

# TEKNOLOGI SENSOR

Konsep Fisis dan Teknik Akuisisi Data Berbasis Mikrokontroler  
32 Bit AT91SAM3X8E (ARDUINO DUE)

EDISI 1

Dr. SURYONO, S.Si., M.Si.



UNDIP PRESS

ISBN : 978-979-097-527-9 EDISI 1 TH. 2018



# TEKNOLOGI SENSOR

Konsep Fisis dan Teknik Akuisisi Data Berbasis Mikrokontroler 32 Bit  
ATSAM3X8E (ARDUINO DUE)

Buku ini membahas tentang konsep fisis sensor, parameter-parameter penting sensor dan teknik akuisisi data dari teknologi sensor yang sedang berkembang saat ini. Buku ini juga menjelaskan pengkondisian sinyal sensor yang sering digunakan (penguat membalik, penguat tak-membalik, penguat instrumen) serta pengkondisian sinyal sensor khusus seperti *transmitter* dan osilator. Selain itu juga menjelaskan penggunaan mikrokontroler 32 bit AT91SAM3X8E Arduino Due sebagai perangkat sistem akusisi data yang meliputi:

- a. Akuisisi data analog menggunakan *Analog to Digital Converter (ADC)*
- b. Akuisisi data digital menggunakan *Inter integrated Circuit (I2C)*
- c. Akuisisi data digital menggunakan *Two Wire Interface (TWI)*
- d. Akuisisi data pulsa digital
- e. Akuisisi data *time-based*

Semua protokol akuisisi data tersebut dijelaskan dalam buku ini dengan mengambil contoh-contoh sensor yang umum dan ada di pasar elektronika diantaranya: sensor suhu LM35, Sensor suhu thermistor, sensor suhu RTD, sensor suhu dan kelembapan SHT11, sensor tekanan HK1100C, sensor magnet UGN3503, sensor kecepatan aliran YFS-201, sensor pH, sensor cahaya LDR, Sensor cahaya fotodiode OPT101, sensor cahaya BH1750, serta sensor jarak ultrasonik. Semua pemrograman sensor dalam mikrokontroler tersebut dicontohkan dalam buku ini.

## RIWAYAT PENULIS



**Dr. Suryono, S.Si., M.Si.** lahir di Tawangsari Kabupaten Sukoharjo Jawa Tengah pada tanggal 30 Juni 1973, menyelesaikan pendidikan SD hingga SMA di Kabupaten Sukoharjo, pendidikan S1 Fisika di FMIPA Universitas Diponegoro (UNDIP) pada tahun 1992-1997 dengan bidang minat Fisika Instrumentasi Elektronika. Pada tahun 2001-2003 telah menyelesaikan pendidikan S2 Fisika di Institut Teknologi Bandung (ITB) dengan bidang minat Fisika Instrumentasi Elektronika dengan topik Tesis tentang aplikasi sensor. Pada tahun 2007-2011 menyelesaikan Pendidikan S3 Ilmu Fisika di Universitas Gadjah Mada (UGM) dengan predikat cumlaude dengan topik Disertasi aplikasi sensor ultrasonik untuk pengujian material menggunakan model Computed Thomography (CT).

Pada tahun 1998 penulis memulai karir sebagai dosen di Universitas Diponegoro (UNDIP) Semarang. Pengalaman organisasi penulis antara lain : Ketua Badan Eksekutif Mahasiswa (dulu senat mahasiswa) FMIPA UNDIP (1995-1996), Sekretaris Program Studi Instrumentasi dan Elektronika FMIPA UNDIP (2002-2006), Ketua Laboratorium Instrumentasi dan Elektronika Fisika UNDIP (2012-2016), dan Sekretaris Program Studi Magister Sistem Informasi Pascasarjana UNDIP (2012-2015). Pada Saat ini penulis menjabat sebagai Ketua Program Studi Magister Sistem Informasi Sekolah Pascasarjana UNDIP, Ketua Asosiasi Pendidikan Tinggi Informatika dan Komputer (APTIKOM) Jawa Tengah dan Ketua Pusat Riset Sistem Informasi Industri yang bekerjasama dengan berbagai perguruan tinggi, instansi pemerintah, perusahaan swasta dan BUMN. Fokus penelitian dari penulis saat ini adalah aplikasi sensor terutama *Internet of Things (IoT)* dan *Wireless Sensor System* untuk ketahanan pangan, energi baru dan terbarukan serta teknologi kesehatan.



**UNDIP PRESS**



978-979-897-527-9

# Teknologi Sensor

Konsep Fisis dan Teknik Akuisisi Data Berbasis  
Mikrokontroler 32 Bit ATSAM3X8E  
(ARDUINO DUE)

**Dr. Suryono, S.Si., M.Si.**

Laboratorium Instrumentasi dan Elektronika  
Departemen Fisika Universitas Diponegoro  
Semarang Indonesia

**Edisi 1  
2018**



**UNDIP PRESS**

# **Teknologi Sensor : Konsep Fisis dan Teknik Akuisisi Data Berbasis Mikrokontroler 32 Bit ATSAM3X8E (ARDUINO DUE)**

Oleh : Dr. Suryono, S.Si., M.Si.

Edisi Pertama

Cetakan Pertama, 2018

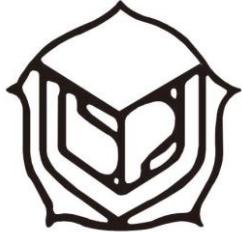
Desain Cover : Hani Nabila Suryani

Editor : Herlin Fitriyanti

Hak Cipta ©2018 pada penulis,

Hak Cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, secara elektronis maupun mekanis, termasuk memfotocopi, merekam, atau dengan teknik perekaman lainnya, tanpa ijin tertulis dari penerbit.

## **UNDIP PRESS**



Jl. Prof. H. Soedharto, SH No. 1 Tembalang Semarang 50273

Telp. : 024-76480683

Fax : 024-76480683

E-mail : undippress@gmail.com

Suryono;

TEKNOLOGI SENSOR : KONSEP FISIS DAN TEKNIK AKUISISI DATA  
BERBASIS MIKROKONTROLER 32 BIT ATSAM3X8E (ARDUINO DUE) /  
Suryono

- Edisi Pertama - semarang; UNDIP PRESS, 2018  
X + 104 hlm, 1 Jil. : 19 cm x 23 cm

ISBN : 978-979-097-527-9

1. Elektronika

I. Judul

# KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah Tuhan yang Mahakuasa atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya maka buku Teknologi Sensor ini telah selesai ditulis untuk dapat dimanfaatkan bersama demi kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi untuk kemandirian bangsa. Buku ini diharapkan dapat memberikan konstribusi pemikiran terhadap perkembangan dunia instrumentasi elektronika khususnya perkembangan teknologi sensor yang menuntut kemajuan penguasaan teknik antarmuka dan sistem akuisisi data untuk diterapkan di berbagai bidang. Buku ini memuat konsep fisis dari sensor dan teknik akuisisi dan pengolahan data menggunakan pemrograman mikrokontroler.

Pada saat ini sensor telah berkembang kearah pemrosesan digital sehingga perlu dikonversi data analog menjadi data digital dan dikirim ke perangkat digital lainnya. Pada buku ini diperkenalkan mikrokontroler 32 bit AT91SAM3X8E yang memiliki fitur sangat baik, relatif murah, dan cocok untuk teknik akuisisi data dan pengolahan sensor. Mikrokontroler tersebut memiliki 12 *channel* perangkat *Analog to Digital Converter (ADC)* yang dapat memproses sinyal analog sensor menjadi sinyal digital. Selain itu juga terdapat pin *input* dan *output*, *Inter-integrated Circuit (I2C)*, dan *Two Wire Interface (TWI)* yang sangat diperlukan untuk sistem akuisisi data tipe sensor terintegrasi.

Buku ini merupakan hasil elaborasi dari berbagai sistem yang telah dikembangkan dalam penelitian di Pusat Riset Sistem Informasi Industri dan Laboratorium Instrumentasi dan Elektronika Departemen Fisika Fakultas Sains dan Matematika Universitas Diponegoro Semarang dan telah uji di lapangan diantaranya: perusahaan tekstil, perusahaan minyak dan gas (kerjasama dengan Lemigas Nasional dan Pertamina), bidang pertanian, Dinas Perikanan Budidaya di Kepulauan Setoko Batam, pemantauan lingkungan dan banyak aplikasi lainnya. Buku ini telah digunakan untuk panduan perkuliahan Teknologi Sensor, Antarmuka Komputer, Mikroprosesor, dan Jaringan Sensor Nirkabel.

Pada kesempatan ini kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu hingga diterbitkannya buku ini, atas motivasi, fasilitas dan bantuan pengujian perangkat dari materi yang ditulis dalam buku ini. Kami sangat terbuka untuk menerima saran dan kritik serta berbagai kerjasama antar institusi demi kemajuan bersama. Semoga buku ini bermanfaat untuk kita semua dan dicatat sebagai amal baik kami di dunia.

Semarang, 1 September 2018

**Dr. Suryono, S.Si., M.Si.**



# DAFTAR ISI

	Halaman
<b>KATA PENGANTAR</b>	i
<b>DAFTAR ISI</b>	iii
<b>BAB 1 KONSEP DASAR SENSOR</b>	<b>1</b>
1.1 Konsep Dasar Sensor	1
1.2 Parameter Kinerja Sensor	3
1.3 Keterbatasan Sensor	6
<b>BAB 2 PENGKONDISIAN SINYAL SENSOR</b>	<b>9</b>
2.1 Rangkaian Resistansi Sensor	9
2.2 Rangkaian Pengukuran Kapasistansi	12
2.3 Pengukuran Induktansi pada Rangkaian	14
2.4 Penguat Operasional	15
2.5 Penguat Instrumen	17
<b>BAB 3 AKUISISI DATA SENSOR</b>	<b>20</b>
3.1 Konsep Akuisisi Data Sensor	20
3.2 Arsitektur Akuisisi Data Sensor	21
3.3 <i>Inteface Card</i> Komputer Menggunakan Mikrokontroler	25
<b>BAB 4 PENGUBAH DATA ANALOG KE DIGITAL</b>	<b>38</b>
4.1 <i>Analog to Digital Coverter (ADC)</i>	38
4.2 Pemrograman ADC pada <i>ARDUINO DUE</i>	44
<b>BAB 5 SENSOR SUHU</b>	<b>47</b>
5.1 Sensor Suhu Semikonduktor LM35	47
5.2 Sensor Suhu Termistor	52
5.3 Sensor Suhu <i>Resistance Thermal Detector (RTD)</i>	55
5.4 Modul Sensor Suhu dan Kelembapan SHT11	57
<b>BAB 6 SENSOR TEKANAN</b>	<b>61</b>
6.1 Konsep Tekanan	61
6.2 Sensor Tekanan	63

<b>BAB 7 SENSOR KECEPATAN ALIRAN</b>	<b>67</b>
7.1 Konsep Kecepatan Aliran	67
7.2 Efek Hall dan Sensor Kuat Medan Magnet	69
7.3 Sensor Kecepatan Aliran Fluida pada Pipa	71
7.4 Akuisisi Data Sensor Aliran Fluida	73
<b>BAB 8 SENSOR TINGKAT KEASAMAN (pH)</b>	<b>76</b>
8.1 Konsep pH	76
8.2 Prinsip Sensor pH	77
8.3 Akuisisi Data Sensor pH	79
<b>BAB 9 SENSOR CAHAYA</b>	<b>81</b>
9.1 Sensor Cahaya <i>Light Dependent Resistor (LDR)</i>	81
9.2 Sensor Cahaya Foto Dioda	83
9.3 Akuisisi Data Sensor Cahaya <i>LDR</i> dan Foto Dioda	85
9.4 Modul Sensor Cahaya Terintegrasi BH1750	87
<b>BAB 10 SENSOR JARAK ULTRASONIK</b>	<b>93</b>
10.1 Gelombang Ultrasonik	93
10.2 Sensor Jarak Ultrasonik	95
10.3 Sistem Akusisi Data Sensor Jarak Ultrasonik	98
	<b>101</b>

## **DAFTAR PUSTAKA**



# KONSEP DASAR SENSOR

Bab ini membahas tentang konsep dasar sensor yang meliputi definisi, kinerja, dan karakteristik sensor. Memahami definisi dan aspek-aspek yang terkait tentang sensor sangat diperlukan agar diperoleh kesamaan persepsi yang terkait dengan parameter teknologi sensor yang terkait dengan pembahasan bab-bab berikutnya. Parameter-parameter penting untuk mengungkapkan kebaikan suatu sensor sangat diperlukan agar sensor tersebut bekerja pada tingkat kondisi yang sesuai dengan kebutuhan. Pada bab ini juga dijelaskan bagaimana merepresentasikan karakteristik kinerja sensor dan keterbatasannya sehingga memiliki kesesuaian jika diterapkan pada suatu sistem.

## 1.1 Konsep Dasar Sensor

Sensor adalah perangkat elektronika yang dapat mengubah besaran fisis menjadi sinyal listrik. Sensor dapat dijadikan sebagai perangkat *input* besaran-besaran fisis ke perangkat pengolah data seperti mikrokontroler, komputer, *Programmable Logic Controller (PLC)*, *Distributed Control System (DCS)*, maupun *Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)*. Sensor yang sering digunakan di industri antara lain sensor berat, sensor suhu, sensor getaran, sensor elektromagnetik, sensor aliran, dan *level* air, sensor kelembapan, sensor kimia, sensor kapasitif, dan induktif, serta masih banyak lagi jenis lainnya. Pada sistem instrumen terdapat bagian yang memiliki prinsip kerja berkebalikan dengan sensor yang disebut aktuator, yaitu perangkat yang mengubah sinyal listrik menjadi besaran fisis lainnya. Misalnya *loudspeaker* adalah aktuator yang mengubah sinyal listrik menjadi tekanan suara.

Beberapa pemahaman tentang sensor kadang-kadang dipersepsikan sama dengan elektroda dan transduser. Di dunia instrumentasi elektronika, ketiga hal tersebut berbeda karena secara konsep memiliki prinsip kerja yang berbeda pula. Elektroda memiliki prinsip kerja menyalurkan sinyal listrik dari suatu unit ke unit lain, sehingga bagian dari input elektroda tersebut sudah berupa sinyal listrik. Transduser merupakan gabungan dari sensor dan aktuator yang memiliki prinsip kerja dua arah yaitu dalam satu elemen mampu mengubah besaran fisis menjadi sinyal listrik dan sebaliknya sinyal listrik menjadi besaran fisis lainnya. Salah satu contoh transduser adalah kristal piezoelektrik yang dapat membangkitkan tekanan bunyi ultrasonik dari osilator listrik dan mengubah tekanan bunyi ultrasonik tersebut kembali menjadi sinyal listrik.

Proses pengolahan informasi fisis yang diterima oleh sensor sangat diperlukan. Kemampuan untuk mengolah sinyal informasi sensor berbasis komputer (mikroprosesor) memiliki keuntungan ekonomis yang tinggi. Pada sistem instrumentasi untuk pengukuran, pengendalian, pemrosesan, dan pengontrolan berbasis komputer memiliki beberapa kelebihan diantaranya:

1. Dapat menjamin kontinyuitas dalam proses akusisi data.
2. Mampu merekam *history* data dalam kapasitas besar.
3. Mampu melakukan komputasi matematik yang komplek.
4. Dapat dilakukan pengolahan dan manipulasi data untuk menghasilkan informasi yang lebih berguna.
5. Data dapat digandakan dengan mudah dan cepat.
6. Dapat dilakukan transmisi data dengan mudah ke perangkat lain.

Melihat keunggulan sistem komputer tersebut maka upaya untuk melakukan akusisi data sensor ke dalam komputer menjadi berkembang sangat pesat. Pada saat ini juga telah banyak tersedia produk yang mendukung komputer untuk melakukan proses akusisi data.

Semua mikroprosesor memerlukan tegangan listrik *input* untuk menerima perintah dan informasi dari luar. Teknologi mikroprosesor telah berkembang pesat dan membuka kesempatan untuk dilakukannya implementasi sensor di berbagai bidang. Akan tetapi para pengguna sensor menghadapi berbagai permasalahan dalam interpretasi parameter kinerja sensor sehingga memunculkan persepsi yang berbeda-beda. Oleh karena itu, para pengguna

sensor perlu menyamakan persepsi tersebut terutama dalam menginterpretasikan *data sheet* sensor yang sama.

Memahami fungsi dari *data sheet* sensor merupakan hal yang penting untuk menangani masalah multiinterpretasi tersebut. *Data sheet* merupakan dokumen pemasaran utama produk sensor yang dirancang untuk menjelaskan kelebihan dari sensor tertentu dan menekankan beberapa potensi sensor tersebut dengan mengabaikan beberapa kelemahannya. Pada banyak kasus, sensor telah dirancang untuk memenuhi spesifikasi kinerja tertentu dan *data sheet* akan berkonsentrasi pada parameter kinerja yang menjadi pusat perhatian saja. Oleh karena itu, vendor dan pelanggan telah terbiasa dengan definisi parameter kinerja sensor tertentu. Definisi yang tidak tepat mungkin ditemui pada kasus tersebut dan sebagian besar *data sheet* sensor tidak menampilkan potongan informasi yang lengkap untuk aplikasi tertentu.

Selain *data sheet* sensor, sistem elektronik yang bekerja dengan elemen sensor juga dipengaruhi karakteristik intrinsik dari perangkat secara keseluruhan. Jika dilakukan dengan benar, desain elektronik dari sensor dapat memungkinkan ekstraksi informasi secara optimal dengan menekan pengaruh karakteristik intrinsik tersebut. Kebanyakan sensor tidak langsung menghasilkan keluaran tegangan, melainkan bertindak sebagai perangkat pasif, seperti resistor yang nilainya berubah dalam menanggapi besaran fisis eksternal. Sensor perlu dilakukan penguatan agar menghasilkan tegangan yang cocok sebagai masukan mikroprosesor dan pengubah analog ke digitalnya.

## 1.2 Parameter Kinerja Sensor

Kinerja sensor dapat dilihat dari beberapa karakteristik yang dimiliki oleh sensor tersebut seperti fungsi transfer, sensitivitas, span, akurasi, histeresis, non-linearitas, *noise*, resolusi, dan *bandwidth*. Penjelasan terperincin dari masing-masing karakteristik sensor dijelaskan pada uraian berikut ini.

### a. Fungsi Transfer

Fungsi transfer merupakan fungsi yang menunjukkan hubungan fungsional antara masukan

sinyal fisis dengan keluaran sinyal listriknya. Hubungan tersebut menyatakan deskripsi karakteristik sensor yang dapat ditunjukkan melalui grafik hubungan antara sinyal masukan dan sinyal keluaran.

**b. Sensitivitas**

Sensitivitas sensor didefinisikan sebagai hubungan antara masukan sinyal fisis dengan keluaran sinyal listriknya. Pada umumnya sensitivitas sensor dinyatakan dalam bentuk rasio antara perubahan kecil sinyal listrik pada sensor dengan perubahan kecil sinyal fisiknya. Oleh karena itu, sensitivitas dapat dinyatakan sebagai turunan dari fungsi transfer yang berhubungan dengan sinyal fisis. Satuan dari sensitivitas adalah Volt/Kelvin, miliVolt/kiloPascal, atau bentuk lainnya. Sebagai contoh, sebuah termometer memiliki sensitivitas tinggi jika perubahan suhu yang kecil menimbulkan perubahan tegangan keluaran yang besar.

**c. Span atau Rentang Dinamis**

Span atau rentang dinamis disebutkan sebagai rentang masukan sinyal fisis yang dapat dikonversi menjadi sinyal listrik oleh sensor. Sinyal yang terdapat di luar rentang tersebut menyebabkan ketidakakurasaan yang tinggi. Span atau rentang dinamis biasanya ditentukan oleh pemasok sensor sebagai rentang karakteristik kinerja sensor yang dijelaskan pada *data sheet*. Satuan yang digunakan untuk menyatakan span atau rentang dinamis antara lain Kelvin, Pascal, Newton, dan lain sebagainya.

**d. Akurasi atau Ketidakpastian**

Ketidakpastian secara umum didefinisikan sebagai kesalahan terbesar antara sinyal aktual terhadap sinyal yang ideal. Ketidakpastian juga dapat diartikan sebagai bagian kecil kesalahan dari keluaran skala penuh atau bagian kecil kesalahan dari hasil bacaan. Misalnya, termometer memiliki keakurasaan 5% dari FSO (skala keluaran maksimum). Akurasi pada umumnya dianggap sebagai ungkapan kualitatif, sedangkan ketidakpastian adalah ungkapan kuantitatif. Misalnya suatu sensor memiliki keakurasaan 1% artinya sensor tersebut memiliki ketidakpastian yang lebih baik jika dibandingkan dengan sensor yang memiliki keakurasaan 3%.

#### **e. Histerisis**

Beberapa sensor tidak kembali ke nilai keluaran yang sama ketika diberikan masukan besaran fisis naik atau turun. Nilai kuantitas dari lebar kesalahan yang terukur disebut histerisis dengan satuan Kelvin atau persentase FSO.

#### **f. Nonlinieritas**

Nonlinieritas adalah penyimpangan maksimum fungsi transfer linier pada rentang dinamis yang ditentukan. Ada beberapa jenis perhitungan kesalahan tersebut. Perhitungan yang paling umum yaitu membandingkan fungsi transfer sebenarnya dengan garis lurus terbaik yang terletak di tengah antara dua garis sejajar dan mencakup seluruh fungsi transfer pada rentang dinamis suatu perangkat. Metode perbandingan tersebut banyak digunakan karena membuat kinerja sensor menjadi lebih baik. Garis referensi lain dapat digunakan, sehingga pengguna sensor harus berhati-hati untuk membandingkan dengan referensi yang sama.

#### **g. Noise**

Semua sensor selain menghasilkan sinyal keluaran dari sensor tersebut, juga menghasilkan keluaran berupa *noise*. Pada beberapa kasus, *noise* sensor lebih kecil daripada *noise* dari elemen elektroniknya atau lebih kecil dari fluktuasi sinyal fisisnya (dalam hal ini dapat diabaikan). Banyak kasus, *noise* sensor dapat membatasi kinerja sistem sensor sehingga sangat merugikan. *Noise* pada umumnya terdistribusi pada seluruh spektrum frekuensi tertentu. Banyak sumber-sumber *noise* yang menghasilkan distribusi *white noise* maupun *spectrum noise* yang memiliki densitas sama pada seluruh frekuensi. *Johnson noise* pada sebuah resistor adalah salah satu contoh distribusi *noise*. Pada *white noise* dan densitas spektrum *noise* dinyatakan dalam satuan *Volt/Root (Hz)*.

#### **h. Resolusi**

Resolusi sensor didefinisikan sebagai batas minimum fluktuasi sinyal yang terdeteksi oleh sensor. Terdapat hubungan antara skala waktu untuk fluktuasi dan amplitudo minimum yang terdeteksi karena fluktuasi merupakan fenomena temporal. Oleh karena itu, definisi resolusi harus menyertakan beberapa informasi tentang sifat pengukuran yang dilakukan.

Banyak sensor dibatasi oleh *noise* dengan distribusi *white spectrum*. Pada kasus tersebut, resolusi dapat ditentukan dalam satuan *signal/root* (Hz). Kemudian, resolusi aktual dalam pengukuran tertentu dapat diperoleh dengan mengalikan besaran tersebut dengan akar kuadrat dari pengukuran *bandwidth*. *Data sheet* sensor umumnya dalam satuan *signal/root* (Hz) atau mendeskripsikan sinyal minimum yang dapat terdeteksi untuk pengukuran tertentu. Jika bentuk distribusi *noise* juga ditentukan, maka memungkinkan untuk menggeneralisasikan hasil tersebut untuk pengukuran apapun.

#### i. ***Bandwidth***

Semua sensor memiliki waktu respon yang terbatas untuk perubahan yang terjadi secara cepat pada sinyal fisis yang diukur. Selain itu, banyak sensor memiliki waktu peluruhan yang lambat dan terjadi setelah perubahan pada sinyal fisis. Kebalikan waktu tersebut sesuai dengan frekuensi *cut-off* batas atas dan bawah. *Bandwidth* sensor adalah rentang frekuensi batas atas dan batas bawah dari sinyal fisis yang terdeteksi oleh sensor tersebut.

### 1.3 Keterbatasan Sensor

Sensor memiliki keterbatasan untuk mengukuran besaran fisis. Keterbatasan tersebut dapat dipengaruhi oleh beberapa hal seperti yang diuraikan berikut ini.

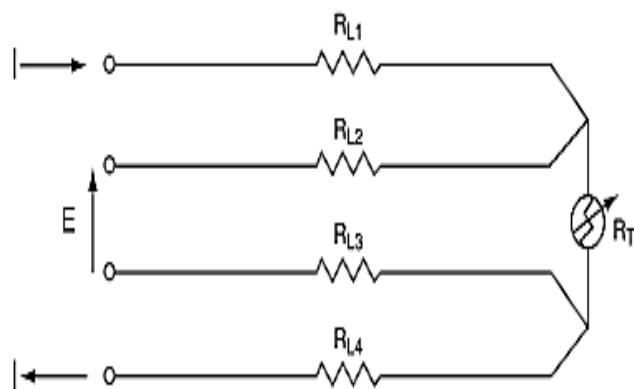
#### A. Keterbatasan dalam pengukuran resistansi

##### ***Resistansi konduktor***

Konduktor tambahan, seperti kawat timah pada elemen sensor yang bekerja dengan konsep resistif memiliki kontribusi kesalahan resistansi pada sensor tersebut. Resistansi tersebut cukup besar untuk menambah kesalahan pengukuran dan memiliki ketergantungan temperatur yang cukup besar. Salah satu solusi untuk masalah ini adalah dengan menggunakan pendekatan model kompensator resistansi 4-kabel. Contoh rangkaian kompensator tersebut ditunjukkan Gambar 1.1.

Pada kasus tersebut, arus dilewatkan melalui kawat timah dan melalui elemen

sensor. Sepasang kawat tersebut secara independen melekat pada kawat timah sensor dan pembacaan tegangan dilakukan pada dua kawat tersebut. Hal ini diasumsikan bahwa tegangan yang terukur pada instrumen tidak menarik arus yang signifikan, sehingga hanya mengukur penurunan tegangan elemen sensor. Konfigurasi 4-kawat tersebut sangat penting jika resistansi sensor kecil sedangkan resistansi pada kawat timah besar sehingga signifikansi resistansi tersebut sangat berarti jika dibandingkan dengan resistansi sensor.



**Gambar 1.1 Rangkaian kompensasi resistansi untuk mengatasi kerugian karena resistansi kawat konduktor**

### *Keluaran impedansi*

Pengukuran jaringan memiliki karakteristik resistansi yang hanya menempatkan batas bawah pada nilai resistansi yang dapat terhubung di terminal keluaran tanpa mengubah tegangan keluaran. Sebagai contoh, jika resistansi sensor suhu termistor adalah  $10\text{ K}\Omega$  dan resistansi beban resistor adalah  $1\text{ M}\Omega$ , keluaran impedansi dari rangkaian ini sekitar  $10\text{ K}\Omega$ . Jika sebuah resistor  $1\text{ KW}$  terhubung pada keluaran sensor, maka tegangan keluaran akan berkurang sekitar 90%. Hal ini karena beban pada rangkaian sebesar  $1\text{ K}\Omega$  jauh lebih kecil dari pada keluaran impedansi rangkaian sebesar  $10\text{ K}\Omega$  sehingga keluarannya menjadi turun. Oleh karena itu setiap pengukuran keluaran sensor harus memperhatikan resistansi efektif yang terdapat pada keluaran rangkaian tersebut. Masalah tersebut sering terjadi dalam suatu sistem instrumen. Alat ukur keluaran sensor kadang memiliki impedansi rendah sehingga berkontribusi pada kesalahan pengukuran sehingga alat ukur banyak yang dirancang dengan impedansi masukan maksimum agar dapat meminimalkan efek pembebahan (Efek Thevenin).

## **B. Keterbatasan untuk pengukuran kapasitansi**

Setiap konduktor memiliki keterbatasan kapasitansi. Kapasitansi tersebut bisa terjadi karena suatu konduktor pada sensor memiliki sifat seperti kapasitor. Misalnya konduktor yang dibuat sejajar akan menghasilkan efek medan seperti pada Hukum Gauss sehingga menimbulkan nilai kapasitansi. Nilai tersebut akan berkontribusi terhadap kesalahan sensor terutama yang memiliki sifat keluaran dengan model kapasitansi. Kapasitansi liar tersebut muncul sebagai tambahan kapasitansi dalam pengukuran pada rangkaian dan dapat menyebabkan kesalahan.

Salah satu sumber kesalahan efek kapasitansi misalnya terjadinya perubahan nilai kapasitansi sensor yang dihasilkan dari kabel yang ditanahkan sehingga menyebabkan fluktuasi kapasitansi yang dapat mempengaruhi sinyal dari sensor. Efek ini dapat disebabkan oleh tekanan vibrasi akustik pada posisi objek atau disebut *microphonics*. Salah satu solusi untuk meminimalkan penyimpangan kapasitansi tersebut adalah dengan pemisahan antara elemen sensor dengan rangkaian elektroniknya. Cara lain untuk minimalisasi efek penyimpangan kapasitansi adalah dengan rangkaian penguat yang ditanahkan.

==ooOooo==

# PENGKONDISIAN SINYAL SENSOR

Pada umumnya sinyal keluaran sensor memiliki taraf listrik yang masih rendah sehingga sinyal tersebut harus dikondisikan agar dapat diproses untuk keperluan selanjutnya. Bagian pengkondisian sinyal sensor yang sangat umum adalah sistem penguatan, akan tetapi beberapa sistem pengkondisian sinyal lain kadang-kadang juga diperlukan, misalnya sistem kompensasi, filterisasi, digitalisasi dan pengolahan sinyal lainnya. Pada bab ini pembahasan ditekankan pada pemahaman sistem penguatan sensor karena pengkondisian sinyal yang lain dapat dilakukan secara digital di bagian prosesor menggunakan mikrokontroler, komputer, PLC, DCS, atau SCADA. Setiap elemen sensor memiliki perbedaan sistem konfigurasi sehingga diperlukan model pengkondisian sinyal yang berbeda dan keluaran parameter listrik yang berbeda pula.

## 2.1 Rangkaian Resistansi Sensor

Perangkat yang bersifat resistif selalu mengikuti kaidah Hukum Ohm yang menyatakan bahwa tegangan ( $V$ ) resistor sama dengan arus yang mengalir ( $I$ ) melalui rangkaian dikalikan dengan nilai resistansi resistor, dirumuskan:

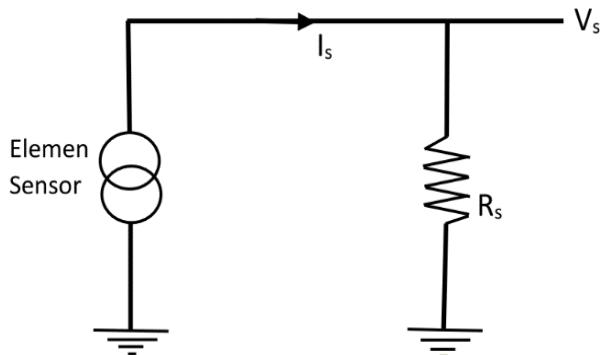
$$V = I \cdot R \quad (2.1)$$

Selain itu, pada rangkaian sensor juga terdapat pernyataan bahwa jumlah arus yang masuk

suatu titik ( $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ ) pada rangkaian sama dengan jumlah arus yang keluar ( $I$ ). Hukum tersebut merupakan Hukum Kirchoff pada analisis rangkaian dan dapat digunakan untuk mengubah arus menjadi tegangan dari suatu sensor yang dirumuskan:

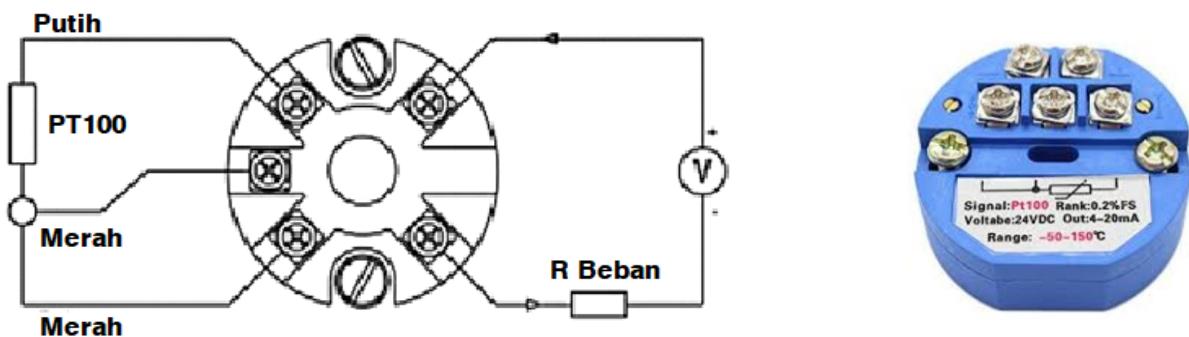
$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad (2.2)$$

Misalnya pada rangkaian sensor derajat keasaman (pH) terdapat elemen yang bekerja dengan model elektrolisis. Besar pH tersebut berkorelasi dengan jumlah elektron yang mengalir pada rangkaian atau disebut arus listrik sensor ( $I_s$ ). Disisi lain, perangkat yang memanfaatkan sensor tersebut memerlukan masukan berupa besaran tegangan. Oleh karena itu diperlukan resistor untuk mengubah besar arus menjadi tegangan keluaran sensor ( $V_s$ ) seperti ditunjukkan pada rangkaian Gambar 2.1.



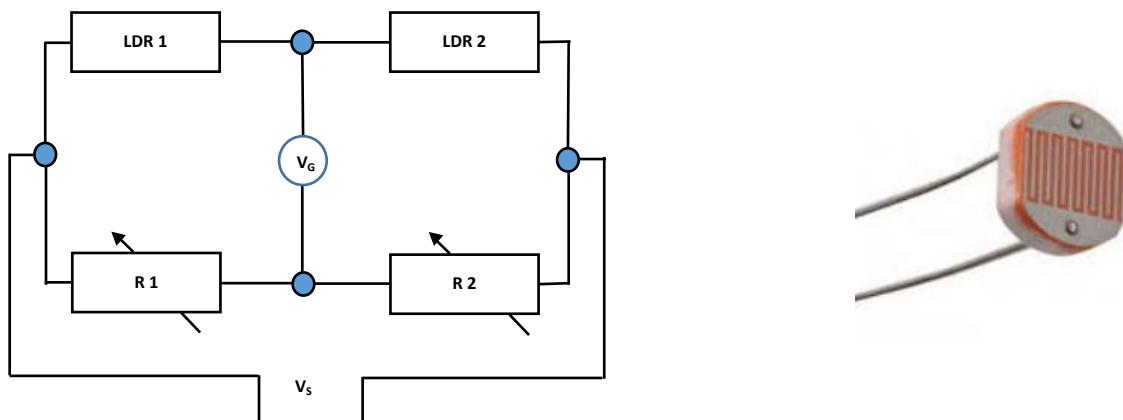
**Gambar 2.1 Rangkaian pengkondisian sinyal pengubah arus ke tegangan**

Penggunaan sistem rangkaian tersebut sering dijumpai di industri dimana sensor dikondisikan untuk mengeluarkan besaran arus dengan rentang 4 - 20 mA. Dalam sistem instrumentasi, perangkat ini disebut dengan nama *transmitter*. Keluaran *transmitter* dapat diubah menjadi tegangan dengan cara memberikan resistor beban pada keluaran *transmitter* tersebut. Contoh konfigurasi *transmitter* dari sensor suhu *Resistance Temperature Detector* (RTD) Pt100 ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Konfigurasi *transmitter* untuk sensor suhu RTD Pt100

Rangkaian Jembatan Wheatstone secara umum dapat digunakan sebagai pembagi tegangan sederhana. Rangkaian Jembatan Wheatstone merupakan rangkaian pembagi tegangan yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 dan dikombinasikan dengan pembagi tegangan kedua yang terdiri dari resistor tetap. Pada gambar tersebut, rangkaian Jembatan Wheatstone digunakan untuk pengkondisian sinyal dari sensor *Light Dependent Resistor (LDR)* yaitu sensor cahaya yang bekerja dengan konsep resistif. Tambahan titik pembagi pada rangkaian tersebut berfungsi untuk membuat tegangan referensi sama dengan keluaran pembagi tegangan di beberapa nilai resistansi. Keluaran pembagi sinyal sensor dan pembagi referensi sama ketika nilai resistensi sinyal sensor ada pada nilai awal dan perubahan hambatan *sensing* menyebabkan sedikit perbedaan pada dua tegangan.



Gambar 2.3 Rangkaian Jembatan Wheatstone pada pengkondisian sinyal sensor LDR

## 2.2 Rangkaian Pengukuran Kapasitansi

Banyak sensor yang bekerja dengan merespon sinyal fisis dan menghasilkan perubahan kapasitansi. Pada dasarnya, semua kapasitor memiliki impedansi ( $Z$ ) seperti ditunjukkan pada persamaan (2.3).

$$Z = \frac{1}{i\omega C} = \frac{1}{i(2\pi fC)} \quad (2.3)$$

Dimana  $f$  adalah frekuensi osilasi dalam satuan Hz,  $\omega$  dalam satuan rad/s, dan  $C$  adalah kapasitansi dalam satuan farad,  $i$  dalam persamaan tersebut adalah bilangan imajiner yang menandakan pergeseran fasa antara arus yang melalui kapasitor dan tegangan kapasitor.

Kapasitor ideal tidak dapat mengalirkan arus DC karena ada pemisahan fisik antara elemen konduktif. Namun, tegangan osilasi menginduksi muatan osilasi pada pelat kapasitor yang bertindak jika ada muatan yang mengalir melalui rangkaian. Ketika osilasi berbalik arah sebelum muatan yang cukup besar menumpuk, maka tidak akan terjadi masalah. Resistansi efektif kapasitor merupakan karakteristik yang berarti ketika berbicara tentang tegangan osilasi. Melalui konsep tersebut, kapasitor terlihat seperti resistor.

Pengukuran kapasitansi suatu rangkaian banyak dilakukan dengan menggunakan rangkaian osilator pengubah kapasitansi menjadi pulsa. Rangkaian tersebut mampu mengukur kapasitansi dengan baik, tetapi bukan pada pengukuran kinerja yang sangat tinggi, karena perubahan *pulsa* mengakibatkan *noise* muatan pada rangkaian. Muatan yang diberikan tersebut mengakibatkan tegangan *offset* dan kesalahan yang sangat sulit dihilangkan. Oleh karena itu, pengukuran kapasitansi yang akurat masih memerlukan rangkaian presisi yang mahal.

Kapasitor memiliki impedansi yang besar (umumnya  $> 1$  megaOhm) karena sebagian besar kapasitansi sensor yang relatif kecil (100 pF) dan frekuensi pengukuran berada di kisaran 1-100 kHz. Impedansi yang tinggi mengakibatkan mudahnya sinyal pengganggu untuk memasuki rangkaian sebelum dikuatkan dan menimbulkan masalah untuk mengekstraksi sinyal yang terukur. Pada pengukuran kapasitif rangkaian, hal tersebut penting untuk meminimalkan pemisahan fisik antara kapasitor dan penguat pertama. Pada mikrosensor yang terbuat dari silikon, masalah tersebut dapat diselesaikan dengan memadukan rangkaian

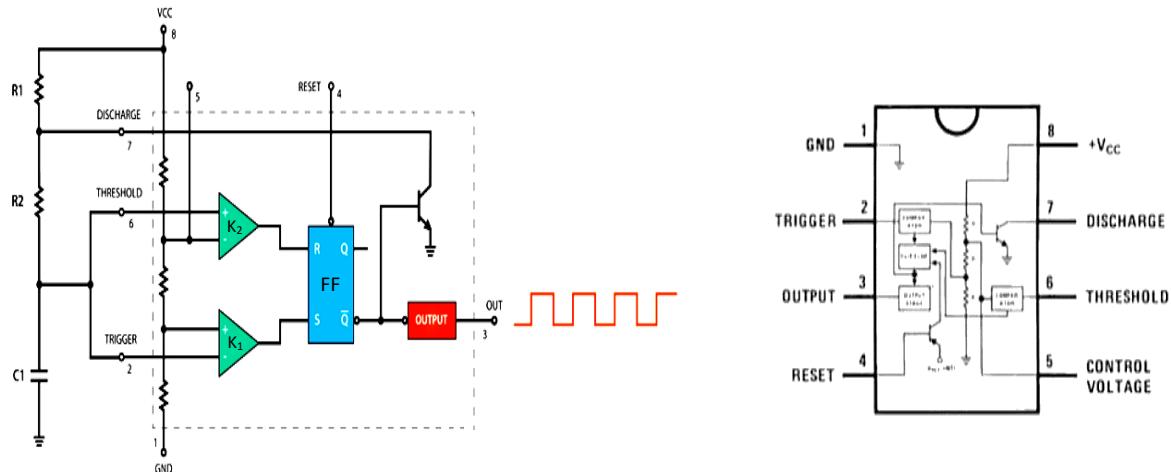
pengukuran dan elemen kapasitansi pada *chip* yang sama.

Rangkaian osilator untuk pengkondisian sinyal yang relevan pada pengukuran kapasitif salah satunya adalah multivibrator yaitu rangkaian listrik yang bergetar dalam suatu keadaan level tegangan. Ada empat macam multivibrator yaitu bistabil (*flip-flop*), monostabil, astabil dan *schimith trigger*. Bistabil mempunyai dua keadaan stabil, monostabil memiliki satu keadaan stabil, astabil selalu bergetar (berubah keadaan) antara dua keadaan stabil dan *schimth-trigger* merupakan komparator dengan histerisis.

Multivibrator monostabil dapat dirangkai menggunakan IC 555 seperti ditunjukkan Gambar 2.4. Dari rangkaian internal yang dimiliki oleh IC 555 dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a. Pada waktu  $V_{cc}$  dihubungkan ke sumber, maka tegangan pada pin *trigger* menjadi sebesar  $1/3 V_{cc}$ , keadaan ini membuat *output* komparator  $K_1$  tinggi, flip-flop FF dalam keadaan set dan *output* IC555 tinggi.
- b. Keadaan tersebut menyebabkan transistor *off* karena  $\bar{Q}$  pada flip-flop FF rendah. Selama keadaan ini, maka kapasitor  $C_1$  mulai melakukan pengisian muatan.
- c. Pada saat pengisian muatan mencapai  $2/3 V_{cc}$  maka tegangan *input* non-inversi komparator  $T_1$  tinggi, *output* komparator  $T_2$  menjadi tinggi sehingga flip-flop FF terjadi reset yang menyebabkan *output* IC555 rendah.
- d. Sesaat kemudian keadaan  $\bar{Q}$  pada flip-flop FF tinggi dan transistor  $C_1$  menjadi aktif sehingga transistor tersebut menghubungkan kapasitor  $C_1$  ke *ground* dan membuang muatan.
- e. Selanjutnya dimulai kembali pengisian muatan dan proses tersebut berulang kembali dengan *output* IC555 menjadi tinggi kembali.

Pada sistem rangkaian internal IC555 tersebut dapat diketahui bahwa lama pengisian kapasitor  $C_1$  dan kecepatan pemberian muatan yang diatur melalui  $R_1$  dan  $R_2$  sangat menentukan periode atau frekuensi keluaran IC555. Semakin besar kapasitansi  $C_1$  maka periode keluaran IC555 semakin besar sehingga frekuensi sinyal osilasi keluaran IC555 semakin kecil.



**Gambar 2.4. Rangkaian multivibrator astabil dengan IC 555**

Periode pengisian kapasitor C<sub>1</sub> (T<sub>1</sub>) dirumuskan :

$$T_1 = 0,693 (R_1 + R_2) C$$

Periode pengosongan muatan kapasitor C<sub>1</sub> (T<sub>2</sub>) dirumuskan :

$$T_2 = 0,693 R_2 C$$

Periode total dari rangkaian adalah :

$$T_1 + T_2 = 0,693 (R_1 + 2R_2) C$$

Oleh karena itu frekuensi dari osilator astabil multivibrator tersebut adalah :

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_1 + 2R_2) C} \quad (2.4)$$

### 2.3 Pengukuran Induktansi pada Rangkaian

Induktansi merupakan elemen dasar resistif. Resistansi dari sebuah induktor diberikan oleh persamaan (2.4).

$$X_L = 2\pi f L \quad (2.5)$$

Dimana  $X_L$  adalah resistansi induktif,  $L$  adalah induktansi induktor, dan  $f$  adalah frekuensi. Resistansi pada persamaan (2.4) dapat dibandingkan dengan resistansi dari setiap elemen pasif lain dalam rangkaian pembagi tegangan atau dalam rangkaian jembatan. Sensor induktif umumnya memerlukan teknik mahal untuk pembuatan struktur mekanik sensor, sehingga rangkaian yang murah umumnya tidak banyak digunakan. Hal tersebut sebagian besar disebabkan karena induktor adalah perangkat yang umumnya tiga dimensi, yaitu terdiri dari kawat melingkar. Akibatnya, pengukuran rangkaian induktif yang paling sering digunakan mengandalkan pendekatan pembagi resistansi.

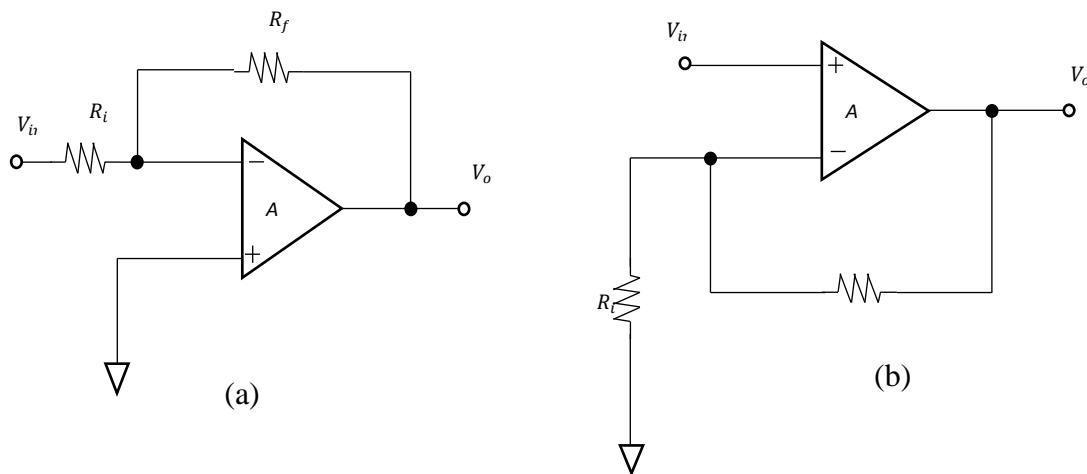
## 2.4 Penguat Operasional

Sensor yang berkembang saat ini banyak yang memiliki sinyal keluaran sangat rendah. Sinyal keluaran tersebut, biasanya memiliki taraf yang terlalu kecil untuk langsung digunakan pada masukan sistem akuisisi data, sehingga diperlukan adanya pengutan. Dua contoh sensor yang termasuk dalam kategori *low-gain* yaitu termokopel dan elemen *strain-gage* yang biasanya memiliki keluaran skala penuh kurang dari 50 mV. Sebagian besar sistem akuisisi data menggunakan jenis rangkaian berbeda untuk memperkuat sinyal keluaran sebelum diproses. Rangkaian analog modern ditujukkan untuk sistem akuisisi data yang terdiri dari penguat operasional dasar terpadu yang dikonfigurasikan dengan mudah untuk penguat atau sebagai sinyal *buffer*.

Penguat operasional terintegrasi, terdiri atas banyak komponen rangkaian, tetapi biasanya digambarkan pada diagram skematik sebagai diagram blok fungsional sederhana. Beberapa resistor dan kapasitor eksternal menentukan bagaimana penguat tersebut bekerja dalam sistem. Penguat operasional dioperasikan dengan sederhana, cukup memberikan nilai resistor eksternal sehingga sangat mudah digunakan dalam pengkondisian sinyal. Penguat operasional dibedakan menjadi penguat membalik dan penguat tak membalik. Perbedaan dari kedua rangkaian tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.5. Kedua rangkaian tersebut memiliki sifat keluaran dan besar penguatan yang berbeda.

## Penguat Membalik

Sistem penguat operasional membalik merupakan sistem penguat yang paling dasar dari konfigurasi penguatan sinyal. Rangkaian menerima sinyal masukan, kemudian menguatkannya, dan membalikkan polaritas pada bagian keluaran. Rangkaian penguat tak-membalik ditunjukkan pada Gambar 2.5a. *Gain loop* terbuka penguat operasional berada pada orde ratusan ribu.



Gambar 2.5 Dua tipe dasar penguat operasional (a) membalik, dan (b) tak-membalik

Penguat ideal yang menggunakan turunan fungsi transfer memberikan *gain* tidak terhingga untuk menyederhanakan turunan tanpa menghasilkan kesalahan signifikan dalam menghitung *gain*. *Gain* yang tinggi tersebut, membuat tegangan masukan hanya memperhatikan pembagi tegangan yang terdiri dari resistor  $R_f$  dan  $R_i$ . Tanda negatif pada fungsi transfer tersebut menunjukkan bahwa sinyal keluaran memiliki polaritas masukan terbalik. Tanpa menurunkan fungsi transfer, keluaran dihitung dari persamaan:

$$V_o = -\frac{R_f}{R_i} \cdot V_{in} \quad (2.6)$$

Pada persamaan tersebut  $V_o$  adalah tegangan sinyal keluaran (Volt),  $V_{in}$  adalah tegangan sinyal masukan (Volt),  $R_f$  adalah resistor *feedback* (KiloOhm), dan  $R_i$  adalah resistor masukan (KiloOhm).

## Penguat Tak-membalik

Penguat operasional tak membalik mirip dengan rangkaian membalik tetapi fase keluaran sinyalnya sesuai dengan masukannya. Rangkaian penguat operasional tak-membalik ditunjukkan pada Gambar 2.5b. Selain itu, persamaan *gain* hanya bergantung pada pembagi tegangan yang terdiri dari  $R_f$  dan  $R_i$  yaitu:

$$V_o = \left( \frac{R_f + R_i}{R_i} \right) \cdot V_{in} \quad (2.7)$$

Dimana  $V_o$  adalah tegangan sinyal keluaran (Volt),  $V_{in}$  adalah tegangan sinyal masukan (Volt),  $R_f$  adalah resistor *feedback* (KiloOhm), dan  $R_i$  adalah resistor masukan (KiloOhm).

## 2.5 Penguat Instrumen

Masalah Efek Thevenin terjadi ketika sensor memiliki resistansi yang besar karena arus sensor hanya berorde nanoAmpere, sedangkan impedansi *input* lebih rendah dari resistansi sensor tersebut. Efek ini berakibat dengan jatuhnya tegangan sensor yang akan dikuatkan. Penguat yang digunakan dalam kasus ini harus memiliki arus masukan yang sangat rendah, *drift*, dan tegangan *offset*; *gain* tegangan yang stabil dan akurat; serta memiliki *Common Mode Rejection Ratio (CMRR)* yang tinggi.

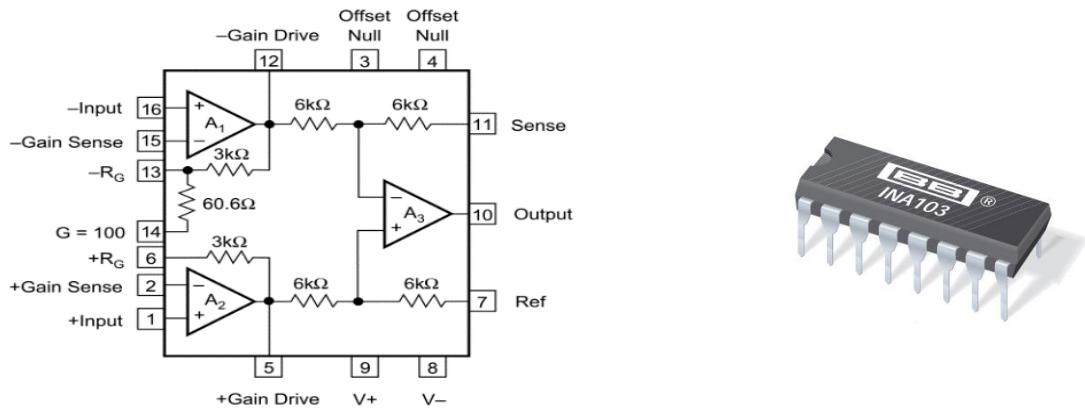
Walaupun pada umumnya penguat operasional (*Op-amp*) dengan berbagai jenis dan rasio resistor yang ketat sering digunakan, desain penguat instrumentasi lebih baik untuk menyelesaikan masalah tersebut. Misalnya sensor akan diubah datanya menjadi data digital menggunakan *Analog to Digital Converter (ADC)*. Tegangan sinyal yang diukur sering kali jauh lebih kecil dari tegangan masukan maksimum yang diizinkan dari sistem ADC. Misalnya, sinyal 0 Volt hingga 100 miliVolt jauh lebih kecil dari pada ADC rentang 0 Volt hingga 5 Volt. *Gain* sebesar 50 dibutuhkan untuk mendapatkan resolusi maksimum pada pengukuran tersebut.

Penguat instrumentasi mampu memperoleh *gain* dari 1 hingga lebih dari 10.000, tetapi dalam sistem *multiplexing*, *gain* biasanya terbatas pada rentang 1 hingga 1.000.

Penguat instrumentasi memiliki keluaran impedansi rendah yang ideal untuk mengoperasikan masukan ADC. Ciri khas dari ADC yaitu tidak memiliki impedansi masukan yang tinggi atau konstan. Oleh karena itu sinyal masukan harus memiliki impedansi serendah-rendahnya. Beberapa penguat instrumentasi memiliki kelemahan pada tegangan *offset*, *error gain*, keterbatasan *bandwidth*, dan *settling time*. Tegangan *offset* dan *error gain* dapat dikalibrasi sebagai bagian dari pengukuran, tetapi *bandwidth* dan *settling time* merupakan parameter yang membatasi frekuensi dari sinyal yang dikuatkan dan frekuensi di mana pengalihan (*switching*) masukan sistem dapat mengalihkan saluran antar sinyal. Rangkaian tegangan DC stabil yang diterapkan ke penguat instrumentasi dengan cepat menghasilkan sinyal yang sulit untuk dikuatkan.

Penguat instrumentasi terintegrasi adalah penguat operasional berkualitas tinggi yang memiliki jaringan *feed back* internal yang presisi. Hal tersebut ideal untuk mengukur sinyal tingkat rendah pada lingkungan yang memiliki *noise* tanpa kesalahan. Selain itu, juga dapat menguatkan sinyal lemah pada titik tengah tegangan *common mode* tinggi. Penguat instrumentasi terintegrasi sangat cocok untuk koneksi langsung ke berbagai macam sensor seperti *strain gauge*, termokopel, RTD, arus *shunt*, dan *load cells*. Itu semua biasanya dikonfigurasi dengan tiga penguat operasional yaitu dua masukan diferensial dan satu penguat keluaran diferensial. Beberapa memiliki pengaturan *gain* internal dari 1 hingga 100 dan lainnya dapat diprogram.

Rangkaian penguat instrumen perlu resistor-resistor yang presisi untuk memperoleh *Common Mode Rejection Ratio (CMRR)* yang tinggi. Untuk memberikan kemudahan para pengguna penguat instrument maka rangkaian tersebut telah diproduksi menjadi satu cips IC yang disebut IC penguat instrumen. Salah satu tipe yang popular dengan harga yang terjangkau adalah IC penguat instrument tipe INA103. Diagram pin dari IC penguat instrumen tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.6. Pada Gambar tersebut terlihat resistor-resistor yang digunakan pada parameter penguatan dan harus memiliki kemiripan tinggi untuk memperoleh nilai *Common Mode Rejection Ratio (CMRR)* tinggi telah terintegrasi di dalam IC INA103.



**Gambar 2.6 Diagram pin dari IC penguat instrumen INA 103**

==ooOooo==

# AKUISISI DATA SENSOR

Bab ini membahas sistem akuisisi data sensor yang merupakan teknik memasukkan data sinyal keluaran dari sensor ke dalam komputer. Permasalahan ini sangat penting karena pengukuran, pengendalian, pengontrolan, dan pemrosesan berbasis komputer memiliki keuntungan ekonomi yang tinggi. Pada bagian ini, teknik akuisisi data dikembangkan dengan perangkat antarmuka terkini mikrokontroler 32 bit AT91SAM3X8E. Pembahasan bab ini meliputi arsitektur mikrokontroler yang terlibat dalam sistem akuisisi data sensor terutama perangkat *Analog to Digital Converter (ADC)* dan sistem komunikasi data serial untuk mengirim data dari mikrokontroler ke komputer. Pada bab ini juga dibahas tentang infrastruktur pemrograman mikrokontroler dan beberapa contoh program akuisisi data yang akan digunakan untuk program-program akuisisi data sensor.

## 3.1 Konsep Akuisisi Data Sensor

Akuisisi data sensor merupakan sesuatu proses pengumpulan informasi dari sejumlah data sinyal keluaran sensor, mengubahnya menjadi data digital serta mengirimkan data tersebut ke komputer untuk dilakukan penyimpanan, pemrosesan, dan penampilan data pada perangkat penampil informasi atau dicetak pada printer. Proses ini bukan merupakan proses yang sederhana karena melibatkan perangkat yang dapat bekerja untuk fungsi dan tujuan tersebut. Tingkat kerumitan sistem akuisisi data sangat tergantung kepada kondisi awal sinyal

sensor yang akan diantarmukakan ke dalam komputer. Misalnya, sinyal yang sangat lemah dan memiliki frekuensi tinggi memerlukan penguatan khusus (penguat instrumen) serta perangkat antarmuka dengan kecepatan *sampling* yang tinggi.

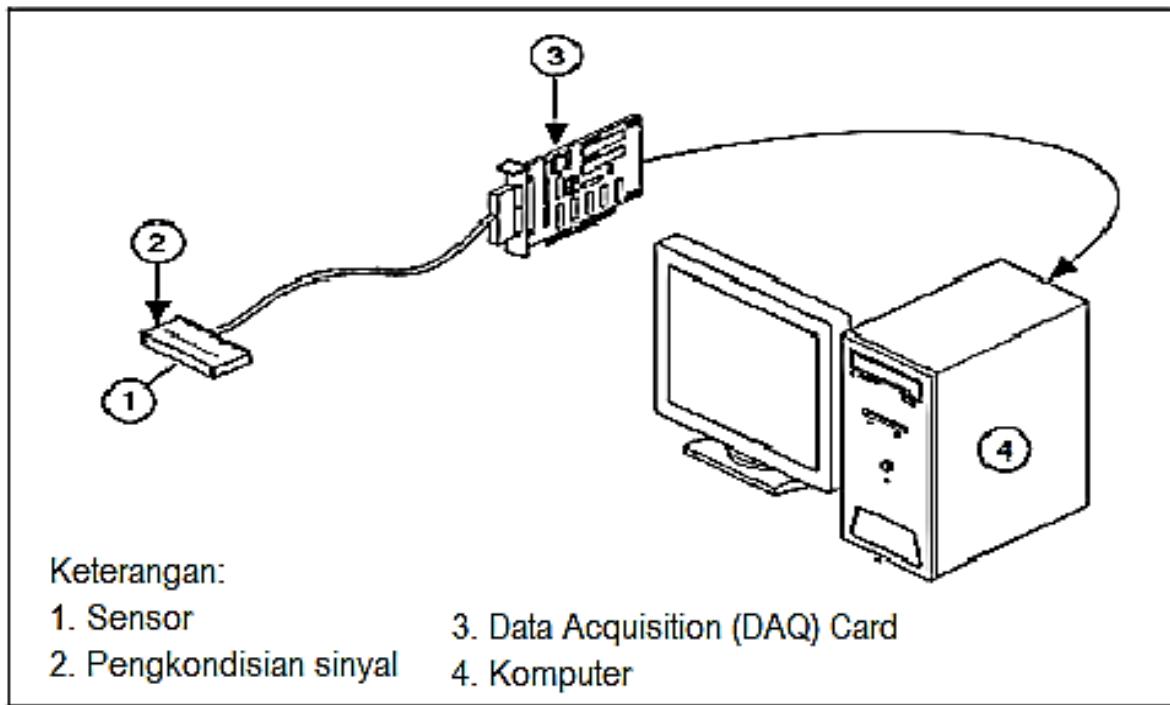
Pengendalian dan pemrosesan data pada domain digital memiliki banyak keunggulan, diantaranya dapat disimpan dalam memori, disalin dan digandakan, diolah dengan operasi matematik dan komputasi lainnya, serta dapat ditransmisikan melalui jaringan dan perangkat komunikasi data. Informasi sensor pada umumnya masih berupa data analog. Oleh karena itu diperlukan pengubah sinyal analog ke bentuk digital, dimana sinyal sensor diubah menjadi serangkaian angka biner yang dikenal sebagai data digital. Permasalahan ini menjadi menarik karena berkembangnya teknologi komputer dan biaya produksinya yang lebih murah. Selain itu, komputer juga dapat membaca dan menginterpretasikan informasi lebih banyak dan lebih cepat sehingga mendukung sistem *online* dan *realtime*.

### 3.2 Arsitektur Akuisisi Data Sensor

Akuisisi data berkaitan dengan proses pengumpulan informasi data analog dan kemudian mengolahnya ke dalam bentuk digital. Data analog yang dimaksud merupakan besaran-besaran fisis yang diindera menggunakan sensor. Pada bagian ini dijelaskan mengenai arsitektur sensor ke sistem akuisisi data. Sistem tersebut tersusun atas sensor atau transduser, pengkondisian sinyal, *interface card* (kartu antarmuka), mikroprosesor, dan *software* akuisisi data. Arsitektur sistem akuisisi data sensor ke komputer ditunjukkan pada Gambar 3.1.

Pada Gambar 3.1 bagian pertama dari sistem akuisisi data adalah sensor atau transduser yang merupakan bagian dari sistem instrumen yang memiliki fungsi untuk mengubah besaran fisis menjadi besaran listrik. Sesuai dengan teori tentang sensor, banyak parameter listrik analog yang dihasilkan oleh sensor tersebut, diantaranya: arus, tegangan, resistansi, kapasitansi, induktansi, frekuensi, fasa, dan parameter listrik lainnya. Nilai besaran listrik keluaran sensor tersebut selalu memiliki korelasi dengan besaran fisis yang dideteksi. Beberapa sensor telah diintegrasikan dengan pengkondisian sinyal, ADC dan sistem komunikasi data. Penggunaan sensor tersebut dilakukan dengan cara berkomunikasi dengan

protokol yang telah ditentukan vendor. Sistem sensor tersebut sering disebut dengan modul sensor.

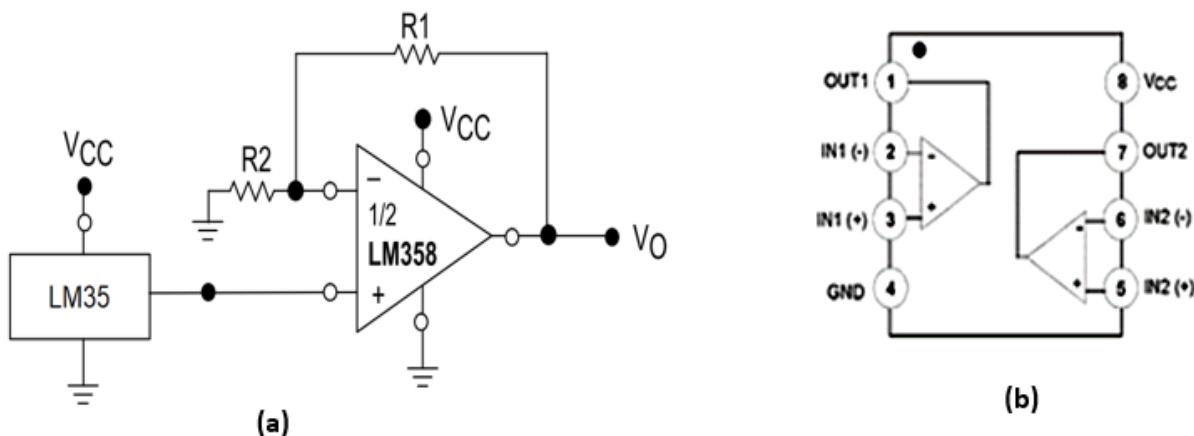


Gambar 3.1 Arsitektur akuisisi data sensor

Pengkondisian sinyal pada sistem akuisisi data sensor berfungsi untuk mengkondisikan sinyal sensor agar sesuai dengan taraf sinyal yang diperlukan. Banyak sensor yang mengeluarkan sinyal listrik akan tetapi harus diadaptasikan terlebih dahulu sebelum bisa didigitalisasi. Misalnya sensor intensitas cahaya *Light Dependent Resistor (LDR)* mengeluarkan besaran listrik dengan parameter resistansi sehingga perlu diadaptasi dengan rangkaian jembatan Wheatstone untuk menghasilkan keluaran tegangan. Sensor magnetik yang didesain dengan induktor, bekerja dengan menangkap medan magnet tersebut menjadi menjadi tegangan dengan besaran nilai reaktansi induktif. Oleh karena itu diperlukan rangkaian osilator yang mengubah nilai reaktansi induktif menjadi pulsa-pulsa listrik.

Rangkaian penguat merupakan pengkondisian sinyal sensor yang sering digunakan pada sistem akuisisi data sensor. Hal tersebut disebabkan karena pada umumnya sensor memiliki taraf arus maupun tegangan keluaran yang kecil. Salah satu contohnya adalah rangkaian penguat dengan IC Op-amp ditunjukkan pada rangkaian Gambar 3.2a. Penguatan

tersebut memiliki efektifitas yang tinggi karena menggunakan IC Op-amp LM358 dengan catu daya tunggal (*single supply*) dan dapat bekerja pada pencatuan 5 Volt. Satu chip IC LM358 memiliki 2 penguat terpisah di dalamnya seperti ditunjukkan pada Gambar 3.2b. Pada penggunaannya, IC tersebut dapat dipilih salah satu dari dua unit yang tersedia.

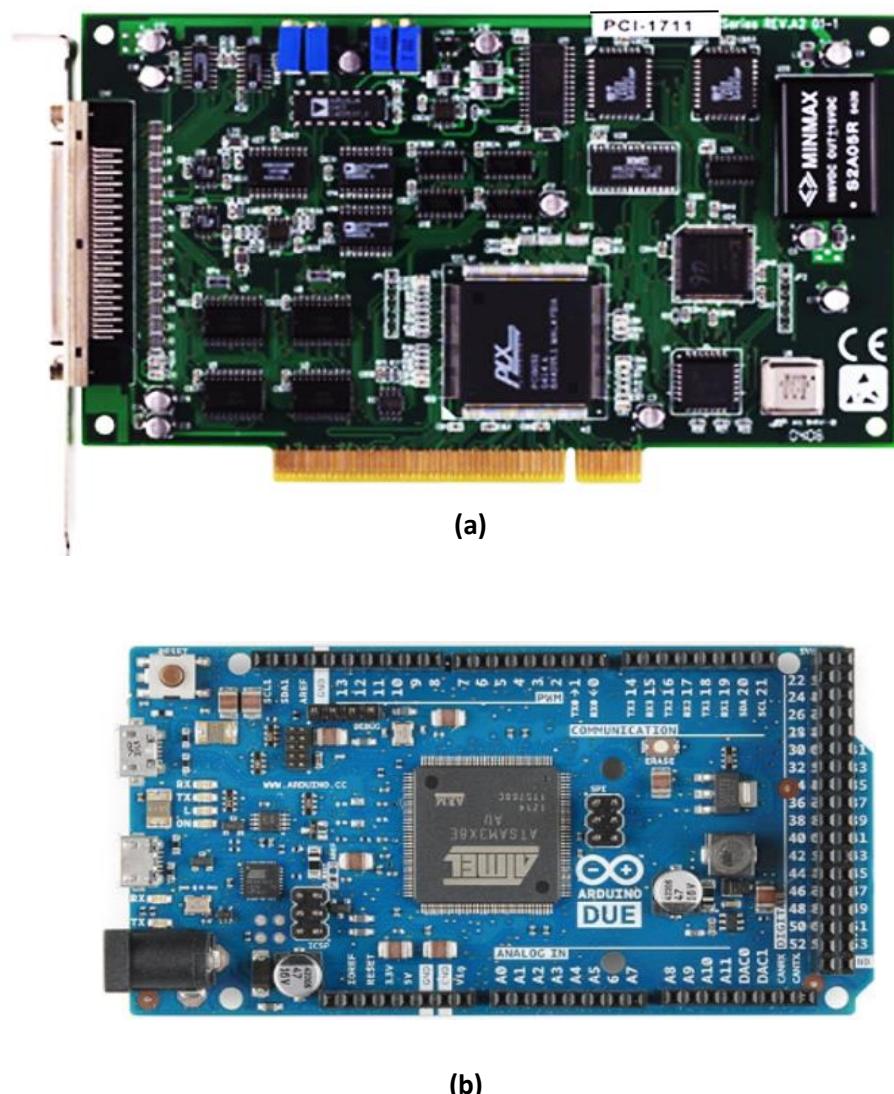


Gambar 3.2 Pengkondisian sinyal pada sensor suhu LM35

Perangkat berikutnya dalam sistem akuisisi data sensor adalah *interface card* (kartu antarmuka) yang fungsi utamanya untuk mengubah data analog menjadi data digital, melakukan komputasi sederhana data sensor tersebut (jika diperlukan) dan mengirimkan data ke komputer atau perangkat pemroses lainnya. *Interface card* telah banyak diproduksi oleh vendor instrumen misalnya: *National Instrument DAQ card* dan *Advantech DAQ card*. Pada masa sekarang telah banyak berkembang *open source* perangkat keras yang dapat diprogram menjadi *interface card*.

Mikrokontroler merupakan salah satu contoh dari *open source* perangkat keras tersebut. Penggunaan mikrokontroler untuk *interface card* memerlukan biaya yang jauh lebih murah jika dibandingkan dengan *interface card* khusus buatan vendor. Contoh *interface card* dari vendor Advantech dan mikrokontroler AT91SAM3X8E Arduino Due ditunjukkan pada Gambar 3.3. Bagian sistem akuisisi data selanjutnya adalah pemroses digital. Pemroses digital berfungsi untuk memproses data digital sesuai perintah yang diberikan.

Contoh perangkat pemroses digital antaralain: mikrokontroler, mikroprosesor (komputer), PLC, dan *Distributed Control System (DCS)*. Komputer merupakan pemroses data digital sensor yang sangat efektif ditinjau dari segi kemampuan dan nilai ekonomisnya. Agar perangkat pemroses digital dapat berkomunikasi dengan komputer maka diperlukan *software* akuisisi data. *Software* yang digunakan untuk membuat *protocol* (aturan) pada *hardware* akuisisi data misalnya menggunakan bahasa perograman assembly, C, C++, Visual C, Borland C, Pascal, Borland Delphi, Basic, Visual Basic (VB), Java, Fortran, Mathlab, Labview (NI-Daq), dan Genidaq (Advantech).



Gambar 3.3 *Interface card* (kartu antarmuka) computer, (a) PCL-1712 produk vendor Advancetech dan (b) *open source interface* Arduino Due AT91SAM3X8E

### 3.3 Interface Card Komputer menggunakan Mikrokontroler

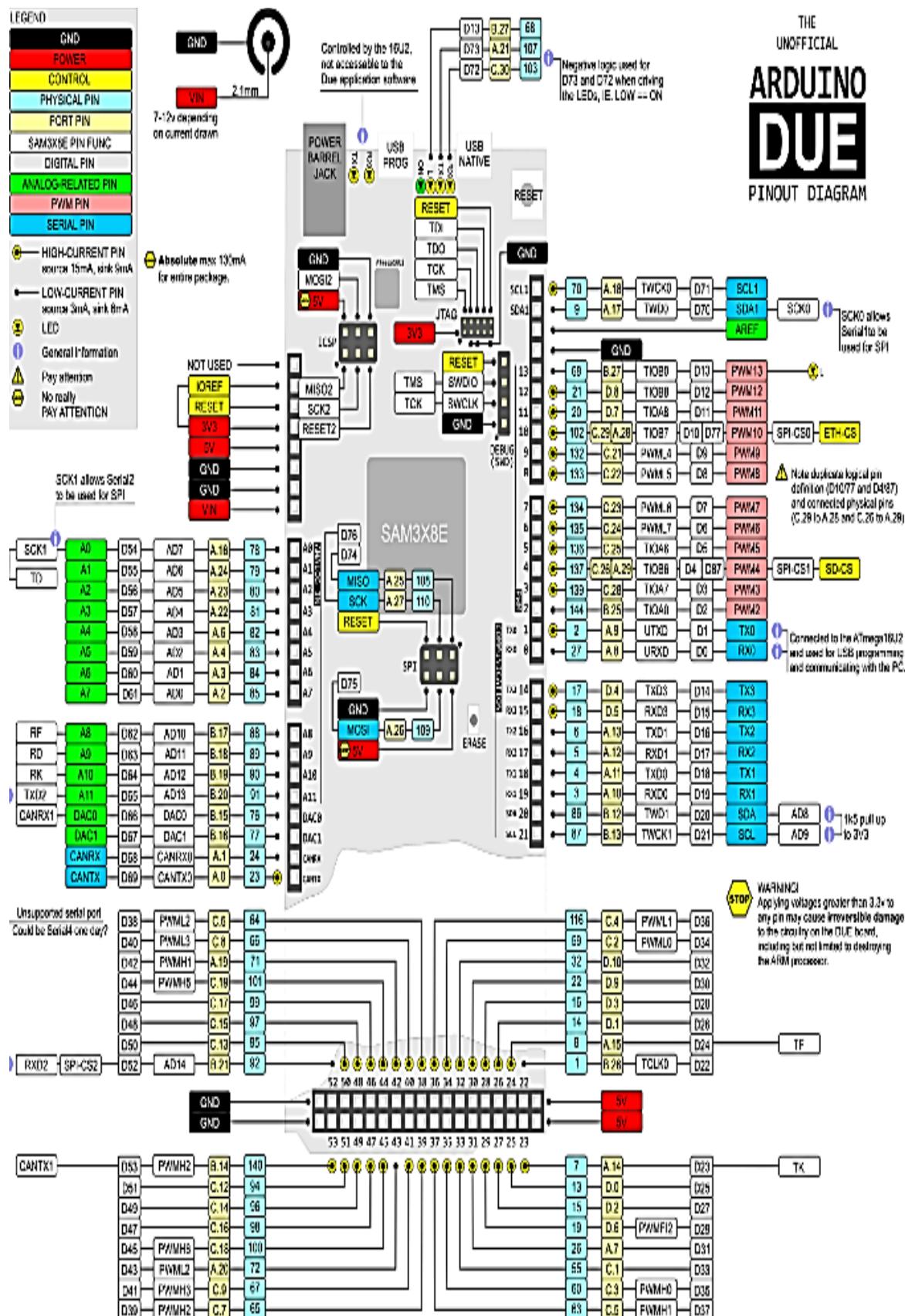
Mikrokontroler adalah *chip* yang dapat melakukan pemrosesan data secara digital sesuai dengan program perintah yang berikan. Perintah-perintah tersebut berupa kode mesin yang digunakan untuk menjalankannya dan harus sesuai dengan kode yang diberikan perusahaan pembuatnya. Kode tersebut dapat berupa program komputer dalam bahasa *assembly* atau bahasa translasi lainnya yang telah dibuat oleh perusahaan *software* misalnya : Bahasa C, Basic, atau Bahasa dari developer lainnya. Pada masa sekarang, penggunaan mikrokontroler telah menjadi trend pada desain teknologi elektronika. Hal ini disebabkan karena teknologi *chip* mikrokontroler dapat mereduksi sistem digital diskrit dengan menggunakan perangkat lunak yang diprogram. Mikroprosesor dikembangkan lebih ke arah perangkat berbasis komputer sedangkan mikrokontroler lebih banyak ke sistem instrumentasi elektronika. Dari fleksibilitas yang dimiliki, mikrokontroler berpotensi untuk diprogram menjadi *interface card* data sensor ke dalam komputer.

Terdapat perbedaan yang mendasar antara mikroprosesor dan mikrokontroler. Mikroprosesor memerlukan perangkat pendukung (RAM, *harddisk*, *graphic card*, monitor, *keyboard*, dan *floppy disk*) yang dipasang sebagai *peripheral* eksternal dalam menjalankan instruksi. Mikrokontroler merupakan *chip* tunggal yang dapat menjalankan instruksi tanpa *peripheral* pendukung dari luar karena *peripheral* telah diintegrasikan di dalam *chip* tersebut. Memang mikrokontroler tidak secerdas mikroprosesor, akan tetapi jika tingkat kecerdasan yang dimiliki telah cukup untuk menjalankan tugas dari suatu sistem instrumen maka mikrokontroler menjadi pilihan pertama karena memiliki kelebihan antaralain: murah, rangkaian menjadi sederhana dan dimensi instrumen menjadi lebih kecil.

#### A. Arsitektur Mikrokontroler AT91SAM3X8E

AT91SAM3X8E CORTEX-M3CPU merupakan salah satu jenis mikrokontroler yang diproduksi oleh perusahaan Atmel. Mikrokontroler tersebut telah dijadikan inti dari *board system* Arduino Due dan memiliki kompatilitas pemrograman dengan Arduino IDE. Diagram *system* mikrokontroler Atmel AT91SAM3X8E ditunjukkan pada Gambar 3.4.

THE  
UNOFFICIAL  
**ARDUINO**  
**DUE**  
PINOUT DIAGRAM



Gambar 3.4 Arsitektur mikrokontroler ATMEL AT91SAM3X8E

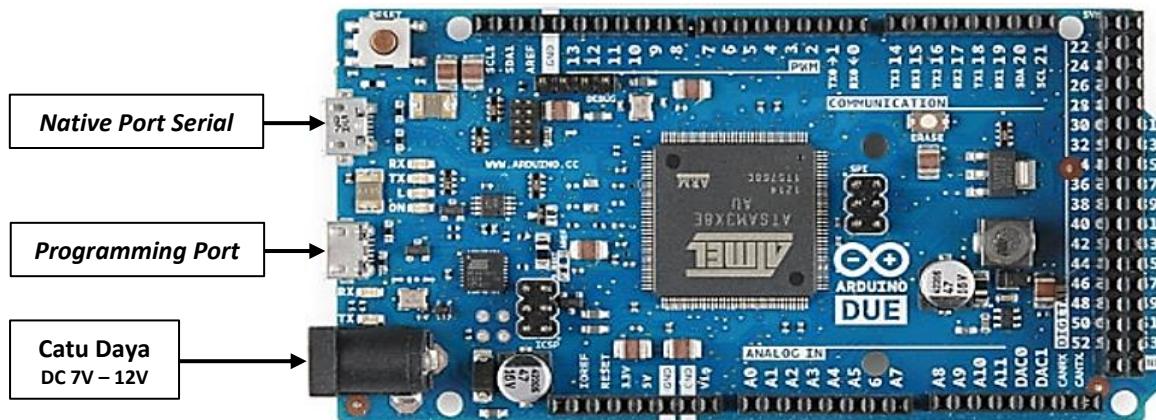
Arduino Due merupakan *board system* mikrokontroler berbasis AT91SAM3X8E CORTEX-M3CPU pertama dengan 32-bit ARM *core*. Mikrokontroler AT91SAM3X8E memiliki fasilitas *Analog to Digital Converter (ADC)* yang sudah terdapat dalam *chip*. Fitur ADC internal ini juga menjadi salah satu kelebihan mikrokontroler tersebut sehingga mempermudah dalam akuisisi data sensor. *Analog to digital converter (ADC)* merupakan peralatan elektronik yang mengkonversi masukan analog dari tegangan atau arus ke digital yang sebanding dengan besar arus atau tegangan *input*. Spesifikasi lengkap mikrokontroler berbasis AT91SAM3X8E ditunjukkan pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1 Spesifikasi Mikrokontroler AT91SAM3X8E**

Komponen	Spesifikasi
Tipe mikrokontroler	AT91SAM3X8E
Tegangan operasi	3.3V
Tegangan masukan (disarankan)	7-12V (Catu daya DC ke konektor)
Tegangan masukan (batas)	6-16V
Pin digital I/O	54 (dengan 12 keluaran PWM)
Pin <i>input</i> analog	12 buah
Pin output analog	2 (DAC) buah
Total DC output current on all I/O lines	130 mA
Arus DC untuk pin 3.3V	800 mA
Arus DC untuk pin 5V	800 mA
<i>Flash Memory</i>	512 KB untuk memori program yang di <i>upload</i> dari komputer
SRAM	96 KB (64KB dan 32KB)
<i>Clock Speed</i>	84 MHz

Perangkat ADC yang dimiliki AT91SAM3X8E mempunyai 12 buah saluran masukan analog yang termultipleks, serta mempunyai resolusi ADC dan PWM 12 bit. Hal itu berarti bahwa tegangan *input* analog mampu dikodekan menjadi representasi biner dengan bobot 0 - 4095. Mikrokontroler berbasis AT91SAM3X8E atau *board system* Arduino Due tidak seperti *board* Arduino pada umumnya yang telah diproduksi sebelumnya. *Board* Arduino bekerja

pada tegangan 3,3 Volt. Tegangan maksimum pada pin I/O adalah 3,3 Volt. Jika tegangan lebih dari 3,3 Volt dapat merusak board tersebut. *Board* Arduino Due berbasis ATME<sup>L</sup> AT91SAM3X8E ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 *Board system* Arduino DUE berbasis mikrokontroler ATME<sup>L</sup> AT91SAM3X8E

Pada Gambar 3.5 nampak bahwa *board system* Arduino Due memiliki dua jenis *port* USB yaitu *native port serial* USB (akan terdeteksi sebagai COM di komputer) dan *programming port* serial. *Native port serial* USB berfungsi untuk sistem komunikasi serial atau dapat juga digunakan untuk memonitor program yang sedang *running*. *Programming port* serial digunakan untuk *upload sketch* (terdapat ATME<sup>L</sup> 16U2 *serial to USB converter*) yang berperan sebagai *interface* saat mengisi program dari Arduino IDE dari komputer ke *board system* tersebut dan *auto reset* sebelum pemrograman. USB host memungkinkan *board* berkomunikasi dengan *mouse*, *keyboard*, dan perangkat lainnya.

## B. Program Komputer Arduino IDE (*Integrated Development Environment*)

Arduino merupakan *prototipe platform (open-source)* yang memiliki perangkat keras dan perangkat lunak yang mudah digunakan. Arduino memiliki *circuit board* yang dapat diprogram atau dikenal dengan mikrokontroler dan perangkat lunak Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) yang digunakan untuk menulis dan mengunggah (*upload*) skrip

program komputer ke mikrokontroler. Selain itu Arduino memiliki beberapa fitur utama seperti Arduino *board*, Arduino IDE, kabel USB, dan bahasa pemrograman.

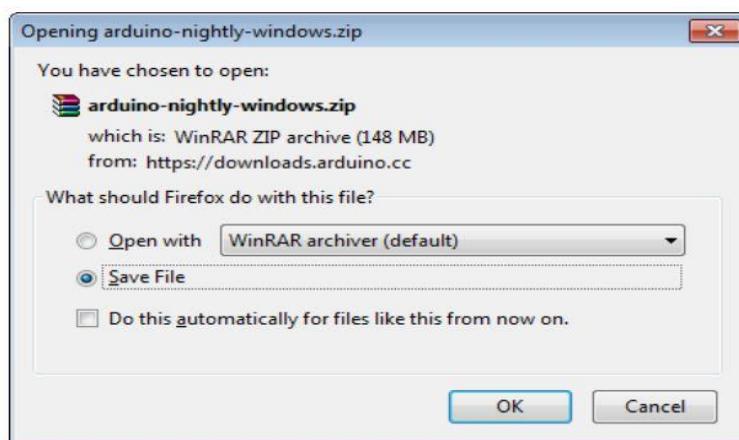
Arduino Due *board system* dapat membaca sinyal *input* analog atau digital dari sensor dan mengubahnya menjadi *output* seperti mengaktifkan motor, menyalakan LED, dan lain sebagainya. Fungsi Arduino *board system* dapat dikontrol dengan mengirim set instruksi ke mikrokontroler melalui Arduino IDE. Tidak seperti kebanyakan *circuit board* yang telah ada (yang dapat diprogram), Arduino tidak membutuhkan tambahan perangkat keras untuk memuat kode baru ke *board* dan cukup menggunakan kabel *micro USB*. Selain itu Arduino IDE menggunakan bahasa pemrograman C++ yang disederhanakan sehingga membuat program tersebut lebih mudah untuk dipelajari. Secara umum Arduino memberikan faktor standar yang memecah fungsi mikrokontroler menjadi lebih mudah digunakan.

### **Cara Instalasi**

Arduino IDE dapat di-*download* dan di-*instal* dari <http://Arduino.cc/>. Pada web tersebut dapat dipilih versi Arduino yang telah tersedia. Pada windows perlu *instal driver* untuk tipe *board* yang digunakan sebelum *upload* perangkat lunak. Berikut ini langkah meng-*install* Arduino IDE di komputer:

#### 1. Mengunduh dan ekstrak file ZIP

Setelah selesai pengunduhan pada alamat web, file Arduino disimpan dan buka zip filenya. Lokasi penyimpanan pada komputer sesuai dengan yang diinginkan seperti ditunjukkan Gambar 3.6.



**Gambar 3.6 Proses penyimpanan file yang sudah di-*download***

Sebagai contoh *driver* yang *download* merupakan versi Windows dan menggunakan Arduino Due, maka setelah di *unzip* langkah yang dilakukan adalah mengkoneksikan *board* ke PC melalui *port programming*.

### 2. *Install Arduino IDE*

Cara install *software Arduino IDE* tidak ada yang spesifik seperti halnya meng-*install software* di *Windows* pada umumnya.

### 3. *Install driver hardware*

Setelah Arduino *board system* dikoneksikan ke komputer maka Windows akan mendeteksi *hardware*. Untuk meng-*install driver hardware* tersebut dengan cara memilih:

❖ ***Control panel → Device manager → Update driver***

Selanjutnya mengarahkan ke *folder driver* yang telah disiapkan.

Jika berhasil akan terdeteksi sebagai Arduino Due *programming port (COM)*.

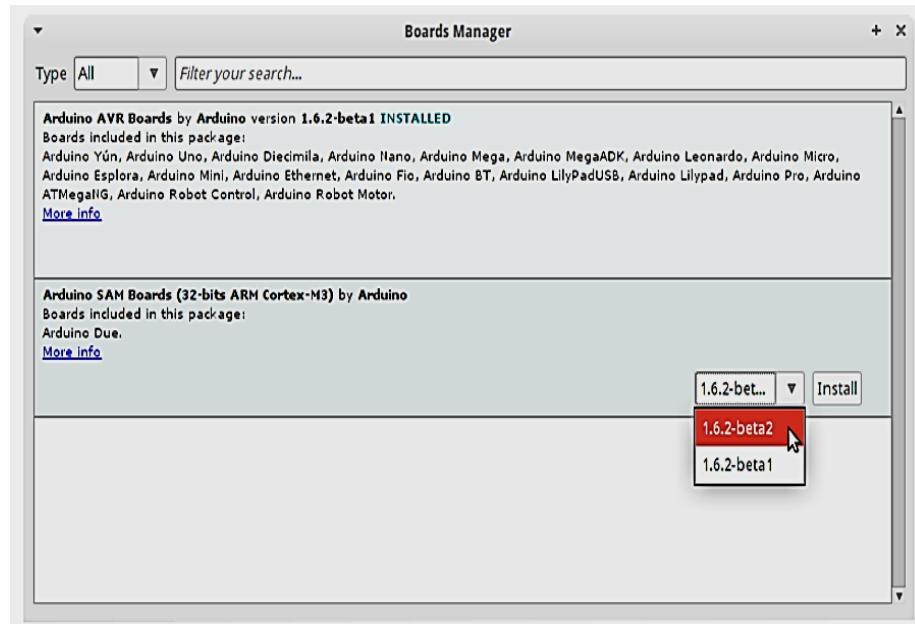
### 4. *Install COR Board*

Jika menggunakan Arduino versi 1.6.2 ke atas, maka perlu menginstal COR. Langkah yang dilakukan yaitu membuka:

❖ ***Arduino IDE → Boards → Board manager***

Sebelum melakukan instalasi, komputer perlu dikoneksikan ke jaringan internet. Setelah muncul menu versi *board* maka dipilih versi yang diinginkan untuk di-*install* (tipe Arduino SAM *board* (32-bits ARM Cortex-M3)) seperti ditunjukkan pada gambar 3.7. Langkah selanjutnya yaitu klik *install* dan menunggu hingga proses instalasi selesai. Setelah *install* Arduino maka langkah kedua adalah menyiapkan *board* untuk menerima program melalui kabel USB. *Board* Arduino secara otomatis mengambil daya dari

koneksi USB ke komputer atau catu daya eksternal. Jika *board* Arduino telah terhubung dengan komputer maka ditandai dengan LED yang menyala.



Gambar 3.7 Ilustrasi meng-install COR board Arduino Due

### Menjalankan Arduino IDE

Setelah *software Arduino IDE* dibuka, terdapat dua pilihan yaitu membuat projek baru atau membuka contoh *project* yang sudah ada. Berikut adalah langkah keduanya:

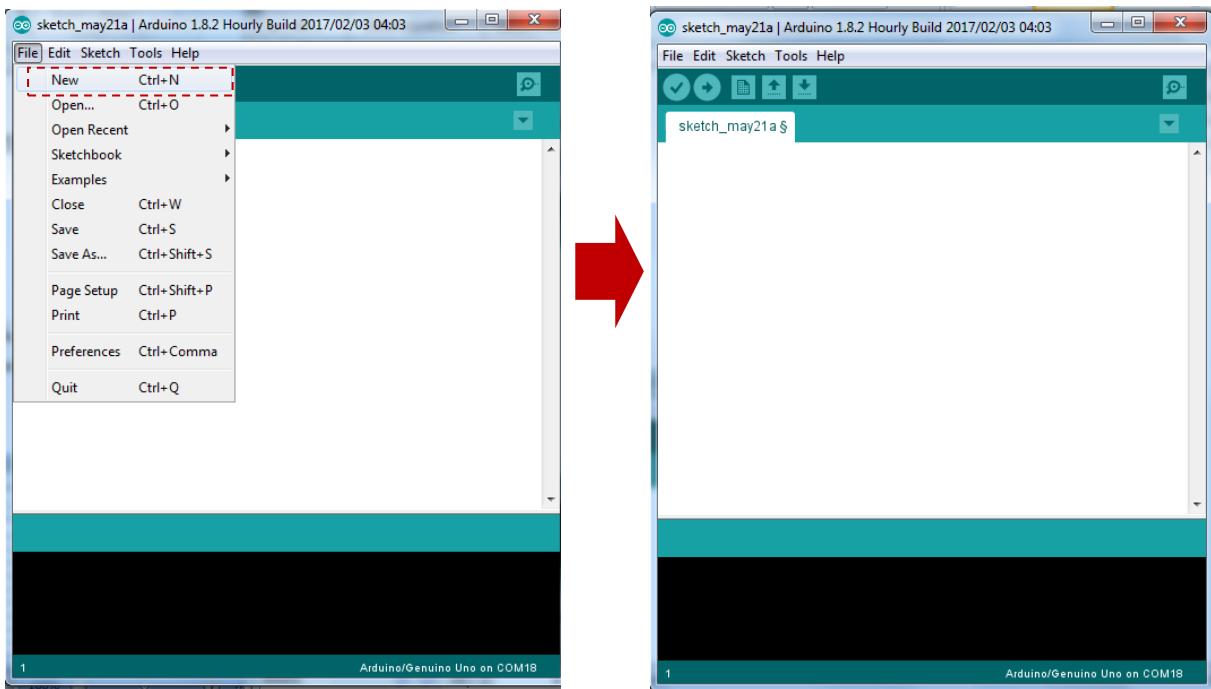
- Untuk membuat projek baru

**File → New**

- Untuk membuka contoh projek yang ada

**File → Example → Basics → Blink** (misal memilih untuk memerintah agar LED berkedip dengan waktu tunda tertentu)

Pada langkah untuk membuka contoh projek yang ada, maka dapat memilih contoh lain yang terdapat pada daftar pilihan. Ilustrasi langkah tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.8.



**Gambar 3.8 Langkah membuat project baru**

Langkah selanjutnya adalah memilih Arduino *board system* yang sesuai dengan yang digunakan dan memilih *port* yang terdeteksi. Pemilihan Arduino *board* dan *port* bertujuan untuk menghindari kesalahan saat mengunggah program yang telah dibuat ke *board*.

Langkah memilih nama *board* adalah sebagai berikut:

❖ **Tools → Board**

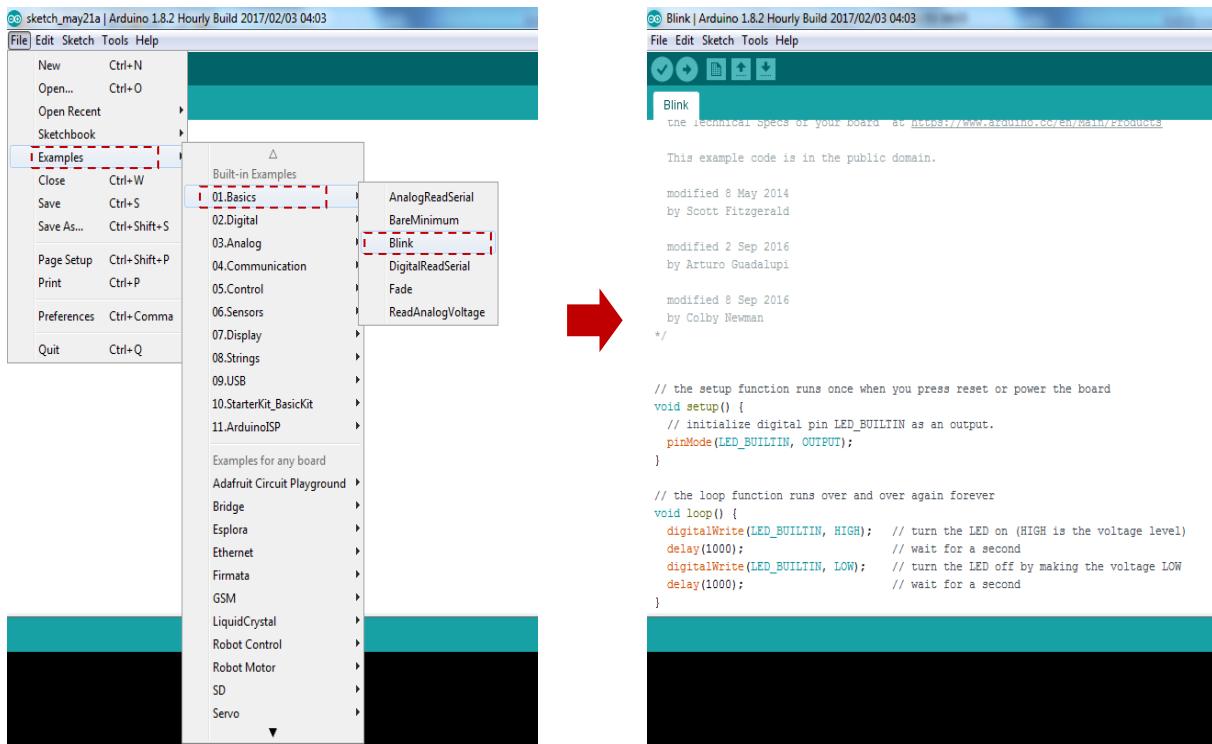
Kemudian dipilih nama *board* yang sesuai. Biasanya board Arduino IDE berada di bagian bawah karena merupakan perangkat tambahan dari *default*.

Langkah memilih *port* adalah sebagai berikut:

❖ **Tools → Port**

Kemudian dipilih *port* yang sesuai dan telah terkoneksi dengan *board*. Pemilihan *port* disesuaikan dengan yang tertera pada *device manager*.

Untuk mencoba meng-*upload file* program dapat membuka contoh yang telah ada di *software* Arduino Due. Misalnya untuk membuat lampu berkedip dapat membuka contoh program “Blink” dengan melihat langkah-langkah seperti ditunjukkan Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Langkah membuka contoh project “Blink”

### Arsitektur Program

Membeli mikrokontroler Arduino *board system* yang baru tentunya program instruksi masih dalam keadaan kosong. Agar dapat digunakan untuk tujuan tertentu maka harus dilakukan pemrograman melalui komputer kemudian program tersebut di-*upload* ke dalam *flash memory* mikrokontroler tersebut. Oleh karena itu diperlukan program sesuai dengan tujuan dan program tersebut dapat dihapus jika terjadi kesalahan dalam pemrograman atau ingin diganti program yang lain.

Bahasa pemrograman yang digunakan pada Arduino IDE adalah bahasa C++. Struktur pemrograman pada mikrokontroler menggunakan Arduino IDE adalah :

1. *Judul program (opsional)*
2. *Preprocessing*
3. *Setup*
4. *Loop program utama*

Dari struktur program tersebut terdapat bagian yang bersifat opsional sehingga tidak selalu ada dalam struktur. Contoh **PROGRAM 001** berikut ini adalah program dengan struktur sederhana pada Arduino IDE dan *comment* penjelasan masing-masing instruksi. Pada program tersebut terdapat tanda “//” yang artinya setiap *script* yang berada dibelakang tanda tersebut tidak dieksekusi.

### **PROGRAM 001**

<pre>// Program Led Blink</pre> <pre>const int led=13;</pre> <pre>void setup ()</pre> <pre>{</pre> <pre>pinMode(led, OUTPUT);</pre> <pre>}</pre> <pre>void loop ()</pre> <pre>{</pre> <pre>digitalWrite(led, HIGH);</pre> <pre>delay (1000);</pre> <pre>digitalWrite(led, LOW);</pre> <pre>delay (1000);</pre> <pre>}</pre>	<p><b>// Judul Program</b></p> <p><b>// Preprocessing :</b> menentukan konstanta pin yang digunakan // (Led pada board berada di pin 13)</p> <p><b>// Setup :</b> mempersiapkan fungsi masing2 kaki</p> <p>// menentukan pin 13 sebagai keluaran</p> <p><b>// Loop program utama</b></p> <p>// menyalaikan LED</p> <p>// delay 1000 ms</p> <p>// mematikan LED</p> <p>// delay 1000 ms</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### **Komunikasi Serial dan Serial Monitor**

Mikrokontroler memiliki kemampuan untuk melakukan komunikasi data dengan sistem sensor atau perangkat elektronik lainnya. Salah satu sistem komunikasi tersebut adalah komunikasi serial yaitu sistem komunikasi komunikasi dengan melakukan pengiriman data setiap *bit* secara berurutan. Komunikasi serial memudahkan untuk memantau status pekerjaan yang sedang dilakukan oleh komputer karena terjadinya pertukaran informasi antara Arduino *board* dengan komputer.

Arduino *board system* merupakan mikrokontroler yang tidak memiliki perangkat *display* seperti monitor, *Liquid Crystal Display (LCD)*, dan lain sebagainya, sehingga adanya komunikasi serial memberi manfaat yang sangat besar. Salah satu contoh manfaatnya adalah dapat melihat data dari sensor yang sedang diuji tanpa harus menggunakan LCD tetapi dapat langsung menggunakan komputer, sehingga pengguna dapat langsung melihat hasil pembacaan sensor yang sedang diprogram tanpa harus merangkai dan memprogram penampil data untuk melihat data dari sensor yang sedang digunakan. Beberapa instruksi yang terdapat pada komunikasi serial *board* Arduino ditunjukkan pada Tabel 3.2.

**Tabel 3.2 Instruksi komunikasi serial pada *board* Arduino Due**

Instruksi	Fungsi
if (Serial)	mengecek apakah <i>port</i> sudah siap
Serial.available()	mengecek apakah data sudah ada di <i>buffer</i> penerima
Serial.begin()	mengeset kecepatan transmisi data
Serial.end()	menonaktifkan pin RX dan TX sebagai fungsi serial dan kembali sebagai pin I/O
Serial.find()	mencari string dalam <i>buffer</i> data
Serial.findUntil()	mencari <i>buffer</i> data sampai data dengan panjang/terminatornya yang diberikan ditemukan
Serial.flush()	menunggu data terkirim semua
Serial.parseFloat()	mengambil data <i>float</i> pertama dari data di <i>buffer</i> serial
serial.parseInt()	mengambil data <i>integer</i> pertama dari data di <i>buffer</i> serial
Serial.peek()	mengambil data berikutnya di <i>buffer</i> penerima
Serial.print()	mengirim data ASCII
Serial.println()	mengirim data ASCII + CR,LF (kode enter)
Serial.read()	membaca data yang diterima
Serial.readBytes()	membaca data <i>byte</i> yang diterima
Serial.setTimeout()	mengeset batas maksimum waktu tunggu ( <i>timeout</i> ) transmisi data
Serial.write()	mengirim data <i>byte</i> (numerik)
Serial.serialEvent()	fungsi ini akan dipanggil jika data datang/diterima dan berlaku seperti interupsi serial

Komunikasi serial pada Arduino dapat dilakukan secara dua arah, yang berarti bahwa baik komputer yang kita gunakan maupun Arduino *board system* yang sedang kita program dapat saling berkomunikasi dan saling mengirim maupun menerima informasi. Data yang dikirim ke serial *port* akan dikirim ke *buffer* pengirim (Tx *buffer*) dan data yang diterima adalah data yang diambil dari *buffer* penerima (Rx *buffer*). Data yang dikirim dan

diterima Arduino dalam bentuk ASCII. **PROGRAM 002** merupakan contoh program komunikasi serial *multiple addressing* dimana nilai yang terkirim dari mikrokontroler tergantung alamat yang diberikan dari komputer melalui *input* dan dikirim dengan “*send*”.

## PROGRAM 002

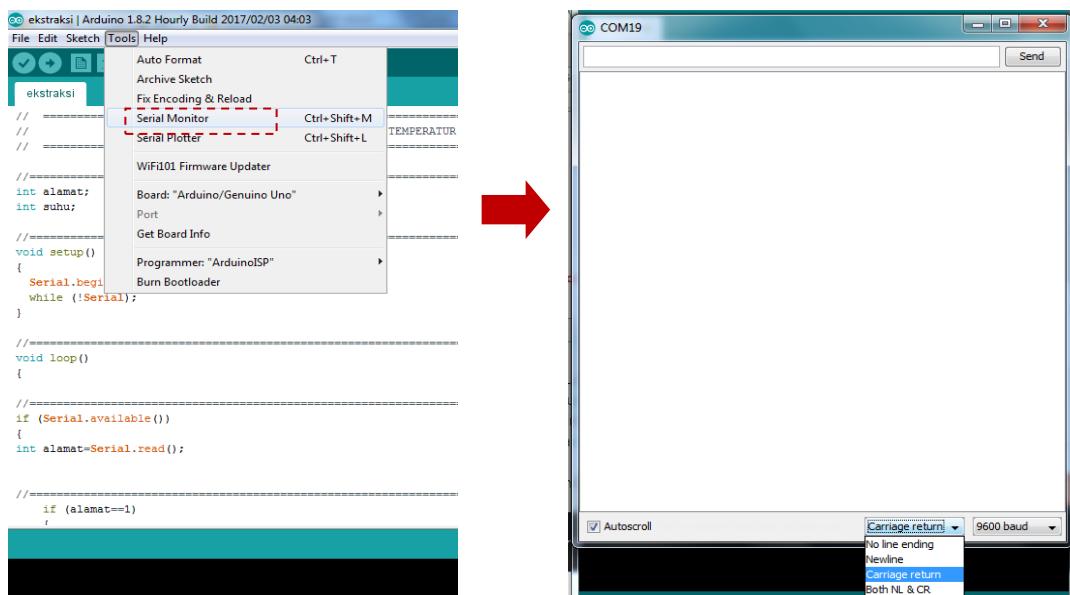
// Program Komunikasi Multiple addressing int alamat; int datanya;	// <b>Judul Program</b> // <b>Preprocessing</b> : menyiapkan variable : “alamat” dan // “datanya” dalam format integer (bilangan bulat).
void setup() { Serial.begin(9600); while (!Serial); }	// <b>Setup</b> // Set kecepatan pengiriman data 9600 BPS
void loop() { if (Serial.available()) { alamat=Serial.read();  if (alamat=='1') { datanya=11111; Serial.println(datanya); } if (alamat=='2') { datanya=22222; Serial.println(datanya); } } }	// <b>Loop program utama</b> // Idle, menunggu data dari komputer.  // Jika ada data masuk maka langsung dibaca dan disimpan di // variable alamat. // Jika alamat =1 maka, // mengirim angka 11111  // Jika alamat = 2 maka, // mengirim angka 22222.

Setelah mengetik program pada *software* Arduino IDE tersebut maka dilanjutkan dengan meng-*upload* program ke dalam Arduino Due *board*. Untuk menguji komunikasi antara sensor dengan komputer dapat dilakukan dengan membuka serial monitor. Langkah untuk membuka serial monitor yaitu:

❖ Tools → Serial Monitor

Kemudian dapat dilihat tampilan serial monitor seperti ditunjukkan pada Gambar 3.10. Kecepatan komunikasi antara Arduino dengan pembacaan sensor dapat diatur dengan melihat bagian pojok kanan bawah pada serial monitor.

Pada kode Arduino di atas berfungsi untuk membaca semua karakter yang dikirimkan ke port serial (oleh komputer). Untuk memulai komunikasi kita harus menetapkan kecepatan pembacaan data baik untuk keperluan pengiriman dan penerimaan. Terlihat pada bagian *setup()* terdapat fungsi *Serial.begin()* berfungsi untuk memulai serial dan argumen 9600 menentukan kecepatan data. Selain itu, alamat yang digunakan adalah 1 yang berarti bahwa etika mengetikkan angka 1 pada serial monitor maka Arduino mulai mengirimkan data yang diterima oleh sensor ke komputer.



Gambar 3.10 Langkah memunculkan serial monitor

==ooOooo==

Pada bab ini dijelaskan konsep pengubah data analog ke digital menggunakan perangkat *Analog to Digital Converter (ADC)*. Keluaran sensor pada umumnya masih berupa sinyal analog. Disisi lain komputer bekerja secara digital dan memiliki peran strategis sebagai pengolah data digital. Oleh karena itu memahami konsep kerja ADC sangat penting. Memahami ADC merupakan bagian yang penting karena menentukan *error* dan ketelitian sistem akuisisi data sensor. Pada bagian ini dijelaskan konsep kerja ADC yang dibangun menggunakan *open source* mikrokontroler AT91SAM3X8E yang memiliki *12 channel input* analog dan lebar data 12 bit yang dapat diprogram

## 4.1 Analog to Digital Converter (ADC)

Pada teknologi sensor dibutuhkan sistem pengolahan dan pemrosesan data secara digital. Oleh karena itu diperlukan perangkat *Analog to Digital Converter (ADC)* yang mengubah isyarat sensor analog menjadi isyarat digital. Sinyal masukan sensor tersebut pada umumnya berupa parameter tegangan. Pada komputer digital, tegangan sinyal hanya memiliki dua keadaan biner yaitu 0 dan 1. Pemahaman mengenai pengubah analog ke digital sangat diperlukan karena mikroprosesor hanya dapat memproses sinyal digital. Selain itu, pada sinyal digital dapat mereduksi *noise* yang ditimbulkan saat pengukuran. Pengubah analog ke digital memproses data analog ke data digital melalui pemrosesan sinyal. Pengubah analog

ke digital banyak digunakan di berbagai peralatan ketika sinyal analog diproses maupun diubah dalam bentuk digital.

### **Resolusi ADC**

Perangkat ADC untuk sinyal sensor bekerja dengan mengubah data analog menjadi data biner (1 dan 0) dan selanjutnya diubah menjadi angka digital yang dapat dibaca oleh komputer. Jumlah digit suatu bilangan biner (bit) merepresentasikan resolusi dari suatu ADC. Angka digital yang terbaca merupakan pendekatan dari tegangan analog maka seberapa dekat angka digital dengan tegangan analog bergantung pada resolusi ADC tersebut. Lebar bit ADC berkaitan dengan rentang konversi data keluaran ADC tersebut. Tabel 4.1 merupakan contoh hubungan antara lebar bit ADC dan rentang konversinya. Pada table tersebut terlihat nilai maksimum dari ADC satu bilangan lebih rendah dari jumlah angka konversinya. Hal tersebut dikarenakan pencacahan ADC dimulai dari angka 0.

**Tabel 4.1. Konversi lebar bit ke rentang ADC**

Lebar Bit ADC	Jumlah Konversi	Rentang konversi
8 bit	256	0 -255
10 bit	1024	0 - 1023
12 bit	4096	0 - 4095
16 bit	65536	0 - 65535

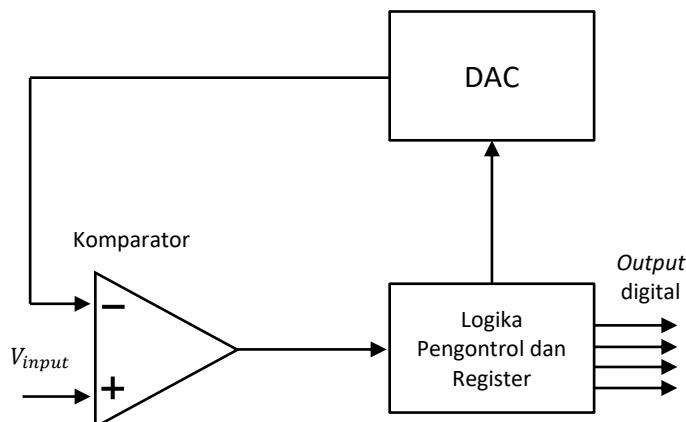
Resolusi ADC adalah perubahan terkecil sinyal analog *input* yang dapat menghasilkan satu perubahan keluaran digital. Lebar bit ADC berpengaruh terhadap resolusinya, suatu ADC dengan lebar bit  $n$ -bit maka ADC tersebut memiliki resolusi ( $\Delta V$ ) sesuai dengan rumus:

$$\Delta V_o = \frac{V_r}{2^n} \quad (4.1)$$

dengan  $V_r$  adalah tegangan referensi yang digunakan oleh chip ADC tersebut. Resolusi ADC merepresentasikan nilai *error* dalam pengubahan sinyal analog ke dalam bentuk sinyal digital. Proses pengkonversian data analog ke digital memiliki beberapa macam cara antara lain *successive-approximation ADC*, *voltage-to-frequency ADC*, *integrating ADC*, dan *sigma-delta ADC*. Masing-masing cara pengkonversian tersebut memiliki arsitektur yang berbeda. Berikut ini dijelaskan masing-masing arsitektur pada ADC.

### ***Successive-Approximation ADC***

*Successive-approximation converter* merupakan konverter data analog ke digital yang terdiri atas *Digital to Analog Converter* (DAC), sebuah komparator, register, dan pengontrol logika. Arsitektur *successive-approximation converter* ditunjukkan pada Gambar 4.1.



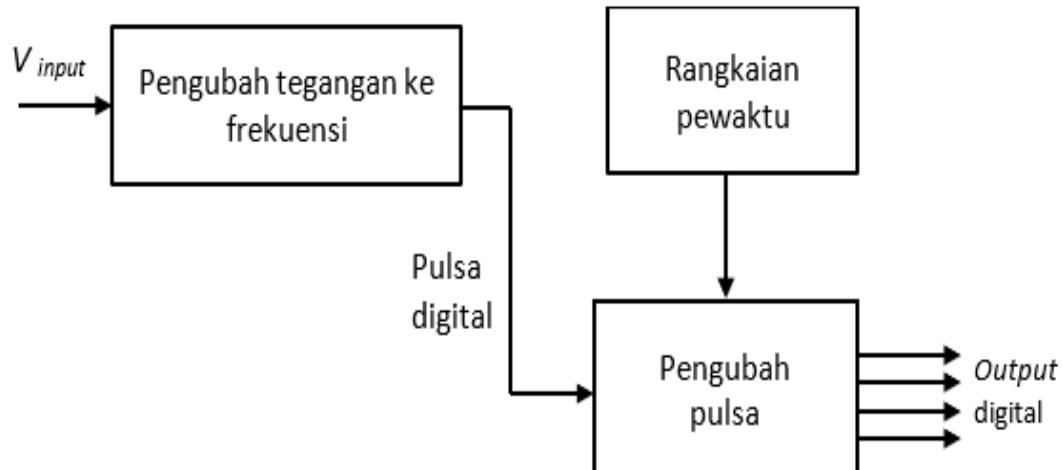
**Gambar 4.1 Arsitektur successive approximation ADC**

Pada saat tegangan analog terukur pada suatu masukan komparator maka pengontrol logika mengubahnya dalam kondisi bit nol. Bit pada DAC di-set pada kondisi 1 dengan keluaran DAC pada setengah skala penuh. Sebagai contoh, pada sistem yang memiliki skala penuh 10 Volt maka keluaran DAC adalah 5 Volt. Selanjutnya, komparator akan membandingkan keluaran analog DAC dengan sinyal masukan. Jika keluaran DAC lebih kecil daripada sinyal masukannya maka bit pada DAC pada kondisi 1, sedangkan jika keluaran DAC lebih tinggi maka

bit pada kondisi 0. Kemudian keluaran pada register berisi kode digital yang merepresentasikan sinyal masukan analog. *Successive approximation ADC* relatif lambat karena pembandingan berlangsung secara serial dan ADC harus melakukan jeda pada setiap langkah untuk mengeset DAC dan menunggu keluarannya. Kelebihan sistem ini kecepatan konversi dapat mencapai 1 MHz, harganya relatif murah dan penggunanya luas pada sistem akuisisi data.

### ***Voltage to Frequency ADC***

*Voltage to Frequency ADC* bekerja dengan mengubah tegangan analog *input* menjadi serentetan pulsa dengan frekuensi tertentu. Arsitektur *Voltage to Frequency ADCs* ditunjukkan pada Gambar 4.2. Pulsa dicacah selama periode yang telah ditentukan untuk menentukan frekuensi dan keluaran pencacah pulsa secara bergantian untuk menghasilkan keluaran digital.



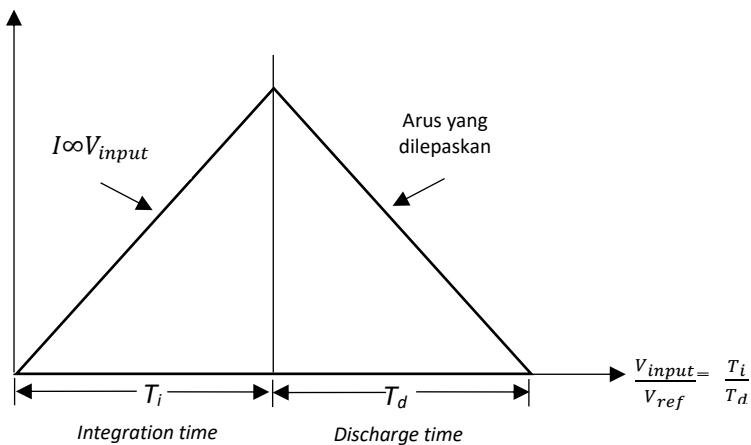
**Gambar 4.2 Arsitektur *Voltage to Frequency ADC***

*Voltage to frequency ADC* tersebut memiliki kelebihan yaitu penolakan terhadap *noisenya* tinggi karena sinyal *input* terintegrasi dengan interval pencacah serta dapat mengkonversi sinyal yang lambat dan sinyal yang memiliki banyak *noise*. Selain itu juga sering

digunakan untuk *remote sensing* pada lingkungan yang terdapat banyak *noise* dengan cara tegangan masukan dikonversi menjadi frekuensi kemudian pulsa digital yang telah diperoleh ditransmisikan ke pencacah melalui kabel. Cara yang digunakan tersebut dapat mengurangi *noise* yang disebabkan oleh transmisi sinyal analog pada jarak yang relatif jauh.

### **Integrating ADC**

Integrating ADC mengubah sinyal analog ke digital dengan parameter waktu pengisian dan pengosongan kapasitor untuk menentukan tegangan masukan. Arsitektur *integrating ADC* ditunjukkan pada Gambar 4.3.

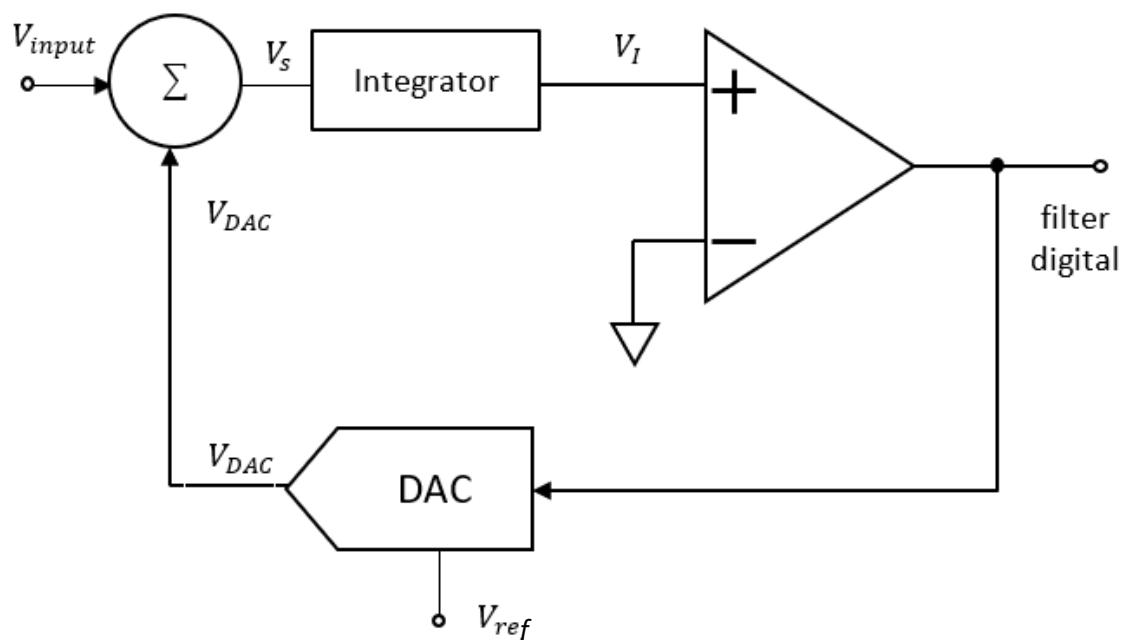


**Gambar 4.3 Arsitektur *integrating ADC***

Pada gambar tersebut tampak bahwa terdapat dua *slope* integrasi, *slope* yang pertama (sebelah kiri) menunjukkan proses pengisian kapasitor pada waktu tertentu dengan arus yang berbanding lurus dengan tegangan masukan. *Slope* bagian kanan menunjukkan waktu yang digunakan untuk pengosongan kapasitor oleh pengaruh arus konstan yang ditentukan oleh tegangan masukannya. Kelebihan dari teknik tersebut yaitu akurat dan stabil karena bergantung pada perbandingan antara waktu pengisian (kenaikan) dan waktu pengosongan (penurunan) pada frekuensi ketika waktu integrasi dicocokkan dengan kelipatan periode. Namun arsitektur tersebut memiliki laju konversi yang relatif lambat dengan frekuensi kecepatan maksimum 60 Hz.

## Sigma-Delta ADC

Tipe lain dari *integrating* ADC yaitu *sigma-delta* ADC yang terdiri atas integrator, DAC, komparator, dan penjumlah percabangan (*summing junction*). Arsitektur *sigma-delta* ADC ditunjukkan pada Gambar 4.4. Arsitektur ini sering digunakan pada multimeter digital, *panel meter*, dan papan akuisisi data. Banyak kelebihan yang dimiliki oleh *sigma-delta* ADC. Kelebihan tersebut yaitu harganya yang relatif murah, memiliki resolusi yang tinggi dalam pengukuran meskipun hanya memiliki *single bit* DAC, penolakan terhadap *noise* terbaik, pengguna dapat menentukan waktu integrasi (di bawah 100 sampel per detik), memerlukan sedikit komponen eksternal, dapat menerima sinyal dengan tingkatan terendah tanpa rangkaian pengkondisian sinyal, dan tidak memerlukan kalibrasi komponen karena telah memiliki DAC.



Gambar 4.4 Arsitektur *sigma-delta* ADC

ADC dengan arsitektur *sigma-delta* memiliki filter digital yang mampu bekerja pada tingkat *oversampling* yang tinggi dan memiliki resolusi 16 hingga 24 bit, maka pada aplikasi akuisisi data dan aplikasi instrumentasi lainnya, arsitektur tersebut dikategorikan sangat

ekonomis. Prinsip kerja dari *sigma-delta* ADC yaitu tegangan masukan dijumlahkan dengan tegangan keluaran dari DAC kemudian integrator menambahkan keluaran  $V_s$  dengan nilai yang tersimpan sebelumnya. Ketiga keluaran integrator lebih besar dari nol maka komparator memiliki keluaran logika 1. Sebaliknya jika keluaran integrator kurang dari nol maka komparator memiliki keluaran logika 0.

Selanjutnya DAC mengumpulkan secara terus menerus menyesuaikan *output* komparator agar bernilai sama dengan *input* analog dan menjaga *output* integrator nol. Selain itu DAC menjaga *output* integrator untuk dekat dengan nilai tegangan referensi. Melalui serangkaian iterasi tersebut, *output* sinyal menjadi aliran data satu bit pada *sample rate* yang tinggi sehingga memberikan filter digital.

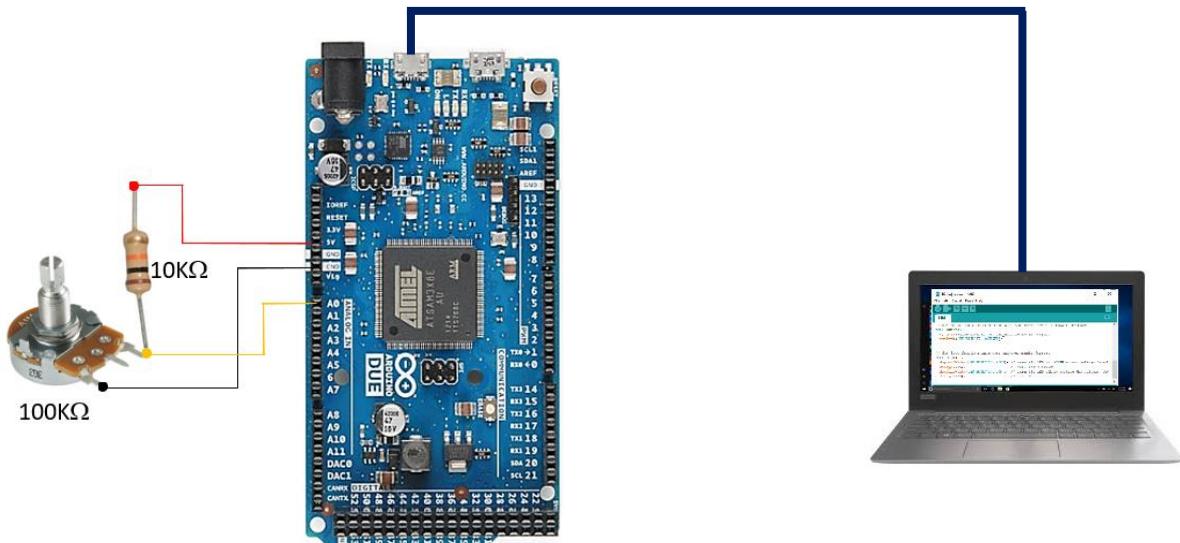
## 4.2 Pemrograman ADC pada Arduino Due

Mikrokontroler AT91SAM3X8E memiliki fasilitas *Analog to Digital Converter* (ADC) yang sudah terdapat dalam *chip*. ADC yang dimiliki AT91SAM3X8E mempunyai 12 buah saluran masukan analog yang termultipleks, serta mempunyai resolusi ADC dan PWM sebesar 12 bit. Artinya bahwa tegangan analog antara 0 Volt dan 3,3 Volt dikodekan menjadi salah satu dari 4096 representasi biner dengan rentan nilai 0 - 4095. Hasil konversi ADC pada mikrokontroler AT91SAM3X8E dalam *board system* Arduino Due ditentukan oleh persamaan:

$$ADC = \frac{V_{in}}{2^n} \times (2^n - 1) = \frac{V_{in}}{V_{ref}} \times 4095 \quad (4.2)$$

dengan  $V_{in}$  adalah tegangan pada pin *input* yang dipilih,  $V_{ref}$  adalah tegangan referensi yang dipilih, dan  $n$  adalah jumlah lebar bit.

Pemrograman ADC pada Arduino Due sangat sederhana, cukup dengan perintah “`analogRead (analogPin)`”. **PROGRAM 003** merupakan contoh pembacaan ADC pada Arduino Due. Rangkaian pengujian ADC tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.5.



**Gambar 4.5 Skema pengujian ADC menggunakan potensiometer**

### PROGRAM 003

// Program-003 Interface Pembacaan ADC	// <b>Judul Program</b>
int data_ADC0, data_ADC1;	// <b>Preprocessing</b> : menyiapkan variable : "alamat, data_ADC0, data_ADC1" dalam bentuk integer.
int alamat;	
void setup()	// <b>Setup</b>
{	// mempersiapkan kecepatan pengiriman data 9600 BPS
Serial.begin(9600);	
while (!Serial);	
}	
void loop()	// <b>Loop program utama</b>
{	
if (Serial.available())	// idle, menunggu data dari komputer.
{	
alamat=Serial.read();	// jika ada data masuk maka langsung dibaca dan disimpan di variable alamat.
if (alamat=='1')	// jika alamat =1 maka:
{	
analogReadResolution(12);	// set lebar bit ADC pada 12 bit.
data_ADC0=analogRead(A0);	// membaca ADC0
delay(300);	// menunggu konversi selesai
Serial.println(data_ADC0);	// mengirim data ADC0
}	
if (alamat=='2')	// jika alamat =2 maka:
{	
analogReadResolution(12);	// set lebar bit ADC pada 12 bit.
data_ADC1=analogRead(A1);	// membaca ADC1

<pre>         delay(300);         Serial.println(data_ADC1);     } } </pre>	<i>// tunggu konversi selesai  // mengirim data ADC1</i>
-----------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------

Program tersebut dapat digunakan untuk membaca data analog dari tegangan yang dimasukkan pada *input* ADC0 (pin A0) maupun ADC1 (pin A1) menggunakan komponen potensio (variable resistor). Untuk melakukan pengujian ADC tersebut dapat dilakukan dengan mengukur tegangan *input* pada pin analog *input* (A0 dan A1) menggunakan multimeter. Setiap perubahan tegangan pada masukan analog dapat diamati perubahan data digital pada komputer. Resolusi ADC dapat diketahui dengan melakukan *plot* garis linier antara tegangan *input* (*sumbu-y*) dan bobot ADC (*sumbu-x*), nilai resolusi merupakan slope (gradien) dari garis tersebut.

==ooOooo==

# SENSOR SUHU

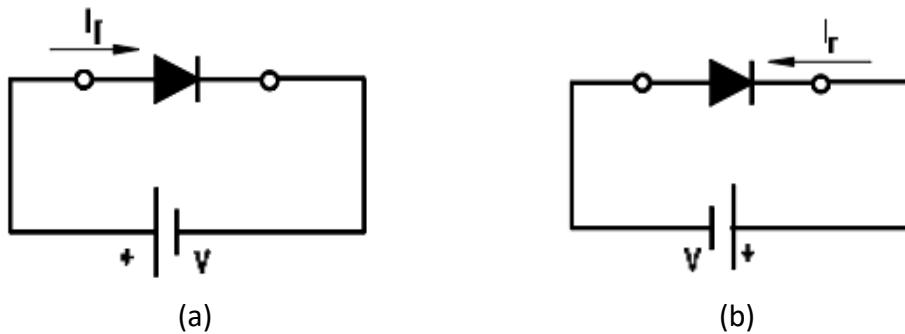
Bab ini menjelaskan berbagai jenis sensor suhu yang banyak berkembang di dunia industri dan cara akuisisi data sensor tersebut ke dalam komputer melalui *interface* mikrokontroler AT91SAM3X8E. Suhu merupakan besaran yang sangat penting dalam pengukuran, pengontrolan, pengendalian, maupun pemrosesan di dunia industri. Parameter suhu sangat diperlukan dalam proses produksi sehingga banyak dibutuhkan instrumen elektronika. Berbagai jenis sensor suhu telah diproduksi menggunakan bahan yang berbeda-beda dan masing-masing memiliki area kerja yang berbeda pula. Selain itu sensor suhu yang berkembang saat ini juga memiliki karakteristik keluaran analog dan digital yang berbeda-beda dengan menggunakan protokol komunikasi data yang berbeda sehingga diperlukan teknik akuisisi data yang berbeda pula.

## 5.1 Sensor Suhu Semikonduktor LM35

### **Konsep Fisis Sensor Suhu Semikonduktor**

Salah satu jenis sensor suhu yang banyak digunakan di industri adalah tipe sensor suhu berbahan semikonduktor. Sensor ini menggunakan konfigurasi dioda atau transistor dwi kutub yang pada sambungan p-n bahan tersebut memiliki respon yang kuat terhadap suhu. Terdapat dua jenis pemberian tegangan pada sambungan p-n yaitu *bias* maju dan *bias* mundur seperti ditunjukkan pada Gambar 5.1. Ketika sambungan p-n *bias* maju dihubungkan dengan

sumber arus, maka terjadi beda potensial pada kedua sambungan. Beda potensial atau tegangan yang dihasilkan berbanding lurus dengan perubahan suhu.



**Gambar 5.1 Dioda semikonduktor sambungan p-n (a) bias maju, (b) bias mundur**

Persamaan hubungan arus dan tegangan pada semikonduktor sambungan p-n ditunjukkan pada persamaan :

$$I = I_0 \exp\left(\frac{qV}{2kT}\right) \quad (5.1)$$

Pada persamaan (5.1),  $I_0$  adalah arus saturasi,  $q$  menunjukkan muatan elektron,  $V$  adalah beda potensial di kedua sambungan,  $T$  adalah suhu, dan  $k$  adalah konstanta Boltzman. Dari persamaan (5.1) dapat diturunkan sedemikian rupa sehingga diperoleh temperatur yang berbanding lurus dengan tegangan seperti ditunjukkan pada persamaan (5.2).

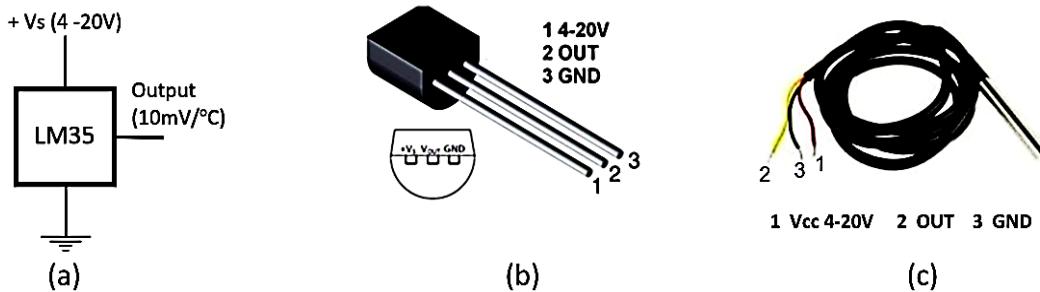
$$V = \frac{E_g}{q} - \frac{2kT}{q} (\ln I_0 - \ln I) \quad (5.2)$$

Pada persamaan (5.2),  $E_g$  menunjukkan energi gap pada sambungan p-n tersebut.

### Sensor Suhu Semikonduktor LM35

Sensor semikonduktor LM35 merupakan contoh sensor suhu yang menggunakan prinsip kerja karakteristik sambungan p-n bahan semikonduktor. Sensor LM35 memiliki

tegangan keluaran yang linier dengan perubahan suhu ( $^{\circ}\text{C}$ ). Diagram pin dan simbol sensor suhu LM35 ditunjukkan Gambar 5.2.



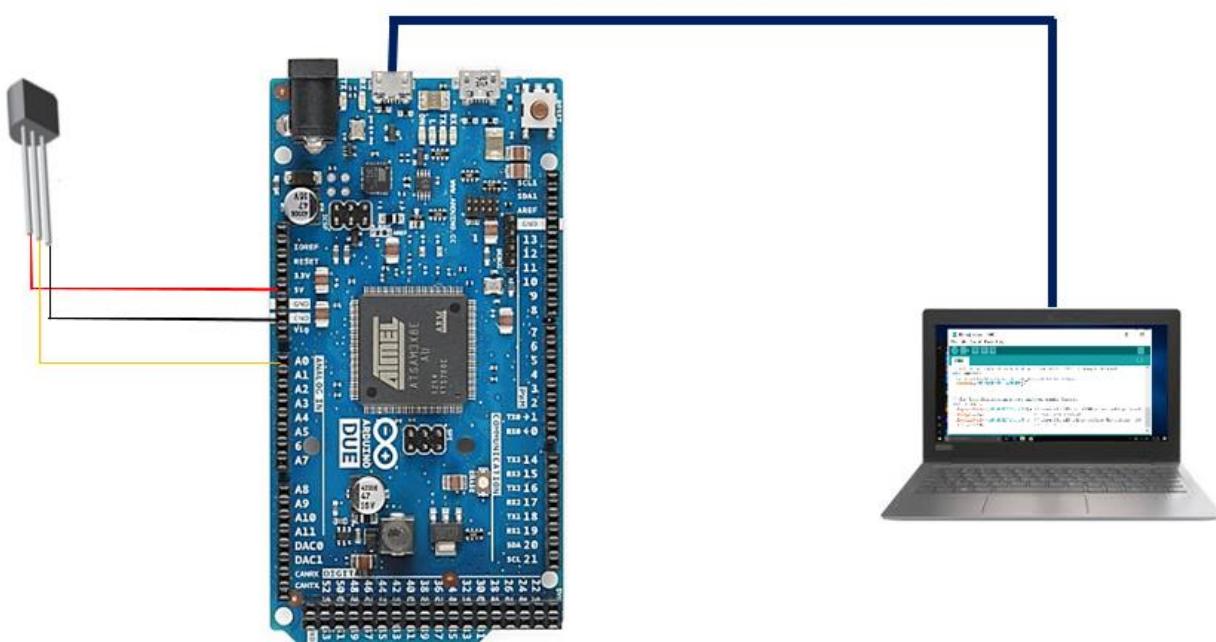
**Gambar 5.2. (a) Simbol sensor suhu LM35, (b) Bentuk fisik LM35 dalam kemasan plastik TO dan (c) kemasan *waterproof***

Sensor suhu LM35 telah diintegrasikan pengondisian sinyal di dalamnya. Sensor tersebut bekerja pada daerah linier dari karakteristik diode yang dioperasikan terbalik. Spesifikasi sensor suhu LM35 antaralain:

- a. Terkalibrasi langsung dalam skala Celcius (*centigrade*).
- b. Setiap kenaikan suhu  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  terjadi perubahan tegangan 10 mV.
- c. Akurasi  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (pada  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).
- d. Rentang pengukuran  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$  hingga  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- e. Beroperasi pada tegangan 4-30 Volt.
- f. Arus yang dibutuhkan kurang dari  $60\text{ }\mu\text{A}$ .
- g. *Self-heating* rendah ( $0,08\text{ }^{\circ}\text{C}$  di udara).
- h. Ketidaklinieran  $\pm 0,25\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- i. Impedansi keluaran rendah yaitu  $0,1\text{ }\Omega$  untuk beban arus  $1\text{ mA}$ .

Prinsip kerja sensor suhu LM35 dengan mendeteksi suhu di bagian IC LM35 atau permukaan aktif sensor LM35 yang peka terhadap suhu. Suhu yang dideteksi diubah menjadi tegangan listrik oleh rangkaian di dalam IC LM35 tersebut. Perubahan suhu yang diterima sensor berbanding lurus dengan perubahan tegangan keluarannya yaitu setiap perubahan suhu  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  akan menghasilkan tegangan keluaran sebesar 10 mV.

Sensor LM35 memiliki 3 kaki yaitu kaki *ground*, tegangan catu, dan tegangan keluaran. Kaki tegangan keluaran ini yang akan dihubungkan pada mikrokontroler supaya data hasil pembacaan suhu dapat terbaca pada komputer atau perangkat prosesor lainnya. Keluaran sensor suhu LM35 dihubungkan dengan mikrokontroler AT91SAM3X8E seperti ditunjukkan gambar 5.3. Kaki *ground* sensor dihubungkan ke pin *ground* mikrokontroler, kaki tegangan catu sensor pada pin 5 Volt mikrokontroler dan kaki tegangan keluaran sensor pada pin analog (misal A0 ADC mikrokontroler).



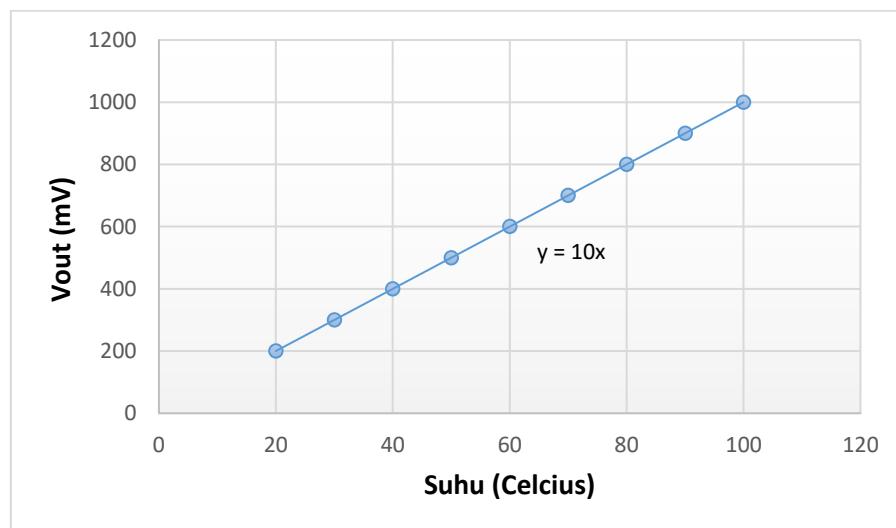
**Gambar 5.3. Rangkaian sensor suhu LM35 yang dihubungkan ke ADC0 dari *board system* AT91SAM3X8E untuk diantarmukakan ke komputer**

**Program 004** merupakan contoh sistem akuisisi data yang digunakan untuk membaca sensor suhu LM35. Program tersebut terdiri dari program pembacaan sensor secara analog melalui ADC0 dan konversi nilai ADC0 tersebut ke suhu. Seperti dijelaskan sebelumnya tegangan keluaran pada sensor ini langsung menunjukkan Centigrade (skala Celcius dengan nilai konversi  $1^{\circ}\text{C} = 10 \text{ mV}$ ). Dengan menggunakan karakteristik ideal tersebut maka diperoleh alat ukur suhu digital pada komputer.

## PROGRAM 004

<pre> // Program Pembaca Sensor Suhu Analog int    data_ADC0; float  Vsensor; float  suhu;  void setup() { Serial.begin(9600); while (!Serial); }  void loop() { analogReadResolution(12); data_ADC0=analogRead(A0); delay(100); Serial.println(data_ADC0); Vsensor= data_ADC0*(3300/4096); Serial.println(data_ADC0); suhu= Vsensor/10; Serial.println(suhu); } </pre>	<p><b>// Judul Program</b></p> <p>// <b>Preprocessing</b> : menyiapkan variable : "alamat, data_ADC0, data_ADC1" dalam bentuk integer.</p> <p><b>// Setup</b></p> <p>// mempersiapkan kecepatan pengiriman data 9600 BPS</p> <p><b>// Loop program utama</b></p> <p>// set lebar bit ADC pada 12 bit.</p> <p>// membaca ADC0</p> <p>// menunggu konversi selesai</p> <p>// mengirim data ADC0</p> <p>// konversi ADC0 ke tegangan dengan resolusi ADC</p> <p>// Konversi tegangan sensor ke suhu.</p> <p>// Mengirim data suhu ke komputer</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Secara eksperimen dapat dibuktikan bahwa keluaran sensor suhu LM35 memiliki karakteristik liner dan centigrade (berskala Celcius) dengan perbandingan 10 mV setiap 1°C. Grafik hubungan antara masukan suhu dan tegangan yang dikeluarkan sensor ditunjukkan pada Gambar 5.4.



**Gambar 5.4. Grafik hubungan karakteristik sensor suhu LM35 terhadap keluaran sensor**

Pada gambar tersebut dapat digunakan untuk membuktikan kelinieritasan sensor suhu LM35, persamaan karakteristik sensor suhu LM35 dan menghitung nilai resolusi ADC AT91SAM3X8E. Sesuai dengan teori pada sensor LM35 resolusi sensor tersebut ada 10 mV/°C seperti ditunjukkan pada gradien garis tersebut.

## 5.2 Sensor Suhu Termistor

Termistor berasal dari kata termal dan resistor, oleh karena itu termistor adalah sensor suhu yang bekerja dari perubahan temperatur terhadap nilai resistansi bahan sensor tersebut. Pengukuran suhu dengan termistor tergolong ke pengukuran suhu yang merujuk pada skala absolut. Termistor dikategorikan menjadi dua jenis yaitu *NTC* (*Negative Temperature Coefficient*) dan *PTC* (*Positive Temperature Coefficient*). Termistor NTC memiliki karakteristik nilai resistansi yang menurun ketika temperatur yang diindernya naik.

Hubungan nilai resistansi R dengan suhu T pada bahan termistor ditunjukkan dengan persamaan **Steinhart–Hart** yaitu:

$$\frac{1}{T} = A + B \cdot \ln(R) + C \cdot [\ln(R)]^3 \quad (5.3)$$

Dimana A, B, C merupakan koefisien bahan dari termistor tersebut. Sensor suhu termistor memiliki ketelitian yang lebih tinggi jika dibanding dengan jenis sensor suhu lainnya. Simbol dan bentuk fisik termistor jenis NTC ditunjukkan pada Gambar 5.5.



**Gambar 5.5 (a) Simbol termistor NTC, (b) Bentuk fisik termistor NTC**

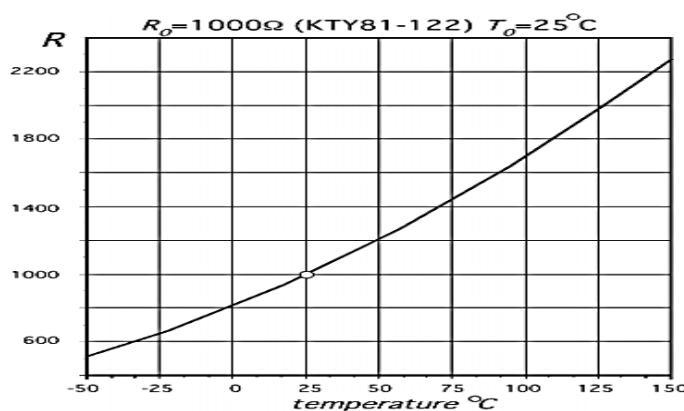
Hambatan pada termistor NTC ditentukan oleh dimensi dan resistivitas dari material penyusunnya. Pada termistor jenis ini, dengan melihat persamaan (5.3) dapat diketahui hubungan antara resistansi dan temperatur tidak linear.

Termistor PTC memiliki karakteristik berkebalikan dengan NTC yaitu nilai resistansi meningkat ketika temperatur meningkat. Hal ini mengakibatkan arus yang mengalir dalam hambatan semakin kecil. Contoh termistor jenis PTC ditunjukkan pada Gambar 5.6.



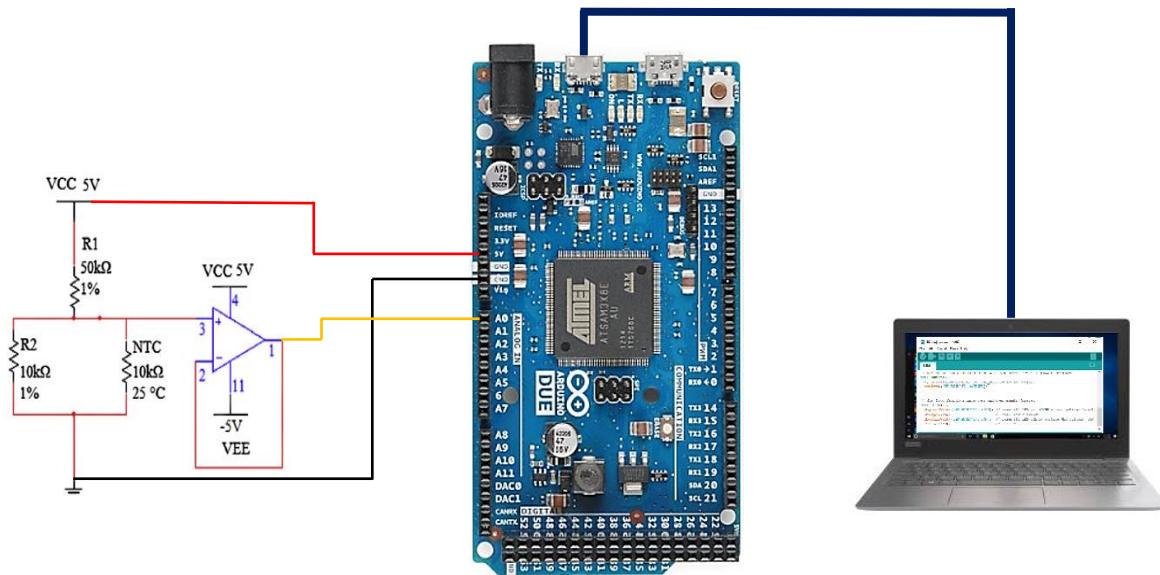
**Gambar 5.6 (a) Termistor PTC, (b) simbol termistor PTC**

Grafik hubungan resistansi dengan temperatur pada termistor NTC ditunjukkan pada Gambar 5.7. Keakurasi yang tinggi tentunya memerlukan rentang operasi yang lebar. Begitu pula dengan termistor NTC yang memiliki toleransi (pada 25°C) sebesar  $\pm 20\%$ . Proses pengkalibrasian termistor dapat dilakukan dengan menggunakan termometer. Ketika termistor digunakan sebagai sensor suhu absolut, diasumsikan bahwa sensor tersebut memiliki karakteristik *zero power resistance* yaitu arus listrik yang melewati termistor tersebut tidak menghasilkan peningkatan suhu (*self heating*) yang dapat mempengaruhi akurasi pengukuran. Gambar 5.8 merupakan contoh rangkaian paralel sensor NTC dengan resistor  $R_2$  dan dirangkai sebagai pembagi tegangan sumber  $V_{cc}$  dengan resistor  $R_1$ . Hasil rangkaian pembagi tegangan tersebut di-buffer dengan rangkaian *voltage follower* menggunakan Op-amp LM358 untuk mendapatkan arus yang besar dengan tegangan tetap.



**Gambar 5.7 Fungsi transfer sensor suhu termistor NTC**

Keluaran rangkaian ini selanjutnya diakuisisi datanya oleh mikrokontroler AT91SAM3X8E melalui ADC0. Setelah termistor dihubungkan dengan mikrokontroler, langkah selanjutnya dibuat program akusisi data pada mikrokontroler.



**Gambar 5.8. Rangkaian sensor NTC yang dikonfigurasi sebagai pembagi tegangan dan dihubungkan ke ADC0 dari *board system* AT91SAM3X8E untuk diantarmukakan ke komputer**

Contoh **PROGRAM 005** merupakan akusisi data pada ADC0 dengan menggunakan teknik *multiple addressing*, dimana data hasil pengukuran akan ditampilkan jika ada permintaan dari komputer sesuai dengan kode alamat yang diberikan. Seperti yang dijelaskan pada pemrograman sebelumnya, teknik tersebut merupakan teknik *multiple addressing* dimana data hasil pembacaan akan dikirim jika diberikan permintaan dari komputer dengan mengirim angka 5. Dari hasil akusisi data tersebut dapat dilakukan karakterisasi dengan *curve fitting* dan transformasi balik (*back-transform*) untuk mendapatkan suhu hasil pengukuran.

## PROGRAM 005

// Program Akusisi Data Termistor int alamat; int data_ADC0, data_ADC1;	// <b>Judul Program</b> // <b>Preprocessing</b> : menyiapkan variable
void setup() { Serial.begin(9600);	// <b>Setup</b> // mempersiapkan kecepatan pengiriman data 9600 // BPS

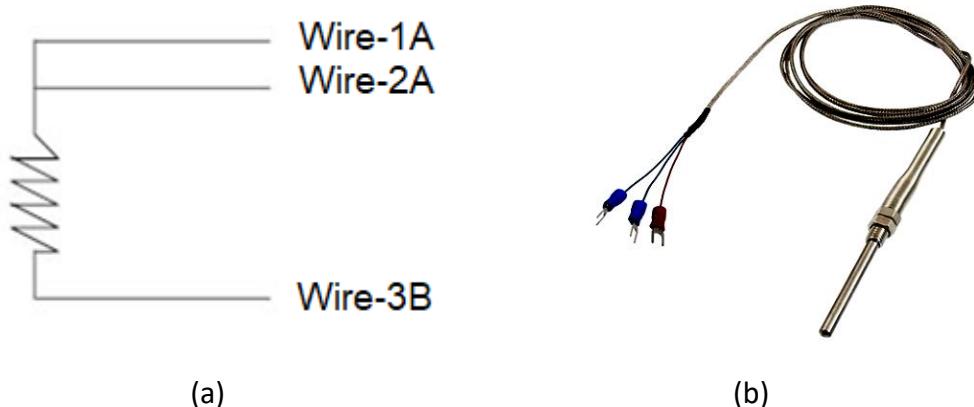
<pre> while (!Serial); }  void loop() { if (Serial.available()) { alamat=Serial.read();  if (alamat=='5') { analogReadResolution(12); data_ADC0=analogRead(A0); delay(300); Serial.println(data_ADC0); } } } </pre>	<p><b>// Loop program utama</b></p> <p>// idle, menunggu data dari komputer.</p> <p>// jika ada data masuk maka langsung dibaca dan // disimpan di variable alamat.</p> <p>// Jika alamat =5 maka mengirim pembacaan ADC // termistor</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### 5.3 Sensor Suhu *Resistance Thermal Detector (RTD)*

*Resistance Thermal Detector (RTD)* merupakan salah satu jenis sensor suhu yang terbuat dari bahan kawat anti korosi, bahan yang sering digunakan biasanya platina, emas, perak, nikel, atau tembaga. Prinsip kerja sensor RTD adalah mengubah nilai temperatur menjadi hambatan listrik. Hambatan listrik pada RTD memiliki nilai yang sebanding dengan perubahan temperatur yang dideteksi. Hubungan resistansi  $R$  dan suhu  $T$  pada RTD dirumuskan:

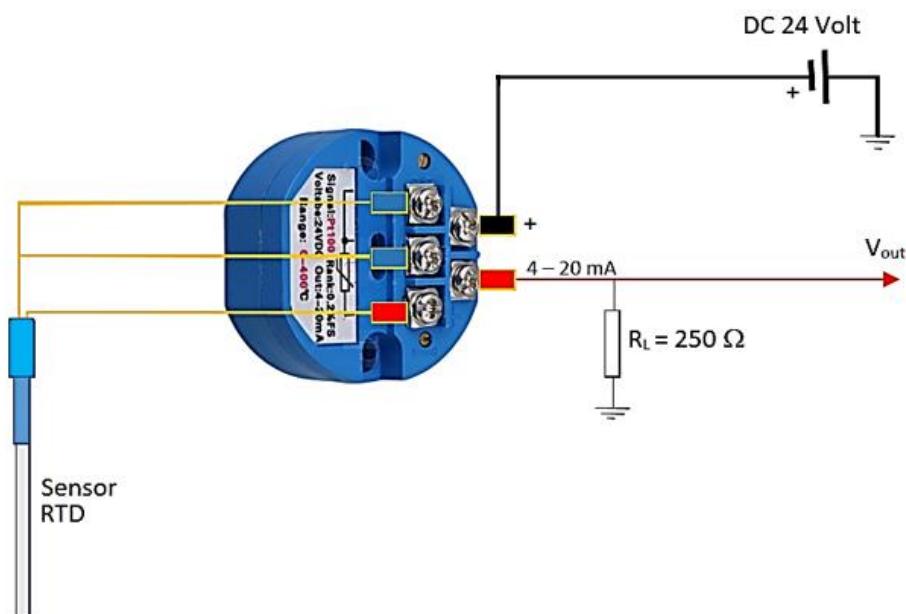
$$R = R_0(\alpha \cdot \Delta T) \quad (5.4)$$

Dimana pada rumus tersebut  $R_0$  adalah hambatan listrik pada suhu referensi,  $\alpha$  adalah koefisien hambatan pada perubahan suhu dan  $\Delta T$  adalah perubahan suhu pada RTD. Semakin tinggi temperatur yang diindera maka semakin besar pula resistansi atau hambatan listriknya, begitu pula sebaliknya, semakin rendah temperatur yang diindera maka resistansinya pun semakin kecil. Sensor RTD mempunyai ketelitian dan ketepatan tinggi serta mempunyai kelinieran yang stabil untuk suatu sistem kontrol maupun pemantauan suhu. Simbul dan bentuk fisik komponen sensor RTD ditunjukkan pada Gambar 5.9.



Gambar 5.9 (a) Simbul RTD 3-wire dan (b) bentuk fisiknya

Pada akuisisi data sensor suhu RTD, mikrokontroler berperan sebagai sistem antarmuka komputer dan pengubah data analog menjadi data digital serta pengirim data ke komputer. Sinyal yang dihasilkan oleh RTD terlalu kecil maka diperlukan rangkaian pengkondisian sinyal. *Transmitter* merupakan salah satu contoh pengkondisian sinyal yang digunakan untuk mengubah nilai resistansi pada sensing elemen dari sensor menjadi sinyal tegangan yang dapat dibaca oleh ADC mikrokontroler. Skema sensor RTD dengan pengkondisian sinyal *transmitter* ditunjukkan pada Gambar 5.10.



Gambar 5.10 Konfigurasi sensor RTD menggunakan pengkondisian sinyal jenis *transmitter*

Rentang arus yang dikeluarkan oleh *transmitter* antara 4 - 20 mA, untuk mengubah arus menjadi tegangan maka dapat dipasang hambatan beban  $R_L$ . Semua RTD memiliki koefisien temperatur positif. Selanjutnya keluaran yang berbentuk tegangan analog tersebut dikonversi ke data digital menggunakan unit ADC (*Analog To Digital Converter*) yang berada di dalam mikrokontroler AT91SAM3X8E. Untuk membaca sensor RTD tersebut dapat digunakan **PROGRAM 005** yang sama dengan program untuk pembacaan sensor LM35.

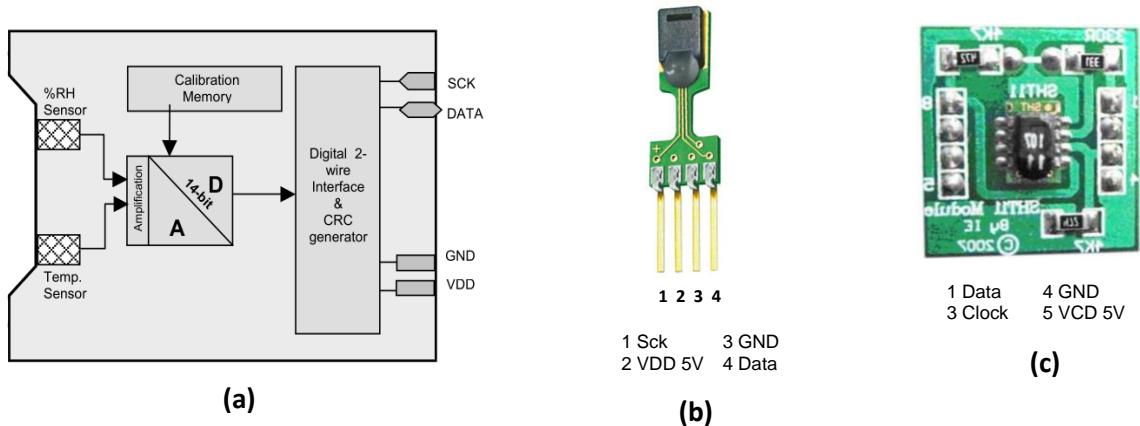
## 5.4 Modul Sensor Suhu dan Kelembapan SHT11

Sensor suhu dan kelembapan SHT11 merupakan modul sensor berbentuk *single chip* yang dapat mendekripsi suhu dan kelembaban relatif lingkungan. Rentang pengukuran suhu oleh sensor SHT11 yaitu -40°C hingga 123,8°C dengan akurasi  $\pm 0,5^\circ\text{C}$  pada suhu 25 °C, sedangkan rentang pengukuran kelembaban relatif ruangan yaitu dari 0% RH sampai 100% RH dengan akurasi  $\pm 3,5\%$  RH dan waktu respon 50 ms. Sensor SHT11 juga dilengkapi pengkalibrasi *output* digital. Keluaran modul sensor SHT11 adalah digital, sehingga dapat diakses menggunakan teknik protocol pemograman standar sensor tersebut dan tidak memerlukan ADC atau pengkondisi sinyal.

Sensor suhu dan kelembapan SHT11 menggunakan antarmuka serial 2-wire atau TWI (*Two Wire Interface*) dan telah memiliki regulasi tegangan internal. Hal ini membuat pengguna mudah dalam mengaplikasikannya dan mempercepat integrasi sistem sensor tersebut ke prosesor. Antaramuka TWI pada sensor suhu SHT11 dilakukan dengan cara menghubungkan dua pin utama ke mikrokontroler. Pin yang terhubung ke sensor adalah pin SCK dan pin DATA. Pin SCK berfungsi untuk sinkronisasi komunikasi antara mikrokontroler dan SHT11, sedangkan pin DATA berfungsi untuk transfer data instruksi dan hasil pembacaan suhu dan kelembapan. Diagram blok sistem dan konfigurasi pin SHT11 ditunjukkan pada Gambar 5.11.

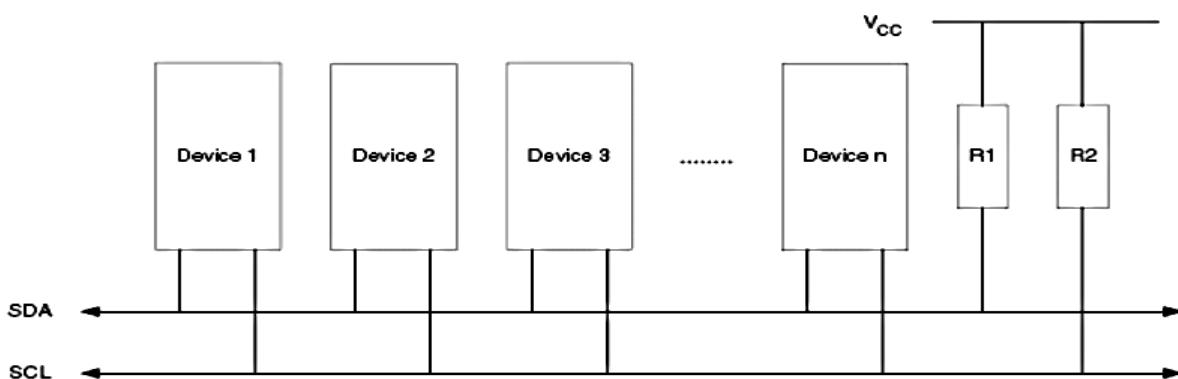
Terdapat 4 pin yang digunakan dalam sistem akusisi data sensor suhu SHT11 yaitu, pin 1 (*ground*), pin 2 (pin DATA, serial *bidirectional*), pin 3 (SCK, *serial clock, input only*), dan pin 4 (Vcc), sedangkan pin NC dibiarkan tidak terhubung dengan apapun. Aplikasi dari sensor SHT11 sangat banyak antaralain: *data logging* dalam perkiraan cuaca, monitoring suhu di

otomotif, pengukuran suhu dan kelembapan lingkungan, dan perangkat instrumentasi elektronik lainnya.



**Gambar 5.11 Diagram blok sistem IC SHT11 dan (b) bentuk fisika IC model 4 pin dan (b) model 8 pin (setiap produk bisa konfigurasinya berbeda)**

Protokol yang digunakan pada sensor suhu SHT11 adalah *Two Wire Interface* TWI (TWI) yaitu protokol komunikasi serial yang melibatkan dua kabel yang disebut SDA (serial data) dan SCL (serial clock). Spesifikasi lain yang dimiliki TWI yaitu lebih fleksibel karena memiliki mode *master* dan *slave*, alamat pada *slave* mencapai 7-bit, dan kecepatan pengiriman data mencapai 400 KHz. Konfigurasi rangkaian TWI ditunjukkan pada Gambar 5.4. Protokol TWI terdiri atas kondisi START, pengalaman yang mengindikasikan penulisan maupun pembacaan alamat sehingga dikenali oleh *slave*, memiliki satu atau lebih paket data, dan memiliki kondisi STOP.



**Gambar 5.12 Konfigurasi rangkaian TWI**

Kondisi START diawali dengan transmisi oleh *master*. Antara START dan STOP, bus pengiriman data sibuk dan tidak ada *master* lain yang mentransfer data dalam satu rangkaian tersebut. Kondisi START merupakan kondisi ketika sinyal pada ujung SDA dan SCL pada kondisi *high*. Paket data komunikasi memiliki lebar 9 bit dengan MSB yang utama dan sebuah tambahan data bit merupakan *acknowledge* (ACK). Selama proses transfer data, *master* menghasilkan SCL menerima ACK. Sinyal ACK merupakan kondisi ketika *slave* menurunkan SDA pada siklus SCL ke-9, sedangkan *not acknowledge* (NACK) merupakan kondisi ketika *slave* tidak turun saat SDA pada siklus ke-9. Selanjutnya, kondisi STOP merupakan kondisi ketika *master* telah menyelesaikan transmisi data yang ditandai dengan meningkatnya SDA ketika SCL pada kondisi *high*.

Pada pemrograman sensor suhu SHT11 menggunakan Arduino Due diperlukan *library* *SHT1X* yang di-*install* terlebih dahulu dengan langkah-langkah:

- ❖ Men-*download library* di: <https://github.com/practicalarduino/SHT1x>
- ❖ Membuka Arduino IDE ➔ pilih ‘Scetch’ ➔ pilih ‘Include Library’ ➔ pilih ‘Add.Zip Library’, arahkan ke folder driver tersebut dan klik ‘Open’.
- ❖ Hasil install dapat dicek pada : File ➔ Examples terdapat driver ‘SHT11x-master’

**Program 006** merupakan contoh program pembacaan sensor suhu dan kelembapan SHT11. Seperti dijelaskan sebelumnya, sensor tersebut juga dapat membaca nilai kelembapan (*humidity*) lingkungan.

### PROGRAM 006

<pre>// Program-6 Pembacaan SHT11 int alamat, data_ADC0; #include &lt;SHT1x.h&gt; #define dataPin 10 #define clockPin 11 SHT1x sht1x(dataPin, clockPin);  void setup() {   Serial.begin(9600); }  void loop() {</pre>	<p>// <b>Judul Program</b>  <b>Preprocessing</b> : menyiapkan variable</p> <p>// mendefinisikan pin data (Pin 10)  // mendefinisikan pin clock (Pin 11)</p> <p>// <b>Setup</b></p> <p>// set kecepatan pengiriman data 9600 BPS</p> <p>// <b>Loop program utama</b></p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<pre> float temp_c; float temp_f; float humidity; temp_c = sht1x.readTemperatureC(); temp_f = sht1x.readTemperatureF(); humidity = sht1x.readHumidity();  Serial.print("Temperature: "); Serial.print(temp_c, DEC); Serial.print("C "); Serial.print(temp_f, DEC); Serial.print(" F "); Serial.print(humidity); Serial.println("%"); delay(1000); } </pre>	<i>// membuat variable local "temp_c"  // membuat variable local "temp_f"  // membuat variable local "humidity"  // membaca temperature dalam satuan Celcius  // membaca temperature dalam satuan Fahrenheit  // membaca temperature dalam satuan kelembapan</i>  <i>// mengirim label temperatur  // mengirim nilai temperatur Celcius  // mengirim label satuan C  // mengirim nilai temperatur Fahrenheit  // mengirim label F  // mengirim nilai kelembapan  // mengirim label %  // menunda 1 detik untuk mengulangi looping</i>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

==ooOooo==

# 6

BAB

## SENSOR TEKANAN

Pada bab ini dibahas tentang sensor tekanan yang merupakan bagian pengukuran besaran yang sangat penting dalam kehidupan sehari-hari. Tekanan di industri merupakan besaran pokok yang sangat penting untuk diukur, dikontrol, dan diproses untuk mendapatkan suatu produk yang bermutu tinggi. Pada bab ini bahas konsep fisis tentang tekanan dan teknik akuisisi data sensor elektronik dari tekanan yang telah banyak diproduksi. Pada bagian ini menekankan konsep sensor tekanan tipe diferensial yang bekerja dengan efek kapasitif. Selain itu bagian ini juga menjelaskan karakteristik sebuah sensor dan program akuisisi data menggunakan sistem antarmuka mikrokontroler AT91SAM3X8E.

### 6.1 Konsep Tekanan

Konsep tekanan pertama kali dikemukakan oleh Evangelista Torricelli dimana pada tahun 1643 melakukan eksperimen pada mangkuk yang diisi air raksa, dari hasil eksperimen tersebut tercetuslah ide bahwa atmosfer memberi tekanan pada bumi. Selanjutnya pada tahun 1647 Blaise Pascal dan Florin Perrier melakukan pengamatan dan menemukan kesimpulan bahwa tekanan yang diberikan pada kolom air raksa bergantung pada ketinggian. Alat pada percobaan yang dilakukan oleh Pascal dan Perrier tersebut kemudian dinamai barometer atau alat untuk mengukur tekanan udara. Robert Boyle pada tahun 1660 menyatakan bahwa hasil perkalian antara tekanan dan volume adalah konstan untuk udara pada temperatur konstan. Pada 1738 Daniel Bernoulli mengembangkan teori tekanan gas ke

titik tertentu. Bernoulli juga mengantisipasi Hukum Charles– Gay – Lussac dengan menyatakan bahwa tekanan meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur pada volume konstan. Teori-teori tersebut merupakan dasar dalam merancang dan menggunakan sensor tekanan.

Materi di alam diklasifikasikan menjadi zat padat, cair, dan gas. Berdasarkan konsep tekanan oleh beberapa ilmuwan dapat dijelaskan jika tekanan diberikan pada suatu zat cair maka memungkinkan untuk mengubah cairan tersebut menjadi gas dan begitu pula sebaliknya. Pada suatu fluida dalam keadaan diam, tekanan dapat didefinisikan sebagai gaya  $F$  yang diberikan secara tegak lurus pada bidang dengan luas permukaan  $A$  seperti ditunjukkan pada persamaan (6.1).

$$P = \frac{F}{A} \quad (6.1)$$

Dengan  $P$  adalah tekanan ( $\text{pascal} = \text{N/m}^2$ ),  $F$  adalah gaya ( $\text{newton}$ ), dan  $A$  adalah luas permukaan ( $\text{m}^2$ ). Tekanan dapat dijelaskan dalam bentuk dimensi massa, panjang, dan waktu. Selain itu, tekanan dapat bergantung pada ketinggian seperti ditunjukkan pada persamaan (6.2).

$$P = -W \cdot h \quad (6.2)$$

Dengan  $W$  adalah berat benda ( $\text{Newton}$ ) dan  $h$  adalah ketinggian benda ( $\text{meter}$ ).

Jika tekanan diberikan pada permukaan yang berupa cairan atau gas, maka tekanan dirambatkan ke seluruh permukaan materi tanpa mengurangi nilainya. Seperti kita ketahui bahwa teori kinetik gas menyatakan bahwa tekanan dinyatakan sebagai ukuran total energi kinetik dari molekul atau ditunjukkan pada persamaan (6.3).

$$PV = nRT = \frac{2}{3} E_k \quad (6.3)$$

Dengan  $E_k$  adalah energi kinetik ( $\text{Joule}$ ),  $V$  adalah volume ( $\text{m}^3$ ),  $n$  adalah jumlah molekul ( $\text{mol}$ ),  $R$  adalah konstanta spesifik gas ( $\text{J/kmol.K}$ ), dan  $T$  adalah suhu absolut ( $\text{K}$ ). Selain itu peningkatan tekanan juga menghasilkan peningkatan kepadatan.

## 6.2 Sensor Tekanan

Pengukuran dan pengontrolan tekanan pada benda padat, cair, maupun gas, diperlukan instrumen penunjang. Misalnya pada kasus tekanan gas, diperlukan sensor tekanan gas yang didesain untuk mampu mengenali berbagai proses gas baik dalam suhu lingkungan kerja maupun suhu kamar. Sensor tekanan sangat diperlukan untuk mengukur tekanan absolut, tekanan diferensial, tekanan *gauge*, dan tekanan negatif atau tekanan vakum. Definisi dari berbagai kondisi sensor tekanan antara lain:

A. Sensor tekanan absolut

Sensor tekanan tersebut dapat mengukur tekanan berdasarkan nilai tekanan referensi pada ruang hampa. Sensor tekanan absolut cocok untuk mengukur integritas vakum atau sistem tekanan rendah lainnya.

B. Sensor tekanan diferensial

Sensor tekanan yang mengukur perbedaan antara dua keadaan tekanan yang mengacu pada elemennya sendiri. Kedua elemen memonitor aspek yang berbeda dari sistem bertekanan. Misalnya pada monitoring sistem pembuangan mesin, jika sistem pembuangan bersih kedua tekanan itu akan sama besar, tetapi jika mesin tersumbat atau bocor kedua tekanan berbeda.

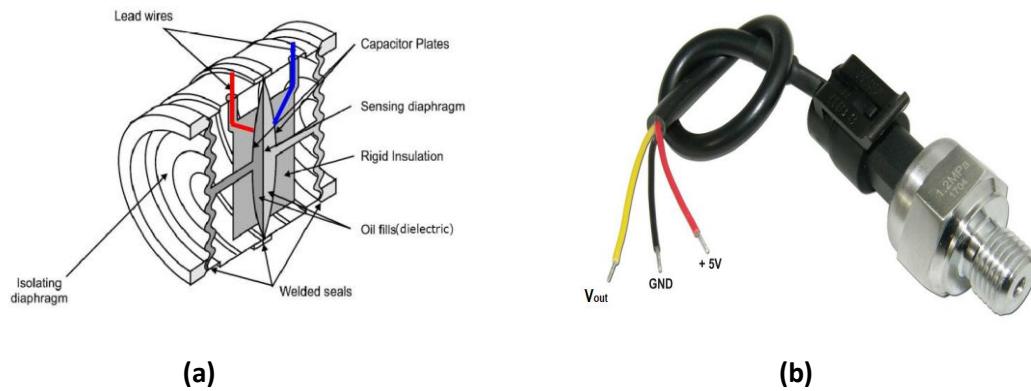
C. Sensor tekanan *gauge*

Sensor tekanan *gauge* memiliki prinsip kerja yang sama seperti sensor diferensial, akan tetapi sensor tekanan *gauge* hanya mengukur tekanan positif yang berhubungan dengan tekanan lingkungan (sebagai lawan dari lingkungan bertekanan kedua). Pada sistem ini, sensor tekanan pengukur menggunakan tekanan atmosfer sebagai titik referensi untuk pengukuran.

D. Sensor tekanan negatif

Sensor tekanan negatif mengukur tekanan vakum yang berkaitan dengan tekanan atmosfer (*ambient*).

Sensor tekanan model kapasitif *HK1100C Pressure Sensor* merupakan sensor tekanan yang bekerja secara diferensial. Elemen dari sensor tekanan tersebut ditunjukkan pada gambar 6.1. Sensor tersebut bekerja pada saat lubang sensor terkena aliran udara, gas atau cairan yang menyebabkan perubahan diafragma dari elemen sensor. Pada sensor tersebut, elemen sensor dikonfigurasi sebagai kapasitor yang terdiri dari plat dan cairan dielektrik.



**Gambar 6.1 (a) Struktur internal Sensor tekanan model kapasitif dan (b) bentuk fisiknya sensor tekanan *HK1100C Pressure Sensor***

Spesifikasi dari sensor tekanan model kapasitif *HK1100C* yang ditunjukkan tersebut antara lain:

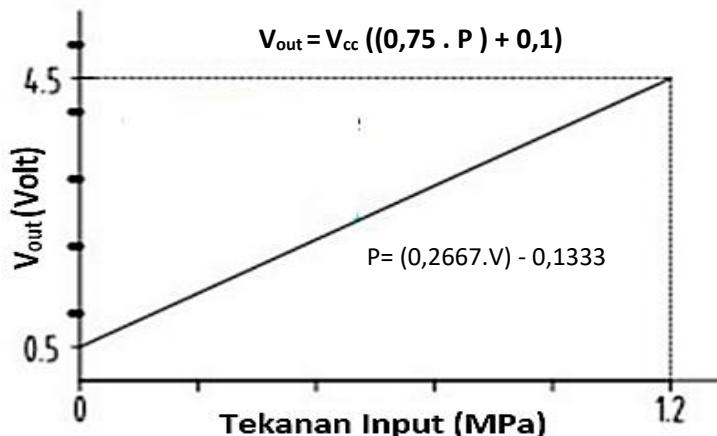
- Tegangan catu: 5 Volt DC dan arus catu: 10 mA.
- Tegangan keluaran sensor: 0,5-4,5 Volt DC .
- Rentang tekanan: 0-1,2 Mpa.
- Suhu operasional: 0-85 °C.
- Suhu penyimpanan: 0-100 °C.
- Kesalahan hasil pengukuran: 1,5% FSO.
- Waktu respon: 2,0 ms.
- Siklus penggunaan: 500.000 kali.

Pada saat lubang sensor menerima tekanan maka jarak antara dua plat tersebut berubah dan nilai kapasitansi juga berubah mengikuti persamaan:

$$C = \frac{\epsilon \cdot A}{d} \quad (6.3)$$

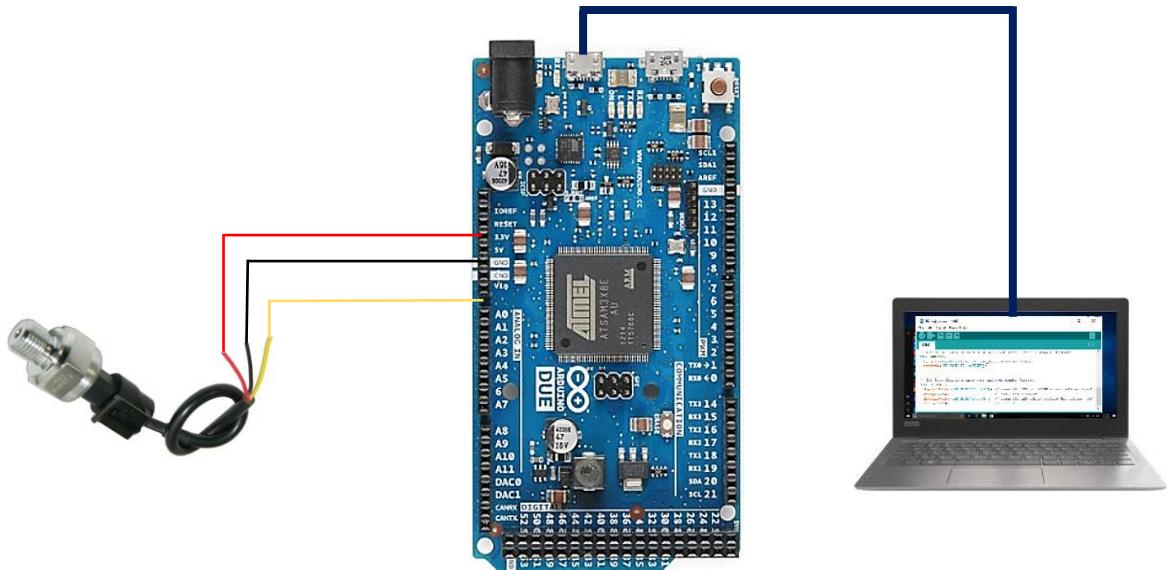
Dimana  $C$  menunjukkan nilai kapasitansi,  $\varepsilon$  merupakan nilai permitifitas bahan dielektrik antar dua plat,  $A$  adalah luas plat tersebut dan  $d$  adalah jarak plat tersebut yang memiliki hubungan dengan tekanan. Dari rumus tersebut dapat diketahui bahwa nilai kapasitansi sensor memiliki korelasi dengan jarak plat, dan jarak plat memiliki korelasi dengan tekanan yang masuk pada lubang sensor.

Beberapa model rangkaian pengkondisian sinyal yang sering digunakan untuk sistem tersebut adalah rangkaian osilator dimana nilai kapasitansi  $C$  diubah menjadi pulsa-pulsa frekuensi. Rangkaian pengubah frekuensi ke tegangan (*frequency to voltage converter*) digunakan untuk mengubah frekuensi menjadi tegangan. Oleh karena itu hasil keluaran dari rangkaian ini adalah tegangan yang memiliki korelasi dengan tekanan yang masuk pada lubang sensor. Keluaran dari sensor memiliki taraf tegangan DC 0,5 Volt hingga 4,5 Volt sehingga telah masuk pada taraf tegangan masukan yang diperlukan oleh ADC mikrokontroler Arduino DUE. Gambar 6.2 merupakan ilustrasi karakteristik dari sensor *HK1100C Pressure Sensor* yang memiliki sifat linier. Gradien dari garis karakteristik tersebut mencerminkan resolusi dari sensor.



Gambar 6.2 Grafik karakteristik dari sensor tekanan *HK1100C*

Seperti rangkaian sensor dengan keluaran tegangan pada umumnya, untuk mengakuisisi data keluaran sensor tekanan tersebut diperlukan pemrograman ADC mikrokontroler. Rangkaian hubungan sensor dan mikrokontroler AT91SAM3X8E ditunjukkan pada Gambar 6.3. Rangkaian tersebut dapat dibaca dengan contoh **PROGRAM 007**.



**Gambar 6.3. Rangkaian sensor tekanan HK1100C yang dihubungkan ke ADC0 dari Arduino Due *board system***

### PROGRAM 007

<pre> // Program Pembaca Sensor Tekanan int data_ADC0; float Vsensor; float tekanan;  void setup() { Serial.begin(9600); while (!Serial); }  void loop() {   analogReadResolution(12);   data_ADC0=analogRead(A0);   delay(100);   Serial.println(data_ADC0);   Vsensor= data_ADC0*(3300/4096);   Serial.println(data_ADC0);    tekanan=(Vsensor*0.2667)-0.1333;   Serial.println(tekanan); } </pre>	<p><b>// Judul Program</b>  <b>// Preprocessing :</b> menyiapkan variable</p> <p><b>// Setup</b></p> <p>// mempersiapkan kecepatan pengiriman data 9600 BPS</p> <p><b>// Loop program utama</b></p> <p>// set lebar bit ADC pada 12 bit.  // membaca ADC0  // menunggu konversi selesai  // mengirim data ADC0  // konversi ADC0 ke tegangan dengan reoslusi ADC</p> <p>// konversi tegangan sensor ke tekanan.  // mengirim data tekanan ke komputer</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

==ooOooo==

# SENSOR KECEPATAN ALIRAN

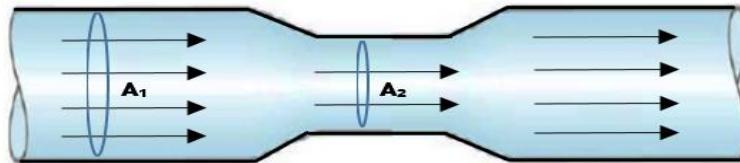
Pada bab ini disampaikan model pengukuran kecepatan aliran fluida (cair dan gas) model baling-baling yang telah banyak digunakan di dunia instrumentasi. Kecepatan aliran merupakan besaran fisis yang banyak digunakan pada pengukuran dan pengontrolan peralatan di industri. Beberapa metode pengukuran kecepatan fluida telah dikembangkan di dunia industri. Metode tersebut berkaitan dengan sensor Efek Hall yang menjadi indicator kecepatan aliran dan gerakan baling-baling. Metode pengukuran kecepatan tersebut memiliki spesifikasi sinyal yang berbentuk pulsa dengan frekuensi sebanding dengan kecepatan. Pada bagian ini dijelaskan teknik pengukuran dan pemrograman mikrokontroler dengan parameter sinyal berupa frekuensi. Pada bab ini juga dijelaskan teknik pengukuran debit aliran dari kecepatan aliran yang diperoleh.

## 7.1 Konsep Kecepatan Aliran

Massa merupakan besaran konservatif yang tidak dapat diciptakan maupun dimusnahkan. Hal ini berarti bahwa besaran tersebut selalu konstan atau dengan kata lain massa yang masuk sama dengan massa yang keluar. Massa yang mengalir ini biasanya dapat berupa cairan, udara, maupun gas lainnya. Hal tersebut juga berlaku pada suatu massa yang mengalir dalam interval waktu tertentu maka massa yang masuk ke dalam sistem ( $m_{in}$ ) sama dengan massa yang keluar sistem ( $m_{out}$ ) seperti ditunjukkan pada persamaan (7.1).

$$\frac{dm_{in}}{dt} = \frac{dm_{out}}{dt} \quad (7.1)$$

Pada aliran yang bersifat tunak (*steady*), kecepatan aliran pada titik tertentu konstan terhadap waktu. Aliran fluida pada suatu pipa ditunjukkan pada Gambar 7.1. Pada Gambar tersebut nampak bahwa fluida yang mengalir masuk pipa dengan luas penampang  $A_1$  kemudian meninggalkan pipa dengan luasan  $A_2$ .



**Gambar 7.1 Aliran fluida dalam pipa**

Fluida yang mengalir sepanjang pipa memiliki besar kecepatan yang berbeda pula pada titik-titik yang berbeda di dalam pipa. Volume fluida yang mengalir dalam pipa dapat dihitung melalui persamaan (7.2).

$$V = \int \frac{\Delta x \cdot dA}{\Delta t} = \int v \cdot dA \quad (7.2)$$

Pada persamaan tersebut  $V$  adalah volume fluida,  $v$  adalah kecepatan medium yang bergerak,  $A$  adalah luasan permukaan medium yang dilalui, dan  $\Delta x$  adalah perpindahan volume.

Pada pengukuran kecepatan secara elektronik menggunakan sensor, dapat terjadi dimensi yang akan diukur lebih kecil daripada ukuran pipa yang akan menyebabkan pengukuran terlalu cepat atau terlalu lambat. Hal yang dapat dilakukan adalah dengan menulis ulang persamaan ke dalam bentuk persamaan (7.3).

$$A \cdot V = \int V \cdot dA \quad (7.3)$$

Dengan  $v_a$  merupakan kecepatan aliran fluida yang terukur oleh sensor. Selanjutnya ketika pengukuran dilakukan pada fluida tak termampatkan seperti air dan oli dengan masa jenis  $\rho$ , maka hubungan antara massa dan volume dinyatakan oleh persamaan (7.4).

$$m = \rho \cdot v \quad (7.4)$$

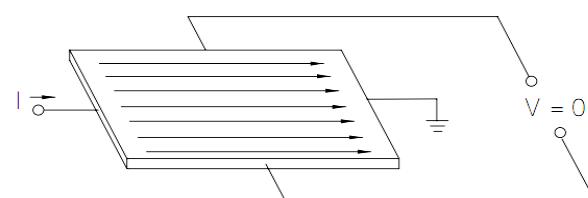
Sedangkan laju aliran massa dinyatakan oleh persamaan (7.5).

$$\frac{dm}{dt} = \rho \bar{Av} \quad (7.5)$$

Terdapat berbagai macam sensor yang dapat mengukur kecepatan aliran dengan menentukan laju perpindahan massa atau volume. Pada pengukuran aliran fluida menggunakan sensor perlu mempertimbangkan antara lain karakteristik medium, lingkungan, ukuran pipa, suhu, dan tekanan yang sesuai.

## 7.2 Efek Hall dan Sensor Kuat Medan Magnet

Efek Hall ditemukan oleh Dr. Edwin Hall pada tahun 1879. Efek Hall terjadi ketika magnet ditempatkan tegak lurus dengan salah satu sisi pelat konduktor yang dialiri arus sehingga timbul beda potensial pada tepi yang berlawanan. Tegangan yang ditimbulkan sebanding dengan arus yang mengalir melalui konduktor dan kerapatan fluks atau induksi magnetik yang tegak lurus dengan konduktor. Ilustrasi penemuan Efek Hall tersebut ditunjukkan pada Gambar 7.2.



Gambar 7.2 Prinsip dasar Efek Hall

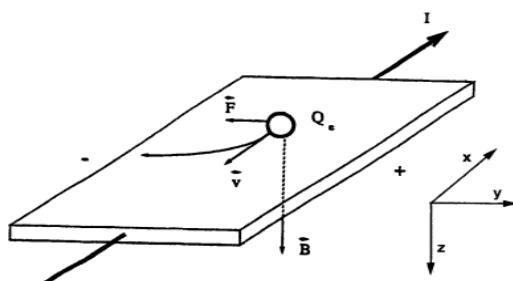
Arus yang dialirkan pada pelat merupakan muatan yang bergerak tiap satuan waktu. Misalnya muatan tersebut adalah elektron ( $e$ ) yang bergerak dalam medan magnet  $B$  dengan kecepatan  $v$ . Pergerakan elektron menimbulkan Gaya Lorentz  $F$  yang dituliskan oleh persamaan (7.6).

$$F = e(v \times B) \quad (7.6)$$

Ilustrasi muatan yang mengalir tersebut ditunjukkan pada Gambar 7.3. Muatan yang terkutub pada satu sisi konduktor akan menimbulkan medan listrik atau Medan Hall yang mengimbangi Gaya Lorentz (yang dialami oleh pembawa muatan). Selanjutnya, kekuatan medan magnet dapat ditentukan melalui pengukuran tegangan Hall yang dinyatakan oleh persamaan (7.7).

$$V_H = \frac{IB}{ned} \quad (7.7)$$

Pada persamaan tersebut  $V_H$  adalah tegangan yang melalui lebar pelat,  $I$  adalah arus yang melalui panjang pelat,  $B$  adalah medan magnet,  $d$  adalah tebal pelat,  $e$  adalah muatan elektron, dan  $n$  adalah kerapatan elektron.



**Gambar 7.3 Muatan yang mengalir pada pelat konduktor**

Salah satu jenis sensor yang memiliki prinsip kerja menggunakan Efek Hall yaitu sensor magnetik UGN3503. Spesifikasi dari sensor kuat medan magnet UGN3503 antaralain:

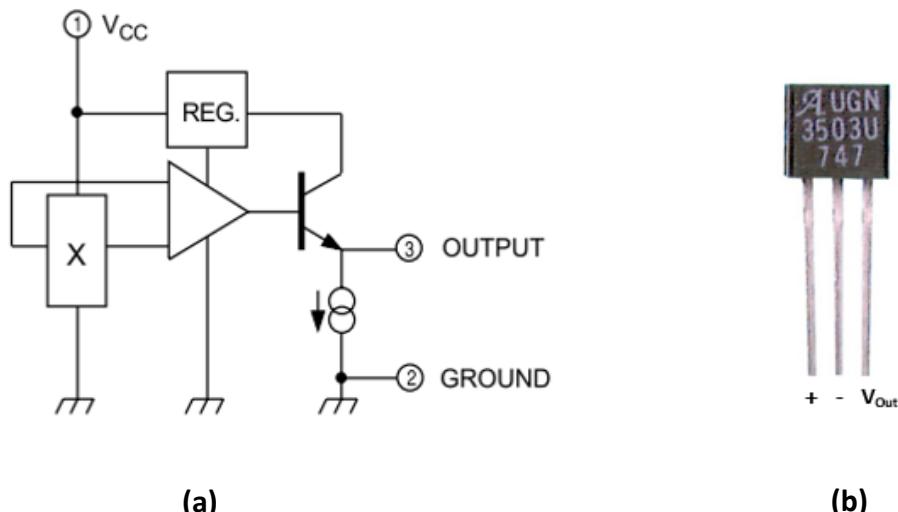
- Catudaya operasi 4.5 Volt - 6 Volt.
- Frekuensi respon hingga 23 KHz.
- Tegangan keluaran saat  $B = 0$  G sebesar 2,50 Volt.
- Konsumsi arus rata-rata 9 mA.

e. Sensitivitas sensor 1,3 mV/G.

f. Impedansi keluaran  $50 \Omega$ .

Aplikasi dari sensor UGN3505 dapat digunakan sebagai monitoring maupun pengontrol kecepatan dan jarak. Sensor UGN3505 menghasilkan tegangan yang berbanding lurus dengan kekuatan medan magnet yang dideteksi oleh elemen aktifnya. Konfigurasi sensor UGN3505 ditunjukkan pada Gambar 7.4. Rangkaian internal sensor UGN3503 ditunjukkan gambar 7.4a. Pada sensor UGN3503 terdapat penguat yang berfungsi sebagai penguat sinyal dari Efek Hall sensor sehingga menghasilkan tegangan keluaran yang cukup besar 2,50 Volt pada kuat medan magnet  $B=0$  Gauss.

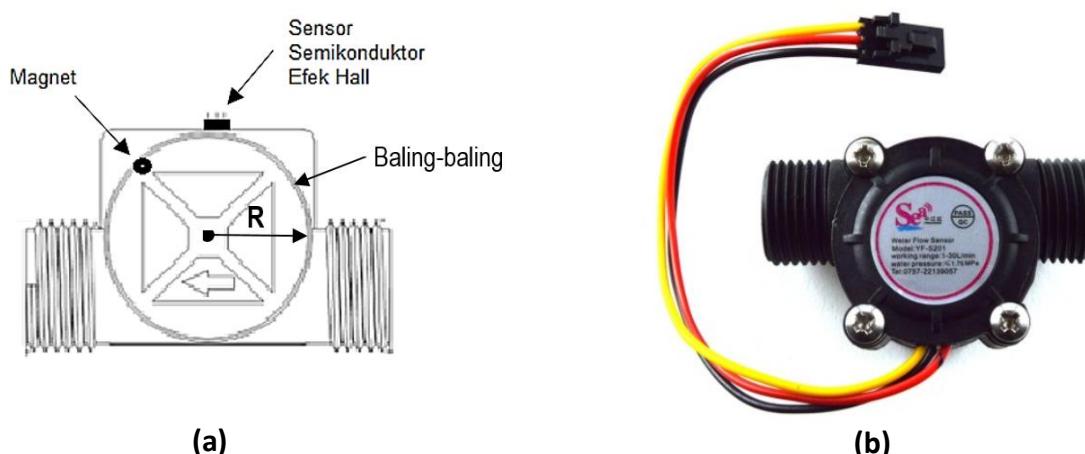
Prinsip kerja dari sensor UGN3505 yaitu jika elemen aktif sensor terpengaruh medan magnet dengan polaritas kutub utara maka akan menghasilkan pengurangan pada tegangan keluaran. Selanjutnya, jika sensor menerima pengaruh medan magnet dengan polaritas kutub selatan maka akan menghasilkan peningkatan tegangan pada keluarannya. Sensor Efek Hall UGN3505 memiliki 3 pin yaitu pin yang terhubung ke  $V_{cc}$ , *ground*, dan  $V_{out}$  seperti ditunjukkan pada Gambar 7.4b.



Gambar 7.4 (a) Konfigurasi sensor Efek Hall UGN3503 dan (b) bentuk fisiknya

### 7.3. Sensor Kecepatan Aliran Fluida pada Pipa

Sensor kecepatan aliran dibuat untuk mendeteksi aliran cairan maupun gas yang lewat mengalir pada sensor tersebut. Salah satu contoh dari sensor kecepatan aliran fluida adalah jenis semikonduktor yang dikonfigurasi menggunakan baling-baling bermagnet yang berputar jika terkena torsi aliran tersebut. Setiap satu putaran, katup plastik rotor bermagnet mendekati sensor semikonduktor *Hall Effect* sehingga terjadi pulsa listrik. Frekuensi putaran baling-baling rotor tersebut berkorelasi dengan kecepatan aliran cairan atau gas yang menggerakkan rotor tersebut. Konstruksi sensor aliran cairan dan gas pada pipa ditunjukkan gambar 7.5.



Gambar 7.5. (a) Konstruksi *sensor aliran fluida* dan (b) bentuk fisiknya

Aliran yang masuk pada pipa sensor akan menggerakkan baling-baling yang di dalamnya terdapat magnet di salah satu bagiannya. Pada saat baling-baling bermagnet tersebut mendekati sensor maka akan menghasilkan satu pulsa listrik pada keluaran sensor Efek Hall. Jumlah putaran setiap detik dari baling-baling disebut frekuensi ( $f$ ) dengan satuan Hertz (Hz). Secara fisika kecepatan aliran tersebut dapat ditentukan yaitu:

- Kecepatan anguler (rotasional)

$$\omega = 2\pi \cdot f \quad (7.8)$$

Dimana  $\omega$  adalah kecepatan anguler sensor,  $\pi = 22/7$  dan  $f$  adalah frekuensi putaran yang dapat dicacah dari sensor menggunakan mikrokontroler.

b. Kecepatan liner (translasiional)

$$v = \omega R_s$$

$$v = 2\pi R_s f \quad (7.9)$$

Dimana  $R_s$  adalah jari-jari rotasi baling-baling dari sensor dan  $f$  adalah frekuensi putaran yang dapat dicacah dari sensor menggunakan mikrokontroler.

c. Debit aliran

Debit aliran didefinisikan sebagai volume aliran cairan yang melalui pipa sensor setiap detik, dirumuskan:

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{A \cdot s}{t} = A \cdot v \quad (7.10)$$

Dimana  $Q$  adalah debit aliran cairan,  $V$  menunjukkan volume cairan yang mengalir,  $t$  adalah waktu,  $s$  adalah jarak tempuh aliran,  $A$  adalah luas penampang pipa dan  $v$  adalah kecepatan linier aliran. Dari rumus tersebut dapat diringkas yaitu:

$$Q = A \cdot v = \pi R_p^2 \cdot 2\pi R_s f = 2\pi^2 R_p^2 R_s f \quad (7.11)$$

Dari rumus tersebut dapat diketahui bahwa variabel pengukuran yang berubah hanyalah  $f$  dan lainnya adalah kostanta. Nilai dari  $R_p$  (jari-jari pipa) dan  $R_s$  (jari-jari baling-baling sensor) dapat ditentukan melalui pengukuran menggunakan jangka sorong atau melihat teknis atau datasheet sensor tersebut.

#### 7.4. Akuisisi Data Sensor Aliran Fluida

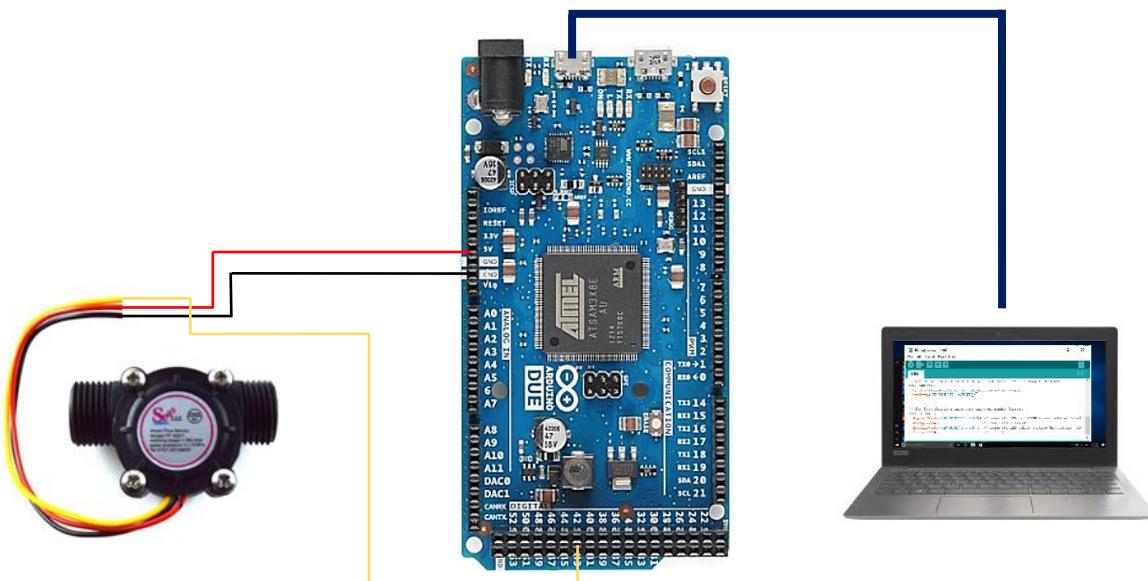
Sensor kecepatan aliran fluida dengan Efek Hall memiliki keluaran berupa pulsa listrik yang jumlahnya sesuai dengan jumlah putaran baling-baling sensor tersebut. Oleh karena itu

untuk memperoleh nilai kecepatan aliran anguler maupun linier diperlukan sistem akuisi data frekuensi dari keluaran sensor. Gambar 7.6 merupakan contoh sinyal keluaran dari sensor aliran fluida menggunakan Efek Hall yang dilihat dengan menggunakan osiloskop digital.



Gambar 7.6 Keluaran sensor aliran fluida Efek Hall pada osiloskop digital

Mikrokontroler diprogram untuk mencacah frekuensi putaran dari sensor tersebut sehingga keluaran sensor dihubungkan ke pin 43 yang digunakan untuk masukan pencacahan. Hubungan sensor dan mikrokontroler tersebut seperti ditunjukkan pada Gambar 7.7.



Gambar 7.7. Rangkaian sensor aliran fluida Efek Hall yang dihubungkan ke pin 43 dari Arduino Due *board system* untuk dicacah frekuensinya

Program pencacah frekuensi dari sensor tersebut ditunjukkan pada contoh **PROGRAM 008**.

## PROGRAM 08

// Program Membaca Sensor Aliran volatile int pulsa; float kalk,frek,anguler,linier,debit; int Hallsensor = 43;  void setup() { Serial.begin(9600); while (!Serial);  pinMode(Hallsensor, INPUT ); digitalWrite(Hallsensor,HIGH); attachInterrupt(43, rpm, RISING); }  void rpm () { pulsa++; }  void loop() { pulsa = 0; delay (1000); frek = kalk; Serial.println (frek);  anguler = (2*3.14*frek); Serial.println (anguler);  linier = (0.0127*anguler); Serial.println (linier);  debit = (3.14*0.0127*0.0127*linier);; Serial.println (debit); }	// <b>Judul Program</b> // <b>Preprocessing</b> : menyiapkan variable  // <b>Setup</b> // mempersiapkan kecepatan pengiriman data // 9600 BPS  // definisi fungsi pin 43  // fungsi pencacahan frekuensi  // <b>Loop program utama</b> // pulsa dikosongkan // cacaah pulsa selama 1 detik // jumlah pulsa adalah frekuensi // kirim frekuensi  // hitungan kecepatang anguler  // hitungan linier dari anguler (tergantung R sensor) // kirim hasil hitungan kecepatan linier  // hitungan debit dari kecepatan linier, tergantung R // sensor dan R pipa, mengirim nilai debit
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

==ooOo==

# 8

BAB

## SENSOR TINGKAT KEASAMAN (pH)

Bab ini membahas konsep fisis dan teknis serta sistem akusisi data dari sensor derajat keasaman (pH) dengan menggunakan metode elektrolisis. Pada bagian ini dibahas konsep elektroda kaca yang digunakan untuk mengukur ion-ion larutan yang dijadikan parameter besar derajat keasaman larutan yang diukur. Pada bagian akhir dijelaskan pemrograman mikrokontroler dari sistem akusisi data sensor pH analog menggunakan mikrokontroler. Seperti pada model sensor analog pada umumnya diperlukan perangkat *Analog to Digital Converter (ADC)* untuk menjelaskan sistem akusisi data tersebut. Pada bab ini diberikan contoh sensor yang telah dilengkapi pengkondisian sinyalnya. Sistem pengukuran ini sangat diperlukan dalam industri kimia proses, pemantauan lingkungan, perikanan dan berbagai bidang lainnya.

### 8.1 Konsep pH

*Power Hydrogen* (pH) merupakan konsentrasi ion hidrogen dan hidroksida dalam suatu larutan. Nilai konsentrasi pH menentukan tingkat keasaman dari larutan tersebut, nilai pH yang rendah menunjukkan larutan dalam keadaan asam, jika nilai pH tinggi menunjukkan larutan dalam keadaan basa (alkali). Jika nilai keasaman dan kebasaan sama maka konsentrasi larutan disebut netral. Pada suhu 25 °C, larutan netral memiliki pH 7, sedangkan pada suhu 35 °C larutan netral memiliki pH 6,92. Dari pernyataan tersebut diketahui bahwa

larutan bersifat netral jika memiliki pH 7 masih berupa pernyataan pembulatan. Penggunaan sistem akuisisi data digital dengan resolusi ADC yang baik akan dapat mempresentasikan nilai pH secara detail.

Metode elektrolisis merupakan metode penguraian molekul menjadi ion-ion yang bermuatan listrik. Misalnya pada molekul air ( $H_2O$ ) dapat diuraikan menjadi ion hidrogen dan hidroksida sebagai berikut:



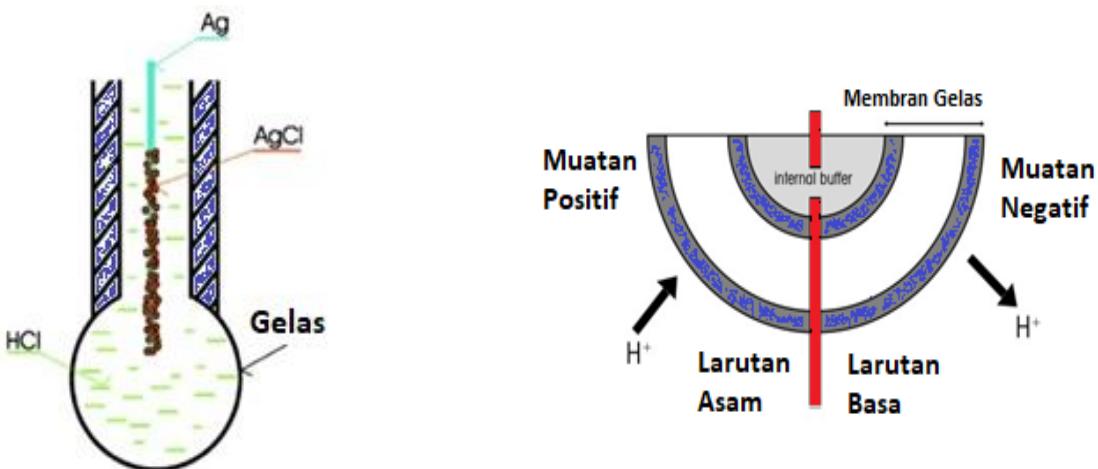
Jumlah ion-ion yang terbentuk tersebut kecil yakni pada suhu 25 °C kurang dari  $2 \times 10^{-7}$  % molekul air diuraikan. Selanjutnya, air pada 25 °C mengandung  $1 \times 10^{-7}$  mol per liter ion hidrogen. Ketika bahan yang bersifat asam atau basa dilarutkan dalam air, hal yang terjadi adalah mengubah jumlah relatif ion  $H^+$  atau  $OH^-$  dalam larutan.

Pada suasana asam, larutan meningkatkan konsentrasi ion hidrogen. Hasil ion  $[H^+]$   $[OH^-]$  harus tetap konstan, sehingga ketika suasana asam, konsentrasi ion hidroksida menurun. Hal serupa juga terjadi pada larutan yang bersifat basa yaitu meningkatkan konsentrasi ion hidroksida dan mengurangi konsentrasi ion hidrogen. Secara teroritik, pH merupakan besar logaritmik dari aktifitas ion hydrogen ( $\alpha H$ ) pada suatu larutan dirumuskan:

$$pH = \log_{10} \alpha (H) \quad (8.2)$$

## 8.2 Prinsip Sensor pH

Sensor pH dibuat dengan kontruksi untuk menangkap aktifitas ion hydrogen ( $\alpha H$ ) menggunakan elektroda gelas kaca (*glass electrode*) yang ujungnya terbuat dari kaca tipis dan bulat (*bulb*) yang terisi larutan HCl (0,1 mol/dm<sup>3</sup>). Pada larutan tersebut dicelupkan kawat perak sehingga terbentuk persenyawaan yang seimbang dengan larutan HCl membentuk AgCl. Pada keadaan ini larutan pada *bulb* memungkinkan bertukar ion  $H^+$ . Diagram sensor pH ditunjukkan pada Gambar 8.1.



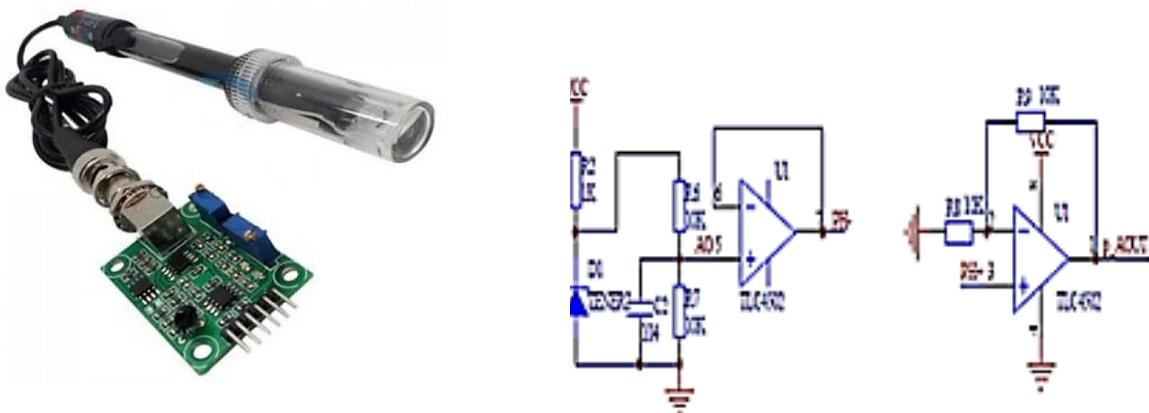
Gambar 8.1 (a) Skema sensor pH elektroda kaca dan (b) proses pertukaran ion  $H^+$  yang menimbulkan potensial listrik

Pertukaran ion  $H^+$  dengan kandungan  $H_3O$  dari larutan yang diukur, menghasilkan potensial listrik antar elektroda (dinding kaca dan kawat perak) sebesar:

$$E = \frac{RT}{2,303F} \log_{10} \alpha(H_3O^+) \quad (8.3)$$

Dimana  $\alpha(H_3O^+)$  adalah aktifitas ion  $H_3O^+$  dari larutan yang diukur,  $R$  merupakan konstanta molar gas (8,314 J/mol K),  $T$  adalah suhu larutan dalam Kelvin,  $F$  adalah konstanta Faraday 96.485,3 C/mol. Konfigurasi sensor pH elektroda kaca miliki potensial listrik yang sangat kecil. Oleh karena itu diperlukan pengkondisian sinyal yang berfungsi untuk menguatkan sinyal tersebut.

Gambar 8.2 merupakan contoh konfigurasi sensor pH yang terdiri dari elektroda kaca dan pengkondisian sinyalnya. Terdapat dua bagian penting dari pengkondisian sinyal tersebut, pertama adalah regulator sumber tegangan yang berfungsi untuk pencatu elektroda kaca. Tegangan sumber pencatu elektroda kaca harus stabil tidak berubah meskipun tegangan catu daya rangkaian berubah. Rangkaian tersebut digunakan untuk menjamin perubahan tegangan keluaran sensor hanya karena pertukaran ion saja. Bagian kedua dari pengkondisian sinyal ini adalah penguat Op-amp. Pada contoh tersebut digunakan rangkaian *non-inverting* yang besar penguatannya tergantung  $R_i$  dan  $R_f$ .

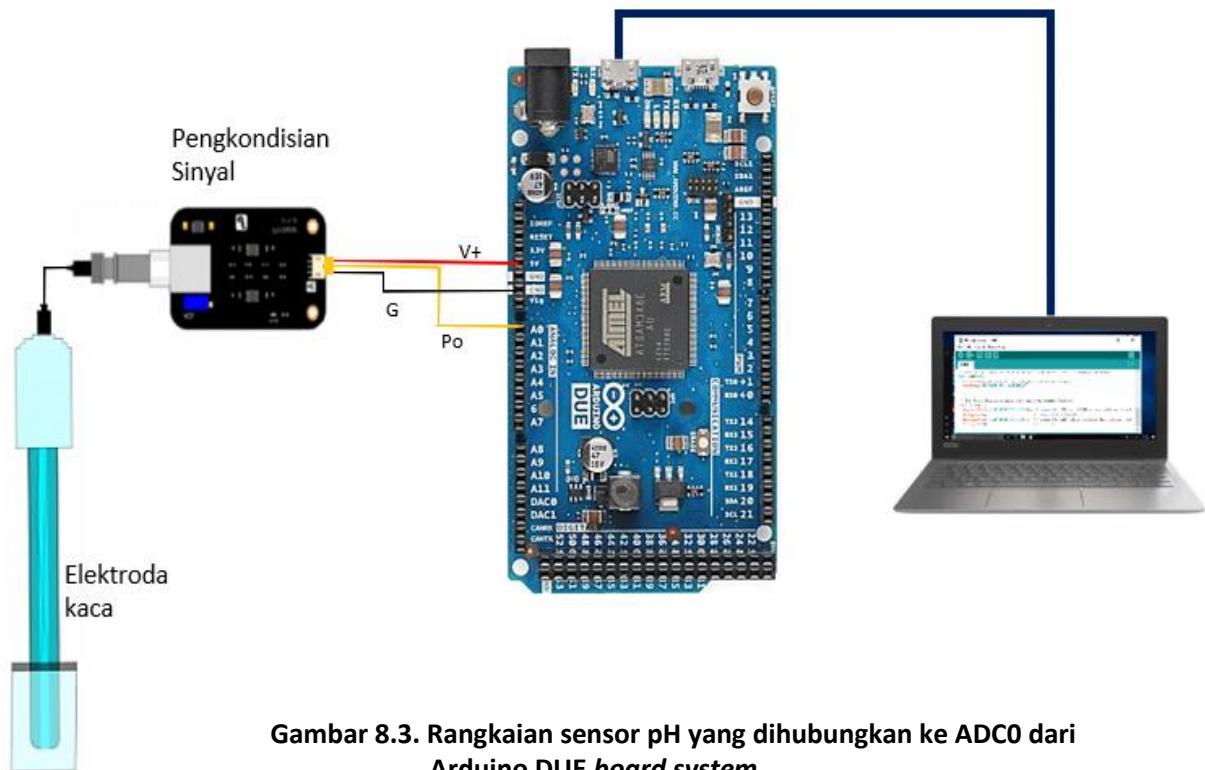


**Gambar 8.2 (a) Bentuk fisik sensor elektroda kaca dan pengkondisian sinyal sensor pH dan (b) rangkaian pengkondisian sinyal sensor pH**

### 8.3 Akuisisi Data Sensor pH

Sensor pH secara konsep memiliki keluaran analog. Arus yang mengalir pada sensor akibat ionisasi secara otomatis berubah menjadi tegangan melalui impedansi rangkaian pengkondisian sinyal. Pada rangkaian Gambar 8.3 arus hasil pertukaran ion berubah menjadi tegangan akibat dihubungkan Op-amp yang memiliki impedansi *input* tinggi. Keluaran penguat adalah tegangan analog pada pin P\_Aout. Dari skema rangkaian tersebut dapat dipastikan keluaran sensor dapat dihubungkan ke *input* analog ADC pada mikrokontroler.

Gambar 8.3 menunjukkan hubungan antara elektroda kaca, *board* pengkondisian sinyal dan mikrokontroler Arduino Due. Sensor yang digunakan memerlukan pencatuan luar +5V sehingga dapat hubungkan langsung dari pin +5V pada Arduino Due *board*. Untuk melakukan akuisisi data diperlukan pemrograman pembacaan ADC seperti ditunjukkan pada **PROGRAM 009**. Masalah yang penting pada sistem akuisisi data ini adalah belum diinformasikannya karakteristik sensor yang menunjukkan hubungan antara nilai pH yang diukur terhadap tegangan keluaran pada pin P\_Aout. Oleh karena itu perlu dilakukan karakterisasi dengan pH-meter standard untuk memperoleh hubungan antara pH terukur dengan tegangan keluaran pengkondisian sinyal sensor. Hasil tersebut selanjutnya dimasukkan dalam *script* program untuk mengubah nilai ADC menjadi nilai pH kembali di komputer.



**Gambar 8.3. Rangkaian sensor pH yang dihubungkan ke ADC0 dari Arduino DUE *board system***

## PROGRAM 009

// Program Akuisis Data Sensor pH int data_ADC0; float pH;  void setup() { Serial.begin(9600); while (!Serial); }  void loop() { analogReadResolution(12); data_ADC0=analogRead(A0); delay(100); Serial.println(data_ADC0);  //persamaan konversi ADC0 ke pH //Serial.println(pH); }	// <b>Judul Program</b> // <b>Preprocessing</b> : menyiapkan variable  // <b>Setup</b> // set kecepatan pengiriman data 9600 BPS  // <b>Loop program utama</b> // set lebar bit ADC pada 12 bit. // membaca ADC0 // menunggu konversi selesai // mengirim data ADC0  // konversi ADC0 ke pH dari persamaan karakteristik // kirim data pH
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

==ooOooo==

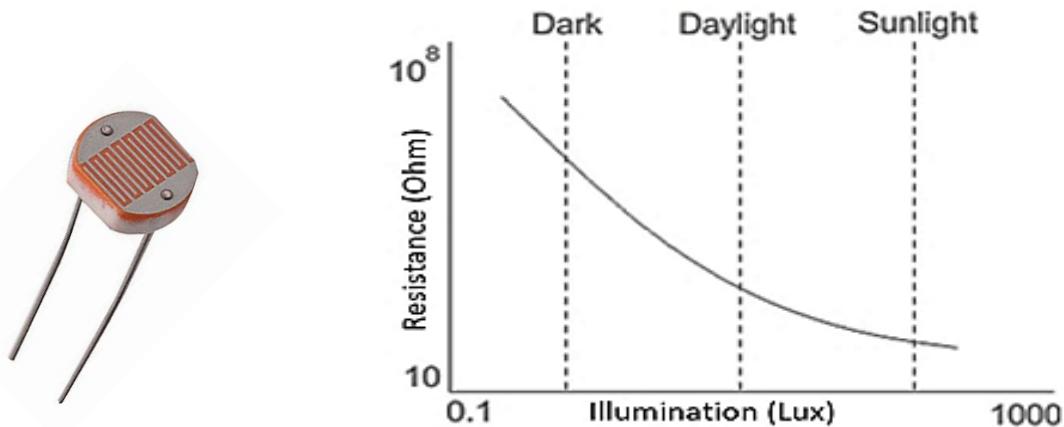
# SENSOR CAHAYA

Bab ini membahas tentang konsep pengukuran intensitas cahaya menggunakan berbagai sensor cahaya antara lain: *Light Dependent Resistor (LDR)*, Foto dioda dan modul sensor terintegrasi BH1750. Pada bagian ini, setiap sensor dibahas karakteristik dan cara kerja masing komponen. Setiap sensor memiliki konfigurasi sistem yang berbeda-beda sehingga memiliki teknik pemrograman sistem akusisi data yang berbeda pula. Pada bab ini juga dijelaskan teknik pemrograman mikrokontroler untuk sistem akusisi data analog dan digital. Selain itu juga dijelaskan modul sensor digital terintegrasi BH1750 dengan menggunakan protokol *Inter Integrated Circuit (I2C)* dengan instruksi sesuai dengan petunjuk yang tertera dalam *datasheet*.

## 9.1 Sensor Cahaya *Light Dependent Resistor (LDR)*

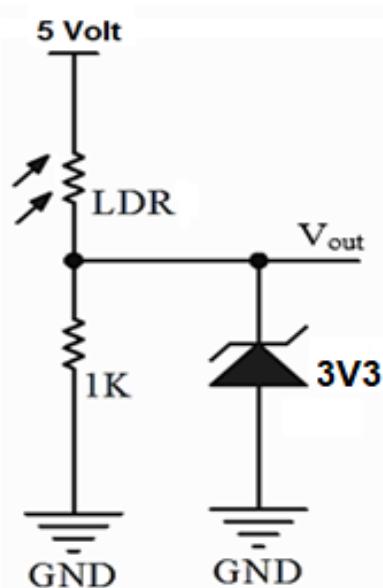
Sensor *Light Dependent Resistor (LDR)* merupakan sensor cahaya yang terbuat dari bahan elektronik, misalnya cadmium sulfide ( $\text{CdS}$ ) yang memiliki nilai resistansi berubah jika terkena cahaya. LDR adalah salah satu jenis resistor yang nilai hambatannya tergantung dari tingkat intensitas cahaya yang mengenai permukaannya. Pada saat cahaya meradiasi bahan LDR dan energinya telah cukup maka akan terjadi lompatan elektron dari kondisi ambang yang terikat pada tingkat energi dasar ke pita konduksi. Pada keadaan ini akan menghasilkan aliran listrik sehingga sifat resistansi bahan menurun. LDR mempunyai hambatan listrik maksimum sekitar  $10\text{M}\Omega$  pada kondisi gelap dan mempunyai hambatan minimum kurang dari  $1\text{k}\Omega$  pada

intensitas cahaya yang terang. Bentuk fisik dari sensor LDR dan karakteristiknya terhadap intensitas cahaya ditunjukkan Gambar 9.1.



Gambar 9.1. Bentuk fisik dari sensor LDR dan Karakteristiknya terhadap intensitas cahaya

Seperti rangkaian pada sensor berbasis perubahan resistansi pada umumnya, LDR dikonfigurasi sebagai pembagi tegangan. Contoh rangkaian sensor LDR tersebut ditunjukkan pada Gambar 9.2.

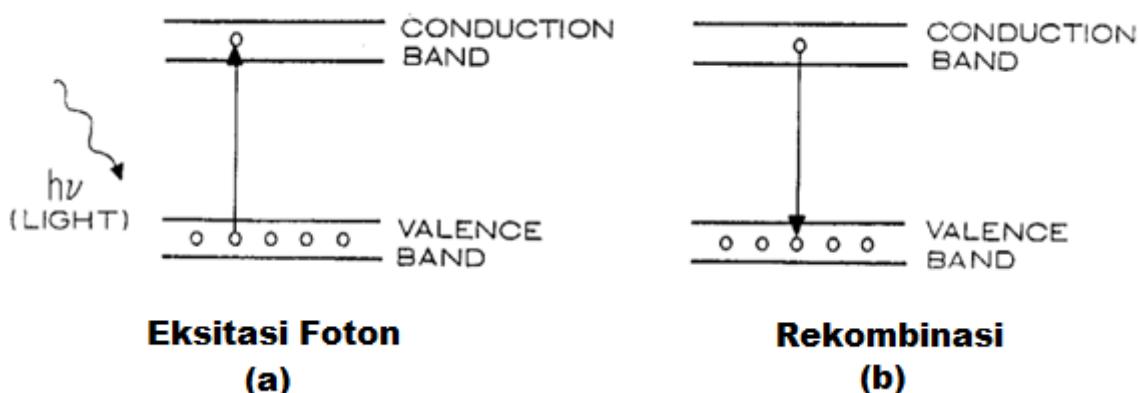


Gambar 9.2 Rangkaian sensor LDR dengan konfigurasi pembagi tegangan

Untuk menghasilkan tegangan keluaran yang berkorelasi dengan intensitas cahaya, sensor LDR diseri dengan resistor  $1\text{ k}\Omega$  dan diberi catu daya. Besar catu daya ini disesuaikan dengan kebutuhan masukan rangkaian ADC. Pada rangkaian ini diberi tegangan catu daya 3.3 Volt yang disesuaikan dengan kebutuhan masukan ADC dari Arduino DUE. Dioda Zener 3.3 Volt dipasang pada keluaran sensor untuk mengantisipasi lonjakan tegangan sehingga dapat memproteksi terjadinya kerusakan ADC yang digunakan.

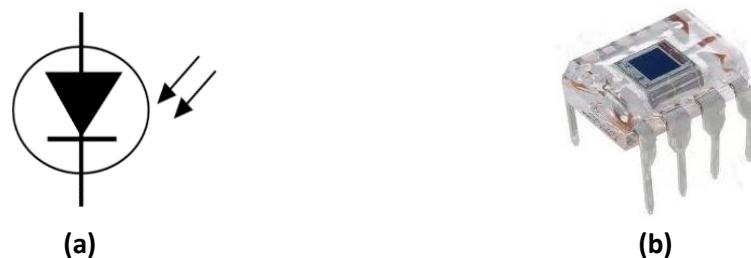
## 9.2 Sensor Cahaya Foto Dioda

Foto dioda merupakan sensor cahaya yang memiliki konfigurasi dioda semikonduktor yang mengkonversi energi cahaya menjadi energi listrik. Secara fisis sistem kerja foto dioda tersebut menggunakan efek foto listrik, yaitu peristiwa terjadinya eksitasi elektron pada bahan akibat energi foton dari luar yang melebihi energi ikat elektron pada bahan tersebut. Bahan semikonduktor yang digunakan untuk foto dioda antara lain: germanium, silicon, indium gallium arsenide, dan masih banyak lagi bahan lain yang digunakan. Setiap bahan tersebut memiliki energi *gap* yang berlainan sehingga energi foton dari cahaya yang mengenai bahan tersebut memiliki fungsi kerja yang berlainan pula. Pada sensor foto dioda terdapat pita valensi dimana tempat elektron terikat. Jika energi foton mengenai elektron tersebut maka menyebabkan elektron tereksitasi menjadi elektron bebas dan berada di pita konduksi seperti ditunjukkan pada Gambar 9.3a.



Gambar 9.3 (a) Peristiwa terjadinya eksitasi elektron pada foto dioda dan (b) proses rekombinasi elektron

Pada saat energi level dipita konduksi menurun maka elektron kembali lagi melakukan rekombinasi ke pita valensi seperti pada gambar 9.3b. Peristiwa pergerakan elektron ini secara elektronik menghasilkan arus listrik. Besar arus listrik yang dihasilkan pada efek foto listrik ini sebanding dengan intensitas foton dari cahaya yang mengenai foto dioda tersebut. Gambar 9.4 menunjukkan simbol foto dioda dan contoh fisik dari sensor foto dioda dalam kemasan IC OPT102 yang telah dilengkapi penguat *Op-amp* internal.



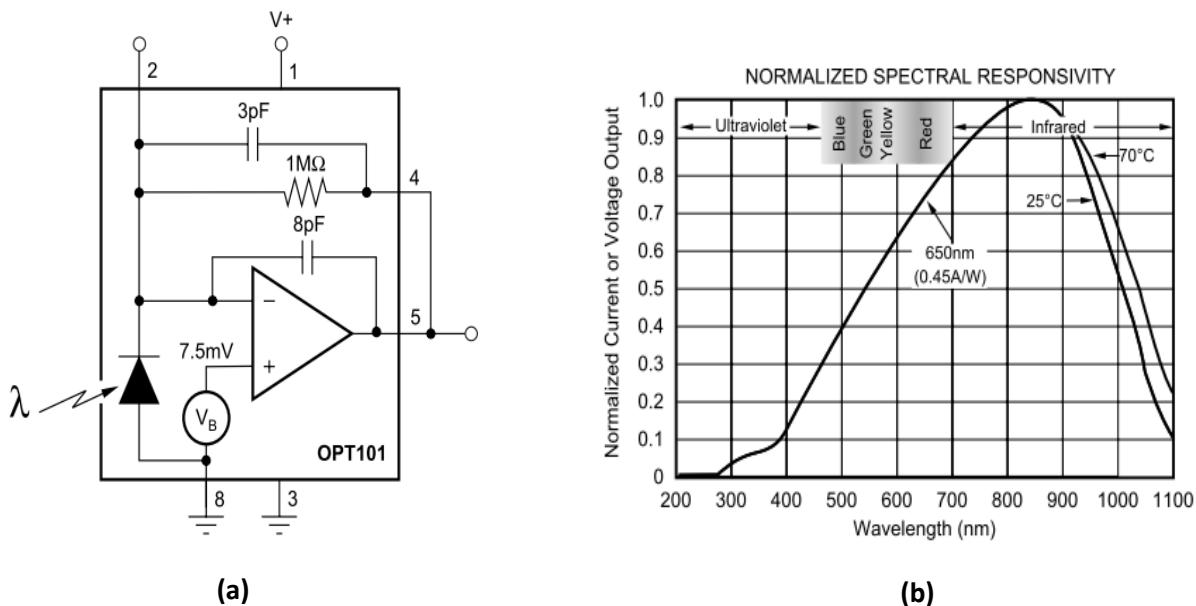
**Gambar 9.4 (a) Simbul sensor foto diode dan (b) bentuk fisik sensor foto diode OPT101**

Sensor cahaya foto dioda OPT101 memiliki karakteristik tegangan linier yang meningkat terhadap intensitas cahaya yang diterima. Sensor tersebut memerlukan catu daya DC tunggal atau simetri hingga 36 Volt. Sensor cahaya foto dioda OPT101 memiliki karakteristik antara lain:

- a. Rentang catu daya 2,7 Volt hingga 36 Volt.
- b. Memiliki rangkaian internal yang dapat bekerja tanpa rangkaian pendukung.
- c. Memiliki responsibilitas tinggi (0,45 A/W pada panjang gelombang cahaya 650 nm).
- d. *Bandwidth* hingga 14 KHz.
- e. Arus keluaran sensor sekitar 120  $\mu$ A.

Rangkaian internal dari sensor cahaya foto dioda OPT101 ditunjukkan pada gambar 9.5a. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa sensor dapat langsung digunakan tanpa rangkaian pendukung resistor dan kapasitor dengan cara menghubungkan pin 4 dan pin 5. Rangkaian tersebut bekerja berdasarkan penguatan dari konfigurasi internal dari resistor umpan balik  $1M\Omega$ . Jika pada kondisi rangkaian tersebut tidak sesuai dengan taraf tegangan keluaran sensor yang dibutuhkan maka dengan mudah ditambahkan rangkaian eksternal yang

dihubungkan antara pin 2 dan pin 5. Pada *mode* rangkaian ini, hubungan antara pin 5 dan pin 4 harus dilepas. Grafik karakteristik sensor OPT101 ditunjukkan pada Gambar 9.5b.



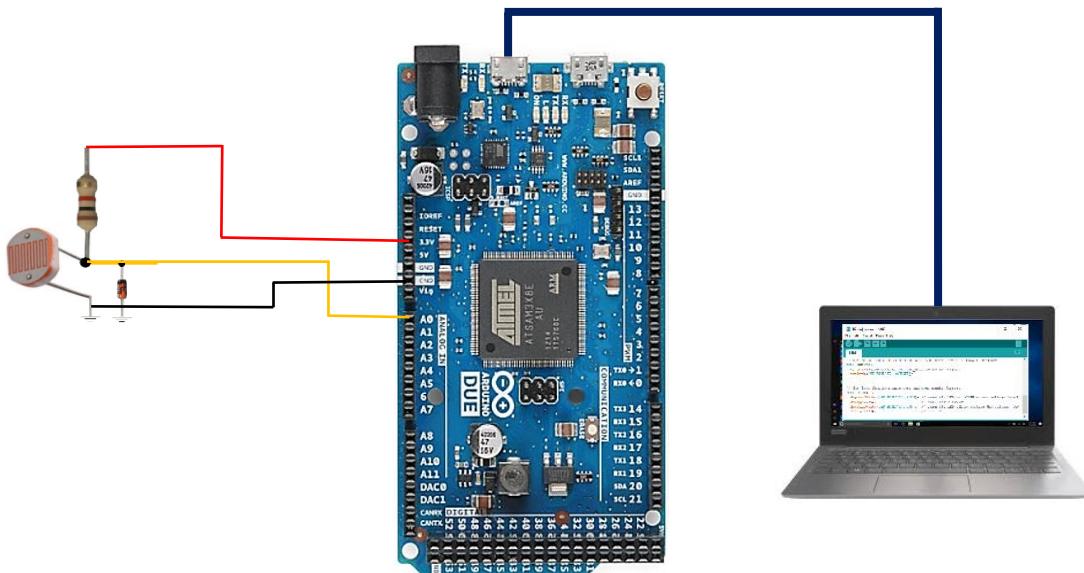
**Gambar 9.5 (a)** Rangkaian internal dari sensor cahaya foto diode OPT101 dan  
**(b)** grafik karakteristiknya

### 9.3 Akuisisi Data Sensor Cahaya LDR dan Foto Dioda OPT101

Sensor LDR dan foto dioda OPT101 memiliki kesamaan bentuk keluaran yaitu berupa tegangan analog. Perbedaan terletak dari karakteristik dari masing-masing sensor. LDR memiliki karakteristik keluaran tegangan eksponensial sedangkan pada foto dioda OPT101 memiliki karakteristik linier pada daerah cahaya tampak. Oleh karena ini keduanya dapat dilakukan akuisisi data dengan mikrokontroler *board system* Arduino Due dengan masukan ADC. Gambar 9.6 adalah contoh rangkaian sensor LDR yang dihubungkan ke mikrokontroler Arduino Due. Sedangkan untuk rangkaian sensor foto dioda OPT101 dapan mengacu pada gambar 9.5a.

**PROGRAM 010** merupakan contoh program akuisisi data untuk sensor LDR. Sebagai catatan penting pada program tersebut, harus dimasukkan program konversi ADC ke

intensitas cahaya (Lux) jika akan digunakan untuk pengukuran. Karakteristik sensor LDR dapat diperoleh dengan mengukur intensitas cahaya dengan menggunakan lux meter standar terhadap nilai ADC hasil akuisisi.



**Gambar 9.6 Rangkaian sensor cahaya LDR dihubungkan ke ADC0 dari Arduino Due *board system***

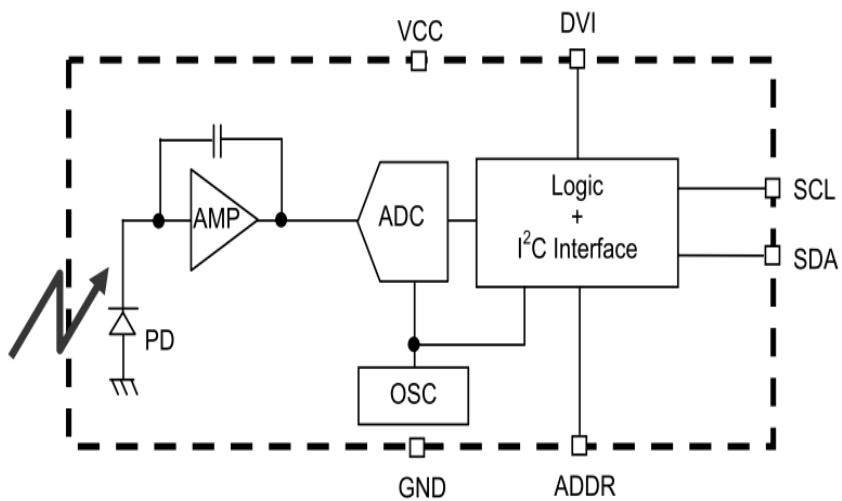
## PROGRAM 010

// Program Akuisis Data Sensor LDR int data_ADC0; float intensitas;	// <b>Judul Program</b> // <b>Preprocessing</b> : menyiapkan variable
void setup() { Serial.begin(9600); while (!Serial); }	// <b>Setup</b>  // set kecepatan pengiriman data 9600 BPS
void loop() { analogReadResolution(12); data_ADC0=analogRead(A0); delay(100); Serial.println(data_ADC0);  //persamaan konversi ADC0 ke pH	// <b>Loop program utama</b>  // set lebar bit ADC pada 12 bit. // membaca ADC0 // menunggu konversi selesai // mengirim data ADC0  // konversi ADC0 ke intensitas dari persamaan

<pre>         //Serial.println(intensitas);     } </pre>	<p>// karakteristik // kirim data intensitas</p>
----------------------------------------------------------	------------------------------------------------------

#### 9.4 Modul Sensor Cahaya Terintegrasi BH1750

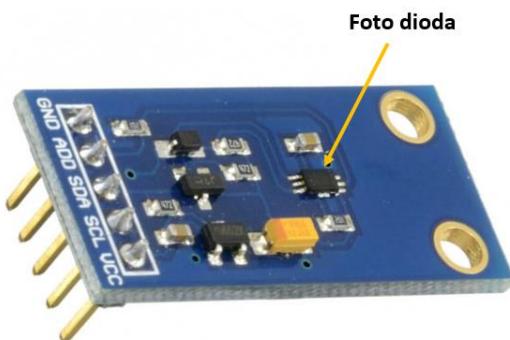
Modul sensor cahaya terintegrasi BH1750 merupakan modul sensor cahaya yang di dalamnya telah terintegrasi komponen sensor foto dioda, pengkondisian sinyal penguat sensor, ADC, dan rangkaian *interface* (antarmuka) ke perangkat lain dengan protokol komunikasi I2C (*Inter integrated Circuit*). Tipe modul sensor cahaya BH1750 membuat sistem pengukuran cahaya tampak menjadi lebih mudah karena keluaran pengukuran telah dikalibrasi dengan rentang pembacaan 16 bit (0 – 65535 lux). Diagram rangkaian internal sensor cahaya BH1750 ditunjukkan pada Gambar 9.7.



Gambar 9.7 Diagram blok internal IC sensor cahaya BH1750

Bentuk fisik dari sensor cahaya BH1750 ditunjukkan pada Gambar 9.8. Spesifikasi dari sensor terintegrasi tersebut antara lain:

- a. Catu daya operasional 2,4 – 3 Volt.
- b. Menggunakan *interface* I2C.
- c. Daerah kerja di area spectrum cahaya tampak.
- d. Rentang pengukuran 1 – 65535 lux.
- e. Terdapat fungsi “*down power*”.
- f. Filter *noise* cahaya frekuensi rendah (40 – 50 Hz).
- g. Level tegangan untuk logic *input* antarmuka 1,8 Volt.
- h. Hasil pengukuran dapat diskalakan.
- i. Fluktuasi pengukuran rendah ±20%.



**Gambar 9.8. Bentuk fisik dari sensor cahaya BH1750**

### ***Protocol Inter Integrated Circuit (I2C)***

Protokol *Inter Integrated Circuit* atau I2C merupakan protokol jarak pendek bus serial yang digunakan untuk komunikasi antara *single* atau *multiple master* dengan *single* atau *multiple slave*. Protokol I2C pertama kali direalisasikan oleh Philips Semiconductors untuk meningkatkan komunikasi antara mikrokontroler dengan *Integrated Circuit (IC)* lainnya. Protokol I2C menggunakan 2 kabel untuk komunikasi data antar perangkat yang melibatkan *master* dan *slave*. Pada sistem komunikasi I2C, *master* menguasai *bus* data sehingga dapat mengendalikan dan menghasilkan pulsa serial.

*Master* juga bertugas membangkitkan sinyal *start* maupun sinyal *stop* atau menentukan kapan komunikasi dimulai dan diakhiri. *Slave* bertugas menunggu atau membaca perintah dari *master* apakah harus menerima data, menulis data, atau mengirim data ke

*master*. Berbeda dengan *master*, *slave* tidak membangkitkan pulsa serial. *Master* dapat mengirim atau menerima data dari *slave*, tetapi sesama *slave* tidak boleh berkomunikasi.

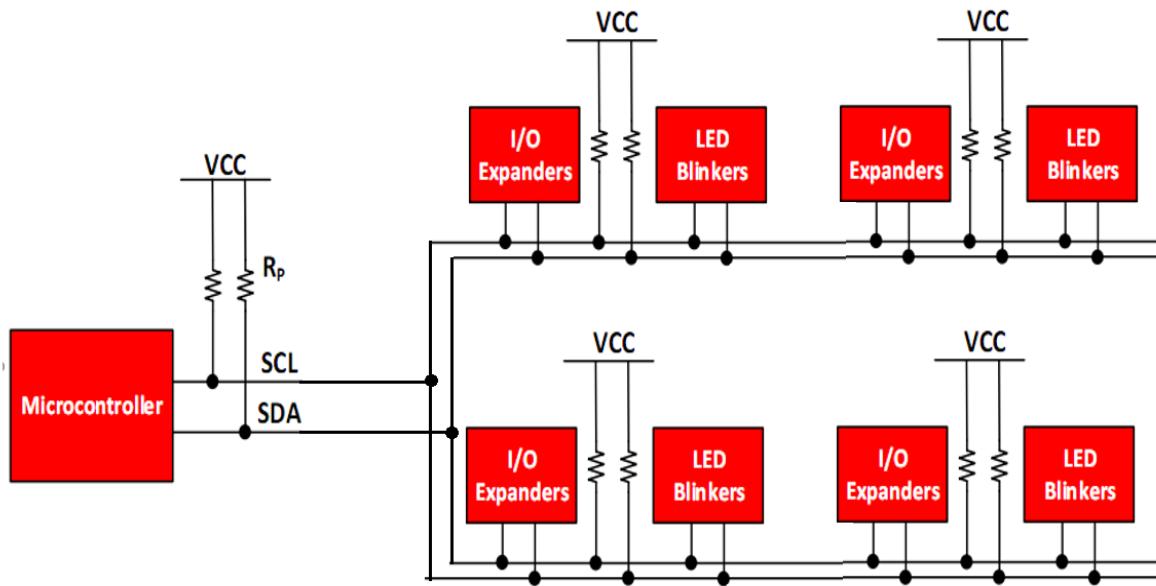
Bus I2C adalah antarmuka dua arah standar yang menggunakan pengontrol yang dikenal sebagai *master*, untuk berkomunikasi dengan *slave*. Kecepatan pengiriman data pada bus I2C dapat mencapai 400 KBPS. Setiap perangkat di bus I2C memiliki alamat perangkat khusus untuk membedakan masing-masing perangkat yang terdapat pada bus I2C yang sama. Setiap *slave* memerlukan konfigurasi saat memulai untuk mengatur kinerja suatu perangkat. Hal tersebut biasanya dilakukan ketika *master* mengakses peta register internal dari *slave* yang memiliki alamat register unik. Selain itu perangkat dapat memiliki satu atau beberapa register tempat data disimpan, ditulis atau dibaca. Antarmuka I2C terdiri dari pulsa serial (SCL) dan data serial (SDA) harus terhubung ke V<sub>CC</sub> melalui resistor *pull-up* yang ukurannya ditentukan oleh jumlah kapasitansi pada I2C. Contoh bus komunikasi dengan protocol I2C ditunjukkan pada Gambar 9.9.

Transfer data dapat dimulai hanya ketika bus dalam keadaan *idle*. Sebuah *bus* pada keadaan *idle* jika jalur SDA dan SCL *high* setelah kondisi STOP. Prosedur umum ketika *master* mengakses *slave* dijelaskan sebagai berikut, misalnya *master* akan mengirimkan data ke *slave* maka *transmitter master* mengirimkan kondisi START dan memberi alamat pada *slave* penerima. Kemudian transmpter *master* mengirimkan data ke *slave* penerima dan mengakhiri transfer tersebut dengan kondisi STOP.

Jika *master* menerima atau membaca dari *slave* maka *receiver* pada *master* mengirimkan kondisi START dan memberi alamat pada *transmitter slave*. *Receiver master* mengirimkan register yang diminta untuk membaca *transmitter* pada *slave*. Kemudian, *receiver master* menerima data dari *transmitter slave* dan mengakhiri transfer tersebut dengan kondisi STOP. Secara umum, komunikasi I2C dengan perangkat dimulai oleh *master* mengirim kondisi START dan dihentikan oleh *master* mengirim kondisi STOP. Transisi *high-to-low* pada SDA ketika SCL *high* mendefinisikan kondisi START.

Transisi *low-to-high* pada SDA ketika SCL *high* mendefinisikan kondisi STOP. Data yang dikirim dan diterima ke atau dari *slave* berasal dari membaca atau menulis ke atau dari register di perangkat slave. Register adalah lokasi dalam memori *slave* yang berisi informasi yang dikirim kembali ke *master*. *Master* menulis informasi ke dalam register-register untuk

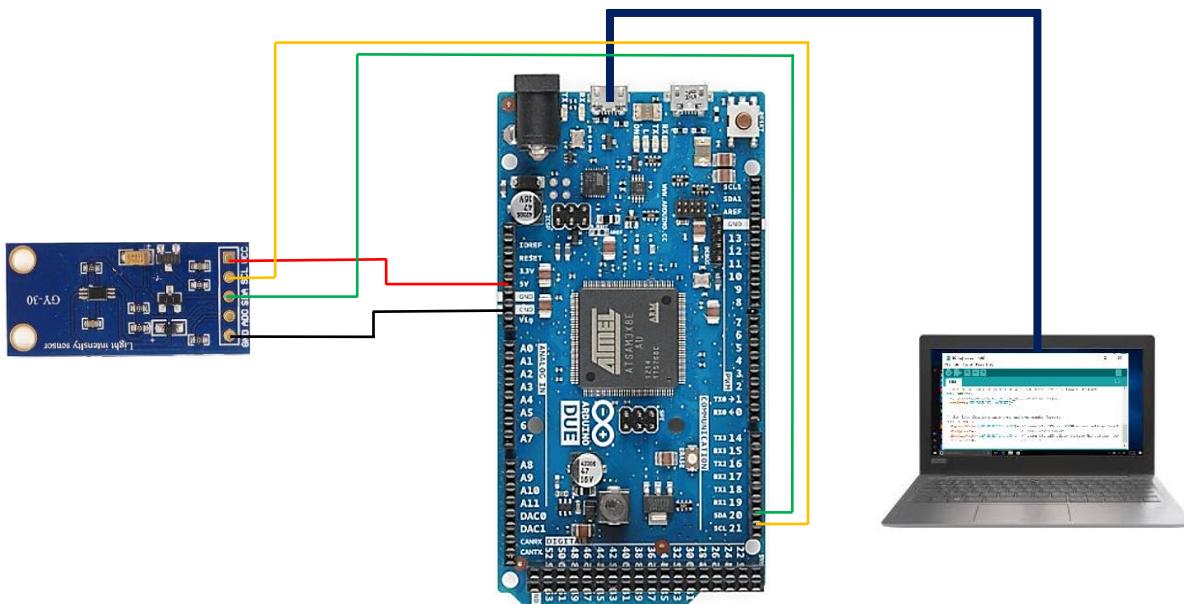
menginstruksikan perangkat slave. Namun, tidak semua *slave* memiliki register dan perangkat sederhana hanya berisi 1 register yang dapat ditulis langsung untuk mengirim data register setelah alamat *slave*.



Gambar 9.9 Contoh bus komunikasi dengan protocol I2C

Contoh perangkat register tunggal akan menjadi I2C *switch* 8-bit, yang dikendalikan melalui perintah I2C. Jika memiliki 1 bit untuk mengaktifkan atau menonaktifkan kanal, maka hanya ada 1 register yang diperlukan dan *master* menulis data register setelah alamat *slave*. Rangkaian hubungan sensor BH1750 dengan Arduino IDE *board system* dengan protokol I2C ditunjukkan pada Gambar 9.10. Seperti modul sensor yang lain, paket instruksi pembacaan modul sensor cahaya BH1750 telah disediakan dalam bentuk *library*. Oleh karena ini pengguna harus terlebih dahulu men-*download* dan meng-*install* sensor tersebut ke dalam Arduino IDE. Cara mengintal *source library* sensor BH1750 sama dengan cara mengintal *source library* pada umumnya. *Source library* tersebut dapat di-*download* pada alamat:

- ❖ <https://github.com/claws/BH1750>



**Gambar 9.10 Rangkaian sensor cahaya BH1750 dengan Arduino DUE board system melalui protocol I2C**

## PROGRAM 012

// Program Akuisis Data Sensor BH1750	// <b>Judul Program</b>
#include <Wire.h> //BH1750 IIC Mode	// <b>Preprocessing</b>
#include <math.h>	
int alamat;	// setting alamat I2C
int Datanya;	
int BH1750address = 0x23;	// set kecepatan pengiriman data 9600 BPS
byte buff[2];	
void setup()	// <b>Setup</b>
{	
Wire.begin();	
SerialUSB.begin(9600);	
while (!Serial);	
}	
void loop()	// <b>Loop program utama</b>
{	
if (SerialUSB.available())	// idle pengiriman data dari komputer
{	
int alamat=SerialUSB.read();	// jika ada data disimpan dalam register 'alamat'
if (alamat==1)	// jika alamat=1 maka,
{	
I2C_BH1750();	// lompat ke subroutine I2C
}	

```

}

void I2C_BH1750() // subroutine I2C BH1750
{
int i;
uint16_t val=0;
BH1750_Init(BH1750address);

if(2==BH1750_Read(BH1750address))
{
val=((buff[0]<<8)|buff[1])/1.2;
SerialUSB.print(val);
}
}

int BH1750_Read(int address)
{
int i=0;
Wire.beginTransmission(address);
Wire.requestFrom(address, 2);
while(Wire.available())
{
buff[i] = Wire.read();
i++;
}
Wire.endTransmission();
return i;
}

void BH1750_Init(int address)
{
Wire.beginTransmission(address);
Wire.write(0x10);
Wire.endTransmission();
}

```

==ooOooo==

# 10

BAB

## SENSOR JARAK ULTRASONIK

Bab ini membahas tentang penggunaan gelombang ultrasonik untuk pengukuran jarak (*ultrasonic ranging*) tanpa menyentuh dan mengganggu obyek. Metode tersebut dikenal dengan istilah *Non-destructive Test (NDT)*. Pada bagian awal dijelaskan tentang konsep fisika dari gelombang ultrasonik terutama refleksi dan kecepatan gelombang tersebut. Selain itu juga dijelaskan sensor jarak di media udara yang berbentuk modul. Pada bab ini dijelaskan teknik pemrograman sensor *ultrasonic ranging* berbasis mikrokontroler AT91SAM3X8E yang memiliki keluaran spesifik berupa nilai *time-of-flight (tof)* yang nilainya sebanding dengan jarak obyek. Sistem ini sangat berguna untuk pengukuran level, posisi, jarak detektor kosong, dan berbagai aplikasi lainnya.

### 10.1 Gelombang Ultrasonik

Gelombang ultrasonik merupakan gelombang mekanik yang frekuensinya berada di atas spektrum gelombang suara sehingga tidak dapat didengar oleh manusia. Gelombang ultrasonik memiliki spektrum frekuensi di atas 20 KHz. Batas atas dari gelombang ultrasonik tidak pasti, beberapa literatur menyebutkan batas atasnya hingga 20 MHz. Daerah kerja gelombang ultrasonik sangat berkaitan dengan media yang dilaluinya. Di media udara (misalnya untuk pengukuran jarak ultrasonik) frekuensi yang digunakan sekitar 40 KHz (di media cair misalnya pada *Sound Navigation and Ranging (SONAR)*) pada frekuensi sekitar 500 KHz,

sedangkan pada medium padat (misalnya untuk uji tak-merusak dan ultrasonografi (USG)) berada di daerah sekitar 1-10 MHz.

Gelombang ultrasonik di alam dapat dibangkitkan oleh binatang (kelelawar, lumba-lumba, jangkrik tebing, dll.). Secara elektronik, gelombang ultrasonik dibangkitkan oleh material kristal piezoelektrik. Kristal tersebut dapat membangkitkan gelombang dengan mengubah osilasi listrik menjadi gelombang ultrasonik dan sebaliknya mengubah gelombang ultrasonik menjadi sinyal listrik. Dari kedua sifat tersebut maka piezoelektrik selanjutnya disebut transduser karena dapat berfungsi sebagai aktuator dan sensor. Bentuk fisik dari transduser ultrasonik ditunjukkan pada Gambar 10.1.

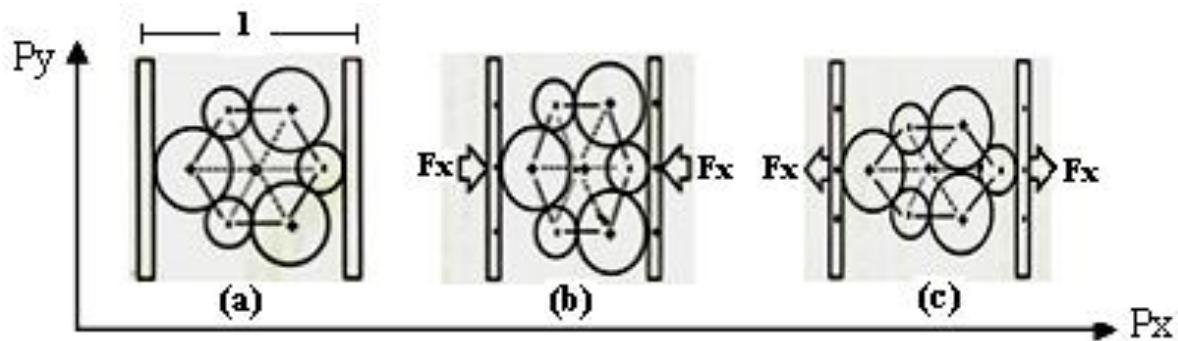


**Gambar 10.1 Bentuk fisik dari transduser ultrasonik piezoelektrik**

Struktur kristal piezoelektrik dalam keadaan setimbang ditunjukkan pada Gambar 10.2a. Prinsip kristal piezoelektrik sebagai sensor terjadi saat kristal tersebut terkena tekanan gelombang ultrasonik dengan gaya  $F_x$  dari luar. Gaya tersebut menyebabkan terjadinya perubahan susunan elektron bermuatan seperti ditunjukkan Gambar 10.2b sehingga kedua permukaannya memiliki potensial listrik yang nilainya sebanding dengan gaya  $F_x$ . Polaritas dari potensial listrik yang dihasilkan oleh kristal piezoelektrik tersebut berubah saat terjadi relaksasi seperti ditunjukkan ada Gambar 10.2c.

Prinsip kristal piezoelektrik sebagai aktuator berlaku berkebalikan dengan saat kristal piezolelektrik sebagai sensor. Osilator gelombang listrik bermuatan dihubungkan di kedua permukaan Kristal tersebut. Saat terjadi perubahan potensial listrik positif ke negatif atau sebaliknya, kristal piezoelektrik mengalami deformasi yang menyebabkan getaran. Frekuensi yang dihasilkan pada kristal sama dengan frekuensi osilator listrik. Getaran kristal

piezoelektrik yang dihasilkannya menyebabkan terjadinya gelombang ultrasonik pada transduser tersebut.



Gambar 10.2 (a) Kristal piezoelektrik dalam keadaan setimbang, (b) kristal terdeformasi oleh gaya  $F_x$ , dan (c) kristal mengalami relaksasi

Secara elektronik kedua plat kristal yang memiliki jarak  $l$ , kapasitansi plat sejajar tersebut pada tegangan  $V$  dirumuskan:

$$V = \frac{Q_x}{C} = \frac{d_{11}}{C} F_x \quad (10.1)$$

Pada luas kristal sebesar  $a$ , maka kapasitansinya adalah:

$$C = \epsilon \epsilon_0 \frac{a}{l} \quad (10.2)$$

Dari persamaan (11.1) dan (11.2) dapat ditentukan keluaran tegangan sensor piezoelektrik sebesar:

$$V = \frac{d_{11}}{C} F_x = \frac{d_{11} l}{\epsilon \epsilon_0 a} F_x \quad (10.3)$$

## 10.2 Sensor Jarak Ultrasonik

Sensor jarak ultrasonik menggunakan kosep fisika refleksi (pantulan) yaitu jika gelombang ultrasonik melaju dengan kecepatan  $c_u$  di udara dengan massa jenis udara  $\rho_u$  mengenai obyek benda yang berada di depan transduser dengan massa jenis  $\rho_b$  dan cepat

rambat gelombang di benda tersebut  $c_b$  maka akan terjadi pantulan sebesar  $R$  yang dirumuskan:

$$R = \frac{\rho_b \cdot C_b - \rho_u \cdot C_u}{\rho_b \cdot C_b + \rho_u \cdot C_u} \quad (10.4)$$

Transduser ultrasonik yang digunakan untuk pengukuran jarak terdapat dua elemen kristal piezoelektrik yaitu *transmitter (Tx)* yang berfungsi untuk membangkitkan gelombang ultrasonik dan *receiver (Rx)* yang digunakan untuk menerima gelombang ultrasonik setelah dipantulkan oleh obyek benda di depannya. Mikroprosesor/mikrokontroler diperlukan untuk mencacah *time-of-flight (t<sub>of</sub>)* yaitu waktu saat gelombang dipancarkan oleh *transmitter* hingga diterima oleh *receiver*. Jarak pengukuran  $s$  dari sistem tersebut dapat dihitung menggunakan rumus:

$$s = \frac{C_u \cdot t_{of}}{2} \quad (10.5)$$

Rumus tersebut mengacu pada persamaan gelombang mekanik sehingga berlaku persamaan mekanika klasik yang bersumber dari Hukum Newton. Secara teoritik nilai dari kecepatan gelombang ultrasonik di udara  $C_u = 340$  m/s. Pada prakteknya nilai tersebut dipengaruhi oleh suhu lingkungan sesuai dengan persamaan:

$$C_u = \sqrt{\frac{\gamma RT}{m}} \quad (10.6)$$

Dimana  $\gamma$  adalah tetapan Laplace,  $R$  adalah tetapan universal gas (udara),  $m$  merupakan massa molar gas (udara) dan  $T$  adalah besar suhu lingkungan dari udara yang dilalui gelombang ultrasonik.

Sensor jarak ultrasonik untuk medium udara telah dijual berupa modul yang terintegrasi antara *transmitter*, *receiver*, osilator pembangkit dan pengkondisian sinyalnya. Contoh sensor jarak ultrasonik di udara ditunjukkan pada gambar 10.3. Pada Gambar 10.3a. ditunjukkan sistem sensor jarak dengan dua elemen piezoelektrik dimana *transmitter* dan

*receiver* dibuat berbeda dan terpisah, sedangkan Gambar 10.3b merupakan sistem sensor jarak ultrasonik *waterproof single element* dimana kristal piezoelektrik difungsikan secara bergantian untuk memancarkan gelombang dan sesaat kemudian diubah fungsinya sebagai penerima gelombang. Kelemahan modul yang kedua ini tidak dapat mengukur dengan akurat dan stabil di daerah medan dekatnya.



**Gambar 10.3 Sistem sensor jarak ultrasonik di udara (a) model *double element* dan (b) *single element***

Kedua sistem sensor jarak ultrasonik tersebut memiliki kesamaan fungsi dari ke-4 *pin*-nya yaitu:

- a. Pin VCC

Pin yang berfungsi untuk pencatutdaya rangkaian positif DC 5 Volt.

- b. GND

Pin yang berfungsi untuk pencatu daya negatif rangkaian.

- c. *Trigger*

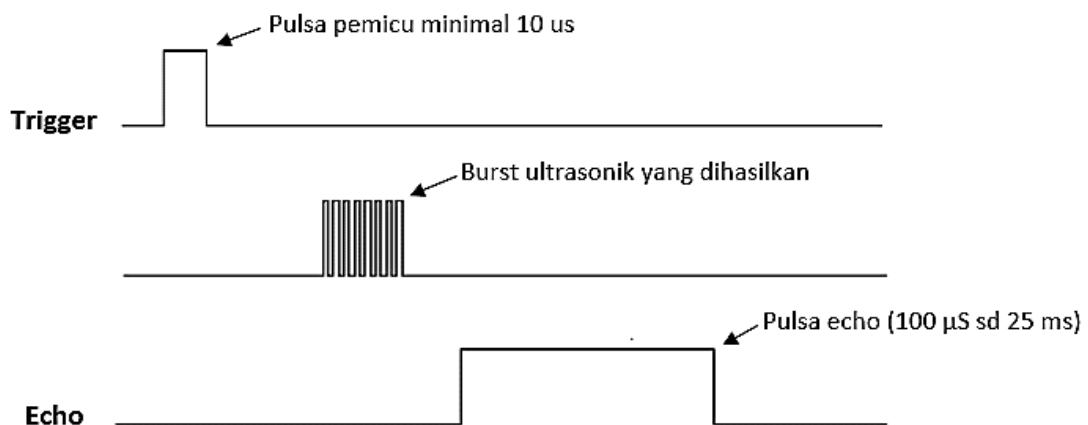
Pin yang berfungsi untuk masukan picuan berupa pulsa untuk menghasilkan gelombang ultrasonik.

- d. *Echo*

Pin untuk membaca sinyal keluaran sebagai indicator pantulan ultrasonik dimana lebar pulsa pada *echo* menunjukkan nilai *time-of-flight* dari sensor tersebut.

Gambar 10.4 merupakan diagram pewaktuan dari sensor jarak ultrasonik. Pada sistem sensor diperlukan picuan minimal  $10 \mu\text{s}$  untuk menghasilkan *burst* ultrasonik kemudian dipancarkan melalui *transmitter*. Selanjutnya *burst* diterima oleh *receiver* dan diolah

menggunakan pengondisian sinyal dengan keluaran berupa lebar pulsa yang sebanding dengan jarak yang diukur. Lebar pulsa tersebut merupakan nilai dari *time-of-flight* ( $t_{of}$ ) dengan kisaran  $100 \mu\text{s} - 25 \text{ ms}$ . Obyek di depan sensor yang memiliki nilai  $t_{of}$  kurang dari  $100 \mu\text{s}$  tidak terbaca oleh sensor tersebut. Begitu pula untuk jarak obyek yang jauh yang menghasilkan nilai  $t_{of}$  lebih dari  $25 \text{ ms}$ . Untuk menghindari *looping* program yang tidak berakhir pada pembacaan  $t_{of}$  dari *echo* maka sistem sensor ini memberikan pulsa setelah  $30 \text{ ms}$ . Hal ini sangat berguna sebagai penandaan bahwa tidak ada obyek di depan sensor atau gagal melakukan pembacaan jarak sehingga pembacaan segera dilanjut lagi.

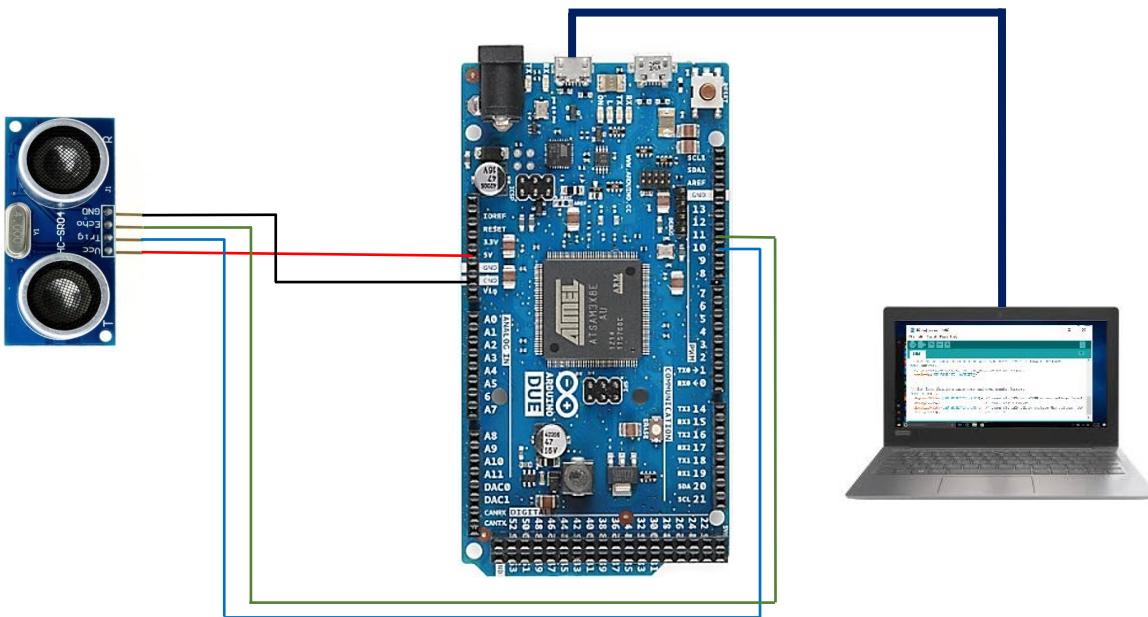


Gambar 10.4. Diagram pewaktuan sistem sensor jarak ultrasonik

### 10.3 Sistem Akusisi Data Sensor Jarak Ultrasonik

Pada penjelasan sebelumnya disebutkan bahwa modul sensor jarak ultrasonik yang digunakan ini memiliki 4 pin, dua pin untuk catu daya dan dua pin lainnya untuk *trigger* dan *echo*. Untuk menghitung nilai *time-of-flight* ( $t_{of}$ ) diperlukan mikrokontroler yang dapat mencanangkan sesaat setelah *burst* gelombang ultrasonik dibangkitkan hingga diterima oleh *echo*. Lebar pulsa *echo* telah dikondisikan sama dengan nilai *time-of-flight* dari sensor jarak ultrasonik. Rangkaian hubungan sensor jarak ultrasonik dengan mikrokontroler Arduino *board system* ditunjukkan pada Gambar 10.5. Pada sistem akusisi data ini, *trigger* dikoneksikan ke

pin 10 dan *echo* ke pin 11. Contoh program akusisi data sensor ultrasonik ditunjukkan pada contoh **PROGRAM 013**. Pada script program tersebut diarumsikan kecepatan bunyi ultrasonik di udara adalah 340 m/s. Menurut persamaan 10.6 kecepatan bunyi di udara tergantung jenis medium dan suhu medium yang dilalui. Oleh karena itu, akurasi dari sistem pengukuran ini akan dipengaruhi oleh suhu medium ukur yang dilaluinya. Keakuratan sistem pengukuran jarak ultrasonik dapat ditingkatkan dengan menambahkan kompensator sensor suhu.



**Gambar 10.5. Rangkaian hubungan sensor jarak ultrasonik dengan mikrokontroler Arduino *board* system**

### PROGRAM 013

// Program-013 akusis data Sensor US	<b>// Judul Program</b>
const int trigPin = 11;	<b>// Preprocessing</b>
const int echoPin = 10;	// pin 11 untuk trigger dan pin 10 untuk echo
long tof;	// variable tof tipe long integer 16 bit.
float jarak, hasil_tof;	
void setup()	<b>// Setup</b>
{	
pinMode(trigPin, OUTPUT);	// pin 10 sebagai output trigger
pinMode(echoPin, INPUT );	// pin 11 sebagai input echo
Serial.begin(9600);	// set komunikasi serial
}	

<pre> void loop() { digitalWrite(trigPin, LOW); delayMicroseconds(2); digitalWrite(trigPin, HIGH); delayMicroseconds(10); digitalWrite(trigPin, LOW);  t0f = pulseIn(echoPin, HIGH);  Serial.print("Hasil_t0f : "); Serial.print(t0f); Serial.println(' ');  jarak = 3400*t0f; Serial.print("Hasil_jarak : "); Serial.print(jarak); Serial.println(' ');  delay(1000); } </pre>	<p><b>// Loop program utama</b>  <b>// persiapan membangkitkan pulsa trigger dengan low</b>  <b>// delay 2 ms</b>  <b>// trigger dimulai (high)</b>  <b>// lebar trigger 10 ms</b>  <b>// trigger selesai (low)</b></p> <p><b>// baca lebar pulsa = t0f</b></p> <p><b>// mengirim nilai t0f ke computer</b></p> <p><b>// menghitung jarak dari t0f</b></p> <p><b>// mengirim jarak</b></p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

==ooOooo==

## DAFTAR PUSTAKA

1. John S. Wilson, Sensor Technology Handbook, Elsevier, Oxford, 2005.
2. Jacob Fraden, Handbook of Modern Sensors: Physics Designs, and Applications, Springer-Verlag, New York, NY, 1996.
3. Walt Jung, Op Amp Applications Handbook, Newnes – Elsevier, Oxford, 2015.
4. John G. Webster and Halit Eren, The Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook: 2nd Edition, CRC Press, New York, 2014.
5. Alan S. Morris, Measurement and Instrumentation Principles, Butterworth-Heinemann, Oxford, 2001.
6. Gerard Meijer, Kofi Makinwa, and Michiel Pertijs, Smart Sensor System: Emerging Technologies and Applications, John Wiley & Sons, West Sussex, 2014.
7. Douglas C. Giancoli, Physics : Principles with Applications, Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1998.
8. Paul A. Tippler, and Gene Mosca, Physics for Scientists and Engineers (Fifth Edition), New York, 1998.
9. Ivan Stojmenovic, Handbook of Sensor Networks: Algorithms and Architectures2005, Handbook of modern sensor, Wiley-Interscience, New Jersey, 2005.
10. Brian M. Lempriere, Ultrasound and Elastic Waves :1st Edition, Academic Press, Washigton, 2002.
11. Suryono Suryono, and Mitra Djamal, Design of Ultrasonic Pulse-wave Generator Base in Microcontroller AT89C2051, Proceeding of Annual Physics Symposium, ITB Bandung.
12. Marcel J.M. Pelgrom, Analog to Digital Conversion, Springer, New York, 2012.
13. Simon Monk, Programming Arduino: Getting Started with Sketches, McGraw-Hill, United States of America, 2015.
14. Suryono Suryono dan Ainie Khuriati, Wireless sensor system for photovoltaic panel efficiency monitoring using wi-fi network, IEEE Conference - 2017 Second International Conference on Informatics and Computing (ICIC), pp. 1-5, 2017.
15. Suryono Suryono, Ragil Saputra, Bayu Surarso, dan Hanifudin Sukri, Web-based fuzzy time series for environmental temperature and relative humidity prediction, 2017 IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite (Comnetsat), pp. 36-41, 2017.

# **Indeks**

## **A**

Addressing 36, 54  
Aktuator 1, 2, 94  
Arsitektur 21, 22, 25, 33, 40

## **B**

Bandwidth 3, 6, 18

## **D**

Delta 40, 43, 44  
Digital 17, 20, 21  
Download 29, 30, 59, 90, 102

## **E**

Elektroda 2, 77, 78  
Elemen 2, 3, 6, , 10, 97

## **F**

Fasa 12, 21  
Filter 4, 9, 43, 44, 88

## **G**

Gelombang 84, 95

**I**

Impedansi 7, 18, 79

Induktif 15, 22

Intensitas 22, 81

Interface 23, 28

**J**

Jarak 43, 62, 93

**K**

Kalibrasi 18, 43, 49, 53, 57, 87

Kapasitif 1, 12, 61

Kompensator 6, 99

Korelasi 10, 21, 65, 72, 83

Konfigurasi 7, 9, 10, 11, 16, 18, 47, 54, 56, 57, 84, 89

**L**

Linier 5, 46, 49, 73

Load 18

**N**

Noise 5

**P**

Penguat 3, 8, 15, 12, 17, 79

Protocol 24, 67, 89  
Program 1, 18, 20, 23, 25, 28, 31, 36, 38, 44, 46, 50, 51, 59  
Pulsa 12, 22, 41, 65, 72

## R

Resolusi 3, 5, 35, 39

## S

Semikonduktor 47, 48, 72

## T

Temporal 5  
Transfer 3, 5, 16, 53  
Transmitter 10, 56, 57, 90

## Z

Zero 53