

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Sistem Kontrol

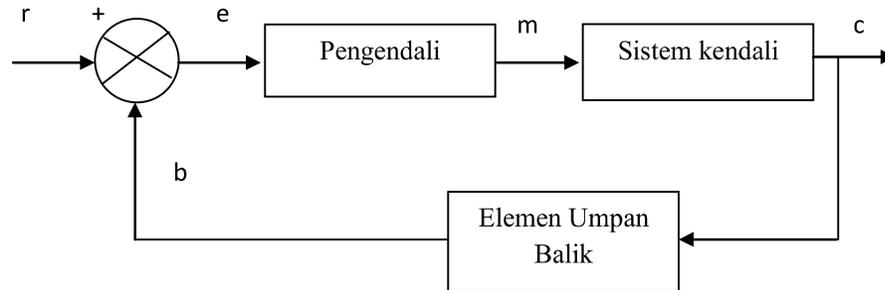
Dalam dunia industri dikenal kontrol otomatis, adapun secara bahasa diartikan mengatur dengan sendirinya artinya sesuatu yang dibutuhkan dalam proses mesin akan berjalan dengan sendirinya tanpa campur tangan orang. Sistem seperti ini sangat dibutuhkan pada mesin-mesin yang mempunyai kapasitas produksi yang cukup besar disamping itu mempunyai keuntungan yang cukup besar sebab mudah dikontrol dan efisien. Sebagai contoh, pada sistem manual untuk menjalankan sebuah pompa air harus lebih dahulu menekan tombol atau saklar sehingga pompa air bisa berputar, tetapi dengan sistem kontrol otomatis pompa air bisa hidup dengan sendirinya dengan memasang sensor tekanan pada keluaran pompa air tersebut (Haryono, 2009).

B. Pengendalian Lup Tertutup dan Lup Terbuka

1. Kendali Lup Tertutup

Sistem kendali dengan jaringan tertutup adalah sistem pengendalian di mana besaran keluaran memberikan efek terhadap besaran masukan sehingga besaran yang dikontrol dapat dibandingkan terhadap harga yang di inginkan melalui alat pencatat (indikator). Selanjutnya perbedaan harga yang terjadi

antara besaran yang dikontrol dan penunjukan alat pencatat digunakan sebagai koreksi yang pada gilirannya merupakan sasaran pengontrolan (Sahat, 1988).



Gambar 1. Diagram blok untuk kendali lup tertutup

Huruf r merupakan singkatan dari masukan referensi, elemen ini berfungsi mengubah besaran yang dikontrol menjadi sinyal masukan acuan (r) bagi sistem kontrol. Lingkaran silang didepan r adalah titik penjumlahan di dalam diagram di atas. Di dalam diagram di atas tampak terdapat dua sinyal yang masuk ke titik penjumlahan: r dan sinyal b (umpan balik dari keluaran). Keluaran dari titik penjumlahan adalah sinyal kesalahan (e), yang nilainya adalah selisih dari r dan b . dengan kata lain sinyal kesalahan (e) adalah perbedaan antara apa yang diinginkan dengan apa yang dihasilkan.

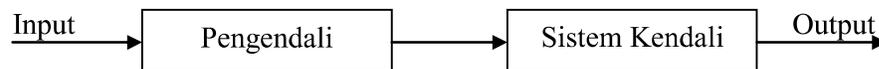
Bergerak lebih jauh lagi, kotak berlabel pengendali menerima sinyal kesalahan dan menghasilkan sinyal kontrol (m). Kotak berlabel sinyal kendali adalah piranti yang sedang dikendalikan, contoh motor listrik dalam robot.

Sistem kendali menjadi lengkap setelah sinyal keluaran c diumpankan kembali ke titik penjumlahan. Sebelum masuk ke titik penjumlahan, sinyal c pada umumnya (melalui kotak label umpan balik), yang berfungsi untuk

mengalihkan sinyal c ke dalam bentuk yang dapat diterima ke titik penjumlahan. Sebagai contoh, c adalah posisi motor dan b adalah tegangan listrik dalam hal ini, fungsi dari elemen umpan balik adalah mengalihkan posisi mekanis menjadi volt (Sharon *dkk*, 1987).

2. Kendali Lup Terbuka

Sistem kendali lup terbuka adalah suatu sistem yang keluarannya tidak mempunyai pengaruh terhadap aksi kontrol. Artinya, sistem kendali terbuka keluarannya tidak dapat digunakan sebagai unpan balik dalam masukan.



Gambar 2. Diagram blok untuk kendali lup terbuka

Dalam suatu sistem kendali terbuka, keluaran tidak dapat dibandingkan dengan masukan acuan. Jadi, untuk setiap masukan acuan berhubungan dengan operasi tertentu, sebagai akibat ketetapan dari sistem tergantung kalibrasi. Dengan adanya gangguan, sistem kendali lup terbuka tidak dapat melaksanakan tugas sesuai yang diharapkan. Sistem kendali lup terbuka dapat digunakan hanya jika hubungan antara masukan dan keluaran diketahui dan tidak terdapat gangguan internal maupun eksternal.

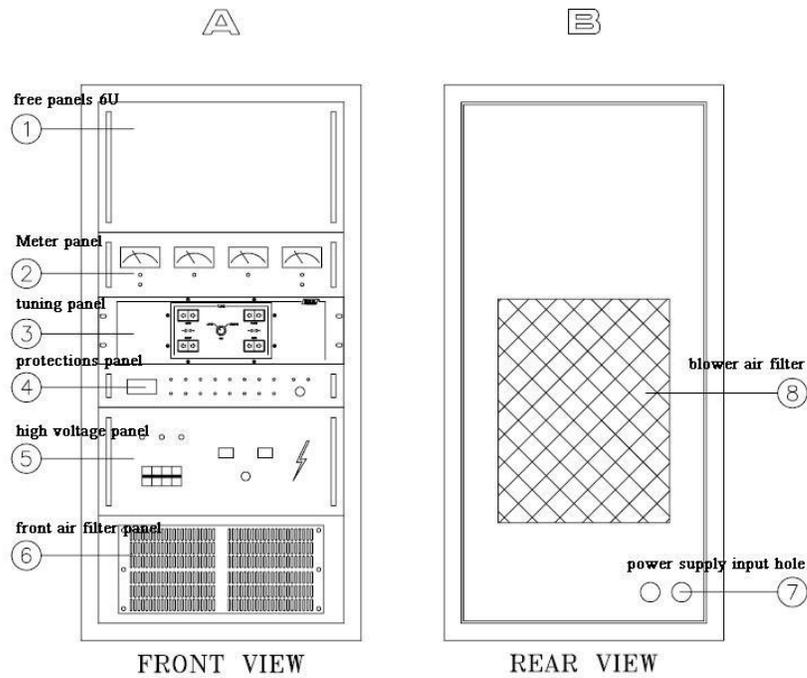
C. Pemancar

Konsep pemancar sebenarnya adalah mengubah input suara menjadi gelombang radio pada frekuensi tertentu agar mampu mendengar suara yang dikirim. Tujuan dari pemancar FM adalah untuk merubah satu atau lebih sinyal input yang berupa *frekuensi audio* (AF) menjadi gelombang yang termodulasi dalam sinyal RF (Radio Frekuensi) yang dimaksudkan sebagai output daya yang kemudian diumpankan ke sistem antena untuk dipancarkan (Anonymous A, 2012).

D. VJ3000

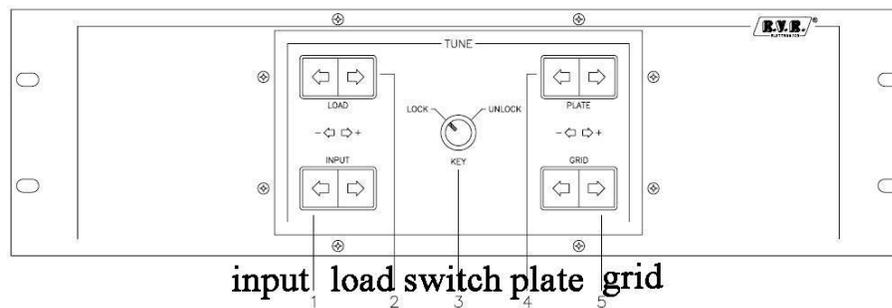
VJ3000 adalah sebuah tabung *amplifier* dengan jarak frekuensi yang dipancarkan antara 87.5-108 MHz. *amplifier* ini mampu menghasilkan daya keluaran sebesar 3KW dengan power penggerak sebesar 150-200W. Pada panel depan VJ300 dibagi menjadi beberapa panel yaitu panel meter, tuning panel, dan panel *alarm* serta panel tegangan tinggi. Terdapat Empat pengukuran secara analog, terletak pada panel meter yaitu:

- 1) multi fungsi yang sebagai pengukur tegangan filamen dan pengukuran tegangan V_A anoda;
- 2) mengukur arus yang dikonsumsi oleh *grid*;
- 3) menampilkan keadaan anoda;
- 4) mengukur langsung atau memantulkan daya antena yang dipilih oleh *switch*.



Gambar 3. Bagian-bagian VJ3000 (D'alison dan Morottin, 1994).

Panel tuning pada gambar di atas, (gambar 3) berisi 4 *switch setting* dan saklar untuk mengaktifkan *switch motor tuning*. Salah satu tune anoda (*PLATE*) yang sesuai dengan beban (*LOAD*) dan dua tune dari rangkaian masukan (*INPUT AND GRID*). Pada panel tegangan tinggi yang terlihat pada gambar di bawah ini



Gambar 4. Tuning panel VJ3000 (D'alison dan Morottin, 1994).

Terdapat beberapa lampu indikator hijau yang menyala ketika saklar power utama dinyalakan dan lampu indikator merah ketika suplai tegangan tinggi diaktifkan (D'alison dan Morottin, 1994).

E. Mikrokontroler

Secara umum pada dasarnya mikrokontroler ini terdiri mikroprosesor, *timer* dan *counter*, perangkat I/O (*input/output*) dan internal memori. Mikrokontroler termasuk perangkat yang sudah didesain dalam bentuk chip tunggal. Pada mikrokontroler tipe AT89C51 merupakan mikrokontroler CMOS 8 bit dengan 4 KB *Flash Programmable and Erasable Read Only Memory* (PROM). Berteknologi memori *non-volatile* berkepadatan tinggi kompatibel dengan mikrokontroler MCS-51 yang telah menjadi standar industri, baik dalam jumlah pin maupun standar intruksinya (Abdul Gofur *dkk*, 2010)

Mikrokontroler AVR menggunakan teknologi RISC di mana set instruksinya dikurangi dari segi ukurannya dan kompleksitas mode pengalamatannya. Pada awal era industri komputer, bahasa pemrograman masih menggunakan kode mesin dan bahasa *assembly*. Untuk mempermudah dalam pemrograman para desainer komputer kemudian mengembangkan bahasa pemrograman tingkat tinggi yang mudah dipahami manusia. Namun akibatnya, instruksi yang ada menjadi semakin kompleks dan membutuhkan lebih banyak memori. Dan tentu saja siklus eksekusi instruksinya menjadi semakin lama. Dalam AVR dengan arsitektur RISC 8 bit, semua instruksi berukuran 16 bit dan sebagian besar dieksekusi dalam 1 siklus clock. Berbeda dengan mikrokontroler MCS-51 yang instruksinya

bervariasi antara 8 bit sampai 32 bit dan dieksekusi selama 1 sampai 4 siklus mesin, di mana 1 siklus mesin membutuhkan 12 periode *clock*. Dalam perkembangannya, AVR dibagi menjadi beberapa varian yaitu AT90Sxx, ATmega, AT86RFxx dan ATtiny. Pada dasarnya yang membedakan masing-masing varian adalah kapasitas memori dan beberapa fitur tambahan saja (Soebhakti, 2007).

1. Karakteristik Mikrokontroler AVR seri ATmega32

AVR ATmega32 merupakan sebuah mikrokontroler *low power* CMOS 8 bit berdasarkan arsitektur AVR RISC. Mikrokontroler ini memiliki karakteristik sebagai berikut:

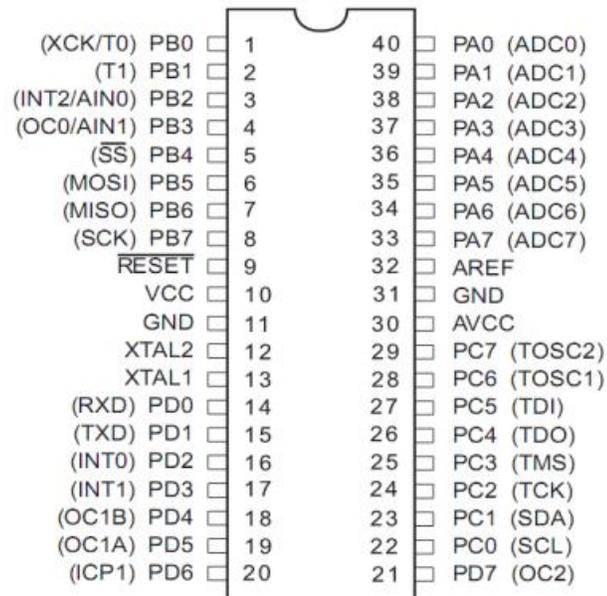
- 1) Menggunakan arsitektur AVR RISC
 - 131 perintah dengan satu *clock cycle*
 - 32 x 8 register umum
- 2) Data dan program memory
 - 32 KB *In-System Programmable flash*
 - 2 KB *SRam*
 - 1 KB *In-System EEPROM*
- 3) 8 channel 10-bit ADC
- 4) *Two Wire Interface*
- 5) *USART Serial Communication*
- 6) *Master/slave SPI Serial Interface*
- 7) *On-Chip Oscillator*
- 8) *Watch Dog Time*

9) 32 Bi-Directional I/O

10) Tegangan operasi 2,7 – 5,5 V

Arsitektur AVR ini menggabungkan perintah secara efektif dengan 32 register umum. Semua register tersebut langsung terhubung dengan *Arithmetic Logic Unit* (ALU) yang memungkinkan 2 register terpisah diproses dengan satu perintah tunggal dalam satu *clock cycle*. Hal ini menghasilkan kode yang efektif dan kecepatan prosesnya 10 kali lebih cepat dari pada mikrokontroler CISC biasa.

2. Konfigurasi Pin Mikrokontroler Seri AVR ATmega32



Gambar 5. Pin-pin ATmega32

Secara fungsional konfigurasi pin ATmega32 sebagai berikut:

VCC (Tegangan sumber)

GND (*ground*)

Port A (PA7 –PA0)

Port A adalah 8-bit port I/O yang bersifat *bi-directional* dan setiap pin memiliki *internal pull-up* resistor. *Output buffer* port A dapat mengalirkan arus sebesar 20 mA. Ketika port A digunakan sebagai input dan di *pull-up* secara langsung, maka port A akan mengeluarkan arus jika *internal pull-up* resistor diaktifkan. Pin-pin dari port A memiliki fungsi khusus yaitu dapat berfungsi sebagai *channel* ADC (*Analog to Digital Converter*) sebesar 10 bit. Fungsi-fungsi khusus pin-pin port A dapat di tabelkan seperti yang tertera pada tabel berikut

Tabel 1. Fungsi khusus port A

Port	<i>Alternative function</i>
PA7	<i>ADC7 (ADC input channel 7)</i>
PA6	<i>ADC6 (ADC input channel 6)</i>
PA5	<i>ADC5 (ADC input channel 5)</i>
PA4	<i>ADC4 (ADC input channel 4)</i>
PA3	<i>ADC3 (ADC input channel 3)</i>
PA2	<i>ADC2 (ADC input channel 2)</i>
PA1	<i>ADC1 (ADC input channel 1)</i>
PA0	<i>ADC0 (ADC input channel 0)</i>

Port B (PB7 – PB0)

Port B adalah 8-bit port I/O yang bersifat *bi-directional* dan setiap pin mengandung *internal pull-up* resistor. *Output buffer* port B dapat mengalirkan arus sebesar 20 mA. Ketika port B digunakan sebagai input dan di *pull-down* secara *external*, port B akan mengalirkan arus jika *internal pull-up* resistor diaktifkan. Pin-pin port B memiliki fungsi-fungsi khusus, diantaranya :

SCK port B, bit 7

Input pin clock untuk *up/downloading* memory.

MISO port B, bit 6

Pin output data untuk *uploading* memory.

MOSI port B, bit 5

Pin input data untuk *downloading* memory.

Fungsi-fungsi khusus pin-pin port B dapat di tabelkan seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel 2. fungsi khusus port B

Port	<i>Alternative function</i>
PB7	<i>SCK (SPI serial bus clock)</i>
PB6	<i>MISO (SPI Bus Master Input/Slave Output)</i>
PB5	<i>MOSI (SPI Bus Master Output/Slave Input)</i>
PB4	<i>SS (SPI Slave Select Input)</i>
PB3	<i>AIN1 (Analog Comparator Negative Input)</i> <i>OCO (Timer/Counter0 Output Compare Match)</i>

	<i>Output)</i>
PB2	<i>AIN0 (Analog Comparator Positive Input) INT2 (External Interrupt2 Input)</i>
PB1	<i>T1 (Timer/counter1 external Counter Input)</i>
PB0	<i>T0 (Timer/Counter0 external counter input) XCK (USART External Clock Input/Output)</i>

1) Port C (PC7 – PC0)

Port C adalah 8-bit port I/O yang berfungsi *bi-directional* dan setiap pin memiliki *internal pull-up* resistor. *Output buffer* port C dapat mengalirkan arus sebesar 20 mA. Ketika port C digunakan sebagai input dan di *pull-down* secara langsung, maka port C akan mengeluarkan arus jika *internal pull-up* resistor diaktifkan. Fungsi-fungsi khusus pin-pin port C dapat di tabelkan seperti yang tertera pada tabel di bawah ini.

Tabel 3. fungsi khusus port C

Port	<i>Alternative function</i>
PC7	<i>TOSC2 (Timer Oscillator Pin 2)</i>
PC6	<i>TOSC1 (Timer Oscillator Pin 1)</i>
PC5	<i>TD1 (JTAG Test Data In)</i>
PC4	<i>TD0 (JTAG Test Data Out)</i>
PC3	<i>TMS (JTAG Test Mode Select)</i>
PC2	<i>TCK (JTAG Test Clock)</i>
PC1	<i>SDA (Two-wire Serial Bus Data Input/Output Line)</i>
PC0	<i>SCL (Two-wire Serial Bus Clock Line)</i>

2) Port D (PD7 – PD0)

Port D adalah 8-bit port I/O yang berfungsi *bi-directional* dan setiap pin memiliki *internal pull-up* resistor. *Output buffer* port D dapat mengalirkan arus sebesar 20 mA. Ketika port D digunakan sebagai *input* dan di *pull-down* secara langsung, maka port D akan mengeluarkan arus jika *internal pull-up* resistor diaktifkan. Fungsi-fungsi khusus pin-pin port D dapat di tabelkan seperti yang tertera pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. fungsi khusus port D

Port	Alternative function
PD7	<i>OC2 (Timer / Counter2 Output Compare Match Output)</i>
PD6	<i>ICP1 (Timer/Counter1 Input Capture Pin)</i>
PD5	<i>OC1A (Timer/Counter1 Output Compare A Match Output)</i>
PD4	<i>OC1B (Timer/Counter1 Output Compare B Match Output)</i>
PD3	<i>INT1 (External Interrupt 1 Input)</i>
PD2	<i>INT0 (External Interrupt 0 Input)</i>
PD1	<i>TXD (USART Output Pin)</i>
PD0	<i>RXD (USART Input Pin)</i>

3) AVCC

Pin dari AVCC merupakan sumber tegangan untuk ADC. Pin AVCC harus tetap disambungkan ke VCC meskipun tidak menggunakan konfigurasi dari ADC.

4) AREF

AREF merupakan pin tegangan analog referensi untuk ADC.

5) Reset

Input reset. Jika pin ini mendapat logika “*low*”, maka akan menjalankan reset (meskipun *clock* tidak aktif). Pulsa yang pendek tidak akan menjamin dapat menjalankan reset ini.

6) XTAL1

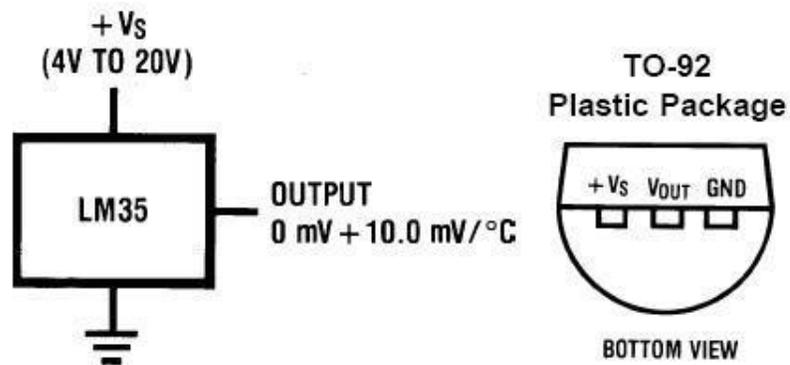
XTAL1 merupakan pin untuk *inverting oscillator amplifier* dan *input* dari rangkaian *internal clock*.

7) XTAL2

XTAL2 merupakan *output* dari *inverting oscillator amplifier* (Anonymous B, 2012)

F. Sensor Suhu Lm35DZ

Sensor suhu lm35DZ merupakan sensor *solid state* yang dapat mengubah besaran suhu menjadi besaran listrik berupa tegangan. IC lm35DZ merupakan sensor suhu dimana tegangan keluarannya proporsional *linear* untuk suhu dalam °C, mempunyai perubahan keluaran secara *linear* dan juga dapat di kalibrasi dalam kelvin. (Setiawan, 2011). Sensor ini berfungsi sebagai pengubah dari besaran fisis suhu ke besaran tegangan yang memiliki koefisien sebesar $10\text{ mV}/^\circ\text{C}$ yang berarti setiap kenaikan suhu 1°C maka akan terjadi kenaikan tegangan sebesar 10mV. Pada gambar 3 menunjukkan bentuk fisik IC lm35DZ (Hadiyoso *dkk*, 2011).



Gambar 6. Sensor LM35

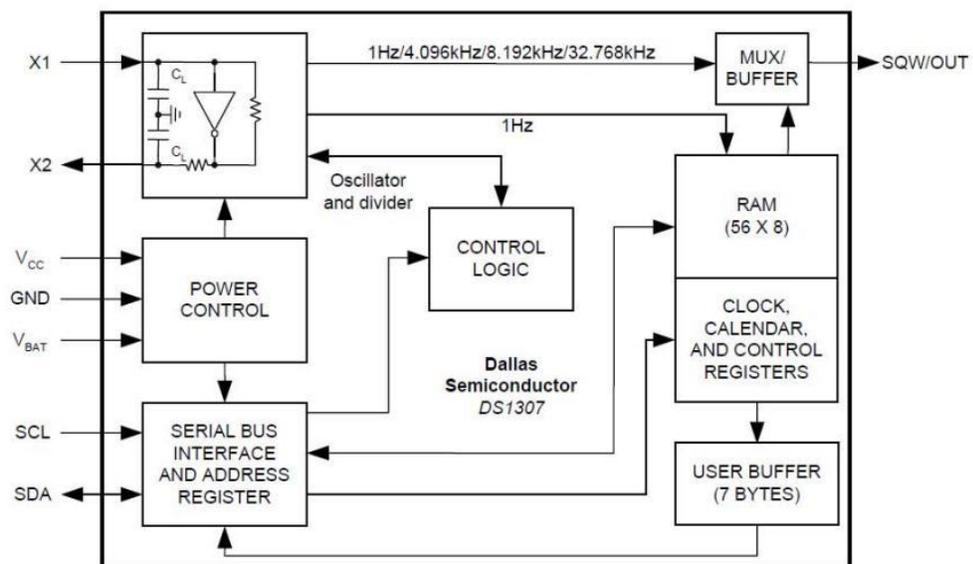
Berikut ini adalah karakteristik dari sensor LM35.

- 1) memiliki sensitivitas suhu, dengan faktor skala *linier* antara tegangan dan suhu $10 \text{ mV}/^\circ\text{C}$, sehingga dapat di kalibrasi langsung dalam *celcius*;
- 2) memiliki ketepatan atau akurasi kalibrasi yaitu $0,5^\circ\text{C}$ pada suhu 25°C ;
- 3) memiliki jangkauan maksimal operasi suhu antara -55°C sampai $+150^\circ\text{C}$;
- 4) bekerja pada tegangan 4 sampai 30 volt;
- 5) memiliki arus rendah yaitu kurang dari $60 \mu\text{A}$;
- 6) memiliki pemanasan sendiri yang rendah (*low-heating*) yaitu kurang dari $0,1^\circ\text{C}$ pada udara diam;
- 7) memiliki impedansi keluaran yang rendah yaitu $0,1 \text{ W}$ untuk beban 1 mA ;
- 8) memiliki ke tidak linieran hanya sekitar $\pm \frac{1}{4}^\circ\text{C}$.

G. Real-Time Clock Ds1307 dengan Antarmuka I2C

Ds1307 merupakan *real time clock* buatan dallas-maxim semiconductor. Fitur utama ds1307 adalah mampu menghitung detik, menit, jam, tanggal, tahun dengan koreksi tahun kabisat hingga tahun 2100, Data bisa disimpan dengan bantuan baterai cadangan, dan antarmuka I2C. gambar 4 menunjukkan blok diagram dari ds1307.

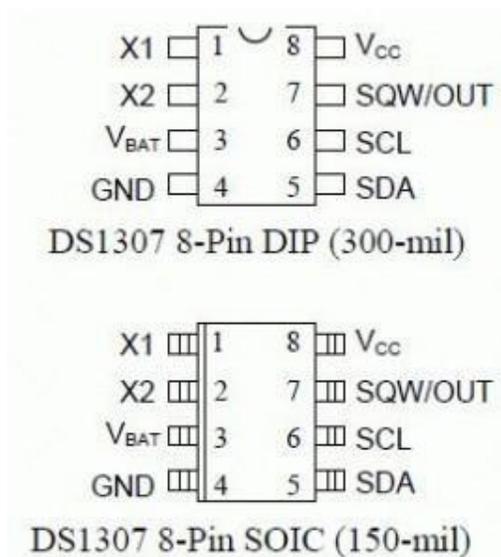
I2C atau *inter integrate circuit* dikembangkan Philip semikonduktor hampir 20 tahun silam untuk memudahkan komunikasi antar komponen dalam sebuah papan PCB. Pengembangan awal kecepatan maksimum hanya 100 Kb per detik karena kecepatan saat itu tidaklah penting. Namun, sejak 1998 kecepatan transfer data mencapai 3,4 Mbit perdetik. Banyaknya peranti digital dari berbagai produser yang telah menggunakan I2C dan produk turunannya seperti SMBus, TWIBus, PMBus.



Gambar 7. Blok diagram DS1307 (Dallas-Maxim Semiconductor, 2008)

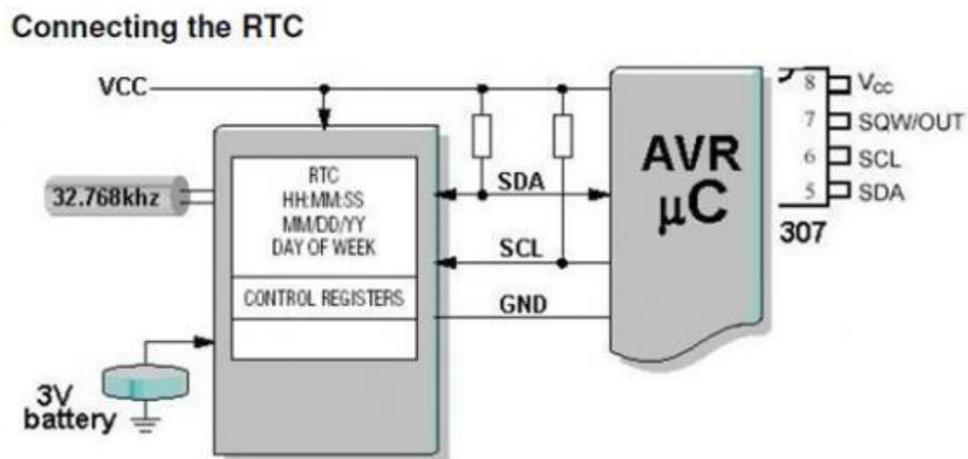
Kelebihan dari I2C diantaranya adalah: hanya membutuhkan dua jalur untuk komunikasi master-slave yang sederhana, tidak memerlukan *baudrate* seperti RS232, master yang menghasilkan pulsa *clock*, setiap perangkat memiliki penanda digital (ID) yang unik, serta mampu terdapat lebih dari satu master dalam jalur data.

DS1307 yang digunakan memiliki paket DIL8 (*dual in line 8*) seperti yang ditunjukkan Gambar 7. DS1307 membutuhkan catu daya 5 volt yang dihubungkan pada kaki Vcc dan GND. Rangkaian utamanya hanya membutuhkan kristal eksternal 32,768 KHz yang dihubungkan pada kaki X1 dan X2 dan sebuah baterai 3 V untuk menyimpan data di NVRAM (*Non-Volatile Random Access Memory*) pada Vbat dan GND



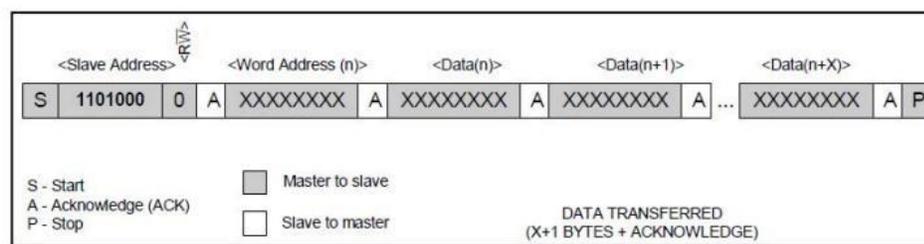
Gambar 8. Bentuk fisik DS1307 beserta keterangan kakinya (Dallas-Maxim Semiconductor, 2008)

Jalur data I2C memiliki *type open drain*, artinya perangkat hanya bisa menarik jalur data menjadi *LOW*. Oleh karena itu, diperlukan *Pull-up* resistor pada SDA dan SCL untuk menarik jalur data menjadi *HIGH* ketika tidak ada perangkat yang berkomunikasi. *Pull-up* resistor adalah resistor yang dihubungkan antara jalur data dan VCC. Gambar 9 menunjukkan rangkaian umum untuk menghubungkan DS1307 dengan mikrokontroler. RPU merupakan *pull-up* resistor, besar nilai resistor biasanya sebesar $4K7\Omega$ untuk mikrokontroler dengan catu daya 5 Volt. Kaki SQW/OUT sendiri bisa diatur untuk menghasilkan gelombang kotak. Apabila fitur tersebut tidak digunakan, maka tidak perlu dipasang resistor. Crystal merupakan kristal eksternal 32,768 KHz yang dibutuhkan oleh Ds1307. Sebaiknya kristal ini diperkuat posisinya dengan menyolder ke jalur ground untuk mengurangi derau.



Gambar 9. Konfigurasi umum DS1307 dan mikrokontroler (Dallas-Maxim Semiconductor, 2008)

DS1307 bisa beroperasi dalam 2 cara, yaitu slave receiver mode (*Write Mode*) dan *Slave transmitter Mode (Read Mode)*. Komunikasi serial I2C selalu diwakili dengan kondisi *START* dan diakhiri *STOP*. Kondisi *START* adalah ketika terjadi perubahan kondisi dari *HIGH* ke *LOW* pada SDA ketika SCL pada kondisi *HIGH*. Sedangkan kondisi *STOP* adalah ketika terjadi perubahan kondisi dari *LOW* ke *HIGH* pada SDA ketika SCL pada kondisi *HIGH*. *Write mode* merupakan cara mikrokontroler menulis data dari DS1307, misalnya ingin mengatur tanggal dan jam. Setelah dikirim kondisi *START*, mikrokontroler mengirim 7 bit alamat DS1307 yaitu “1101000” yang diikuti oleh direction bit (R/W) 0 untuk menulis dan 1 untuk membaca. Setelah menerima alamat DS1307 dan direction bit 0, DS1307 mengirim sinyal *acknowledge* pada SDA lalu mikrokontroler akan mengirimkan data yang akan ditulis. Setiap byte yang diterima akan diakhiri dengan sinyal *acknowledge*. Apabila mikrokontroler sudah selesai mengirimkan data, maka dikirimkan kondisi *STOP*. Gambar 10 merupakan urutan-urutan *slave receiver mode (write mode)*



Gambar 10.urutan-urutan *slave transmitter mode (read mode)* (Dallas-Maxim Semiconductor, 2008)

Register *DAY* yang menunjukkan hari bertambah ketika tengah malam. Nilai yang diperoleh berupa nilai 01-07 dan tidak mengikat kepada hari sebenarnya. Pengguna yang harus menentukan nilai beserta definisinya. Misal 1 adalah

minggu maka 2 adalah senin dan seterusnya. Bit 6 dari register *HOUR* menentukan jam dalam tipe 12 jam atau 24 jam. Ketika bit 16 *HIGH*, maka akan masuk tipe 12 jam, sedangkan ketika *LOW* akan masuk tipe 24 jam. Waktu harus dimasukkan kembali ketika mengubah tipe jam yang digunakan. Register *CH* pada alamat 00H merupakan register *enable oscillator* yang akan menentukan jalannya waktu pada DS1307, sehingga inialisasi perlu diperiksa nilai dari register tersebut

Tabel 5. Register-register pada DS1307

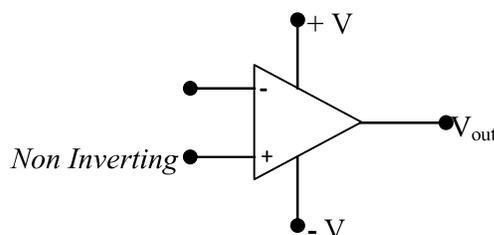
Alamat	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0	Fungsi	Rentang Nilai
00H	CH	10 Second			Seconds				Detik	00-59
01H	0	10 Minutes			Minutes				Menit	00-59
02H	0	12	10 Hour	10 Hour	Hours				Jam	1-12 AM/PM 00-23
		24	PM/AM							
03H	0	0	0	0	Day				Hari	01-07
04H	0	0	10 Date		Date				Tanggal	01-31
05H	0	0	0	10 Month	Month				Bulan	01-12
06H	10 Year				Year				Year	00-99
07H	OUT	0	0	SQWE	0	0	RS1	RS0	Kontrol	
08H-3FH									Ram 56x8	00H-FFH

Ketika membaca maupun menulis register di atas diperlukan tempat penyimpanan sementara pada mikrokontroler untuk mencegah kesalahan register internal. Tempat penyimpanan atau *secondary buffer* ini berupa alokasi memori yang ditaruh di mikrokontroler (Withamana, 2009).

H. Penguat Operasional Sebagai Pengkondisi Sinyal

Rangkaian pengkondisi sinyal sangat diperlukan untuk mengadaptasikan besaran listrik dari sensor menuju penyiapan sinyal digital (Warsito dan Yuliansyah, 2004). Tugas pengkondisi sinyal yang sering dilakukan adalah penguatan

(*amplification*). Sinyal-sinyal lemah dari sensor dikuatkan untuk meningkatkan resolusi pengukuran. Aplikasi lain dari pengkondisi sinyal adalah melakukan linearisasi dan melakukan isolasi sinyal dari sensor terhadap komputer untuk keamanan (Putra, 2002). Salah satu jenis pengkondisi sinyal adalah penguat operasional atau *operational amplifier* (op-amp). Op-amp banyak digunakan untuk penguatan (*amplification*). Op-amp merupakan rangkaian elektronika yang dikemas dalam bentuk IC (*integrated circuit*) yang mampu memperkuat sinyal masukan baik DC maupun AC (Hughes, 1990). Lambang dari op-amp diperlihatkan oleh Gambar 8.

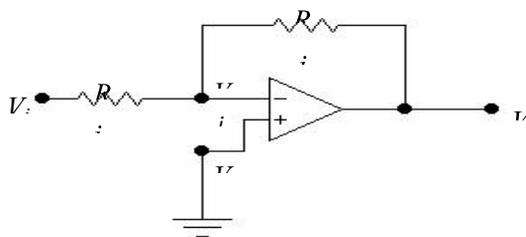


Gambar 11. Lambang op-amp

Ada dua jenis penguat dasar yang dapat dibangun dari op-amp yaitu penguat membalik (*inverting amplifier*) dan tak membalik (*non inverting amplifier*).

1. Sebagai Penguat Membalik (*Inverting Amplifier*)

Rangkaian penguat membalik ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Rangkaian penguat membalik (Diefenderfer and Holton, 1994)

Berdasarkan Gambar 12, maka persamaan *kirchoff* dapat kita tulis:

$$i_1 = i_2 + i_3 \quad (1)$$

Pada op-amp ideal tidak ada arus input yang masuk ke dalam op-amp ($i_3 = 0$), maka persamaannya menjadi:

$$(2)$$

Persamaan 3 diubah ke dalam bentuk persamaan tegangan terhadap hambatan, sehingga persamaan yang didapat adalah:

$$\frac{V_{in} - V_-}{R_1} = \frac{V_- - V_{out}}{R_2} \quad (3)$$

Output dari penguat merupakan hasil dari *gain* (penguatan) dan selisih antara input masukan tak membalik (*non inverting*) dan masukan membalik (*inverting*) yang perumusannya adalah:

$$V_{out} = A(V_{non} - V_{inv}) \quad (4)$$

Di mana A pada persamaan 3 adalah *gain* (penguatan).

Sesuai dengan Gambar 12 maka persamaan 5 menjadi:

$$V_{out} = A(V_+ - V_-) \quad (5)$$

Karena $V_+ = 0$ maka $V_{out} = -A V_-$ atau

$$V_- = \frac{V_{out}}{A} \quad (6)$$

Ketika A sangat besar, $V_- = 0$, maka persamaan 4 menjadi:

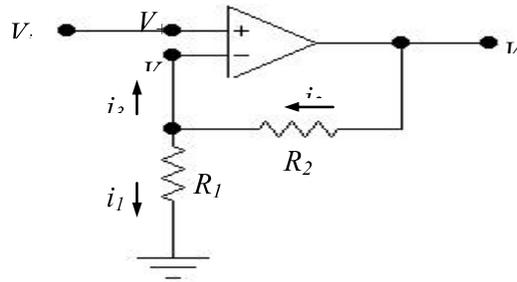
$$\frac{V_{in}}{R_1} = -\frac{V_{out}}{R_2} \quad (7)$$

Atau

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_2}{R_1} \quad (8)$$

2. Sebagai Penguat Tak Membalik (*Non Inverting Amplifier*)

Rangkaian penguat tak membalik ditunjukkan pada Gambar 13 berikut ini.



Gambar 13. Rangkaian penguat tak membalik (Diefenderfer and Holton, 1994)

Sesuai dengan Gambar 13 , apabila $i_3 = 0$, maka persamaannya dapat kita tulis:

$$i_2 = i_1 + i_3 \quad ; \quad i_2 = i_1 \quad ; \quad \frac{V_{out} - V_-}{R_2} = \frac{V_- - 0}{R_1} \quad (9)$$

Dengan menggunakan persamaan 5 diperoleh:

$$V_{out} = A(V_{in} - V_-) \quad (10)$$

Apabila $V_{out} / A = 0$ maka $V_- = V_{in}$ sehingga persamaan 10 menjadi

$$\frac{V_{out} - V_{in}}{R_2} = \frac{V_{in}}{R_1} \quad (11)$$

atau

$$V_{out} = V_{in} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \quad (12)$$

(Diefenderfer and Holton, 1994).