM)
7	Digital Pin 4
8	Digital Pin 5 (PWM)
9	Digital Pin 6 (PWM)
10	Digital Pin 7
11	Digital Pin 8
12	Digital Pin 9 (PWM)
13	Digital Pin 10 (PWM-SS)
14	Digital Pin 11 (PWM-MOSI)
15	Digital Pin 12 (MISO)
16	Digital Pin 13 (SCK)
18	AREF
19	Analog Input 0
20	Analog Input 1
21	Analog Input 2
22	Analog Input 3
23	Analog Input 4
24	Analog Input 5
25	Analog Input 6
26	Analog Input 7
27	VCC
30	Vin

2.5.6.2. Spesifikasi Arduino Nano

Berikut ini adalah spesifikasi yang dimiliki oleh Arduino Nano:

1. Chip Mikrokontroler menggunakan ATmega328p atau Atmega168.
2. Tegangan operasi sebesar 5volt.
3. Tegangan input (yang disarankan) sebesar 7volt – 12 volt.
4. Terdapat pin digital I/O 14 buah dan 6 diantaranya sebagai output PWM.
5. 8 Pin Input Analog.
6. 40 Ma Arus DC per pin I/O
7. Flash Memory 16KB (Atmega168) atau 32KB (Atmega328) 2KB digunakan oleh Bootloader.

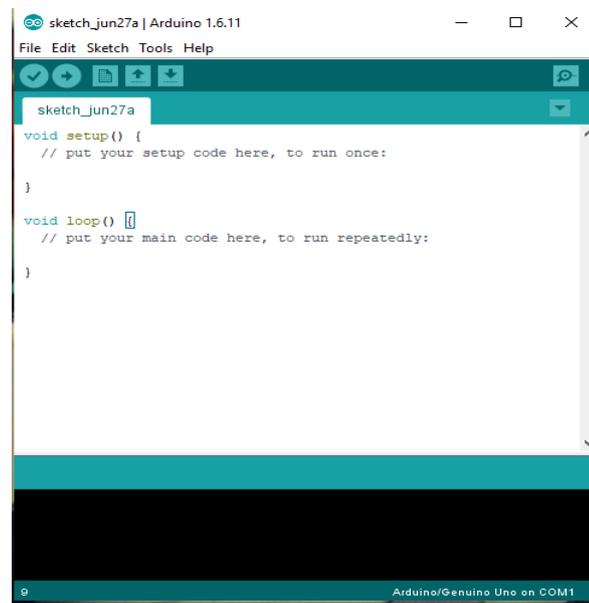
8. 1 KbyteSRAM (Atmega168) atau 2 Kbyte 32KB (Atmega328).
9. 512 Byte EEPROM (Atmega168) atau 1 Kbyte (Atmega328).
10. 16MHz Clock Speed.
11. Ukuran 1.85cm x 4.3cm [15]

2.5.6.3.Arduino IDE

IDE merupakan kependekan dari *Integrated Development Enviroenment*, atau merupakan lingkungan terintegrasi yang digunakan untuk melakukan pengembangan. Disebut sebagai lingkungan karena melalui software inilah Arduino dilakukan pemrograman untuk melakukan fungsi-fungsi yang dibenamkan melalui sintaks pemrograman [16].

Arduino menggunakan bahasa pemrograman sendiri yang menyerupai bahasa C. Bahasa pemrograman Arduino (*Sketch*) sudah dilakukan perubahan untuk memudahkan pemula dalam melakukan pemrograman dari bahasa aslinya. Sebelum dijual ke pasaran, IC mikrokontroler Arduino telah ditanamkan suatu program bernama *Bootlader* yang berfungsi sebagai penengah antara *compiler* Arduino dengan mikrokontroler. Arduino IDE dibuat dari bahasa pemrograman JAVA. Arduino IDE juga dilengkapi dengan library C/C++ yang biasa disebut Wiring yang membuat operasi input dan output menjadi lebih mudah. Arduino IDE ini dikembangkan dari software Processing yang dirombak menjadi Arduino IDE khusus untuk pemrograman dengan Arduino. Arduino IDE terdiri dari:

1. Editor program, sebuah window yang memungkinkan pengguna menulis dan mengedit program dalam bahasa *Processing*.
2. *Compiler*, sebuah modul yang mengubah kode program (bahasa *Processing*) menjadi kode biner. Bagaimanapun sebuah mikrokontroler tidak bisa memahami bahasa *Processing* melainkan kode biner, oleh karena itu dibutuhkan *compiler* untuk mengubah dari bahasa *processing* menjadi kode biner.
3. *Uploader*, sebuah modul yang memuat kode biner dari komputer ke dalam memory didalam papan Arduino [16].



Gambar 2.18 Tampilan Software Arduino IDE

2.5.7. Potensiometer

Potensiometer adalah resistor tiga terminal dengan sambungan geser yang membentuk pembagi tegangan dapat disetel. Jika hanya dua terminal yang digunakan (salah satu terminal tetap dan terminal geser), potensiometer berperan sebagai resistor variabel atau Rheostat. Potensiometer biasanya digunakan untuk mengendalikan peranti elektronik seperti pengendali suara pada penguat [17].

Potensiometer yang dioperasikan oleh suatu mekanisme dapat digunakan sebagai transduser, misalnya sebagai sensor joystick, menyangkut:

1. Elemen resistif
2. Badan
3. Penyapu (wiper)
4. Sumbu
5. Sambungan tetap pertama
6. Sambungan penyapu
7. Cincin
8. Baut
9. Sambungan tetap kedua



Gambar 2.19 Potensiometer

Potensiometer jarang digunakan untuk mengendalikan daya tinggi (lebih dari 1 Watt) secara langsung. Potensiometer digunakan untuk menyetel taraf isyarat analog (misalnya pengendali suara pada peranti audio), dan sebagai pengendali masukan untuk sirkuit elektronik. Sebagai contoh, sebuah peredup lampu menggunakan potensiometer untuk menendalikan pensakelaran sebuah TRIAC, jadi secara tidak langsung mengendalikan kecerahan lampu [17].

Potensiometer yang digunakan sebagai pengendali volume kadang-kadang dilengkapi dengan sakelar yang terintegrasi, sehingga potensiometer membuka sakelar saat penyapu berada pada posisi terendah [17].

2.5.8. LCD (Liquid Crystal Display) 16x2

LCD (Liquid Crystal Display) adalah suatu jenis media tampil yang menggunakan kristal cair sebagai penampil utama. Adapun fitur yang disajikan dalam LCD ini adalah :

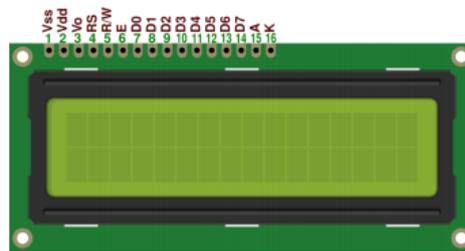
- Terdiri dari 16 karakter dan 2 baris.
- Mempunyai 192 karakter tersimpan.
- Terdapat karakter generator terprogram.
- Dapat dialamati dengan mode 4-bit dan 8-bit.
- Dilengkapi dengan back light.

Proses inialisasi pin arduino yang terhubung ke pin LCD RS, Enable, D4, D5, D6, dan D7, dilakukan dalam baris LiquidCrystal (2, 3, 4, 5, 6, 7), dimana lcd merupakan variable yang dipanggil setiap kali intruksi terkait LCD akan digunakan.

Definisi pin lcd 16x2 dapat dilihat ditabel 2.2 dan gambar 2.8 adalah device LCD [18].

Tabel 2.3 Spesifikasi LCD 16x2

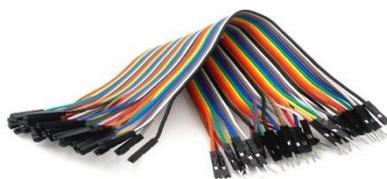
Pin	Diskripsi
1	<i>Ground</i>
2	Vcc
3	Pengatur Kontras
4	Register Select
5	<i>Read / Write LCD Register</i>
6	<i>Enable</i>
7-14	Data I / O Pins
15	VCC + LED
16	<i>Ground – LED</i>



Gambar 2.20 LCD 16x2 [18]

2.5.9. Kabel Jumper

Kabel jumper adalah suatu istilah kabel yang ber-diameter kecil yang di dalam dunia elektronika digunakan untuk menghubungkan dua titik atau lebih dan dapat juga untuk menghubungkan 2 komponen atau lebih komponen elektronika. Kabel yang dipakai dalam rangkaian ini adalah kabel jumper jenis Male to Female, jumper jenis ini digunakan untuk koneksi male to female dengan salah satu ujung kabel dikoneksi male dan satu ujungnya lagi dengan koneksi female.



Gambar 2.21 Kabel Jumper