

# **SKRIPSI**

## **KENDALI PRODUKSI HIDROGEN PADA GENERATOR HHO MENGGUNAKAN METODE PID UNTUK BAHAN BAKAR ALTERNATIF KAPAL**

**Disusun dan diajukan oleh**

**JERYLS CHRISTOVEN  
D331 14 501**



**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR**

**2021**

# **SKRIPSI**

## **KENDALI PRODUKSI HIDROGEN PADA GENERATOR HHO MENGGUNAKAN METODE PID UNTUK BAHAN BAKAR ALTERNATIF KAPAL**

**Disusun dan diajukan oleh**

**JERYLS CHRISTOVEN  
D331 14 501**



**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR**

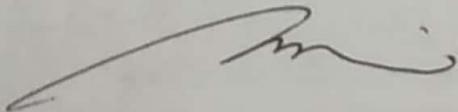
**2021**

**LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)****Kendali Produksi Hidrogen Pada Generator HHO Menggunakan Metode  
PID Untuk Bahan Bakar Alternatif Kapal****Disusun dan diajukan oleh****Jeryls Christoven****D331 14 501**

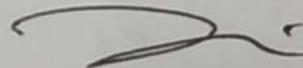
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi  
Program Sarjana Program Studi Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
pada tanggal 04-03-2021  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan  
Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping

Rahimuddin, S.T, M.T., Ph.D.

Nip. 197108251999031002

Andi Husni Sitepu, S.T, M.T

Nip. 19770271001121001

Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan

Dr. Eng. Faisal Mahmuddin, S.T, M.Inf.Tech., M. Eng.

Nip. 198102112005011003

**PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Jeryls Christoven  
NIM : D331 14 501  
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Kendali Produksi Hidrogen Pada Generator HHO Menggunakan Metode Pid Untuk Bahan Bakar Aternatif Kapal

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan saya tersebut.

Makassar, 04 Maret 2021

Yang menyatakan



(Jeryls Christoven)

# **KENDALI PRODUKSI HIDROGEN PADA GENERATOR HHO MENGUNAKAN METODE PID UNTUK BAHAN BAKAR ALTERNATIF KAPAL**

Jeryls Christoven <sup>1)</sup>

Rahimuddin <sup>2)</sup>

Andi Husni Sitepu <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan FT-UH

<sup>2)</sup> Dosen Teknik Sistem Perkapalan FT-UH

*Email:* [Jerylschristoven12@gmail.com](mailto:Jerylschristoven12@gmail.com)

## **ABSTRAK**

Hidrogen bisa menjadi salah satu opsi energi alternatif ,disamping keberadaannya yang berlimpah dan sangat mudah di dapatkan dari proses elektrolisis air. Dari proses elektrolisis air dapat menghasilkan gas HHO yang dapat dimanfaatkan bersamaan dengan bahan bakar fosil, disamping menghemat bahan bakar fosil emisi karbon dari gas buangnya ikut berkurang,pada penelitian ini gas hydrogen dihasilkan dari generatror hidrongen bertipe dry cell dengan kombinasi 10 elektroda dengan ketebalan gasket 5 mm. Volume larutan air sebesar 1500 ml yang bercampur dengan katalis Kalium Hidroksida (KOH) sebesar 3 % dengan rentang arus 20 A – 30 A yang di kontrol melalui pwm motor driver dan di monitoring menggunakan softwre Labview yang dihubungkan dengan arduino menggunakan router lewat serial komunikasi modbus tcp/ip..produksi gas HHO yang masuk ke mesin akan berbanding lurus dengan putaran mesin hal ini dapat terjadi dikarenakan adanya penggunaan metode PID pada softwre Labview ,yang mengatur laju produksi gas HHO dan membuat semakin besarnya rasio gas HHO sehingga mengurangi konsumsi solar pada mesin.

**Kata kunci:** Generator HHO, Energi Alternatif, Gas HHO, Kontrol PID

# **CONTROL OF HYDROGEN PRODUCTION IN HHO GENERATOR USING PID METHOD FOR ALTERNATIVE FUEL SHIP**

Jeryls Christoven <sup>1)</sup>

Rahimuddin <sup>2)</sup>

Andi Husni Sitepu <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan FT-UH

<sup>2)</sup> Dosen Teknik Sistem Perkapalan FT-UH

*Email:* [Jerylschristoven12@gmail.com](mailto:Jerylschristoven12@gmail.com)

## **ABSTRACT**

Hydrogen can be an alternative and flexible energy option, since its abundant and very easy to obtain from the electrolysis of water. From the electrolysis of water, it can produce HHO gas which can be used together with fossil fuels, besides saving fossil fuels, carbon emissions from exhaust gases are also reduced. In this research, hydrogen gas was produced from a dry cell type hydrogen generator with a combination of 10 electrodes with a 5mm gasket. The volume of a 1500 ml water solution mixed with a 3% Potassium Hydroxide (KOH) catalyst with a current range of 20 A - 30 A which is controlled through a PWM motor driver and monitored using Labview software which is connected to Arduino through a router, serial communication Modbus TCP/IP. While the HHO gas intake produces, the engine will be directly proportional to the engine speed, this can occur due to the use of the PID method on the Labview software, which regulates the rate of HHO gas production and makes the HHO gas ratio increase, thereby reducing diesel consumption in the engine.

**Kata kunci:** HHO Generators, Alternatif Energy, HHO Gas, Control PID

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas Berkah dan Rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul **“KENDALI PRODUKSI HIDROGEN PADA GENERATOR HHO MENGGUNAKAN METODE PID UNTUK BAHAN BAKAR ALTERNATIF KAPAL”**.

Dalam penyelesaian Skripsi ini, tak lupa penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu baik secara langsung ataupun tidak langsung. Rasa terima kasih tersebut penulis sampaikan kepada :

1. Kepada kedua orang tua penulis, **Istiben Kendek (alm)** dan **Adriana Matan** atas jasa – jasanya, kesabaran, do’a, dan tidak pernah lelah dalam mendidik dan memberi cinta yang tulus dan ikhlas kepada penulis semenjak kecil hingga penulis dewasa.
2. Bapak **Dr. Eng Faisal Mahmudin S.T., M.Eng.** selaku Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak **Rahimuddin, S.T, M.T., Ph. D** selaku ketua Laboratorium Listrik dan kendali kapal Teknik Sistem Perkapalan Unhas sekaligus Pembimbing Utama yang bijaksana memberikan bimbingan, nasihat, serta waktunya selama penelitian dan penyusunan skripsi ini.
4. Bapak **Andi Husni Sitepu, S.T, M.T** selaku Pembimbing Pendamping dan juga penasihat akademik yang memberikan bimbingan, serta waktunya selama penelitian dan penyusunan skripsi ini.

5. **Prof. Dr. Eng. Ir. Andi Erwin Eka Putra, S.T., M.T dan Andi Haris Muhammad, S.T., M.T., Ph. D** selaku dosen penguji.
6. Bapak dan Ibu dosen Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala pengajaran dan bimbingannya selama ini.
7. Seluruh pegawai tata usaha yang telah membantu dalam pengurusan berkas-berkas atau surat-surat selama penulis menempuh kuliah.
8. **Teman-teman ZTRINGER dan ANSYS 14** tercinta yang telah banyak memberikan dorongan, semangat dan bantuan baik secara moril demi lancarnya penyusunan skripsi ini.
9. **Teman-teman Labo Listrik Kendali Kapal** khususnya **Miftahul Arzaq (SP'14), Zukhra Subagio (SP'14), Muh. Nursyahrul Qadri (SP'15), A.M Samad (SP'15), Alfajrin Syawal (SP'15), Agung Setiawan (SP'15), dan Moh. Dede Arfandy (SP'16)** yang selama ini membantu penulis dalam berdiskusi, menyusun skripsi dan memberikan masukan.
10. Teman – teman seperjuangan selama penelitian (kak Muslimin & kak Ardy ) yang selalu menjadi tempat diskusi dan belajar.
11. Semua pihak yang tidak sempat saya sebutkan namun memiliki peranan yang tidak kalah penting dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam skripsi ini masih terdapat kekurangan di dalamnya. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun sehingga dapat dijadikan referensi bagi penulis agar lebih baik dalam pembuatan karya tulis di masa yang akan datang.

Makassar, Juni 2021



Jeryls Christoven

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)</b> .....	<b>ii</b>
<b>KEASLIAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xiv</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penelitian .....	3
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>4</b>
2.1 HHO / Brown Gas .....	4
2.2 Elektrolisis.....	4
2.3 Hidrogen.....	8
2.3.1 Senyawa.....	9
2.3.2 Kegunaan Hidrogen.....	10
2.4 LabVIEW .....	11
2.5 Modbus.....	12
2.5.1 Modbus TCP/IP.....	13
2.5.2 ASCII.....	13
2.5.3 RTU .....	13
2.6 Sistem Kendali .....	14
2.6.1 Sistem Kendali Loop Terbuka.....	15
2.6.2 Sistem Loop Tertutup .....	15
2.7 Mikrokontroller .....	16

---

2.7.1	Mikrokontroler AVR .....	17
2.7.2	Mikrokontroler MCS-51 .....	18
2.7.3	Mikrokontroler PCI .....	19
2.7.4	Mikrokontroler ARM .....	19
2.8	Generator HHO (Hidrogen Hidrogen Oksida) .....	20
2.8.1	Generator HHO Tipe Basah (Wet Cell) .....	20
2.8.2	Generator HHO Tipe Kering (Dry Cell).....	21
2.9	Sensor .....	21
2.9.1	Sensor Flow Water .....	21
2.9.2	Sensor Hall effect .....	22
2.9.3	Sensor Proximity .....	22
2.10	PWM .....	22
2.10.1	PWM Sinyal .....	23
2.11	Kontrol PID .....	24
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>27</b>
3.1	Lokasi dan Waktu Penelitian.....	27
3.2	Desain Generator HHO dan Kontrol Produksi HHO Pada Mesin .....	27
3.2.1	Desain Generator HHO .....	27
3.2.2	Desain Kontrol Produksi HHO .....	29
3.3	Alat dan Bahan Penelitian .....	29
3.3.1	Alat Penelitian .....	29
3.3.2	Bahan Penelitian .....	33
3.4	Prosedur Penelitian.....	33
3.5	Pelaksanaan Penelitian .....	34
3.5.1	Kalibrasi Sensor .....	34
3.6	Kerangka Penelitian .....	37
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>38</b>
4.1	Desain Sistem Kontrol PID .....	38
4.1.1	Penentuan Setpoint Laju Produksi HHO terhadap Putaran Mesin .....	39
4.1.2	Setup Koefisien Kendali PID .....	41
4.2	Kontrol Laju Produksi HHO .....	43

---

4.3	Pengaruh hidrogen terhadap bahan bakar .....	45
4.3.1	Konsumsi Solar,Gas HHO dan Udara Setiap 10 detik .....	45
4.3.2	Total Konsumsi Solar dan Gas HHO Pada Setiap Variasi RPM mesin .....	51
4.3.3	Persentase Penggunaan Solar dan HHO .....	55
	.....	<b>56</b>
	<b>BAB 5. PENUTUP.....</b>	<b>58</b>
5.1	Kesimpulan.....	58
5.2	Saran.....	58
	<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>60</b>
	<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>61</b>

---

## DAFTAR GAMBAR

No.	Halaman
Gambar 2. 1 Elektrolisis Air .....	5
Gambar 2. 2 Sifat Hidrogen .....	10
Gambar 2. 3 <i>Front Panel</i> .....	11
Gambar 2. 4 Front Panel .....	11
Gambar 2. 5 Sistem Kendali Sederhana.....	14
Gambar 2. 6 Sistem Kendali Loop Terbuka.....	15
Gambar 2. 7 Sistem Kendali Loop Tertutup .....	16
Gambar 2. 8 Sinyal PWM dan Rumus Perhitungannya.....	23
Gambar 2. 9 Pengontrolan Tegangan Pulsa PWM.....	24
Gambar 2. 10 <i>Programmable Logic Controller (PLC)</i> .....	25
Gambar 3. 1 Laboratorium Permesinan Kapal.....	27
Gambar 3. 2 Tampilan autoCAD 3D Desain Generator HHO.....	28
Gambar 3. 3 Desain Generator HHO Tipe <i>Dry Cell</i> .....	28
Gambar 3. 4 Desain Plat Generator HHO.....	28
Gambar 3. 5 Proses Komunikasi Data .....	29
Gambar 4. 1 Blok Setting Front Panel LabviewYa.....	37
Gambar 4. 2 Block Diagram Labview .....	38
Gambar 4. 3 Block front Panel Labview.....	39
Gambar 4. 4 Produksi Hidrogen .....	40
Gambar 4. 5 Tabel Hubungan Rpm dan Laju Produksi HHO .....	41
Gambar 4. 6 Blok Setting Front Panel Labview .....	42
Gambar 4. 7 Rpm Mesin Terhadap Waktu .....	44
Gambar 4. 8 Laju Produksi Gas HHO Terhadap Waktu.....	44
Gambar 4. 9 Konsumsi Solar Setiap 10 detik .....	46
Gambar 4. 10 Hasil Ekstrapolasi Konsumsi Rata-Rata Solar Dalam 120 Detik ..	48
Gambar 4. 11 Konsumsi Gas HHO Diukur Pada Setiap 10 detik.....	49
Gambar 4. 12 Konsumsi Udara Diukur Pada Setiap 10 detik.....	50
Gambar 4. 13 Total Konsumsi Solar.....	52
Gambar 4. 14 Total Konsumsi Gas HHO .....	54

---

Gambar 4. 15 Total Konsumsi Udara .....	55
Gambar 4. 16 Persentase Penggunaan Solar dan Gas HHO .....	56

## DAFTAR TABEL

No.	Halaman
Tabel 2. 1 Seri Mikrokontroller AVR.....	18
Tabel 2. 2 Perbandingan Antar Mikrokontroler MCS51Atmel .....	18
Tabel 3.1 Komponen Penelitian.....	30
Tabel 3. 2 Kalibrasi Sensor HHO .....	34
Tabel 3. 3 Kalibrasi Sensor udara .....	35
Tabel 3. 4 Kalibrasi Sensor Solar.....	35
Tabel 4. 1 Hubungan Produksi gas HHO pada variasi RPM dan Ampere .....	40
Tabel 4. 2 Hubungan Rpm mesin dengan produksi HHO .....	43
Tabel 4. 3 Konsumsi Rata-Rata Solar dalam 120 Detik .....	46
Tabel 4. 4 Hasil Variasi Konsumsi Rata-Rata Solar Setiap 10 Detik .....	47
Tabel 4. 5 Konsumsi Rata-Rata Gas HHO Dalam 120 Detik.....	48
Tabel 4. 6 Konsumsi Rata-Rata Udara Dalam 120 Detik .....	50
Tabel 4. 7 Total Konsumsi Solar .....	51
Tabel 4. 8 Total Konsumsi Gas HHO .....	53
Tabel 4. 9 Total Konsumsi Udara .....	54
Tabel 4. 10.a Rasio Konsumsi Solar,Hidrogen ,dan Oksigen Setiap 10 Detik.....	55
Tabel 4. 10.b Persentase Konsumsi Solar,Hidrogen ,dan Oksigen Setiap 10 Detik .....	556
Tabel 4. 11 Rasio Oksigen dan Solar.....	57

---

**DAFTAR LAMPIRAN**

No.	Halaman
Lampiran 1: Kalibrasi sensor flow meter dan hall sensor menggunakan Arduino .....	62
Lampiran 2 :Code Arduino .....	67
Lampiran 3 : Mengetes Respon PID Pada LabView .....	76
Lampiran 4 : Data Hasil Pengujian .....	78
Lampiran 5 : Perakitan Generator HHO .....	84
Lampiran 6 : Pengukuran Jumlah KOH Yang Digunakan.....	84
Lampiran 7 : Tegangan dan Ampere.....	85
Lampiran 8 : Kondisi plat setelah penggunaan dalam rentang waktu 6 bulan.....	86

---

## **BAB 1. PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pemanfaatan energi yang baru dan terbarukan menjadi sebuah terobosan dalam salah satu bagian dari perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Pemanfaatan energi baru dan terbarukan sudah mulai banyak digunakan mulai dari sesuatu yang sebelumnya dianggap tidak bermanfaat seperti sampah dari berbagai jenis bahan ataupun barang dan kotoran yang bisa dijadikan sumber energi.

Salah satu energi yang dapat dijadikan energi alternatif dan terbarukan ialah air, pemanfaatan air menjadi sebuah energi yang bermanfaat berupa listrik sudah umum dilakukan yaitu dengan adanya pembangkit listrik tenaga air, akan tetapi pemanfaatannya semakin berkembang dengan dimanfaatkannya air sebagai unsur pendukung bahan bakar kendaraan, dengan cara mengkonversi air menjadi gas Hidrogen.

Gas hidrogen adalah salah satu bahan bakar alternatif yang saat ini sedang banyak diteliti. Generator HHO adalah alat dengan prinsip kerja elektrolisis air dan digunakan untuk memproduksi gas hidrogen. Alat ini mengubah air ( $H_2O$ ) yang dicampur katalis menjadi gas HHO/Gas Brown. Gas HHO ini adalah gas yang ditambahkan pada pembakaran didalam mesin untuk memaksimalkan pembakaran sehingga menghemat bahan bakar minyak yang dikonsumsi, ada beberapa metode cara memproduksi gas hidrogen, salah satunya yaitu dengan metode elektrolisis air. Metode ini mengubah air ( $H_2O$ ) menjadi gas HHO (oxyhidrogen) atau biasa disebut dengan gas brown. Dalam proses elektrolisis air terdapat berbagai macam katalis yang sering digunakan, salah satunya adalah NaOH. Katalis adalah zat yang ditambahkan ke dalam suatu reaksi yang mempunyai tujuan memperbesar kecepatan reaksi. [1]

Dalam penelitian ini akan dipelajari dan dikembangkan terkait bahan bakar alternatif dari proses elektrolisis air dengan menggunakan generator HHO. Penggunaan gas hasil elektrolisa atau biasa disebut HHO. Pada umumnya, untuk kendaraan bermotor listrik elektrolisa diperoleh dari arus untuk pengisian aki dari alternator. Tegangan dan arus yang mengalir pada elektroda tersebut meningkat

seiring dengan meningkatnya rpm mesin, sesuai dengan asumsi bahwa kebutuhan gas hidrogen untuk pembakaran meningkat dengan meningkatnya rpm mesin.[2]

Hal ini mengakibatkan sulit menempatkan variasi listrik sesuai kebutuhan produksi hidrogen hasil proses elektrolisis berdasarkan rpm mesin. dengan adanya keterbatasan tersebut, dibutuhkan sebuah kontrol berbasis pwm (pulse width modulation), dengan adanya pwm di harapkan dapat membuat sistem produksi gas hydrogen dapat terkontrol secara elektronik sehingga output yang dihasilkan lebih optimal.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dipaparkan di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

- a. Bagaimana merancang kontrol PID pada generator HHO
- b. Bagaimana mengendalikan intensitas keluaran gas hydrogen berdasarkan kebutuhan mesin ?
- c. Bagaimana pengaruh laju produksi hidrogen terhadap penggunaan bahan bakar?

## **1.3 Batasan Masalah**

Agar pembahasan dalam skripsi ini tidak meluas, maka perlu diberi batasan dalam permasalahan antara lain sebagai berikut:

- a. Desain kontrol PID menggunakan software LabView
- b. Penelitian ini menggunakan mesin diesel ford escort 1.8
- c. Menggunakan bahan bakar solar
- d. Menggunakan arus input range 20 A- 30 A
- e. Komunikasi data menggunakan kabel ethernet dan jaringan wi-fi
- f. Sistem kendali yang digunakan adalah close loop
- g. Kondisi gas yang keluar dari generator sudah tercampur

## **1.4 Tujuan Penelitian**

Adapun beberapa tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

- a. Mendesain kontrol PID pada generator HHO
- b. Mengendalikan laju aliran fluida gas HHO berdasarkan putaran mesin

- c. Menganalisa pengaruh perubahan laju produksi hydrogen terhadap konsumsi bahan bakar

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun beberapa manfaat dari penelitian ini yaitu:

- a. Generator HHO dapat menghasilkan hidrogen berdasarkan kebutuhan mesin
- b. Gas HHO yang dihasilkan dapat digunakan sebagai penghemat bahan bakar
- c. Dapat menjadi sebagai referensi dalam penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan masalah ini

### **1.6 Sistematika Penelitian**

Sistematika penulisan tugas akhir ini terbagi dalam lima bab yaitu :

#### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini berisi tentang penguraian secara singkat latar belakang, rumusan masalah yang spesifik pada jenis Generator HHO tertentu, tujuan penelitian, batasan penelitian yang mencakup penggunaan katalis yang digunakan, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

#### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini akan dijelaskan tentang teori penunjang yang digunakan dalam pembuatan tugas akhir ini. Teori tersebut antara lain mengenai potensi gas HHO dan kontrol pid pada generator HHO.

#### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini meliputi lokasi dan waktu penelitian, desain kontrol, alat dan bahan dan prosedur penelitian ,pelaksaan serta kerangka penelitian.

#### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pembahasan mengenai implementasi sistem dan analisa hasil yang diperoleh

#### **BAB V PENUTUP**

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran-saran.

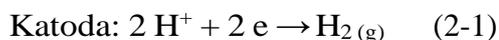
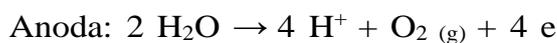
## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 HHO / Brown Gas

Brown's Gas merupakan gas hasil dari proses pemecahan air murni  $H_2O$  dengan proses elektrolisis. Gas yang dihasilkan dari proses elektrolisis air tersebut adalah gas Hidrogen dan Oksigen, dengan komposisi 2 Hidrogen dan 1 Oksigen (HHO), Kedua gas tersebut kemudian dimasukkan ke dalam ruang bakar dari motor bakar. Pencampuran kedua gas dengan bahan bakar di ruang bakar akan memperbaiki proses pembakaran menjadi pembakaran sempurna sehingga bahan bakar tidak ada sisa hal ini lebih baik karena ada tambahan oksigen murni dan ledakan tambahan dari hidrogen menambah energi atau tenaga pada motor bakar. [3]

### 2.2 Elektrolisis

Alat elektrolisis terdiri atas sel elektrolisis yang berisi *elektrolit* (larutan atau leburan). Pada elektrolisis biasa kita selalu menggunakan *elektroda* yang sama dimasukkan dalam larutan yang bersangkutan. Pada elektrolisis yang menghasilkan  $H_2$  dan  $O_2$  ternyata timbulnya kedua gas ini baru mulai setelah  $E$  lebih besar dari 1,7 Volt. Ada 2 prinsip yang khas dari elektrolisis yaitu kaitan antara beda potensial yang digunakan dan arus yang mengalir melalui sel elektrolisis. Serta discas yang selektif diantara ion-ion pada permukaan elektroda. Pada potensial-urai tiba-tiba bertambah, pada saat elektrolisis mulai berlangsung pada elektron. Menghasilkan hidrogen dan oksigen. [4]

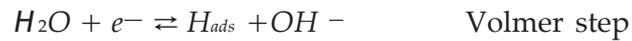


Agar terjadi elektrolisis diperlukan potensial minimum karena:

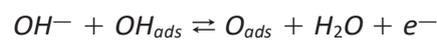
Adanya beda potensial antara elektroda menyebabkan ion-ion dalam sistem bergerak ke elektroda. Hidrogen dan oksigen yang mula-mula terbentuk menutupi permukaan elektroda dan reaksi sebaliknya yang terjadi dimana elektroda negatif (katoda) dan gas oksigen dihasilkan pada elektroda positif (anoda). Perhatikan reaksi setengah sel,



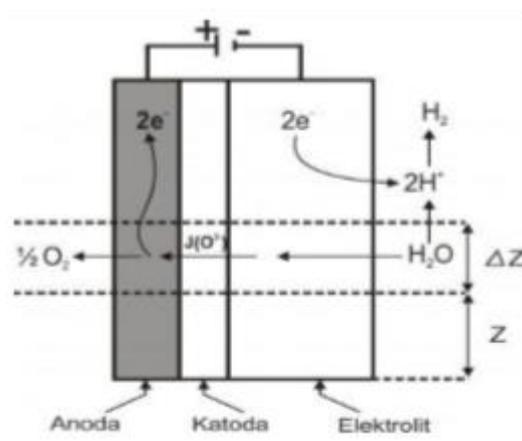
untuk reaksi evolusi hydrogen, mekanisme Volmer-Tafel dan Volmer-Heyrovský sering diusulkan. Langkah pertama melibatkan pembentukan hidrogen yang teradsorpsi, yang kemudian diikuti oleh desorpsi kimia atau desorpsi elektrokimia dan  $H_{ads}$  adalah atom hidrogen yang teradsorpsi.



Mekanisme reaksi evolusi oksigen lebih kompleks dari yang disarankan untuk Reaksi Evolusi Hidrogen. Mekanisme yang paling umum diterima untuk reaksi evolusi oksigen adalah yang dijelaskan oleh



Pergerakan elektron pada proses elektrolisis dapat dilihat pada gambar ini:



Gambar 2. 1 Elektrolisis Air

(Sumber; <http://id.wikipedia.org/wiki/Berkas:Electrolysis.svg,2014>)

Nilai potensial reduksi sel adalah sebesar -1,22V. Hal ini berarti reaksi elektrolisis dengan elektrolit KOH tidak terjadi secara spontan. Proses elektrolisis ini membutuhkan sumber energi tambahan dari luar (tak dapat berjalan dengan sendirinya).

Satuan yang sering ditemukan dalam aspek kuantitatif sel elektrolisis adalah Faraday (F). Faraday didefinisikan sebagai muatan (dalam Coulomb) mol elektron. Satu Faraday ekuivalen dengan satu mol elektron. Demikian halnya, setengah Faraday ekuivalen dengan setengah mol elektron. Sebagaimana yang telah kita ketahui, setiap satu mol partikel mengandung  $6,02 \times 10^{23}$  partikel. Sementara setiap elektron mengemban muatan sebesar  $1,6 \times 10^{-19}$  C. Dengan demikian :

1 Faraday = 1 mol elektron =  $6,02 \times 10^{23}$  partikel elektron  $\times 1,6 \times 10^{-19}$  C/partikel elektron

1 Faraday = 96320 C (sering dibulatkan menjadi 96500 C untuk mempermudah perhitungan)

Hubungan antara Faraday dan Coulomb dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

$$\text{Faraday} = \text{Coulomb} / 96500 \quad (2-3)$$

$$\text{Coulomb} = \text{Faraday} \times 96500 \quad (2.4)$$

Coulomb adalah satuan muatan listrik. Coulomb dapat diperoleh melalui perkalian arus listrik (Ampere) dengan waktu (detik). Persamaan yang menunjukkan hubungan Coulomb, Ampere, dan detik adalah sebagai berikut :

$$\text{Coulomb} = \text{Ampere} \times \text{Detik}$$

$$Q = I \times t \quad (2-5)$$

Dengan demikian, hubungan antara Faraday, Ampere, dan detik adalah sebagai berikut :

$$\text{Faraday} = (\text{Ampere} \times \text{Detik}) / 96500$$

$$\text{Faraday} = (I \times t) / 96500 \quad (2-6)$$

Dengan mengetahui besarnya Faraday pada reaksi elektrolisis, maka molekul elektron yang dibutuhkan pada reaksi elektrolisis dapat ditentukan. Selanjutnya, dengan memanfaatkan koefisien reaksi pada masing-masing setengah reaksi di katoda dan anoda, kuantitas produk elektrolisis dapat ditemukan. Berikut ini adalah hukum Faraday tentang terjadinya proses elektrolisis air.

*"Massa zat yang terbentuk pada masing-masing elektroda sebanding dengan kuat arus/arus listrik yang mengalir pada elektrolisis tersebut".[2]*

Rumus:

$$m = e \cdot I \cdot t / F \quad (2-7)$$

Keterangan:

$$F = 96.500$$

$$q = i \cdot t$$

m = massa zat yang dihasilkan (gram)

e = berat ekuivalen =  $A_r / \text{Valensi} = M_r / \text{Valensi}$

i = kuat arus listrik (amper)

t = waktu (detik)

q = muatan listrik (coulomb)

#### a. Penggunaan Katalisator

Misalnya H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan KOH berfungsi mempermudah proses penguraian air menjadi hidrogen dan oksigen karena ion-ion katalisator mampu mempengaruhi kesetabilan molekul air menjadi menjadi ion H dan OH<sup>-</sup> yang lebih mudah di elektrolisis karena terjadi penurunan energy pengaktifan. Zat tersebut tidak mengalami perubahan yang kekal (tidak dikonsumsi dalam proses elektrolisis). Penggunaan asam sulfat sebagai katalis dalam proses elektrolisis menjadi pilihan utama dibandingkan KOH. Karena asam sulfat melepaskan H<sup>+</sup> yang memudahkan membentuk gas hidrogen. Sedangkan KOH melepaskan OH<sup>-</sup> yang menghambat pembentukan gas hidrogen.

Katalis basa KOH lebih efektif dalam menurunkan energi aktivasi sistem reaksi sehingga laju reaksi dapat berjalan lebih cepat dibandingkan penggunaan katalis NaOH yang cenderung membentuk gummy dan emulsi. Penggunaan etanol sebagai pelarut mampu melarutkan minyak dan katalis KOH secara kuat pada saat reaksi transesterifikasi berlangsung, mudah diperoleh dari turunan produk-produk pertanian, bersifat renewable dan secara biologis lebih mudah terurai oleh lingkungan.[5]

#### b. Luas Area Elektroda

Semakin luas area elektroda yang dialiri arus listrik yang menyentuh elektrolit maka semakin mempermudah suatu elektrolit untuk mentransfer elektronnya. Sehingga terjadi hubungan sebanding jika luasan yang tercelup sedikit

maka semakin mempersulit elektrolit untuk melepaskan electron dikarenakan sedikitnya luas penampang penghantar yang menyentuh elektrolit. Sehingga transfer elektron bekerja lambat dalam mengelektrolisis elektrolit.

#### c. Jenis Logam Elektroda

Penggunaan medan listrik pada logam dapat menyebabkan seluruh elektron bebas bergerak dalam metal, sejajar, dan berlawanan arah dengan arah medan listrik. Ukuran dari kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik. Jika suatu beda potensial listrik ditempatkan pada ujung-ujung sebuah konduktor, muatan-muatan bergerak akan berpindah, menghasilkan arus listrik. Konduktivitas listrik didefinisikan sebagai ratio rapat arus terhadap kuat medan listrik. Konduktivitas listrik dapat dilihat pada deret volta seperti, *Li K Ba Sr Ca Na Mg Al Mn Zn Cr Fe Cd Co Ni Sn Pb H Sb Bi Cu Hg Ag Pt Au*. Semakin ke kanan maka semakin besar massa jenisnya. Baja dan besi adalah yang paling umum digunakan untuk elektrolisis air. Elektroda ini digunakan sebagai anoda dan dikorbankan dalam elektrolisis, karena anoda berkarat (teroksidasi) dan katoda mengalami karat (tereduksi). Banyak pekerjaan telah dilakukan di stainless steel, kuningan dan aluminium sebagai anoda, karena tahan korosi yang sudah dikenal sifat-sifat bahan-bahan tersebut. Sayangnya, baja tahan karat melepaskan bahan beracun saat meluruh, endapan kuningan tembaga ke katoda (yang mempercepat karat baja), dan aluminium cepat rusak.[6]

#### d. Konsentrasi Elektrolit

Semakin tinggi konsentrasi suatu larutan elektrolit pereaksi maka akan semakin besar pula laju reaksinya. Ini dikarenakan dengan persentase katalis yang semakin tinggi dapat mereduksi hambatan pada elektrolit. Sehingga transfer elektron dapat lebih cepat meng-elektrolisis elektrolit dan didapat ditarik garis lurus bahwa terjadi hubungan sebanding terhadap prosentase katalis dengan transfer electron.

### 2.3 Hidrogen

Hidrogen telah digunakan bertahun-tahun sebelum akhirnya dinyatakan sebagai unsur yang unik oleh Cavendish di tahun 1776. Dinamakan hidrogen oleh Lavoisier, hidrogen adalah unsur yang terbanyak dari semua unsur di alam

semesta. Elemen-elemen yang berat pada awalnya dibentuk dari atom-atom hidrogen atau dari elemen-elemen yang mulanya terbuat dari atom-atom hidrogen.[2]

Hidrogen diperkirakan membentuk komposisi lebih dari 90% atom-atom di alam semesta (sama dengan tiga perempat masa alam semesta). Unsur ini ditemukan di bintang-bintang dan memainkan peranan yang penting dalam karbon-nitrogen. Proses fusi atom-atom hidrogen menjadi helium di matahari menghasilkan jumlah energy yang sangat besar.

Hidrogen dapat dipersiapkan dengan berbagai cara :

- Uap dari elemen karbon yang dipanaskan
- Dekomposisi beberapa jenis hidrokarbon dengan energi kalor
- Reaksi-reaksi natrium atau kalium hidroksida pada alumunium
- Elektrolisis air
- Pergeseran asam-asam oleh metal-metal tertentu

Hidrogen dalam bentuk cair sangat penting untuk bidang penelitian suhu rendah (cryogenics) dan studi superkonduktivitas karena titik cairnya hanya 20 derajat di atas 0 Kelvin. Tritium (salah satu isotop hidrogen) dapat diproduksi dengan mudah di reaktor-reaktor nuklir dan digunakan dalam produksi bom hidrogen.

Hidrogen adalah komponen utana planet Jupiter dan planet-planet gas lainnya. Karena tekanan yang luar biasa di dalam planet-planet tersebut, bentuk padat hidrogen molekuler dikonversi menjadi hidrogen metalik.

### **2.3.1 Senyawa**

Walau hidrogen adalah benda gas, kita sangat jarang menemukannya di atmosfer bumi. Gas hidrogen yang sangat ringan, jika tidak terkombinasi dengan unsur lain, akan berbenturan dengan unsur lain dan dikeluarkan dari lapisan atmosfer. Di bumi hidrogen banyak ditemukan sebagai senyawa (air) di mana atom-atomnya bertaut dengan atom-atom oksigen. Atom-atom hidrogen juga dapat ditemukan di tetumbuhan, petroleum, arang, dan lain-lain. Sebagai unsur yang independen, konsentrasinya di atmosfer sangat kecil (1 ppm by volume). Sebagai

gas yang paling ringan, hidrogen berkombinasi dengan elemen-elemen lain ? kadang-kadang secara eksplosif ? untuk membentuk berbagai senyawa.

### 2.3.2 Kegunaan Hidrogen

Hidrogen banyak digunakan untuk mengikat nitrogen dengan unsur lain dalam proses Haber (memproduksi amonia) dan untuk proses hidrogenasi lemak dan minyak. Hidrogen juga digunakan dalam jumlah yang banyak dalam produksi methanol, di dealkilasi hidrogen (hydrodealkylation), katalis hydrocracking, dan sulfurisasi hidrogen. Kegunaan-kegunaan lainnya termasuk sebagai bahan bakar roket, memproduksi asam hidroklorida, mereduksi bijih-bijih besi dan sebagai gas pengisi balon.

Daya angkat 1 kaki kubik gas hidrogen sekitar 0.07 lbf pada suhu 0 derajat Celsius dan tekanan udara 760 mm Hg. Baterai yang berbahan bakar hidrogen (Hydrogen Fuel cell) adalah teknologi baru yang sedang dikembangkan, di mana tenaga listrik dalam jumlah besar dapat dihasilkan dari gas hidrogen. Pabrik-pabrik baru dapat dibangun dekat dengan laut untuk melakukan proses elektrolisis air laut guna memproduksi hidrogen. Gas yang bebas polusi ini lantas dapat dialirkan melalui pipa-pipa dan disalurkan ke daerah-daerah pemukiman dan kota-kota besar.

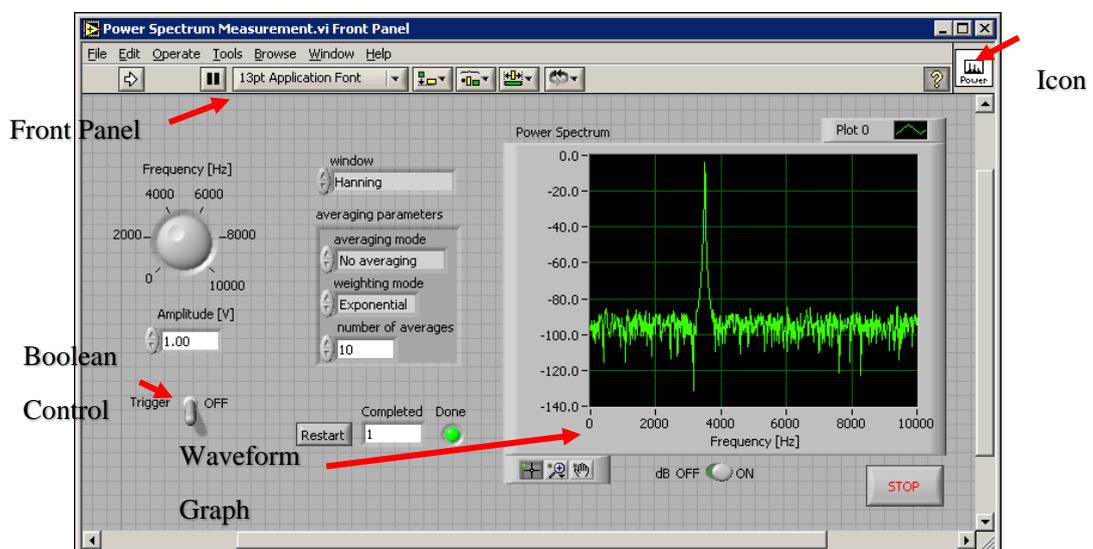
Hidrogen dapat menggantikan gas alam lainnya, bensin, agen dalam proses metalurgi dan berbagai proses kimia (penyulingan), dan mengubah sampah menjadi metan dan etilen. Kendala-kendala yang ada untuk mewujudkan impian tersebut masih banyak. Di antaranya persetujuan publik, penanaman modal yang besar dan harga hidrogen yang masih jauh lebih mahal ketimbang bahan bakar lainnya sekarang.

Properties	Diesel	Unleaded gasoline	Hydrogen
Autoignition temperature (K)	530	533–733	858
Minimum ignition energy (mj)	–	0.24	0.02
Flammability limits (volume % in air)	0.7–5	1.4–7.6	4–75
Stoichiometric air-fuel ratio on mass basis	14.5	14.6	34.3
Limits of flammability (equivalence ratio)	–	0.7–3.8	0.1–7.1
Density at 16 °C and 1.01 bar (kg/m <sup>3</sup> )	833–881	721–785	0.0838
Net heating value (MJ/kg)	42.5	43.9	119.93
Flame velocity (cm/s)	30	37–43	265–325
Quenching gap in NTP air (cm)	–	0.2	0.064
Diffusivity in air (cm <sup>2</sup> /s)	–	0.08	0.63
Research octane number	30	92–98	130
Motor octane number	–	80–90	–

Gambar 2. 2 Sifat Hidrogen

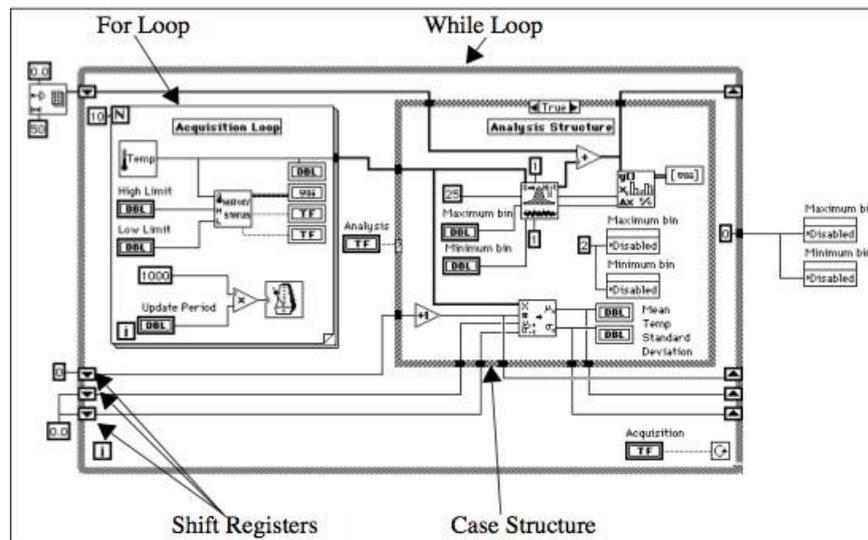
## 2.4 LabVIEW

LabVIEW adalah sebuah software pemrograman yang diproduksi oleh National Instruments. Seperti bahasa pemrograman lainnya yaitu C++, matlab atau visual basic. LabVIEW juga mempunyai fungsi dan peranan yang sama, perbedaannya adalah LabVIEW menggunakan bahasa pemrograman berbasis grafis atau blok diagram sedangkan bahasa pemrograman lainnya menggunakan text. Program LabVIEW dikenal dengan sebutan VI atau virtual instruments karena penampilannya dan operasinya dapat meniru sebuah instrument. Pada LabVIEW, user pertama-tama membuat user interface atau front panel dengan menggunakan kontrol dan indikator, yang dimaksud dengan kontrol adalah knobs, push buttons, dials dan peralatan input lainnya sedangkan yang dimaksud dengan indikator adalah graphs, LEDs dan peralatan display lainnya. Setelah menyusun user interface, lalu user menyusun blok diagram yang berisi kode-kode VIs untuk mengontrol front panel. Software LabVIEW terdiri dari tiga komponen utama, yaitu: *Front Panel*, *Block Diagram*, *Icon/Connector*. [7]



Gambar 2. 4 Front Panel

Blok diagram merupakan bagian dari LabVIEW untuk menjelaskan lebih detail bagaimana hubungan antar elemen dan struktur fungsi. Sehingga dapat dengan mudah dimengerti alur proses program yang dibuat.



Gambar 2. 4 Block Diagram

*Block diagram* berisi kode sumber yang bersifat grafis. Di dalam *block diagram* objek dari *front panel* berbentuk terminal.

## 2.5 Modbus

Modbus adalah protokol komunikasi serial yang dikembangkan oleh Modicon yang diterbitkan oleh Modicon pada tahun 1979 untuk digunakan dengan *Programmer Logic Controller* (PLC). Secara sederhana, ini adalah metode yang digunakan untuk mentransmisikan informasi melalui jalur serial antara perangkat elektronik. Perangkat yang meminta informasi disebut Modbus Master dan perangkat yang memasok informasi adalah Modbus Slaves. Dalam jaringan Modbus standar, terdapat satu Master dan hingga 247 Slave, masing-masing dengan Alamat Slave unik dari 1 hingga 247. Master juga dapat menulis informasi ke Slave.

Modbus adalah protokol terbuka, artinya gratis bagi produsen untuk membangun peralatan mereka tanpa harus membayar royalti. Ini telah menjadi protokol komunikasi standar dalam industri, dan sekarang menjadi alat yang paling umum tersedia untuk menghubungkan perangkat elektronik industri. Ini digunakan secara luas oleh banyak produsen di banyak industri. Modbus biasanya digunakan untuk mengirimkan sinyal dari perangkat instrumentasi dan kontrol kembali ke pengontrol utama atau sistem pengumpulan data, misalnya sistem yang mengukur suhu dan kelembapan dan mengkomunikasikan hasilnya ke komputer. Modbus sering digunakan untuk menghubungkan komputer pengawas dengan *Remote*

*Terminal Unit* (RTU) dalam *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA). Versi protokol Modbus tersedia untuk jalur serial (Modbus RTU dan Modbus ASCII) dan untuk Ethernet (Modbus TCP).[8]

### **2.5.1 Modbus TCP/IP**

TCP adalah *Transmission Control Protocol* dan IP adalah *Internet Protocol*. Protokol ini digunakan bersama dan merupakan protokol transport untuk internet. Ketika informasi modbus dikirim menggunakan protokol ini, data diteruskan ke TCP di mana informasi tambahan dilampirkan dan diberikan ke IP. IP kemudian menempatkan data dalam sebuah paket (atau datagram) dan mengirimkannya.

TCP harus membuat sambungan sebelum mentransfer data, karena ini adalah protokol berbasis sambungan. Master (atau Klien di Modbus TCP) membuat koneksi dengan Slave (atau Server). Server menunggu koneksi masuk dari klien. Setelah koneksi dibuat, server kemudian menanggapi pertanyaan dari Klien hingga klien menutup koneksi.

### **2.5.2 ASCII**

ASCII adalah singkatan dari *American Standard Code for Information Interchange*. Dengan cara yang sama bahwa setiap 4-bit dapat digabungkan dan diwakili oleh satu dari enam belas karakter heksadesimal dari 0 hingga F, setiap 8-bit (setiap byte) dapat digabungkan dan diwakili oleh salah satu dari 256 karakter ASCII, termasuk karakter keyboard umum.

Modbus ASCII menandai awal setiap pesan dengan karakter titik dua ":" (hex 3A). Akhir dari setiap pesan diakhiri dengan karakter carriage return dan line feed (hex 0D dan 0A). Hal ini memungkinkan ruang antar byte menjadi variabel sehingga cocok untuk transmisi melalui beberapa modem. Kisaran byte data dalam Modbus ASCII hanya mewakili 16 karakter heksadesimal.

### **2.5.3 RTU**

*Remote Terminal Unit* (RTU) adalah perangkat elektronik yang dikontrol mikroprosesor yang menghubungkan objek di dunia fisik ke sistem kontrol terdistribusi atau sistem SCADA (kontrol pengawasan dan akuisisi data) dengan mengirimkan data telemetri ke sistem master, dan dengan menggunakan pesan dari sistem pengawasan master untuk mengontrol objek yang terhubung. Istilah lain

yang dapat digunakan untuk RTU adalah unit telemetri jarak jauh dan unit telekontrol jarak jauh.

RTU dapat dihubungkan dengan satu atau dua *Master Station*. Selain dengan *Master Station*, RTU juga dapat dihubungkan dengan RTU lainnya (remote RTU) melalui jalur komunikasi.

RTU memonitor parameter digital dan analog lapangan dan mengirimkan data ke Stasiun Master SCADA. Ini menjalankan perangkat lunak pengaturan untuk menghubungkan aliran input data ke aliran output data, menentukan protokol komunikasi, dan memecahkan masalah instalasi di lapangan.

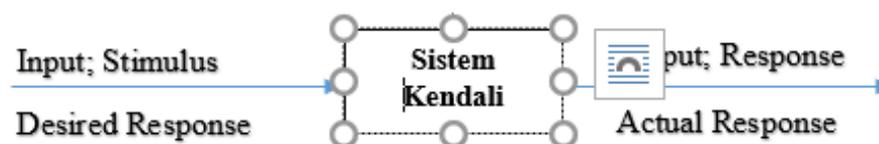
Berbeda dengan ASCII, byte pada modbus RTU dikirim secara berurutan tanpa spasi di antaranya dengan spasi 3-1 / 2 karakter antar pesan untuk pembatas. Ini memungkinkan perangkat lunak mengetahui kapan pesan baru dimulai. Setiap penundaan antara byte akan menyebabkan Modbus RTU menafsirkannya sebagai awal pesan baru. Ini mencegah Modbus RTU bekerja dengan baik dengan modem.

Dalam Modbus RTU setiap byte dikirim sebagai string dari 8 karakter biner yang dibingkai dengan bit awal, dan bit stop, membuat setiap byte 10 bit. Kisaran byte data dalam Modbus RTU dapat berupa karakter apa saja dari 00 hingga FF.

## 2.6 Sistem Kendali

Sistem kendali adalah susunan komponen fisik yang terhubung atau terkait sedemikian rupa sehingga dapat memerintah, mengarahkan, atau mengatur diri sendiri atau sistem lain.

Sistem kendali terdiri dari subsistem dan proses yang bergabung untuk tujuan mendapatkan output yang diinginkan dengan kinerja yang diinginkan. Gambar berikut menunjukkan blok diagram untuk sistem kendali sederhana, sistem kendali membuat sistem dengan input yang diberikan menghasilkan output yang diharapkan.[9]

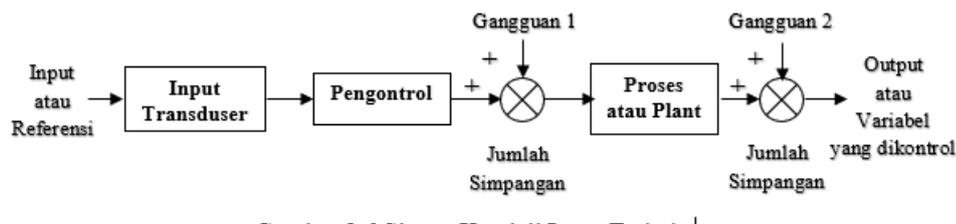


Gambar 2. 5 Sistem Kendali Sederhana

### 2.6.1 Sistem Kendali Loop Terbuka

Sistem kendali loop terbuka adalah sistem kendali yang kinerjanya tidak berpengaruh terhadap keluarannya atau tidak berpengaruh terhadap umpan balik dari prosesnya. Sistem kendali loop terbuka menggunakan peralatan penggerak untuk mengontrol proses secara langsung.

Dimulai dengan subsistem yang disebut transduser input, yang mengonversi bentuk input ke yang digunakan oleh pengontrol. Pengontrol mendorong proses atau pabrik. Input kadang-kadang disebut referensi, sementara output dapat disebut variabel yang dikontrol. Sinyal lain, seperti gangguan, ditunjukkan ditambahkan ke pengontrol dan output proses melalui persimpangan penjumlahan, yang menghasilkan jumlah aljabar dari sinyal input mereka menggunakan tanda-tanda terkait. Sistem open-loop generik ditampilkan pada gambar berikut:



Gambar 2. 6 Sistem Kendali Loop Terbuka

Karakteristik yang membedakan dari sistem loop terbuka adalah bahwa ia tidak dapat mengompensasi gangguan yang menambah pengontrol *driving signal*. Misalnya, jika pengontrol adalah amplifier elektronik dan Gangguan 1 adalah kebisingan, maka setiap kebisingan amplifier yang berlebihan pada jumlah simpangan pertama juga akan mendorong proses, merusak output dengan efek kebisingan. Output dari sistem open-loop rusak tidak hanya oleh sinyal yang menambah perintah pengontrol tetapi juga oleh gangguan pada output (Gangguan 2 pada Gambar 2.6). Sistem juga tak bisa memperbaiki gangguan ini.

### 2.6.2 Sistem Loop Tertutup

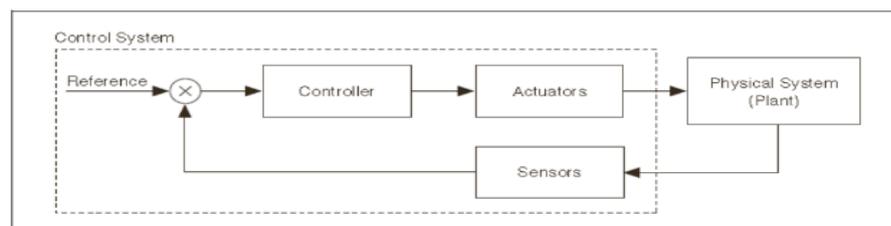
Sistem kendali loop tertutup adalah sistem kendali yang kinerjanya memiliki pengaruh terhadap keluarannya, dan memiliki umpan balik terhadap proses yang berjalan.

Transduser input mengonversi bentuk input ke bentuk yang digunakan oleh pengontrol. Transduser output, atau sensor, mengukur respons output dan

mengonversinya menjadi bentuk yang digunakan oleh pengontrol. Misalnya, jika pengontrol menggunakan sinyal listrik untuk mengoperasikan katup sistem kontrol suhu, posisi input dan suhu output dikonversi ke sinyal listrik. Posisi input dapat dikonversi ke tegangan oleh potentiometer, resistor variabel, dan suhu output dapat dikonversi ke tegangan oleh thermistor, perangkat yang ketahanan listriknya berubah dengan suhu.

Jumlah simpangan pertama secara aljabar menambahkan sinyal dari input ke sinyal dari output, yang tiba melalui jalur umpan balik, jalur pengembalian dari output ke persimpangan penjumlahan. Pada Gambar 2.8, sinyal output dikurangi dari sinyal input. Hasilnya umumnya disebut sinyal aktuasi. Namun, dalam sistem di mana transduser input dan output memiliki penguatan (yaitu, transduser

amplifies inputnya adalah 1), nilai sinyal aktuasi sama dengan perbedaan aktual antara input dan output. Dalam kondisi ini, sinyal aktuasi disebut error.[9]



Gambar 2. 7 Sistem Kendali Loop Tertutup

Sistem loop tertutup mengompensasi gangguan dengan mengukur respons output, memberi informasi pengukuran itu kembali melalui jalur umpan balik, dan membandingkan respons tersebut dengan input di persimpangan penjumlahan. Jika ada perbedaan antara kedua respon, sistem menggerakkan plant melalui sinyal aktuasi, untuk melakukan koreksi. Jika tidak ada perbedaan, sistem tidak menggerakkan plant, karena respons plant sudah merupakan respon yang diinginkan. [7]

## 2.7 Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah sebuah chip terintegrasi yang biasanya menjadi bagian dari sebuah *embedded sistem* (sistem yang didesain untuk melakukan satu atau lebih fungsi khusus yang real time). Mikrokontroler terdiri dari CPU, Memory, I/O port dan timer seperti sebuah komputer standar, tetapi karena didesain hanya untuk menjalankan satu fungsi yang spesifik dalam mengatur sebuah sistem,

mikrokontroler ini bentuknya sangat kecil dan sederhana dan mencakup semua fungsi yang diperlukan pada sebuah chip tunggal.

Mikrokontroler berbeda dengan mikroprosesor, yang merupakan sebuah chip untuk tujuan umum yang digunakan untuk membuat sebuah komputer multi fungsi atau perangkat yang membutuhkan beberapa chip untuk menangani berbagai tugas. Mikrokontroler dimaksudkan untuk menjadi mandiri dan independen, dan berfungsi sebagai komputer khusus yang kecil. Fungsi mikrokontroler ada banyak sekali sampai tidak bisa disebutin semua tapi ada beberapa yang penting – penting saja yaitu:

1. Sebagai *Counter*
2. Sebagai *Decoder* dan *Encoder*
3. Sebagai Pembangkit Osilasi
4. Sebagai Timer / Pewaktu
5. Sebagai ADC (*Analog Digital Converter*)

### **2.7.1 Mikrokontroler AVR**

Mikrokontroler *Alv and Vegard's Risc processor* atau sering disingkat AVR merupakan mikrokonktroler RISC 8 bit. Karena RISC inilah sebagian besar kode instruksinya dikemas dalam satu siklus clock.

Mikrokontroler AVR merupakan salah satu jenis arsitektur mikrokontroler yang menjadi andalan Atmel. Arsitektur ini dirancang memiliki berbagai kelebihan dan merupakan penyempurnaan dari arsitektur mikrokontroler-mikrokontroler yang sudah ada.

Berbagai seri mikrokontroler AVR telah diproduksi oleh Atmel dan digunakan di dunia sebagai mikrokontroler yang bersifat low cost dan high performance. Di Indonesia, mikrokontroler AVR banyak dipakai karena fiturnya yang cukup lengkap, mudah untuk didapatkan, dan harganya yang relatif terjangkau.

Antar seri mikrokontroler AVR memiliki beragam tipe dan fasilitas, namun kesemuanya memiliki arsitektur yang sama, dan juga set instruksi yang relatif tidak berbeda. Tabel dibawah ini membandingkan beberapa seri mikrokontroler AVR buatan Atmel.

Tabel 2. 1 Seri Mikrokontroler AVR

Seri	Flash (kbytes)	RAM (bytes)	EEPROM (kbytes)	Pin I/O	Timer 16-bit	Timer 8-bit	UART	PWM	ADC 10-bit
ATmega8	8	1024	0,5	23	1	1	1	3	6/8
ATmega8535	8	512	0,5	32	2	2	1	4	8
ATmega16	16	1024	0,5	32	1	2	1	4	8
ATmega162	16	1024	0,5	35	2	2	2	6	8
ATmega32	32	2048	1	32	1	2	1	4	8
ATmega128	128	4096	4	53	2	2	2	8	8
ATtiny12	1	-	0,0625	6	-	1	-	-	-
ATtiny2313	2	128	0,125	18	1	1	1	4	-
ATtiny44	4	256	0,25	12	1	1	-	4	8

### 2.7.2 Mikrokontroler MCS-51

Mikrokontroler ini termasuk dalam keluarga mikrokontroler CISC (*Complex Instruction Set Computer*). Sebagian besar instruksinya dieksekusi dalam 12 siklus clock.

Mikrokontroler MCS51 buatan Atmel terdiri dari dua versi, yaitu versi 20 kaki dan versi 40 kaki. Semua mikrokontroler ini dilengkapi dengan *Flash PEROM* (*Programmable Eraseable Read Only Memory*) sebagai media memori-program, dan susunan kaki IC-IC tersebut sama pada tiap versinya.

Perbedaan dari mikrokontroler-mikrokontroler tersebut terutama terletak pada kapasitas memori-program, memori-data dan jumlah pewaktu 16-bit. Perbedaan mikrokontroler Atmel MCS51 tersebut ditunjukkan pada Tabel 2.2 berikut.

Tabel 2. 2 Perbandingan Antar Mikrokontroler MCS51Atmel

Tipe	Memori Program	Memori Data	Timer 16-bit	Teknologi
AT89C1051	1 KB Flash	64 RAM	1	CMOS
AT89C2051	2 KB Flash	128 RAM	2	CMOS
AT89C4051	4 KB Flash	128 RAM	2	CMOS

AT89C51	4 KB Flash	128 RAM	2	CMOS
AT89C52	8 KB Flash	256 RAM	3	CMOS
AT89S53	12 KB Flash	256 RAM	3	CMOS

---

### 2.7.3 Mikrokontroler PIC

Pada awalnya, PIC merupakan kependekan dari *Programmable Interface Controller*. PIC termasuk keluarga mikrokontroler berarsitektur Harvard yang dibuat oleh Microchip Technology. Awalnya dikembangkan oleh Divisi Mikroelektronik General Instruments dengan nama PIC1640.

PIC memungkinkan Anda untuk mengontrol perangkat output ketika mereka dipicu oleh sensor dan switch. Program dapat dihasilkan dengan menggunakan diagram alur dalam perangkat lunak komputer, yang kemudian dapat di-unduh ke dalam chip PIC. Mereka dapat ditulis ulang sebanyak yang Anda inginkan. Memori jenis ini disebut memori flash.

Sebuah mikrokontroler PIC adalah sirkuit terpadu tunggal cukup kecil untuk muat di telapak tangan dan berisi memori pengolahan unit, Jam dan sirkuit Input / Output dalam satu unit. Sebuah mikrokontroler PIC, oleh karena itu, sering digambarkan sebagai komputer dalam sirkuit terpadu. Mikrokontroler PIC dapat dibeli kosong dan kemudian diprogram dengan program kontrol tertentu. Mikrokontroler PIC juga dapat dibeli dengan pra-diprogram seperangkat perintah yang memungkinkan download langsung dari kabel komputer dan mengurangi biaya peralatan pemrograman.

### 2.7.4 Mikrokontroler ARM

ARM adalah prosesor dengan arsitektur set instruksi 32-bit RISC (*Reduced Instruction Set Computer*) yang dikembangkan oleh ARM Holdings. ARM merupakan singkatan dari *Advanced RISC Machine* (sebelumnya lebih dikenal dengan kepanjangan Acorn RISC Machine). Pada awalnya prosesor ARM dikembangkan untuk PC (*Personal Computer*) oleh Acorn Computers, sebelum dominasi Intel x86 prosesor- Microsoft di IBM PC kompatibel menyebabkan Acorn Computers bangkrut. Melalui izin dari seluruh dunia, arsitektur ARM adalah yang paling umum dilaksanakan 32-bit set instruksi arsitektur. Arsitektur ARM

diimplementasikan pada Windows, Unix, dan sistem operasi mirip Unix, termasuk Apple iOS, Android, BSD, Inferno, Solaris, WebOS, Plan 9 dan GNU / Linux. *Advanced RISC Machine* awalnya dikenal sebagai Mesin Acorn RISC.

## **2.8 Generator HHO (Hidrogen Hidrogen Oksida)**

Generator HHO adalah pembangkit bahan bakar air melalui proses yang berfungsi menguraikan air ( $H_2O$ ) menjadi 2 atom Hidrogen dan 1 atom Oksigen yang kemudian terkenal dengan nama Gas HHO atau Brown Gas. Dengan cara elektrolisa air itulah gas HHO yang dihasilkan bisa dimanfaatkan untuk berbagai keperluan seperti: Penghematan pada mesin bensin maupun diesel baik kendaraan darat maupun laut, serta pada generator listrik.

Dari proses elektrolisa air ini menghasilkan gas Hidrogen ( $H_2$ ) dan Oksigen ( $O_2$ ). Gas hidrogen ( $H_2$ ) adalah gas yang sangat mudah terbakar. Sehingga jika  $H_2$  tersebut disalurkan ke dalam ruang pembakaran akan mensuplay energi yang besar untuk mobil.

Kalau Hydrogen dan Oksigen ini dimasukkan ke dalam ruang bakar, maka “ledakan”-nya akan semakin kuat, dan hasil pembakaran menjadi semakin bersih karena Bensin yang tidak terbakar akan terbakar habis. Sehingga dapat menghemat BBM, selain tenaga yang dihasilkan lebih besar dan menurunkan emisi Udara Bersih (Anti Global Warming).

Terdapat 2 tipe generator sebagai berikut:

1. Generator HHO type wet cell
2. Generator HHO type dry cell

### **2.8.1 Generator HHO Tipe Basah (Wet Cell)**

Generator HHO Tipe Basah (Wet Cell) merupakan generator HHO yang dibuat dengan sistem luasan elektroda tercelup semua dengan larutan elektrolit di dalam bejana. Hal tersebut membuat generator HHO tipe basah membutuhkan larutan elektrolit yang cukup banyak.[10]

Keuntungan generator gas HHO tipe wet cell adalah:

1. Gas yang dihasilkan umumnya lebih banyak dan stabil.
2. Perawatan generator lebih mudah.
3. Rancang bangun pembuatan generator HHO lebih mudah.

### 2.8.2 Generator HHO Tipe Kering (Dry Cell)

Generator HHO Tipe Kering (Dry Cell) merupakan kebalikan dari generator tipe basah, hal tersebut dapat diamati dari luasan elektroda yang terkena larutan elektrolit lebih sedikit dari pada tipe basah karena di tipe kering larutan elektrolit berada diantara plat (elektroda) dan seal. Hal tersebut menjadikan tipe kering membutuhkan larutan elektrolit lebih sedikit untuk proses elektrolisis

Keuntungan generator HHO tipe *dry cell* adalah :

1. Air yang di elektrolisa hanya seperlunya, yaitu hanya air yang terjebak diantara lempengan cell.
2. Panas yang ditimbulkan relative kecil, karena selalu terjadi sirkulasi antara air panas dan dingin di reservoir.
3. Arus listrik yang digunakan relatif lebih kecil, karena daya yang terkonversi menjadi panas semakin sedikit.

## 2.9 Sensor

Sensor adalah suatu peralatan yang berfungsi untuk mendeteksi gejala-gejala atau sinyal-sinyal yang berasal dari perubahan suatu energi seperti energi listrik, energi fisika, energi kimia, energi biologi, energi mekanik dan sebagainya sensor dapat dikelompokkan menjadi 3 bagian yaitu:

- Sensor Mekanis
- Sensor Optik (cahaya)
- Sensor Termal (panas)

Sensor mekanis adalah sensor yang mendeteksi perubahan gerak mekanis, seperti perpindahan atau pergeseran atau posisi, gerak lurus dan melingkar, tekanan, aliran, level dsb. Contoh; strain gage, linear variable deferential transformer (LVDT), proximity, potensiometer, load cell, bourdon tube, dll.

### 2.9.1 Sensor Flow Water

Sensor flow water merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur debit air yang mengalir pada pipa pelanggan. Sensor flow water terdiri dari bagian katup plastik (valve body), rotor air dan sebuah sensor half effect. Ketika air mengalir melalui rotor maka rotor akan berputar dan kecepatan dari rotor akan sesuai dengan aliran air yang masuk melewati rotor. Pulsa sinyal dari rotor akan diterima oleh sensor hall effect untuk selanjutnya diproses di mikrokontroller.

### **2.9.2 Sensor Hall effect**

Sensor Hall effect merupakan salah satu transduser yang sering digunakan untuk mendeteksi medan magnet. Hall Effect dapat digunakan untuk mendeteksi gerakan atau putaran apabila gerakan atau putaran tersebut dipengaruhi oleh medan magnet. Efek hall terjadi ketika konduktor pembawa arus tertahan pada medan magnet, medan memberi gaya menyamping pada muatan-muatan yang mengalir pada konduktor. Setiap perubahan medan magnet yang terjadi akan dideteksi oleh hall effect, dimana perubahan kutub utara dan selatan akan dapat memberikan input pada hall effect dan menghasilkan output berupa pulsa transisi turun (aktif low).

Konfigurasi pin-pin hall effect

### **2.9.3 Sensor Proximity**

Proximity Sensor tidak menggunakan bagian-bagian yang bergerak atau mekanis untuk mendeteksi keberadaan benda-benda di sekitarnya, tetapi menggunakan medan elektromagnetik atau radiasi elektromagnetik untuk menentukan apakah ada objek tertentu di sekitarnya. Jarak maksimum yang dapat dideteksi oleh sensor ini disebut “rentang nominal”. Beberapa sensor jarak juga memiliki fungsi untuk mengatur interval nominal dan melaporkan jarak objek yang terdeteksi.

Sensor ini bekerja berdasarkan jarak obyek terhadap sensor. Ketika benda logam atau non-logam mendekati sensor dalam jarak yang cukup dekat, sensor mendeteksi objek dan mendeteksi sinyal sebagai indikasi bahwa suatu benda melewati sensor.

Proximity Sensor atau Sensor Jarak ini adalah perangkat yang sangat berguna saat digunakan di lokasi berbahaya. Namun dengan perkembangan teknologi, sensor jarak ini banyak digunakan untuk memudahkan pekerjaan orang. Bahkan sensor jarak ini sekarang telah diterapkan ke hampir semua jenis smartphone.

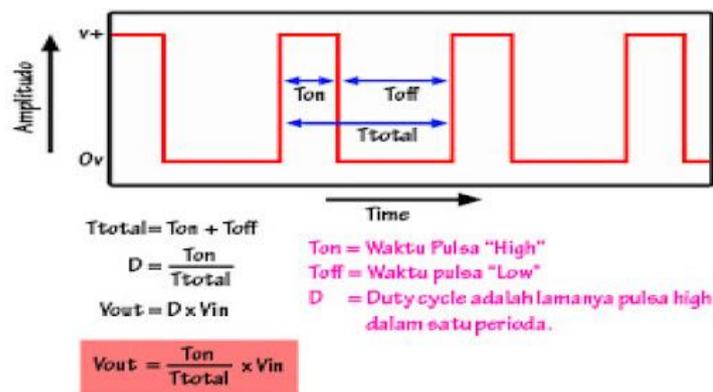
### **2.10 PWM**

Pulse Width Modulation (PWM) secara umum adalah sebuah cara memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa dalam suatu periode, untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda. Beberapa contoh aplikasi PWM adalah pemodulasian data untuk telekomunikasi, pengontrolan daya atau tegangan yang masuk ke beban, regulator tegangan, audio effect dan penguatan,

serta aplikasi-aplikasi lainnya. Aplikasi PWM berbasis mikrokontroler biasanya berupa pengendalian kecepatan motor DC, pengendalian motor servo, pengaturan nyala terang LED dan lain sebagainya.

### 2.10.1 PWM Sinyal

Sinyal PWM pada umumnya memiliki amplitudo dan frekuensi dasar yang tetap, namun memiliki lebar pulsa yang bervariasi. Lebar Pulsa PWM berbanding lurus dengan amplitudo sinyal asli yang belum termodulasi. Artinya, Sinyal PWM memiliki frekuensi gelombang yang tetap namun duty cycle bervariasi (antara 0% hingga 100%).



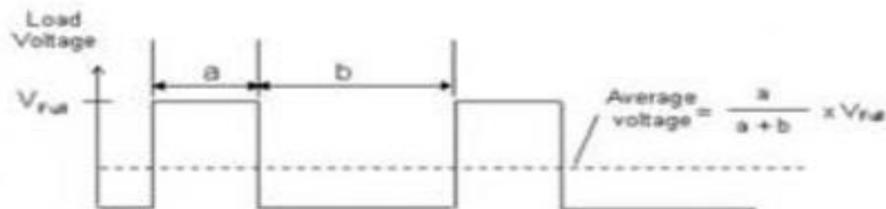
Gambar 2. 8 Sinyal PWM dan Rumus Perhitungannya

Pulse Width Modulation (PWM) merupakan salah satu teknik untuk mendapatkan signal analog dari sebuah piranti digital. Sebenarnya Sinyal PWM dapat dibangkitkan dengan banyak cara, dapat menggunakan metode analog dengan menggunakan rangkaian op-amp atau dengan menggunakan metode digital. Dengan metode analog setiap perubahan PWM-nya sangat halus, sedangkan menggunakan metode digital setiap perubahan PWM dipengaruhi oleh resolusi dari PWM itu sendiri. Resolusi adalah jumlah variasi perubahan nilai dalam PWM tersebut. Misalkan suatu PWM memiliki resolusi 8 bit berarti PWM ini memiliki variasi perubahan nilai sebanyak  $2^8 = 256$  variasi mulai dari 0 – 255 perubahan nilai yang mewakili duty cycle 0 – 100% dari keluaran PWM tersebut.

$$\text{Duty Cycle} = \frac{t_{ON}}{(t_{ON} + t_{OFF})} \times 100\%$$

Duty cycle 100% berarti sinyal tegangan pengatur motor dilewatkan seluruhnya. Jika tegangan catu 100V, maka motor akan mendapat tegangan 100V. pada duty cycle 50%, tegangan pada motor hanya akan diberikan 50% dari total

tegangan yang ada, begitu seterusnya. Untuk melakukan perhitungan pengontrolan tegangan output motor dengan metode PWM cukup sederhana sebagaimana dapat dilihat pada ilustrasi Gambar 2. di bawah ini.



Gambar 2. 9 Pengontrolan Tegangan Pulsa PWM

### 2.11 Kontrol PID

Lebih dari setengah abad, PID telah menjadi tulang punggung keberhasilan pengontrolan beragam variabel proses industri. Kontrol PID dapat dijumpai hampir pada setiap industri yang bergerak dalam bidang proses. Menurut sebuah survey dinyatakan bahwa 97 % industri yang bergerak dalam bidang tersebut menggunakan PID dalam pengontrolannya. Luasnya penggunaan kontrol PID pada dasarnya dilatarbelakangi beberapa hal, diantaranya:

- a . Kesederhanaan struktur kontrol: Selain hanya ada tiga parameter utama yang perlu diatur atau dilakukan usaha penalaan (tuning), pengaruh perubahan setiap parameter PID terhadap dinamika pengontrolan secara intuitive mudah dipahami oleh operator.
- b . Kontrol PID memiliki sejarah yang panjang. Dalam hal ini PID telah digunakan jauh sebelum era digital berkembang (yaitu sekitar tahun 1930-an).
- c . Kontrol PID dalam banyak kasus telah terbukti menghasilkan unjuk kerja relative memuaskan, baik digunakan sebagai sistem Regulator (sistem kontrol dengan Setpoint konstan dan beban cenderung berubah-ubah) maupun sebagai sistem Servo (sistem kontrol dengan Setpoint yang berubah dan beban cenderung konstan).

PID (Proportional–Integral–Derivative controller) merupakan kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut. Komponen kontrol PID ini terdiri dari tiga jenis yaitu Proportional, Integratif dan Derivatif. Ketiganya dapat dipakai bersamaan maupun sendiri-sendiri tergantung dari respon yang kita inginkan terhadap suatu plant:

- a. *Proportional* bertanggung jawab untuk nilai kesalahan saat ini. Contohnya, jika nilai kesalahan besar dan positif, maka keluaran kontrol juga besar dan positif.
- b. *Integral* bertanggung jawab untuk nilai kesalahan sebelumnya. Contoh, jika keluaran saat ini kurang besar, maka kesalahan akan terakumulasi terus menerus, dan kontroler akan merespon dengan keluaran lebih tinggi.
- c. *Derivative* bertanggung jawab untuk kemungkinan nilai kesalahan mendatang, berdasarkan pada rate perubahan tiap waktu.

Pada awal penggunaannya, strategi kontrol PID untuk tujuan kontrol proses industri umumnya diimplementasikan dengan menggunakan rangkaian elektronika analog, bahkan banyak diantaranya direalisasikan dengan menggunakan komponen mekanis dan pneumatis murni. Seiring dengan perkembangan dunia digital (terutama microprocessor), dewasa ini PID dapat dijumpai dalam berbagai bentuk modul komersil, yaitu mulai dari sekedar modul PID untuk pengontrolan satu jenis variabel proses tertentu saja (special purpose process controller), sampai modul PID untuk tujuan pengontrolan beragam variabel proses (general purpose process controller) atau lebih dikenal dengan nama populer DCS Distributed Control System. Bahkan perkembangan terakhir, kontrol PID juga telah banyak ditanamkan pada sistem PLC.



Gambar 2. 10 *Programmable Logic Controller (PLC)*

Terkait dengan penggunaan modul PID komersil dalam sebuah kontrol proses industri, salah satu hal penting yang perlu diketahui oleh pengguna adalah

algoritma atau struktur PID yang tertanam pada modul tersebut – Hal ini dikarenakan algoritma PID dimungkinkan berbeda antar produk satu vendor dengan produk vendor lainnya. Bahkan tidak jarang dalam sebuah modul tertentu, akan dijumpai beragam algoritma atau struktur PID yang dapat dipilih secara bebas.

Ditinjau dari aspek tuning parameter kontrolnya, pengetahuan struktur PID tersebut juga sangat penting, karena struktur PID yang berbeda akan memiliki metode tuning yang relative berbeda pula. Dengan mengetahui struktur PID pada modul dan bersama-sama pengetahuan model proses yang dikontrol (materi tentang model proses dijelaskan dalam Bab I), nilai parameter PID yang optimal pada dasarnya dapat dicari secara mudah berdasarkan metode-metode tuning yang telah dikembangkan sebelumnya oleh sejumlah peneliti dan praktisi bidang kontrol proses, baik secara empiris maupun berdasarkan metode-metode optimasi tertentu. Berikut ini adalah berbagai struktur atau algoritma PID beserta metode tuning-nya yang dapat dijumpai pada sejumlah modul kontrol PID komersil dan beberapa literatur kontrol.