

**SISTEM SUPLAY GAS HIDROGEN PADA REAKTOR  
REDOKS**

**SKRIPSI**

Oleh:  
**M. RINO EFENDI**  
**0310930035**



**JURUSAN FISIKA**  
**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**  
**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**  
**MALANG**  
**2009**

**SISTEM SUPLAY GAS HIDROGEN PADA REAKTOR  
REDOKS**

**SKRIPSI**

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains  
dalam bidang fisika

Oleh:

**M. RINO EFENDI**

**0310930035**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2009**

## LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : M. Rino Efendi

NIM : 0310930035

Jurusan : Fisika

Penulis tugas Akhir berjudul : Sistem Suplay Gas Hidrogen  
Pada Reaktor Redoks

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Tugas Akhir ini adalah benar-benar karya saya sendiri, dan bukan hasil plagiat dari karya orang lain. Karya-karya yang tercantum dalam Daftar Pustaka TA ini, semata-mata digunakan sebagai acuan/referensi.
2. Apabila kemudian hari diketahui isi TA saya merupakan hasil plagiat, maka saya bersedia menanggung akibat hukum dari keadaan tersebut.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang,  
Yang menyatakan,

M. Rino Efendi  
NIM. 0310930035

## ABSTRAK

Reaktor redoks merupakan suatu sistem hampa yang digunakan sebagai tempat berlangsungnya reaksi reduksi oksidasi. Reaksi redoks berlangsung apabila terjadi transfer oksigen, hidrogen dan elektron, secara bersamaan. Dengan kata lain oksidasi berarti mendapatkan oksigen sedangkan reduksi adalah kehilangan oksigen.

Didalam proses reaksi redoks dibutuhkan gas hidrogen murni yang berfungsi sebagai reduktor. Untuk membuat gas hidrogen murni dilakukan dengan cara mengelektrolisis air yang dicampur dengan larutan  $\text{NaHCO}_3$ . Berdasarkan hasil penelitian untuk gas hydrogen berhasil diperoleh hubungan antara laju produksi gas hydrogen dengan konsentrasi  $\text{NaHCO}_3$  oleh konsentrasi larutan katalis  $\text{NaHCO}_3$ ; lamanya waktu dan arus listrik.

Sedangkan untuk melakukan pengaturan terhadap tekanan dalam tabung reaktor. Perlu dilakukan pengendalian aliran gas hidrogen dengan menggunakan algoritma PID. Berdasarkan hasil penelitian dapat diketahui bahwa dengan mengeset konstanta proporsional, integral dan turunan yang diperoleh dari penalaan ziegler-nichols mampu mengendalikan tekanan tabung hampa pada jangkauan 0,175 torr sampai 0,25 torr.

Kata kunci: Reaksi Redoks, elektrolisis, kontrol PID

## ABSTRACT

Redox reactor is a vacuum system used as the place in which the reduction-oxidation processes is taken place. Redox reaction occurs when there are oxygen, hydrogen, and electron transfers that happen at a time. In the other word, oxidation means getting oxygen and reduction means losing oxygen.

In the redox reaction, we need pure hydrogen that is functioning as reductor. Hydrogen can be produced by electrolyzing water, combined with  $\text{NaHCO}_3$ . Based on the result of hydrogen research, there were relation between the velocity of hydrogen production and the concentration of catalyst solution of  $\text{NaHCO}_3$ , periode, and the electric current.

In addition, it necessary to control hydrogen flow to control the pressure on the reactor tube by algorithm PID. The result of this research showed that by setting proportional constant, integral and derivation derived from Ziegler-Nichols rationalization would control the pressure of vacuum tube in the range of 0.175 torr to 0.25 torr.

Keywords: redox reaction, electrolysis, PID control

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik dan hidayah-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan laporan penelitian ini yang dilaksanakan pada bulan nopember 2007 sampai agustus 2008.

Penelitian ini merupakan salah satu mata kuliah wajib dan merupakan syarat akhir untuk memperoleh gelar Sarjana Sains dalam bidang fisika. Dengan dilaksanakannya penelitian ini diharapkan mahasiswa dapat mengaplikasikan ilmu yang didapatkan di bangku kuliah serta dapat menambah wawasan, pengetahuan dan pengalaman.

Dalam penyusunan laporan penelitian ini, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu secara langsung ataupun secara tidak langsung selama pelaksanaan penelitian. Rasa terima kasih tersebut kami sampaikan kepada :

1. Kedua Orang Tua yang telah mendidik dan membesarkan penulis hingga kini bisa memperoleh gelar sarjana dibidang fisika. Penulis berharap semoga Allah memberikan balasan dengan syurga.
2. Bapak Adi Susilo PhD selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Brawijaya.
3. Bapak Dr. Ing. Setyawan P.S, M.Eng dan Bapak Drs. Hari Arif Darmawan, M.Eng selaku dosen pembimbing.
4. Bapak Ir.D.J. Djoko, M.Phil, PhD yang telah memberikan banyak masukan kepada penulis.
5. Bapak dan Ibu dosen jurusan Fisika yang dengan ilmunya kini penulis dapat menyelesaikan tugas akhir.
6. Segenap staf administrasi jurusan Fisika yang telah membantu penulis dalam kelancaran menyelesaikan administrasi.
7. Teman-teman fisika angkatan 2003 yang telah banyak memberikan bantuan dan motivasi penulis.
8. Seluruh keluarga besar di Bojonegoro, Pakde, Bude, Paklek dan bulek serta mas dan adik yang senantiasa mendukung

dan memberikan motivasi untuk bisa menyelesaikan tugas akhir ini.

9. Seluruh teman-teman remas Al-ghifari yang senantiasa menemani penulis baik suka maupun duka.

10. Pihak-pihak lain yang telah membantu dalam kelancaran penulisan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa laporan penelitian ini jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan masukan, saran dan kritik yang bersifat membangun. Penulis berharap laporan penelitian yang disusun ini dapat bermanfaat bagi mahasiswa yang sedang melaksanakan kegiatan serupa dan pembaca pada umumnya.

Malang,

Penulis



## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	iii
<b>ABSTRAK/ABSTRACT</b> .....	iv
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Reaksi Redoks.....	3
2.2 Gas Hidrogen.....	3
2.3 Pembuatan Hidrogen.....	4
2.4 Ruang Hampa.....	6
2.4.1 Metode Pengukuran Ruang Hampa.....	8
2.4.2 Prinsip Dasar Tekanan.....	8
2.4.3 Kecepatan Aliran Gas.....	9
2.5 Pirani Gauge.....	10
2.6 Mikrokontroler AT89S52.....	12
2.6.1 Komunikasi Serial Mikrokontroler.....	15
2.6.2 Peralatan Komunikasi Port Serial.....	17
2.6.3 Alamat Port dan IRQ.....	18
2.6.4 Konverter Logika RS232.....	18
2.6.5 Analog to Digital Converter (ADC).....	18
2.7 Labview.....	20

2.7.1	Panel Depan.....	21
2.7.2	Diagram Blok.....	22
2.7.3	Node.....	22
2.7.4	Terminal.....	23
2.7.5	Aliran Data.....	23
2.8	Sistem Kontrol.....	23
2.8.1	Pengertian Sistem Kontrol.....	23
2.8.2	Elemen-Elemen Kontrol Otomatis.....	24
2.8.3	Kontrol PID.....	25
2.8.4	Penalaan Parameter PID.....	26
2.8.5	Metode Osilasi Ziegler-Nichols.....	26
2.8.6	PID Digital.....	27
2.9	Motor DC.....	29

### **BAB III METODE PENELITIAN**

3.1	Tempat dan Waktu Penelitian.....	31
3.2	Alat dan Bahan.....	31
3.3	Metode Penyusunan Tugas Akhir.....	31
3.4	Perancangan Perangkat Keras.....	32
3.4.1	Unit Pengukur Tekanan.....	34
3.4.2	Unit Pengubah Analog ke Digital.....	34
3.4.3	Unit Rangkaian Antarmuka.....	35
3.4.4	Unit Generator Gas Hidrogen.....	35
3.4.5	Unit Aktuator.....	36
3.5	Perancangan Perangkat Lunak.....	37
3.5.1	Diagram Alir Program Utama.....	38
3.5.2	Diagram Alir Pembacaan ADC.....	39
3.5.3	Diagram Alir Konversi Tegangan ke Tekanan.....	39
3.5.4	Diagram Alir Perhitungan Sinyal Kontrol PID.....	40
3.5	Metode Pengujian ADC.....	41
3.6	Metode Pengujian Generator Hidrogen.....	42
3.7	Metode Pengujian Sensor Tekanan.....	42

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

4.1	Perangkat Keras.....	44
4.1.1	Hasil Pengujian Sensor Tekanan.....	44
4.1.2	Hasil Pengujian Kemampuan Katup.....	46

4.1.3 Hasil Pengujian Generator Gas Hidrogen.....	47
4.2 Perangkat Lunak.....	52
4.3 Hasil Pengujian dan Analisa Respon Sistem.....	55

## **BAB V PENUTUP**

5.1 Kesimpulan.....	59
5.2 Saran.....	59

## **DAFTAR PUSTAKA**



## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1	Proses elektrolisis air..... 5
Gambar 2.2	<i>Hoffman electrolysis apparatus</i> digunakan untuk electrolysis air..... 6
Gambar 2.3	Jangkauan kehampaan..... 7
Gambar 2.4	Prinsip aliran gas..... 9
Gambar 2.5	Menunjukkan prinsip kerja dari pengukuran tekanan menggunakan pirani gauge..... 11
Gambar 2.6	Rangkaian jembatan wheatstone untuk mengukur tekanan..... 12
Gambar 2.7	Alamat RAM internal..... 12
Gambar 2.8	Susunan Pin mikrokontroler AT89S52..... 13
Gambar 2.9	Port DB9 Jantan..... 17
Gambar 2.10	Port DB9 Betina..... 17
Gambar 2.11	Rangkaian RS-232..... 18
Gambar 2.12	Diagram blok ADC..... 19
Gambar 2.13	Panel depan LabVIEW..... 21
Gambar 2.14	Diagram blok software LabVIEW..... 22
Gambar 2.15	Elemen-elemen system control otomatis..... 24
Gambar 2.16	Blok diagram kontroler PID analog..... 25
Gambar 2.17	Hubungan dalam fungsi waktu antara sinyal keluaran dengan masukan untuk kontroler PID.. 25
Gambar 2.18	Sistem untaian tertutup dengan alat kontrol proporsional..... 27
Gambar 2.19	Kurva respon sustain oscillation..... 27
Gambar 2.20	Skema motor DC..... 29
Gambar 3.1	Blok skema perancangan alat keseluruhan..... 32
Gambar 3.2	Rangkaian ADC 0804..... 34
Gambar 3.3	Generator hidrogen..... 35
Gambar 3.4	Perancangan katup motor DC..... 36
Gambar 3.5	Diagram alir program utama..... 38
Gambar 3.6	Alur Pembacaan ADC..... 39
Gambar 3.7	Diagram alir konversi tegangan ke tekanan..... 39
Gambar 3.8	Diagram alih perhitungan sinyal kontrol PID..... 41

Gambar 3.9	Skema pengujian ADC.....	41
Gambar 3.10	Skema pengukuran gas hidrogen.....	42
Gambar 3.11	Skema pengujian sensor tekanan.....	43
Gambar 4.1	Grafik hubungan tegangan dengan tekanan sensor.....	45
Gambar 4.2	Grafik posisi valve terhadap nilai heksa.....	46
Gambar 4.3	Grafik pengujian kemampuan katup.....	47
Gambar 4.4	Grafik laju produksi gas H <sub>2</sub> terhadap penambahan waktu.....	49
Gambar 4.5	Grafik pengaruh konsentrasi larutan soda terhadap arus listrik.....	50
Gambar 4.6	Grafik hubungan antara arus listrik terhadap debit gas H <sub>2</sub> .....	51
Gambar 4.7	Grafik laju perubahan tekanan terhadap arus.....	52
Gambar 4.8	Tampilan panel depan program.....	53
Gambar 4.9	Grafik sistem berosilasi pada Ku=7.....	55
Gambar 4.10	Grafik respon sistem untuk nilai acuan=0,25 torr.....	56
Gambar 4.11	Grafik respon tekanan terhadap waktu pada tekanan setpoint=0,175 torr.....	57
Gambar 4.12	Grafik respon tekanan sistem dengan variasi tekanan.....	58



## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1	Tabel konversi satuan tekanan..... 9
Tabel 2.2	Fungsi alternatif port 3 mikrokontroller AT89S52.. 14
Tabel 2.3	Fungsi pin port serial..... 17
Tabel 2.4	Alamat standart Port dan IRQ pada komunikasi serial..... 18
Tabel 4.1	Data hasil pengukuran gas hidrogen..... 48
Tabel 4.2	Konstanta penalaan PID..... 56



## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1	Pengukuran gas hydrogen..... 61
Lampiran 2	Data respon tekanan terhadap waktu..... 64
Lampiran 3	Data tekanan pada tuning PID..... 76
Lampiran 4	Program utama..... 78
Lampiran 5	Rangkaian interface..... 79
Lampiran 6	Regresi fungsi tegangan terhadap tekanan..... 81
Lampiran 7	Foto Alat..... 87



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Reaktor redoks merupakan reaktor yang berfungsi sebagai tempat berlangsungnya reaksi reduksi-oksidasi. Reaktor redoks digunakan dalam proses *redoks forming* misalnya dalam pemurnian logam dari oksida logam menjadi logam murni. Proses pemurnian logam dilakukan di ruang vakum yang memiliki tekanan yang sangat rendah sekitar 1 pascal. Agar reaksi dapat berlangsung diperlukan suplay gas hidrogen yang berfungsi sebagai reduktor bagi berlangsungnya reaksi reduksi-oksidasi. Gas hidrogen secara sederhana diperoleh dengan cara elektrolisis air yaitu proses pemecahan molekul air menjadi gas  $H_2$  dan  $O_2$  murni dengan pemanfaatan energi listrik pada sistem. Untuk mempercepat reaksi, air ditambahkan dengan larutan katalis  $NaHCO_3$  (soda kue).

Proses pembentukan gas hidrogen ditandai dengan pemecahan molekul air oleh energi listrik menjadi ion-ion hidrogen dan oksidrogen. Ion hidrogen cenderung kekurangan elektron, ion hidrogen akan terikat dengan elektron sehingga terbentuk atom hidrogen. Atom hidrogen ini akan semakin bertambah dengan bertambahnya elektron bebas kemudian terbentuklah molekul-molekul gas disekitar katoda. Katoda yang digunakan umumnya berupa logam seperti platinum, tembaga, baja dan besi. Ion oksidrogen cenderung kelebihan elektron sehingga akan melepaskan elektron dan terbentuklah atom oksigen di anoda.

Gas Hidrogen yang dihasilkan kemudian dialirkan menuju tabung hampa dimana tempat reaksi redoks berlangsung. Agar mampu

menjaga tekanan gas dalam tabung hampa konstan maka perlu dilakukan pengendalian laju aliran gas hidrogen menggunakan motor pengendali katup yang dikontrol oleh Algoritma PID (*proportional Integral Derivative Controller*).

## 1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana merancang dan membuat generator gas hidrogen pada reaktor redoks
2. Bagaimana merancang dan membuat perangkat keras dan perangkat lunak untuk mengendalikan tekanan dalam tabung hampa

## 1.3 Batasan Masalah

Untuk mempermudah perhitungan digunakan beberapa asumsi antara lain:

1. Gas  $H_2$  dianggap sebagai gas ideal sehingga dianggap memenuhi persamaan  $PV=nRT$
2. Penentuan jumlah  $H_2$  yang dihasilkan, secara teoritis dapat didekati dengan hukum faraday.
3. Tuning Parameter PID menggunakan metode osilasi Nichols-Ziegler
4. Dalam penelitian ini tidak dilakukan pendekatan matematis terhadap sistem alat.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membuat generator hidrogen dan alat pengendali suplay gas hidrogen dengan sistem pengontrolan PID serta memberikan parameter PID yang tepat pada sistem pengontrolan tersebut.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah dapat menghasilkan generator gas hidrogen sederhana serta mampu mengendalikan tekanan vakum yang stabil dengan respon cepat dan mudah digunakan sehingga dapat membantu penelitian tentang reaktor redoks.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Reaksi Redoks

Reaksi redoks singkatan dari Reduksi-Oksidasi, ditandai dengan serah terima elektron dari suatu pereaksi ke pereaksi lain. Dalam reaksi redoks terdapat beberapa istilah yang sering digunakan yaitu:

- Pereduksi, partikel bersifat pereduksi bila mempunyai elektron yang terikat lemah, sehingga mudah lepas dan ditarik oleh partikel lain. Zat yang bersifat pereduksi adalah logam seperti aluminium, besi, seng dll. Disamping logam ada unsur atau senyawa lain yang bersifat pereduksi contohnya  $H_2$ ,  $SO_2$ ,  $Fe^{2+}$  dan ion-ion yang mengandung oksigen.
- Pengoksidasi, partikel akan bersifat pengoksidasi bila ia mempunyai kecenderungan menarik elektron dari partikel lain, yaitu unsur elektronegatif (seperti oksigen, halogen, dan  $H^+$ )

(Syukri, 2003)

Reaksi redoks dapat terjadi bila pengoksidasi bercampur dengan zat lain yang dapat teroksidasi atau pereduksi bercampur dengan zat yang dapat tereduksi. Dari perubahan masing-masing dapat ditentukan pereaksi dan hasil reaksi beserta kesetimbangannya masing-masing.

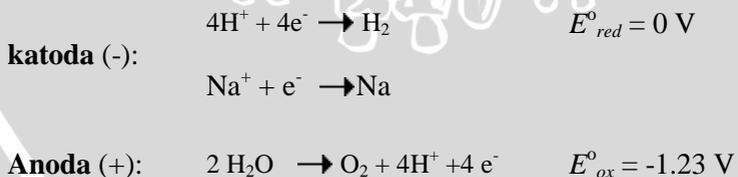
#### 2.2 Gas Hidrogen

Hidrogen adalah unsur yang ditemukan oleh Hendry Cavendish (1731-1810) dan merupakan unsur yang atomnya paling kecil dan ringan. Jumlah atom hidrogen di bumi sekitar 3%, atau 0.14% massa hidrogen dalam bentuk senyawa anorganik (seperti air dan asam) dan organik. Air mengandung 11% massa hidrogen karena molekulnya mengandung dua atom hidrogen dan satu atom oksigen (syukri, 2003).

Hidrogen dalam keadaan bebas berupa molekul gas diatom ( $H_2$ ) dengan titik didih dan titik beku yang sangat rendah (masing-masing  $-253^\circ C$  dan  $-259^\circ C$ ). dalam sistem periodik hidrogen adalah nomor satu dan terletak pada golongan IA karena mempunyai satu elektron. Tetapi kecenderungannya sama dengan golongan VIIA yaitu menerima satu elektron karena itu hidrogen dapat dimasukkan baik dalam golongan IA maupun golongan VIIA (syukri, 2003).

### 2.3 Pembuatan Hidrogen

Hidrogen bebas tidak terdapat di alam bebas dan jika diperlukan harus dibuat dari senyawa melalui reaksi pemecahan molekul air menjadi unsur-unsur pembentuknya. Hidrogen diperoleh dengan cara elektrolisis larutan elektrolit kuat salah satunya adalah dengan metode elektrolisis larutan  $NaHCO_3$  (Soda kue) menurut persamaan reaksi sebagai berikut:

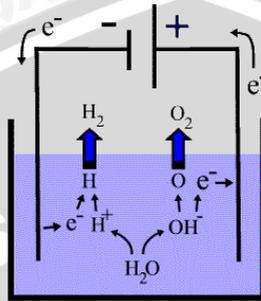




Anoda yang baik adalah logam yang sulit teroksidasi. Pada anoda terjadi proses oksidasi  $\text{H}_2\text{O}$  menjadi ion  $\text{H}^+$  dan terjadi pelepasan gas  $\text{O}_2$ . Sedangkan katoda yang baik adalah logam yang mudah melepas gas  $\text{H}_2$ . Anoda Pt dan Ir yang digunakan adalah anoda yang baik. Demikian juga Ni dan *stainless steel* yang digunakan sebagai katoda, sangat baik dalam melepas gas  $\text{H}_2$  dan konduktivitas listriknya tinggi sehingga arus listrik yang mengalir relatif besar dan dapat terbaca oleh amperemeter (Hiskia, 1992).

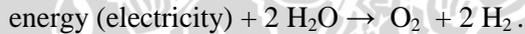
Dalam elektrolisis air digunakan arus listrik DC dari baterai atau catu daya yang dapat menghasilkan arus searah. Untuk mempercepat reaksi, air ditambahkan dengan katalis yaitu berupa larutan elektrolit, karena larutan elektrolit banyak mengandung ion-ion yang dapat digunakan untuk menghantarkan arus listrik dari katoda ke anoda. Proses pembentukan gas hidrogen ditandai dengan pemecahan molekul air oleh energi listrik menjadi ion-ion hidrogen dan oksihidrogen. Ion hidrogen cenderung kekurangan elektron, ion hidrogen akan terikat dengan elektron sehingga terbentuk atom hidrogen. Atom hidrogen ini akan semakin bertambah dengan bertambahnya elektron bebas kemudian terbentuklah molekul-molekul gas disekitar katoda. Katoda yang digunakan umumnya berupa logam seperti platinum, tembaga, baja dan besi. Ion oksihidrogen cenderung kelebihan elektron sehingga akan melepaskan elektron dan terbentuklah atom oksigen. Atom oksigen akan di Anoda. Proses elektrolisis dan reaksi yang pembentukan gas hidrogen disajikan dalam bentuk gambar 2.1 dibawah ini:

**Electrolysis:** Splitting water with electricity to produce hydrogen and oxygen:



Gambar 2.1 Proses elektrolisis air

Secara keseluruhan hasil reaksi yang terjadi di katoda dan di anoda disederhanakan menjadi :



untuk memperoleh volume gas hidrogen dalam proses elektrolisis air diperoleh berdasarkan persamaan 2.1 sebagai berikut:

$$V_{\text{theo}} = \frac{RIt}{FPz} \quad (2.1)$$

R = Konstanta yang besarnya 8.314 joule/molK

I = Arus (Ampere)

T = Suhu (K)

t = Waktu (s)

F = Konstanta Faraday 96485 C/mol

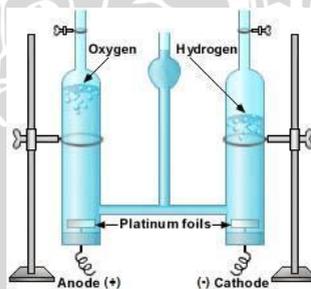
$P =$  Tekanan ambient yang besarnya  $10^5$  Pascal

$z =$  Nomor atom (hidrogen=2)

Tidak semua energi yang dilepas oleh listrik mampu menghasilkan gas hidrogen hal ini disebabkan adanya energi yang hilang menjadi panas, serta disebabkan tidak semua reaksi dapat berlangsung secara spontan. Sehingga untuk menentukan efisiensinya dengan membandingkan volume gas yang dihasilkan dengan volume maksimum teori digunakan persamaan 2 sebagai berikut.

$$\text{Efisiensi (dlm\%)} = \frac{V_{\text{produkt}}}{V_{\text{teori}}} \times 100\% \quad (2.2)$$

Peralatan elektrolisis air ini pertama kali ditemukan oleh Hoffman seperti disajikan dalam gambar 2.2 dibawah ini.



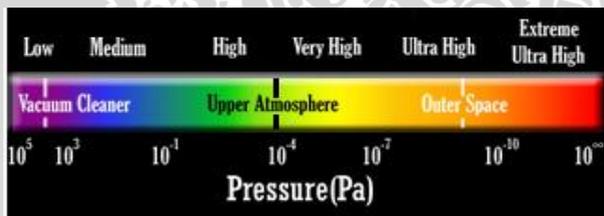
Gambar 2.2 *Hoffman electrolysis apparatus* digunakan untuk elektrolisis air

hidrogen dalam jumlah kecil juga dapat dibuat dengan mereaksikan logam dengan asam encer, contohnya:



## 2.4 Ruang Hampa

Ruang hampa udara atau vakum merupakan ruang gas yang memiliki tekanan lebih rendah dari tekanan atmosfer. Semakin rendah tekanan suatu ruang hampa maka tingkat kehampaan ruang tersebut semakin tinggi, sesuai spektrum ruang hampa yang dibagi kedalam beberapa sektor seperti gambar 2.3 di bawah ini



Gambar 2.3 Jangkauan kehampaan

1. Kehampaan rendah (*Low vacuum*)  
Suatu ruang dikatakan berkehampaan rendah jika memiliki tekanan antara  $10^5$ - $4 \cdot 10^4$  Pa. pada umumnya ruangan ini digunakan sebagai media pengangkatan, pengisapan, pembersihan, penyaringan dan pembentukan lapisan tipis.
2. Kehampaan medium (*Medium vacuum*)

Pada tingkat ini ruangan hampa memiliki tekanan antara  $4 \cdot 10^4 - 10^2$  Pa ( $10^{-1}$  torr) yang digunakan sebagai media pembungkusan, pendeteksian kebocoran dan perawatan panas.

3. Kehampaan tinggi (*High vacuum*)

Pada tingkat ini ruangan hampa memiliki tekanan antara  $10^2 - 10^{-2}$  Pa ( $1 - 10^{-4}$  torr). Aplikasi dari kehampaan tinggi ini sebagai media isolasi atau penyekatan yang berkenaan dengan panas, tabung dielektrik lampu dan industri semikonduktor.

4. Kehampaan sangat tinggi (*Very high vacuum*)

Ruang hampa ini memiliki tekanan antara  $10^2 - 10^{-6}$  Pa ( $10^4 - 10^{-8}$  torr) yang digunakan sebagai media percepatan (*accelerator*), *spectrometer massa*, mesin pemisah isotop, mikroskop elektron dan pelapisan optik.

5. Kehampaan ultra tinggi (*Ultra high vacuum*)

Pada tingkat ini ruangan hampa memiliki tekanan lebih rendah dari  $10^{-6}$  Pa dan digunakan sebagai ruangan simulasi.

(Delchar, 2003)

### 2.4.1 Metode Pengukuran Ruang Hampa

Metode yang digunakan dalam pengukuran ruang hampa tergantung dari besarnya lebar pengukuran tekanan yang akan diukur, dimana setiap spektrum ruang hampa memiliki jangkauan kehampaan yang berbeda. Ada dua macam pengukuran yaitu (delchar, 2003):

1. Pengukuran langsung (*Direct pressure measurement*)

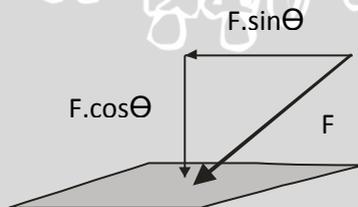
Pengukuran langsung yaitu pengukuran berdasarkan perpindahan (*displacement*) berbagai materi akibat tekanan gas. Pengukuran secara langsung ini memiliki batas operasi sekitar  $10^{-3}$  Pa. hal ini disebabkan gaya gas yang bekerja dibawah tekanan  $10^{-3}$  Pa menyebabkan perpindahan materi yang terlalu kecil sehingga sulit untuk menentukan nilai ketepatan pengukuran.

2. Pengukuran tak langsung (*Indirect pressure measurement*) Tekanan pada pengukuran tak langsung ini ditetapkan sebagai suatu fungsi yang bergantung pada sifat-sifat gas, seperti konduktivitas panas atau efisiensi ionisasi, sehingga hasil pengukuran tergantung pada jenis molekul gas. Beberapa metode pengukuran tak langsung ini antara lain *pirani gauge*, ionisasi dan *spinning rotor*.

#### 2.4.2 Prinsip Dasar Tekanan

Bila permukaan suatu zat (padat, cair dan gas) menerima gaya-gaya luar maka bagian permukaan zat yang menerima gaya tegak lurus akan mengalami tekanan (tertekan). (werlin, 1987)

Tekanan didefinisikan sebagai rasio gaya terhadap luasan dimana gaya tersebut beraksi. Gaya harus tegak lurus terhadap luasan, dengan kata lain komponen tegak lurus terhadap permukaan luas  $F \cdot \cos\theta$  dalam bentuk seperti gambar dibawah ini:



Sehingga

$$P = \frac{F}{A} \quad \text{atau} \quad P = \frac{F \cos \theta}{A} \quad (2.3)$$

Dimana:

P = Tekanan (pascal)

F = Gaya (newton)

A = Luas permukaan (m<sup>2</sup>)

Satuan standart tekanan dalam SI adalah Nm<sup>-2</sup> atau Pascal. Kebanyakan dalam penggunaan pengukuran tekanan tabung hampa sering menggunakan satuan milibar, torr dan Psi. konversi satuan tekanan terlihat dalam tabel 2.1 dibawah ini.

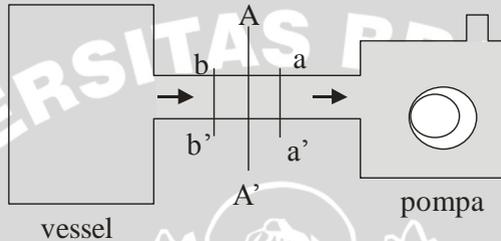
Tabel 2.1: Tabel konversi satuan tekanan

Units	Milibar	Torr	Pascal
1 milibar	1	0.75	100
1 torr	1.33	1	133
1 pascal	0.01	0.075	1
1 atmosphere	1013	760	101,325

### 2.4.3 Kecepatan Aliran Gas

Aliran gas dari satu ruang ke ruang yang lain terjadi karena terdapat beda tekanan, biasanya gas mengalir dari tekanan tinggi ke

tekanan rendah. Aliran gas bisa juga disebabkan karena adanya pemompaan pada ruang hampa. Besarnya kecepatan aliran gas bergantung dari kecepatan pemompaan. Proses tersebut tampak pada gambar 2.4 sebagai berikut



Gambar 2.4 Prinsip aliran gas

Aliran gas diukur dari volume gas antara aa' dan bb'. Besarnya kecepatan aliran gas ( $S$ ) dalam waktu  $t$  didaerah yang dibatasi tersebut adalah  $V/t$ . Satuan kecepatan aliran gas adalah liter per second.

$$S = \frac{V}{t} \quad (2.4)$$

Selain kecepatan aliran gas terdapat juga kecepatan aliran massa ( $Q$ ) yaitu besarnya aliran gas pada tekanan ( $P$ ) pada valume ( $V$ ) yang dibatasi daerah aa' dan bb' tiap satuan waktu. Satuannya adalah pascal meter<sup>3</sup>/sec atau torr liter/sec.

## 2.5 Pirani Gauge

Pirani gauge tersusun dari kawat logam berupa platinum, tungsten atau jenis logam lain yang memiliki koefisien temperatur yang tinggi terhadap hambatan listriknya, dan digunakan untuk mengukur tekanan. Kawat dipanaskan dengan cara kawat tersebut

dialiri arus listrik dan didinginkan oleh gas disekitarnya. Apabila tekanan gas berkurang, efek pendinginan akan berkurang, sehingga kesetimbangan suhu kawat akan meningkat. Hambatan kawat merupakan fungsi dari perubahan suhu kawat menurut persamaan sebagai berikut:

$$\Delta T = \frac{I_0^2 R_0 \Omega_0}{(1 - \alpha I_0^2 \Omega_0)} \quad (2.5)$$

Dimana:

$I_0$  = Arus RMS dalam filament pirani

$R_0$  = Hambatan kawat pijar pada suhu referensi

$\alpha$  = Tempco kawat

$\Delta T$  = Perubahan kenaikan suhu kawat terhadap suhu referensi

$\Omega_0$  = Hambatan termal dari filament dalam vakum ( $^{\circ}C/W$ ).

Sedangkan fungsi hambatan kawat pijar berdasarkan fungsi perubahan suhu kawat pijar adalah sebagai berikut.

$$R(\Delta T, 0) = \frac{R_0}{1 - \alpha I_0^2 \Omega_0} \quad (2.6)$$

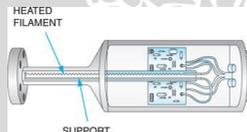
Apabila tekanan gas dinaikkan dari nol, pemanasan kawat pijar (filament) tidak hanya terjadi akibat pengurangan oleh radiasi dan konduksi sepanjang ujung kawat tapi juga dengan memanaskan molekul gas dan memberinya kenaikan energi kinetik. Sehingga apabila tekanan bertambah,  $\Omega$  menurun dari nilai vakum nya. Pada tekanan rendah (dibawah 10 mmHg) hambatan termal diberikan persamaan:

$$\Omega(P) = \Omega_0(1 - \sigma P) \quad (2.7)$$

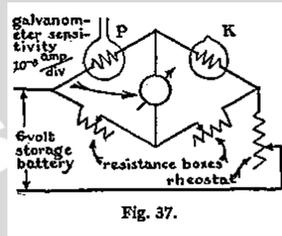
Dimana  $\sigma$  adalah konduktivitas panas gas yang bergantung pada bentuk geometri kawat pijar (filament). Bila persamaan 2.5 disubstitusikan ke persamaan 2.6 dapat dilihat bahwa hambatan filament pirani gauge dirumuskan.

$$R(P) = R(\Delta T, 0) \left[ 1 - \alpha \frac{I_0^2 \Omega_0 \Delta P}{1 - \alpha I_0^2 \Omega_0} \right] \quad (2.8)$$

Jangkauan kerja linear dari kebanyakan pirani gauge adalah dari  $10^{-5}$  -  $1$  mmHg, meskipun modifikasi-modifikasi membolehkan pengukuran tekanan lebih rendah dari  $5 \cdot 10^{-9}$  mmHg. *Pirani gauge* juga dapat dioperasikan dalam sistem umpan balik *loop* tertutup. Pada mode operasi ini, jembatan wheatsone diseimbangkan oleh tekanan referensi Pr. Bila P meningkat terhadap Pr, hambatan thermal menurun, dan *filament* pirani mendingin bila temperature menurun menyebabkan hambatannya menurun. Menurunnya hambatan menyebabkan keluaran jembatan meningkat, meningkatnya Vo disediakan untuk meningkatkan tegangan sepanjang jembatan. Karena itu meningkatnya disipasi energi dalam *filament* pirani dapat meningkatkan hambatan dan temperature sehingga mengembalikan keseimbangan jembatan. Resistor lain pada jembatan wheatstone diasumsikan mempunyai hambatan thermal dan tempcos yang sangat rendah.



Gambar 2.5 Menunjukkan prinsip kerja dari pengukuran tekanan menggunakan pirani gauge.



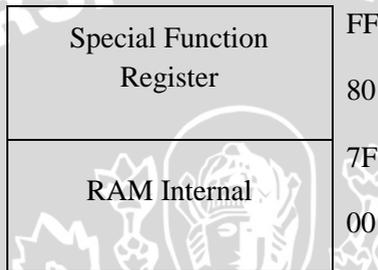
Gambar 2.6 Rangkaian jembatan wheatstone untuk mengukur tekanan

Keseimbangan rangkaian jembatan sangat bergantung dari nilai hambatan-hambatannya. Nilai hambatan diatas sangat bergantung pada suhu kawat. Hal ini disebabkan karena perubahan suhu *filament* menyebabkan perubahan konduktivitas panas dari gas yang tersisa. Sehingga pergeseran jarum galvanometer akan menunjukkan tekanan pada gas sisa.

## 2.6 Mikrokontroler AT89S52

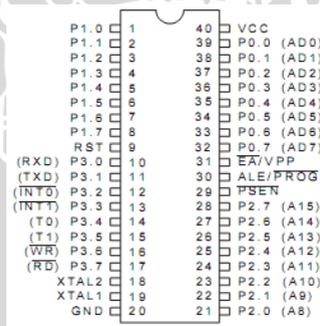
Mikrokontroler AT89S52 adalah mikrokomputer CMOS 8 bit dengan 8 KB *Flash Programmable and Erasable Read Only Memory* (PEROM). Mikrokontroler berteknologi memori *non-volatile* berkepadatan tinggi dari Atmel kompatibel dengan mikrokontroler MCS-51 yang telah menjadi standar industri baik dalam jumlah pin IC maupun set instruksinya.

AT89S52 mempunyai memori yang terdiri dari RAM internal dan *Special Function Register*. RAM internal berukuran 256 byte dan beralamatkan 00H-7FH. RAM internal terdiri dari delapan buah register (R0-R7) yang membentuk register banks. *Special Function Register* yang berjumlah 21 buah berada dialamat 80H-FFH. RAM berbeda lokasi dengan Flash PEROM dengan alamat 000H-7FFH.



Gambar 2.7 Alamat RAM internal

AT89S52 mempunyai 40 pin yang sesuai dengan mikrokontroler 8031 dan memiliki susunan pin seperti gambar 2.8 di bawah ini:



Gambar 2.8 Susunan Pin mikrokontroler AT89S52

Pada gambar diatas terlihat bahwa terdapat empat port untuk I/O data dan tersedia pula akumulator, register, RAM, *stack pointer*, *Aithmetic Logic Unit* (ALU), pengunci (Latch), dan rangkaian osilator yang membuat AT89S52 dapat beroperasi hanya dengan sekeping IC. Berikut penjelasan masing-masing pin:

- Pin 1 sampai 8

Pin 1 sampai 8 adalah port 1 yang merupakan saluran atau bus I/O 8 bit dua arah dengan *internal pull-up* yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan seperti mengendalikan empat input TTL. Port ini juga digunakan sebagai saluran alamat saat pemrograman dan verifikasi.

- Pin 9

Merupakan masukan reset (aktif tinggi). Pulsa transisi dari rendah ke tinggi akan me-reset mikrokontroler ini.

- Pin 10 sampai 17

Port 3 merupakan saluran atau bus I/O 8 bit dua arah dengan *internal pull-up* yang memiliki fungsi pengganti. Bila fungsi pengganti tidak dipakai maka dapat digunakan sebagai port parallel 8 bit serbaguna. Selain itu, sebagian port 3 dapat berfungsi sebagai sinyal kontrol saat proses pemrograman dan verifikasi. Adapun fungsi penggantinya diperlihatkan tabel 2.2 dibawah ini.

Tabel 2.2 Fungsi alternatif port 3 mikrokontroler AT89S52

Bit	Nama	Fungsi alternatif
-----	------	-------------------

P3.0	RXD	Untuk menerima data port serial
P3.1	TXD	Untuk mengirim data port serial
P3.2	INT0	Interupsi eksternal 0
P3.3	INT1	Interupsi eksternal 1
P3.4	T0	Input eksternal waktu/pencacah 0
P3.5	T1	Input eksternal waktu/pencacah 1
P3.6	WR	Jalur menulis memori data eksternal
P3.7	RD	Jalur membaca memori data eksternal

- Pin 18 dan 19

Jalur ini merupakan masukan ke penguat osilator berpenguat tinggi. Mikrokontroler ini memiliki seluruh rangkaian osilator yang diperlukan pada chip, kecuali rangkaian kristal yang mengendalikan frekuensi osilator. Oleh karenanya, pin 18 dan 19 sangat diperlukan untuk dihubungkan dengan kristal. Selain itu, XTAL 1 juga dapat digunakan sebagai input untuk *inverting osilator amplifier* dan input ke rangkaian *internal clock* sedangkan XTAL 2 merupakan output dari *inverting osilator amplifier*.

- Pin 20

Merupakan ground sumber tegangan dan diberi simbol GND.

- Pin 21 sampai 28

Pin ini adalah port 2 yang merupakan saluran atau bus I/O 8 bit dua arah dengan internal *pull-up*. Saat pengambilan data dari program memori eksternal atau selama pengaksesan data memori eksternal

yang menggunakan alamat 16 bit, port 2 berfungsi sebagai saluran/bus alamat tinggi (A8-A15).

- Pin 29

*Program Store Enable* (PSEN) merupakan sinyal pengontrol untuk mengakses program memori eksternal agar masuk kedalam bus selama proses pemberian atau pengambilan instruksi (*fetching*).

- Pin 30

*Address Latch Enable* (ALE)/PROG merupakan penahan alamat memori eksternal (pada port 1) selama mengakses ke memori eksternal. Pin ini juga berfungsi sebagai pulsa atau sinyal input pemrograman (PROG) selama proses pemrograman.

- Pin 31

*External Access Enable* (EA) merupakan sinyal control untuk pembacaan memori program. Apabila di-set rendah (L) maka mikrokontroller akan melaksanakan seluruh instruksi dari memori program eksternal, sedangkan jika di-set tinggi (H) maka mikrokontroller akan melaksanakan instruksi dari memori program internal ketika isi *program counter* kurang dari 4096. Port ini juga berfungsi sebagai tegangan pemrograman ( $V_{pp}=+12V$ ) selama proses pemrograman.

- Pin 32 sampai 39

Port 0 yang merupakan saluran bus I/O 8 bit *open collector* dapat juga digunakan sebagai multipleks bus alamat rendah dan bus data selama adanya akses ke memori program eksternal. Saat proses pemrograman dan verifikasi, port 0 digunakan sebagai saluran bus/data. *Pull-up* eksternal diperlukan selama proses verifikasi.

- Pin 40

Merupakan sumber tegangan positif yang diberi simbol  $V_{cc}$ .

## 2.6.1 Komunikasi Serial Mikrokontroler AT89S52

Komunikasi serial ialah pengiriman data secara serial (data dikirim satu per satu secara berurutan) sehingga komunikasi serial jauh lebih lambat dari pada komunikasi parallel. Serial port lebih sulit ditangani karena peralatan yang dihubungkan ke serial port harus berkomunikasi menggunakan transmisi serial sedangkan data dikomputer diolah secara parallel. Oleh karena itu data dari atau ke serial port harus dikonversikan menjadi bentuk parallel agar bisa digunakan. Jika menggunakan perangkat keras, hal ini bisa dilakukan oleh *Universal Asynchronous Receiver Transmitter* (UART). Untuk melayani perangkat keras ini dibutuhkan perangkat lunak untuk menangani register UART.

Kelebihan komunikasi serial adalah jangkauan panjang kabel yang lebih jauh dibandingkan parallel karena serial port mengirimkan logika 1 dengan kisaran tegangan -3 volt hingga -25 volt dan logika 0 dengan kisaran tegangan +3 hingga +25 volt sehingga kehilangan daya karena panjangnya kabel bukan masalah utama. Sedangkan port parallel yang menggunakan level TTL yang berkisar 0 V untuk logika 0 dan +5 V untuk logika 1 sehingga untuk menggunakan kabel yang panjang akan sangat memakan daya.

Umumnya mikrokontroler AT89S52 berkomunikasi dengan PC menggunakan port serial. Dalam komunikasi serial dikenal 2 macam cara pengiriman (transmisi) data yaitu secara *full-duplex*, artinya port serial bisa menerima dan mengirim pada waktu yang bersamaan. Kemudian *half-duplex*, yaitu port serial bisa mengirim dan menerima data dalam waktu yang tidak bersamaan.

Pengiriman dan penerimaan data port serial melalui register SBUF yang terletak pada alamat 99H. Register ini berfungsi sebagai *buffer* sehingga saat mikrokontroler ini membaca data yang pertama

sementara data kedua belum diterima secara penuh, data ini tidak akan hilang.

Port serial bisa digunakan dalam 4 mode kerja. Dari ke-empat mode tersebut, 1 mode diantaranya bekerja secara sinkron dan 3 lainnya bekerja secara asinkron. Ke-empat mode kerja tersebut antara lain adalah:

1. Mode 0, mode ini bekerja secara sinkron, data serial dikirim dan diterima melalui kaki P3.0 (Rx/D), sedangkan kaki P3.1 (Tx/D) dipakai untuk menyalurkan detak pendorong data serial yang dibangkitkan Mikrokontroler. Kecepatan pengiriman data adalah  $1/12$  frekuensi osilator.
2. Mode 1, mode ini bekerja secara asinkron. Pada mode ini data dikirim/diterima 10 bit sekaligus, diawali dengan 1 bit start, disusul dengan 8 bit data yang dimulai dari bit yang bobotnya paling kecil, diakhiri dengan 1 bit stop. Kecepatan pengiriman data bisa diatur sesuai keinginan. Mode ini yang umum dikenal sebagai UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*).
3. Mode 2, data dikirim dan diterima 11 bit sekaligus, diawali dengan 1 bit start, disusun 8 bit data, kemudian bit ke-9 diatur lebih lanjut dan diakhiri dengan 1 bit stop. Kecepatan pengiriman data bisa dipilih antara  $1/32$  atau  $1/64$  frekuensi kristal yang digunakan.
4. Mode 3, mode ini sama dengan mode 2, hanya saja kecepatan pengiriman data (*baudrate*) bisa diatur sesuai dengan keperluan.

### 2.6.2 Peralatan Komunikasi Port Serial

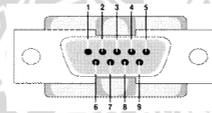
Perangkat keras pada komunikasi port serial dibagi menjadi dua kelompok yaitu *Data Communication Equipment* (DCE) dan *Data Terminal Equipment* (DTE). Contoh DCE adalah *modem*, *plotter*, *scanner* dan lain-lain, sedangkan contoh DTE ialah terminal di

komputer. Spesifikasi elektrik serial port merujuk pada *Elektronic Industry Association* (EIA) :

- “Space” (logika 0) ialah tegangan antara +3 hingga +25 volt
- “Mark” (logika 1) ialah tegangan antara -3 hingga -25 volt
- Daerah antara +3 volt hingga -3 volt tidak didefinisikan atau tidak dipakai.
- Tegangan open circuit tidak boleh melebihi 25 volt.
- Arus hubungan singkat tidak boleh melebihi 500 mA



Gambar 2.9 Port DB9 Jantan



Gambar 2.10 Port DB9 Betina.

Tabel 2.3 Fungsi pin port serial

Pin	Sinyal
1	Data carrier detect
2	Received data
3	Transmitted data

4	Data terminal ready
5	Sinyal ground
6	Data set ready
7	Request to send
8	Clear to send
9	Ring indicator

### 2.6.3 Alamat Port dan IRQ

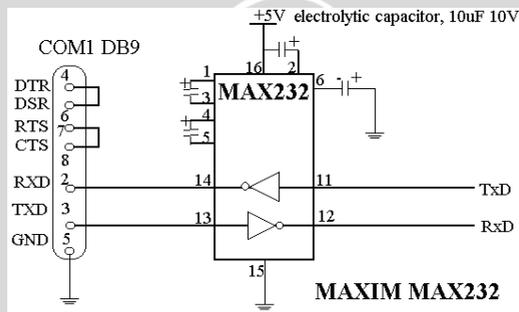
Alamat standart serial port adalah sebagaimana diperlihatkan dalam tabel 2.4 dibawah ini, walaupun tetap ada kemungkinan ada komputer yang memiliki alamat port dan IRQ yang berbeda dengan alamat dibawah ini.

Tabel 2.4 Alamat standart Port dan IRQ pada komunikasi serial

Nama	Alamat	IRQ
COM 1	3F8	4
COM 2	2F8	3
COM 3	3E8	4
COM 4	2E8	3

## 2.6.4 Konverter Logika RS-232

Jika peralatan yang dipakai menggunakan logika TTL, sinyal serial port harus kita konversikan dahulu pulsa TTL sebelum digunakan. Sebaliknya, sinyal dari peralatan yang digunakan harus dikonversi ke logika RS-232 sebelum dimasukkan ke serial port. Konverter yang paling mudah digunakan adalah MAX-232. Didalam IC ini terdapat *Charge Pump* yang akan membangkitkan +10 volt dan -10 volt dari sumber +5 volt tunggal.

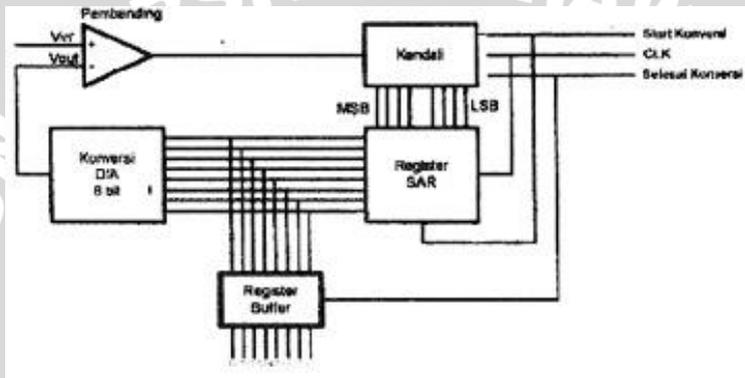


Gambar 2.11 Rangkaian RS-232

## 2.6.5 Analog to Digital Converter (ADC)

*Analog to digital converter* (ADC) adalah sebuah piranti yang dirancang untuk mengubah sinyal-sinyal analog menjadi sinyal-sinyal digital. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam penggunaan ADC ini adalah tegangan maksimum yang dapat dikonversikan oleh ADC dari rangkaian pengondisi sinyal, resolusi, pewaktu eksternal ADC, tipe keluaran, ketepatan dan waktu konversinya.

Ada banyak cara yang dapat digunakan untuk mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital yang nilainya proporsional. Jenis ADC yang biasa digunakan dalam perancangan adalah jenis *successive approximation conversion* atau pendekatan bertingkat yang memiliki waktu konversi jauh lebih singkat dan tidak bergantung pada nilai masukan analognya atau sinyal yang akan diubah.



Gambar 2.12 Diagram blok ADC

Secara singkat prinsip kerja dari *converter* A/D adalah semua bit-bit diset kemudian diuji, dan bilamana perlu sesuai dengan kondisi yang telah ditentukan. Dengan rangkaian yang paling cepat, konversi akan diselesaikan sesudah 8 clock, dan keluaran D/A merupakan nilai analog yang ekuivalen dengan nilai register SAR.

Apabila konversi telah dilaksanakan, rangkaian kembali mengirim sinyal selesai konversi yang berlogika rendah. Sisi turun sinyal ini akan menghasilkan data digital yang ekuivalen ke dalam *register buffer*. Dengan demikian, keluaran digital akan tetap tersimpan sekalipun akan dimulai siklus konversi yang baru.

## Mode Operasi ADC0804

### 1. Mode Operasi Kontinyu

Agar ADC 0804 dapat dioperasikan pada mode operasi kontinyu (proses membaca terus menerus dan tanpa proses operasi jabat tangan), maka penyemat CS dan RD ditanahkan, sedangkan penyemat WR dan INTR tidak dihubungkan kemanapun. Prinsip kerja operasi kontinyu ini yaitu ADC akan memulai konversi ketika INTR kembali tidak aktif (logika '1').

Setelah proses konversi selesai INTR akan aktif (logika '0'). Untuk memulai konversi, pertama kali WR harus ditanahkan terlebih dahulu, hal ini digunakan untuk mereset SAR. Namun pada konversi berikutnya untuk mereset SAR dapat menggunakan sinyal INTR saat aktif (logika '0') dan mulai konversi saat tidak aktif (logika '1') proses konversi dimulai kembali.

### 2. Mode Operasi Hand-Shaking

ADC 0804 dioperasikan pada mode hand shaking. Agar ADC dapat bekerja, CS harus berlogika '0'. Ketika WR berlogika '0', register SAR akan diseret, sedangkan ketika sinyal WR kembali '1', maka proses konversi segera dimulai. Selama konversi sedang berlangsung sinyal INTR akan tidak aktif (berlogika '1'), sedangkan saat konversi selesai ditandai dengan aktifnya sinyal INTR (logika '0').

Setelah proses konversi selesai data hasil konversi tetap tertahan pada buffer ADC. Data hasil konversi tersebut akan dikeluarkan dengan mengirimkan sinyal RD berlogika '0'. Setelah adanya sinyal RD ini, maka sinyal INTR kembali tidak aktif.

## 2.7 LabVIEW

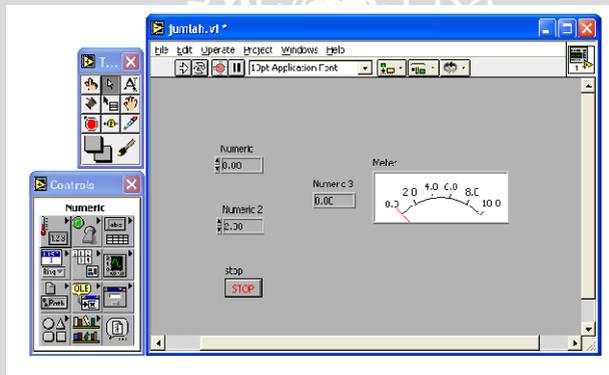
*Laboratory virtual instrument engginering workbench* atau yang sering disingkat LabVIEW merupakan lingkungan pengembang yang berdasar pada bahasa pemrograman secara grafis G. LabVIEW terintegrasi penuh untuk komunikasi komputer dengan perangkat keras lainnya seperti GPIB, VXI, PXI, RS-232, RS-485 dan papan data akuisisi *plug-in*. Banyaknya fitur komunikasi yang diberikan software LabVIEW, menjadi alasan utama mengapa dipakainya software ini.

Program LabVIEW disebut *instrument virtual* karena mempunyai bentuk tampilan menyerupai tampilan fisik instrument yang ditampilkan melalui konsol penampil atau monitor. LabVIEW berbeda dengan bahasa pemrograman berbasis teks, dimana dalam LabVIEW lebih mengandalkan pemrograman grafis sehingga memudahkan pengguna dalam mengimplementasikan program yang akan dibuat. Selain itu untuk menguasai program LabVIEW tidak dibutuhkan kemampuan dalam bahasa pemrograman, sehingga sangat memudahkan pemakai.

Semua program LabVIEW mempunyai panel depan dan diagram blok. LabVIEW menyediakan mekanisme yang membolehkan data dengan mudah melintas antara panel depan dengan diagram blok.

## 2.7.1 Panel Depan

Panel depan merupakan antarmuka pengguna secara grafis atau sering disebut *Graphical User Interface* (GUI). Antarmuka ini mengumpulkan masukan pengguna dan menampilkan hasil keluaran program. Panel depan bisa berisi tombol putar, tombol tekan, grafik dan control-control serta indikator-indikator yang lain. Kontrol mensimulasikan tipe input dari tombol, atau *switch* yang menyatakan fungsi yang dibuat. Sedangkan indikator menampilkan data yang dihasilkan dari diagram blok ke panel depan seperti grafik dan i lampu indikator. Jadi pemakaian istilah kontrol artinya masukan dan pemakaian indikator sebagai keluaran



Gambar 2.13 Panel depan LabVIEW

## 2.7.2 Diagram Blok

Diagram blok adalah kode sumber (*source code*) untuk *instrument virtual*. *Source code* ditulis dalam bahasa pemrograman G. Diagram blok adalah data *executable* sesungguhnya dari panel depan program. Ikon dari diagram blok mempresentasikan

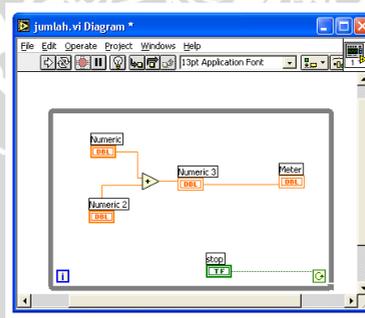
instrument virtual tingkat paling rendah, fungsi *built-in*, dan struktur kontrol program. Ikon ini disambung menggunakan kawat (*wire*) yang akan menyajikan aliran data. Eksekusi program G ditentukan oleh aliran data dan tidak oleh eksekusi linear dari baris kode. Konsep ini dikenal dengan pemrograman data alir.

Komponen dari diagram blok

Node : Elemen eksekusi program

Terminal : Port-port dimana data melintas antara diagram blok dan panel depan dan antara node-node dari diagram blok.

Wire : *path-path* data antar terminal



Gambar 2.14 Diagram blok software LabVIEW

### 2.7.3 Node

Node dapat disamakan dengan statemen, fungsi dan subrutin dalam bahasa pemrograman berbasis text. Terdapat empat tipe node, yaitu : fungsi, node sub VI, struktur dan *Code Interface Node* (CIN). Fungsi merupakan *node built-in* untuk melaksanakan operasi dasar

seperti penjumlahan, file I/O, atau format string. Fungsi perkalian merepresentasikan salah satu tipe dari node. Node sub VI adalah Vi yang didesain dan kemudian dipanggil dari program vi yang lain. Struktur, seperti *for loops* dan *while loops*, mengontrol aliran data. CIN adalah antarmuka antara diagram blok dan kode yang ditulis dalam bahasa C.

#### **2.7.4 Terminal**

Terminal dapat dianalogikan dengan parameter dan konstanta dalam bahasa pemrograman grafis teks. Terdapat tipe-tipe terminal yang berbeda, terminal kontrol dan indikator, terminal node, konstanta, dan terminal khusus yang dapat ditemui pada berbagai macam struktur. Dengan kata lain, terminal adalah titik yang dapat disipkan kabel (*wire*) agar dapat mengalir.

#### **2.7.5 Aliran Data**

LabVIEW mengikuti model aliran data untuk eksekusi program. Diagram blok terdiri dari node seperti VI, struktur, dan terminal dari panel depan. Node ini disambungkan dengan kabel (*wire*) yang mendefinisikan aliran data melalui program. Eksekusi node terjadi ketika semua inputnya tersedia. Saat node selesai mengeksekusi, node tersebut melepaskan semua outputnya ke node berikutnya dalam jalur aliran data (Bishop, 1999)

### **2.8 Sistem Kontrol**

#### **2.8.1 Pengertian Sistem Kontrol**

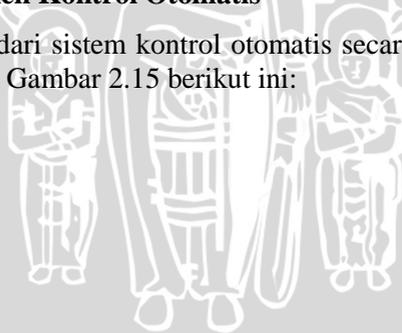
Dalam industri, sistem kontrol merupakan sebuah sistem yang meliputi pengontrolan variabel-variabel seperti temperatur (temperature), tekanan (pressure), aliran (flow), level (level), dan kecepatan (speed) Variabel-variabel ini merupakan keluaran yang harus dijaga tetap sesuai dengan keinginan yang telah ditetapkan terlebih dahulu oleh operator yang disebut dengan setpoint. Sistem yang dikontrol (bangunan) agar variabel keluaran dijaga tetap pada kondisi tertentu disebut dengan plant.

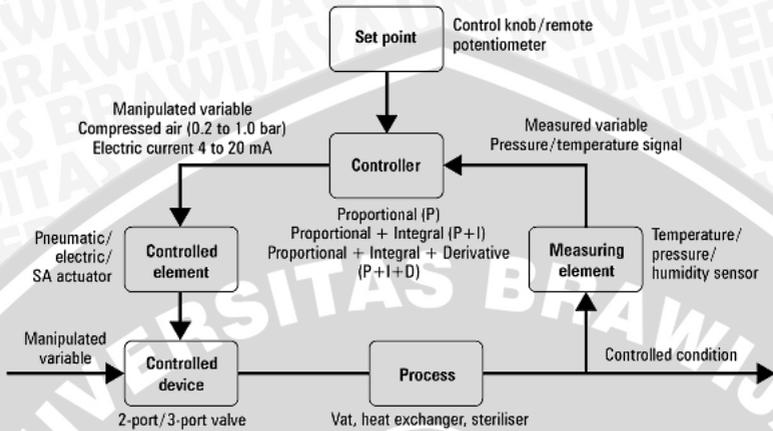
Salah satu tugas komponen kontroler adalah mereduksi sinyal kesalahan, yaitu perbedaan antara sinyal setting dan sinyal aktual. Hal ini sesuai dengan tujuan sistem kontrol adalah mendapatkan sinyal aktual senantiasa (diinginkan) sama dengan sinyal setting. Semakin cepat reaksi sistem mengikuti sinyal aktual dan semakin kecil kesalahan yang terjadi, semakin baiklah kinerja sistem kontrol yang diterapkan.

Apabila perbedaan antara nilai setting dengan nilai keluaran relatif besar, maka kontroler yang baik seharusnya mampu mengamati perbedaan ini untuk segera menghasilkan sinyal keluaran untuk mempengaruhi plant. Dengan demikian sistem secara cepat mengubah keluaran plant sampai diperoleh selisih antara setting dengan besaran yang diatur sekecil mungkin.

### **2.8.2 Elemen-Elemen Kontrol Otomatis**

Elemen-elemen dari sistem kontrol otomatis secara blok diagram diperlihatkan dalam Gambar 2.15 berikut ini:



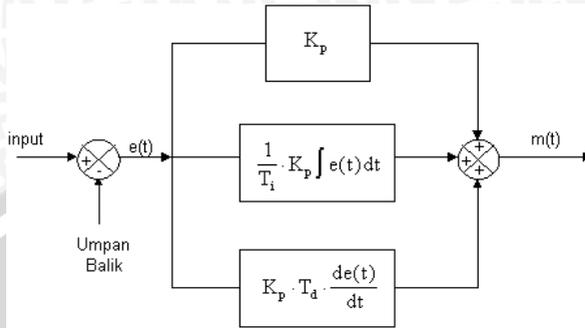


Gambar 2.15 Elemen sistem kontrol otomatis

Dari gambar diatas mula-mula sensor membaca variabel proses seperti suhu, tekanan, aliran. Selanjutnya kontroler akan membaca variabel terukur dari sensor dan membandingkan dengan set point. Selisih set point dengan variabel yang terukur oleh sensor disebut sebagai sinyal kesalahan (*error*). Sinyal kesalahan ini sebagai variabel masukan kontrollor yang akan memberikan sinyal koreksi ke aktuator. Selanjutnya aktuator akan menyetel elemen pengontrol paling akhir seperti klep, *valve* atau variabel kecepatan pompa. Proses ini berlangsung secara kontinyu hingga dicapai keadaan proses sistem sama persis dengan *setpoint*.

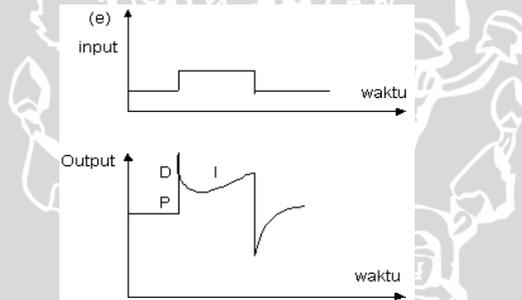
### 2.8.3 Kontroler PID

Setiap kekurangan dan kelebihan dari masing-masing kontroler P, I dan D dapat saling menutupi dengan menggabungkan ketiganya menjadi kontroler proposional plus integral plus diferensial. Elemen-elemen P, I dan D masing-masing secara keseluruhan bertujuan untuk mempercepat reaksi sebuah sistem, menghilangkan *offset* dan menghasilkan perubahan awal yang besar (Gunterus, 1994). Gambar 2.16 menunjukkan blok diagram kontroler PID.



Gambar 2.16 Blok diagram kontroler PID analog

Keluaran PID merupakan jumlahan dari keluaran kontroler proporsional, keluaran kontroler integral dan kontroler integral. Gambar 2.17 menunjukkan hubungan tersebut.



Gambar 2.17 Hubungan dalam fungsi waktu antara sinyal keluaran dengan masukan untuk kontroler PID

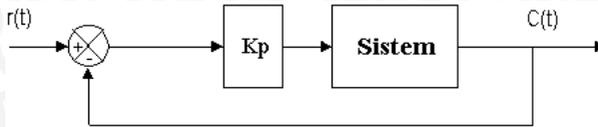
Karakteristik kontroler PID sangat dipengaruhi oleh kontribusi besar dari ketiga parameter P, I dan D. Penyetelan konstanta  $K_p$ ,  $T_i$ , dan  $T_d$  akan mengakibatkan penonjolan sifat dari masing-masing elemen. Satu atau dua dari ketiga konstanta tersebut dapat disetel lebih menonjol dari yang lain. Konstanta yang menonjol itulah akan memberikan kontribusi pengaruh pada respon sistem secara keseluruhan (Gunterus, 1994).

## 2.8.4 Penalaan Paramater Kontroler PID

Penalaan parameter kontroler PID selalu didasari atas tinjauan terhadap karakteristik yang diatur (Plant). Dengan demikian betapapun rumitnya suatu plant, perilaku plant tersebut harus diketahui terlebih dahulu sebelum penalaan parameter PID itu dilakukan. Karena penyusunan model matematik plant tidak mudah, maka dikembangkan suatu metode eksperimental. Metode ini didasarkan pada reaksi plant yang dikenai suatu perubahan. Dengan menggunakan metode itu model matematik perilaku plant tidak diperlukan lagi, karena dengan menggunakan data yang berupa kurva keluaran, penalaan kontroler PID telah dapat dilakukan. Penalaan bertujuan untuk mendapatkan kinerja sistem sesuai spesifikasi perancangan. Ogata menyatakan hal itu sebagai alat control (*controller tuning*) (Ogata, 1997). Dua metode pendekatan eksperimen adalah *Ziegler-Nichols* dan metode *Quarter decay*.

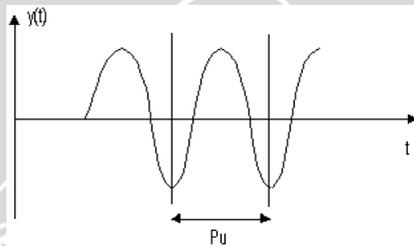
## 2.8.5 Metode Osilasi Ziegler-Nichols

Metode ini didasarkan pada reaksi sistem untaian tertutup. Plant disusun serial dengan kontroler PID. Semula parameter parameter integrator disetel tak berhingga dan parameter diferensial disetel nol ( $T_i = \infty$ ;  $T_d = 0$ ). Parameter proporsional kemudian dinaikkan bertahap. Mulai dari nol sampai mencapai harga yang mengakibatkan reaksi sistem berosilasi. Reaksi sistem harus berosilasi dengan magnitud tetap (*Sustain oscillation*) (Gunterus, 1994). Gambar 2.18 menunjukkan rangkaian untaian tertutup pada cara osilasi.



Gambar 2.18 Sistem untaian tertutup dengan alat kontrol proporsional

Nilai penguatan proporsional pada saat sistem mencapai kondisi *sustain oscillation* disebut *ultimate gain*  $K_u$ . Periode dari *sustained oscillation* disebut *ultimate period*  $T_u$ . Gambar 2.19 menggambarkan kurva reaksi untaian tertutup ketika berosilasi.



Gambar 2.19 Kurva respon sustain oscillation

Penalaan parameter PID didasarkan terhadap kedua konstanta hasil eksperimen,  $K_u$  dan  $P_u$ . Ziegler dan Nichols menyarankan penyetelan nilai parameter  $K_p$ ,  $T_i$ , dan  $T_d$  berdasarkan rumus yang diperlihatkan pada Tabel 2.5

Tabel 2.5 Konstanta kontroler hasil penalaan PID

Tipe kontroler	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$0,5 K_u$	-	-
PI	$0,45 K_u$	$0.5 P_u$	-
PID	$0.6 K_u$	$0.5 P_u$	$0.125P_u$

## 2.8.6 PID Digital

PID digital pada dasarnya merupakan suatu proses dari suatu program yang dijalankan menggunakan komputer, dimana kita memasukkan *setting point* (SP) dan *present value* (PV) kemudian data yang didapatkan diproses hingga dihasilkan kesalahan nol atau *setting point* sama dengan *present value*.

Untuk dapat mengimplementasikan sistem kendali PID pada komputer, PID terlebih dahulu kedalam persamaan diskrit.

$$C(t) = Kp.e(t) + Ki.\int e(t)dt + Kd.\frac{de(t)}{dt} \quad (2.9)$$

Kemudian dengan menggunakan transformasi  $z$

$$\begin{aligned} \frac{M(z)}{E(z)} &= Kp + Ki \frac{T}{2} \left[ \frac{z+1}{z-1} \right] + Kd \left[ \frac{z-1}{Tz} \right] \\ \frac{M(z)}{E(z)} &= \frac{Kp(z-1)(z) + (Ki \frac{T}{2})(z+1)(z) + \frac{Kd}{T}(z-1)(z-1)}{(z-1)(z)} \\ &= \frac{Kp(z^2 - z) + (Ki \frac{T}{2})(z^2 + z) + \frac{Kd}{T}(z^2 - 2z + 1)}{(z-1)(z)} \\ &= \frac{(Kp + Ki \frac{T}{2} + \frac{Kd}{T})z^2 + (-Kp + Ki \frac{T}{2} - 2 \frac{Kd}{T})z + \frac{Kd}{T}}{(z^2 - z)} \\ &= \frac{a_0 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}}{1 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}} \quad (2.10) \end{aligned}$$

Selanjutnya nilai  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_1$ , dan  $b_2$

$$a_0 = Kp + \frac{Ki.T}{2} + \frac{Kd}{T} = Kp\left(1 + \frac{T}{2.Ti} + \frac{Td}{T}\right)$$

$$a_1 = -Kp + \frac{Ki.T}{2} - 2\frac{Kd}{T} = Kp\left(-1 + \frac{T}{2Ti} - 2\frac{Td}{T}\right)$$

$$a_2 = \frac{Kd}{T} = \frac{Kp.Td}{T}$$

$$b_1 = -1$$

$$b_2 = 0$$

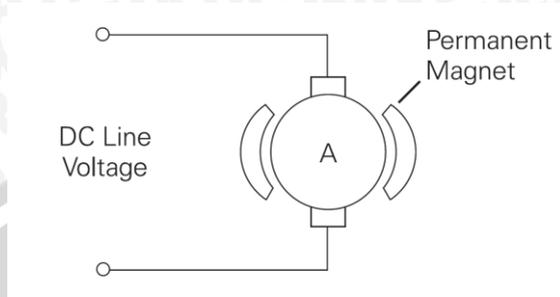
Dari persamaan 2.10 diatas akhirnya diperoleh fungsi PID dalam bentuk diskrit.

$$x(t) = e(t) - b_1 e(t-1) - b_2 e(t-2) \quad (2.11)$$

$$m(t) = a_0 x(t) + a_1 x(t-1) + a_2 x(t-2) \quad (2.12)$$

## 2.9 Motor DC

Motor listrik arus searah merupakan sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Motor arus searah, sebagaimana namanya, menggunakan arus langsung yang tidak langsung/*direct-unidirectional*. Motor DC digunakan pada penggunaan khusus dimana diperlukan penyalaan *torque* yang tinggi atau percepatan yang tetap untuk kisaran kecepatan yang luas.



Gambar 2.20 Skema motor DC

- **Kutub medan.** Secara sederhana digambarkan bahwa interaksi dua kutub magnet akan menyebabkan perputaran pada motor DC. Motor DC memiliki kutub medan yang stasioner dan dinamo yang menggerakkan *bearing* pada ruang diantara kutub medan. Motor DC sederhana memiliki dua kutub medan: kutub utara dan kutub selatan. Garis magnetik energi membesar melintasi bukaan diantara kutub-kutub dari utara ke selatan. Untuk motor yang lebih besar atau lebih kompleks terdapat satu atau lebih elektromagnet. Elektromagnet menerima listrik dari sumber daya dari luar sebagai penyedia struktur medan.
- **Dinamo.** Bila arus masuk menuju dinamo, maka arus ini akan menjadi elektromagnet. Dinamo yang berbentuk silinder, dihubungkan ke as penggerak untuk menggerakkan beban. Untuk kasus motor DC yang kecil, dinamo berputar dalam medan magnet yang dibentuk oleh kutub-kutub, sampai kutub utara dan selatan magnet berganti lokasi. Jika hal ini terjadi, arusnya berbalik untuk merubah kutub-kutub utara dan selatan dinamo.
- **Commutator.** Komponen ini terutama ditemukan dalam motor DC. Kegunaannya adalah untuk membalikan arah arus listrik dalam dinamo. *Commutator* juga membantu dalam transmisi arus antara dinamo dan sumber daya.

Keuntungan utama motor DC adalah sebagai pengendali kecepatan, yang tidak mempengaruhi kualitas pasokan daya. Motor ini dapat dikendalikan dengan mengatur:

- Tegangan dinamo – meningkatkan tegangan dinamo akan meningkatkan kecepatan
- Arus medan – menurunkan arus medan akan meningkatkan kecepatan.

Motor DC tersedia dalam banyak ukuran, namun penggunaannya pada umumnya dibatasi untuk beberapa penggunaan berkecepatan rendah, penggunaan daya rendah hingga sedang seperti peralatan mesin dan *rolling mills*, sebab sering terjadi masalah dengan perubahan arah arus listrik mekanis pada ukuran yang lebih besar. Juga, motor tersebut dibatasi hanya untuk penggunaan di area yang bersih dan tidak berbahaya sebab resiko percikan api pada sikatnya. Motor DC juga relatif mahal dibanding motor AC. Hubungan antara kecepatan, flux medan dan tegangan dinamo ditunjukkan dalam persamaan berikut:

$$E = K\Phi N \text{ dan } T = K\Phi I_a \quad (2.12)$$

Dimana:

$E$  = gaya elektromagnetik yang dikembangkan pada terminal dinamo (volt)

$\Phi$  = flux medan yang berbanding lurus dengan arus medan

$N$  = kecepatan dalam RPM (putaran per menit)

$T$  = *torque* elektromagnetik

$I_a$  = arus dinamo

$K$  = konstanta persamaan

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Tempat dan Waktu Penelitian**

Penelitian tugas akhir ini dilaksanakan di laboratorium Fisika Material Jurusan Fisika Universitas Brawijaya, mulai bulan Nopember 2007 sampai Maret 2008.

#### **3.2 Alat dan Bahan**

Dalam implementasi sistem suplai gas hidrogen untuk reaktor redoks ini dipergunakan alat-alat sebagai berikut:

1. Satu unit komputer pribadi (PC)
2. Satu unit perangkat antarmuka instrument ke komputer
3. Perangkat lunak labview 5.1 dari National Instrument
4. Satu unit sensor pirani gauge
5. Satu unit Thermovac TM 21
6. Satu unit alat vakum
7. Sistem operasi Windows XP
8. Kabel serial port
9. Generator hidrogen
10. Motor DC
11. Katup putar
12. Sumber tegangan DC

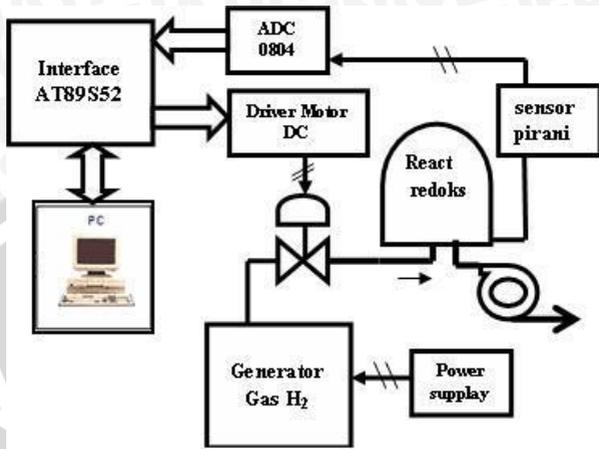
#### **3.3 Metode Pelaksanaan Tugas Akhir**

Proses pelaksanaan tugas akhir ini dilaksanakan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut:

1. Studi literatur mengenai spesifikasi peralatan baik yang akan dipakai maupun alat yang akan dibuat meliputi teori komunikasi serial, konversi analog ke digital, prinsip kerja motor DC, elektrolisis air, sistem pengontrolan secara PID, prinsip pengukuran tekanan menggunakan sensor pirani dan literatur-literatur lain yang diperlukan.
2. Perancangan perangkat keras meliputi rangkaian antarmuka (interface), rangkaian ADC, rangkaian driver motor DC, generator hidrogen, kontrol katup.
3. Perancangan dan implementasi perangkat lunak menggunakan software Labview 5.1 dari National Instrument.
4. Pengujian program pengendali instrument untuk pengukuran dan pengontrolan tekanan tabung hampa.
5. Penyempurnaan dan perbaikan dari kekurangan atau kesalahan program
6. Penyusunan dan penulisan tugas akhir yang mengacu pada kegiatan penelitian dan hasil pengujian.

### **3.4 Perancangan Perangkat Keras**

Perancangan instrument pengontrol tekanan tabung hampa dibuat berdasarkan blok diagram dari gambar 3.1. Pada gambar tersebut alat terbagi dalam beberapa sistem yaitu; Generator Hidrogen yang berfungsi memisahkan molekul air menjadi gas hidrogen dan oksigen, perangkat antarmuka (*interface*) berfungsi sebagai perantara antara perangkat keras dengan komputer. Jalur komunikasi yang digunakan adalah komunikasi serial. Rangkaian ADC 0804 digunakan untuk mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital 8 bit. Katup motor DC merupakan katup mekanik yang dikendalikan menggunakan sinyal listrik, digunakan untuk mengendalikan laju aliran gas hidrogen.



Gambar 3.1: Blok skema perancangan alat keseluruhan

Diagram blok tersebut menunjukkan gambaran sistem secara keseluruhan. Sinyal tekanan dari sensor pirani diterima oleh pengondisi sinyal yaitu Thermovac TM 21 untuk diolah menjadi tegangan analog antara 0-5 V. Tegangan analog ini akan bertambah apabila tekanan dalam tabung hampa ini meningkat dan akan menurun apabila tekanan dalam tabung hampa turun. Kemudian sinyal analog dari Thermovac TM21 akan dibaca oleh ADC (Analog to Digital Converter) untuk selanjutnya diubah menjadi sinyal diskrit selebar 8 bit. Sinyal tersebut selanjutnya dikirim ke komputer menggunakan jalur komunikasi serial dengan perantara rangkaian antarmuka mikrokontroler AT89S52.

Komputer berfungsi sebagai pemroses keseluruhan sistem. Sinyal masukan ke komputer kemudian dibandingkan dengan setpoint apabila terdapat kesalahan maka program akan mengolah kesalahan tersebut menggunakan algoritma PID yang akan menghasilkan sinyal kontrol yang selanjutnya akan dikirim ke aktuator. Aktuator

digunakan untuk membuka dan menutup aliran gas hidrogen. Pada penelitian ini untuk menggerakkan katup digunakan motor DC. Proses ini berlangsung secara kontinu hingga nilai proses sama dengan setpoint.

Alat ini direncanakan mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

1. Dapat mencatat dan membaca tekanan tabung hampa
2. Dapat menghitung sinyal kontrol dari sinyal masukan
3. Dapat mengirimkan sinyal kontrol ke aktuator yaitu katup motor DC
4. Dapat menampilkan tekanan setpoint dan tekanan yang terbaca kedalam bentuk grafik
5. Dapat menghasilkan gas hidrogen menggunakan metode elektrolisis

Sistem perangkat suplai gas Hidrogen ini tersusun dari rangkaian kendali yang terbagi menjadi 5 bagian yaitu:

1. Unit pengukur tekanan
2. Unit pengubah tegangan analog ke digital
3. Unit antarmuka(interface) menggunakan mikrokonroller AT89S52
4. Unit generator hidrogen
5. Unit Aktuator

### **3.4.1 Unit Pengukur Tekanan**

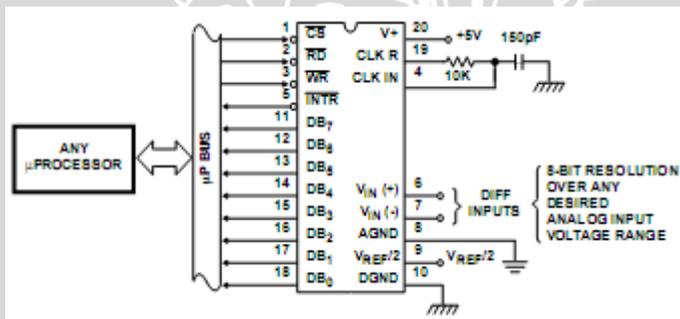
Dalam penelitian ini digunakan seperangkat alat pendeteksi tekanan yaitu:1 buah sensor pirani dan 1 buah pengondisi sinyal Thermovac TM 21. sensor pirani berfungsi sebagai pendeteksi perubahan tekanan dalam ruang vakum. Range alat ukur ini dapat membaca pada tekanan  $5.10^{-3}$  - 1000 mbar. Prinsip kerja dari sensor ini adalah seperti rangkaian jembatan wheatstone.

Pada salah satu hambatannya berupa kawat filamen platinum berfungsi mendeteksi perubahan tekanan, apabila suhu filamen meningkat atau tekanan berkurang maka nilai hambatan filamen akan meningkat, perubahan nilai hambatan ini menyebabkan terjadinya defleksi tegangan keluaran rangkaian jembatan.

Sedangkan alat Termovac TM21 berfungsi sebagai pengondisi sinyal tekanan dari sensor pirani, sinyal ini selanjutnya diolah menjadi linear sehingga akan dihasilkan hubungan antara tekanan dengan tegangan membentuk hubungan yang linear selain itu Termovac TM21 juga berfungsi mengubah sinyal listrik dari sensor pirani menjadi bentuk digital, kemudian ditampilkan dalam bentuk *display LCD* yang berfungsi sebagai penampil nilai tekanan.

### 3.4.2 Unit Pengubah Rangkaian Analog ke Digital (ADC)

Keluaran dari sensor tekanan masih merupakan sinyal analog. Sehingga harus diubah terlebih dahulu ke dalam bentuk digital agar dapat diproses oleh mikrokontroler AT89S52. Untuk keperluan tersebut, maka digunakan IC ADC 0804 sebagai pengubah sinyal analog ke digital.



Gambar 3.2: Rangkaian ADC 0804

A/D *converter* pada sistem rangkaian ini terdiri dari pembandingan (*Comparator*), *Successive Approximation Register* (SAR) dan resistor *ladder*. Sub rangkaian ini berfungsi sebagai pengubah sinyal analog menjadi sinyal digital yang bersesuaian. Sinyal analog dari salah satu saluran yang telah dipilih oleh kode alamat akan dibandingkan oleh komparator dengan tegangan referensi yang diatur oleh 256 resistor *ladder*. Setelah melakukan 8 kali iterasi maka keluaran akan menyajikan sinyal digital yang sebanding dengan sinyal input analog. Pengukuran yang dilakukan terhadap sinyal input bersifat proporsional dan hasilnya dinyatakan oleh kombinasi 8 bit data digital (Santoso,1999).

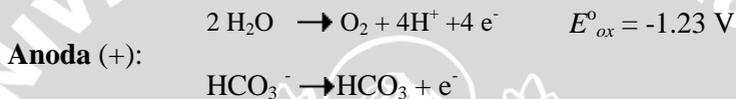
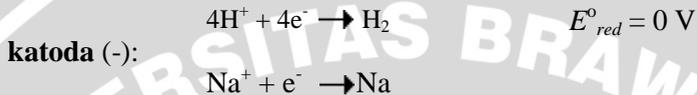
### **3.4.3 Unit Rangkaian Antarmuka (Interface)**

Mikrokontroler AT89S52 berfungsi sebagai penerima data masukan, melakukan pengontrolan dengan menggunakan algoritma kontrol PID, dan menghasilkan keluaran yang digunakan oleh aktuator untuk melakukan aksi kontrol secara fisik terhadap obyek pengaturan.

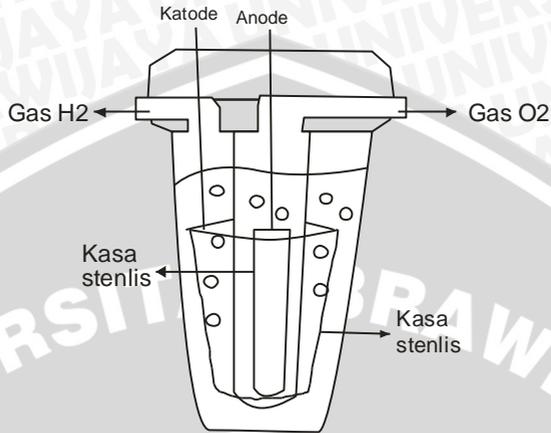
Di dalam komputer data dihasilkan sinyal kontrol. Sinyal ini selanjutnya dikirim menuju rangkaian antarmuka untuk menggerakkan aktuator berupa katup motor DC yang berfungsi membuka atau menutup katup gas H<sub>2</sub> yang akan menuju tabung hampa, sehingga tekanan tabung hampa dapat dikendalikan sesuai keinginan. Proses berlangsung secara berulang-ulang sehingga menghasilkan tekanan tabung hampa sesuai *setpoint*.

### **3.4.4 Unit Generator Gas Hidrogen**

Metode yang digunakan untuk menghasilkan gas H<sub>2</sub> adalah dengan cara elektrolisis air yaitu pemecahan molekul air menjadi atom-atom penyusunnya dengan bantuan energi listrik menurut persamaan reaksi sebagai berikut.



Energi listrik akan mengubah molekul air menjadi ion-ion positif yaitu hidrogen dan negative yaitu ion oksidasi-hidrogen. Ion hidrogen ini cenderung kelebihan elektron sehingga ion hidrogen cenderung melepaskan elektron sementara ion oksidasi-hidrogen kekurangan satu elektron sehingga cenderung mengikat elektron. Ion-ion ini akan mengalami reaksi reduksi yang terjadi pada katoda sehingga akan dihasilkan gas O<sub>2</sub> dan oksidasi pada Anoda sehingga dihasilkan gas H<sub>2</sub>. Untuk mempercepat reaksi air ditambahkan dengan katalis yaitu larutan elektrolit NaHCO<sub>3</sub> (soda kue). Gas H<sub>2</sub> ini kemudian ditampung dalam tabung penampung gas untuk selanjutnya dialirkan kedalam ruang vacuum.



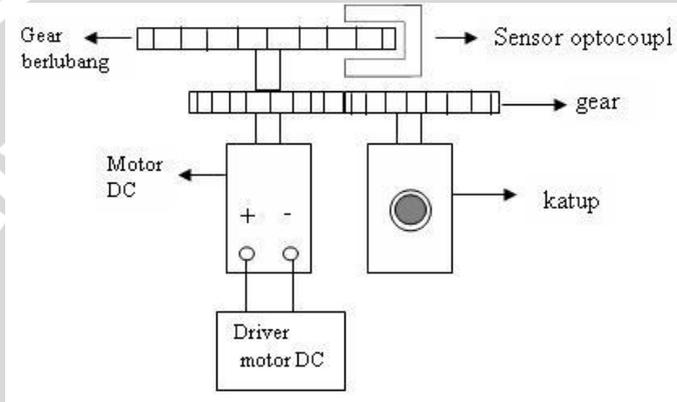
Gambar 3.3 Generator hidrogen.

Dalam penelitian ini digunakan katalis larutan  $\text{NaHCO}_3$  karena larutan ini tidak mudah menyebabkan korosi pada logam selain itu zat ini lebih murah dan mudah diperoleh. Sedangkan elektroda yang digunakan adalah kasa *stenlis steel*. Karena logam ini tidak mudah berkarat serta termasuk logam konduktor kuat. Sebagai sumber energi listrik digunakan catu daya DC dengan penguatan arus maksimum hingga 1A.

### 3.4.5 Unit Aktuator

Aktuator berfungsi sebagai elemen akhir dari pengendalian. Pada penelitian ini aktuator dirancang untuk menggerakkan katup agar dapat membuka dan menutup. Untuk menggerakkan katup putar digunakan motor DC yang memiliki torsi yang cukup besar. Kecepatan motor DC dapat divariasikan bergantung pada tegangan masukan. Semakin besar tegangan masukan semakin besar pula

kecepatan motor nya. Selanjutnya poros putaran motor DC di beri gear yang nantinya akan memutar gear katup. Sehingga katup akan membuka dan menutup bergantung pada perputaran motor DC. Gambar perancangan aktuatur terlihat seperti dibawah ini.



Gambar 3.4 Perancangan katup motor DC

Pada gambar diatas katup motor DC dirancang agar mampu membuka dan menutup secara bertahap hingga 100% hal ini bergantung dari besarnya sinyal kontrol. Katup motor DC akan membuka apabila sinyal kontrol naik dan akan menutup apabila sinyal kontrol perlahan menurun. Dan menutup apabila tidak diberi sinyal. Sensor optokopler berfungsi mendeteksi derajat putar dari katup tersebut.

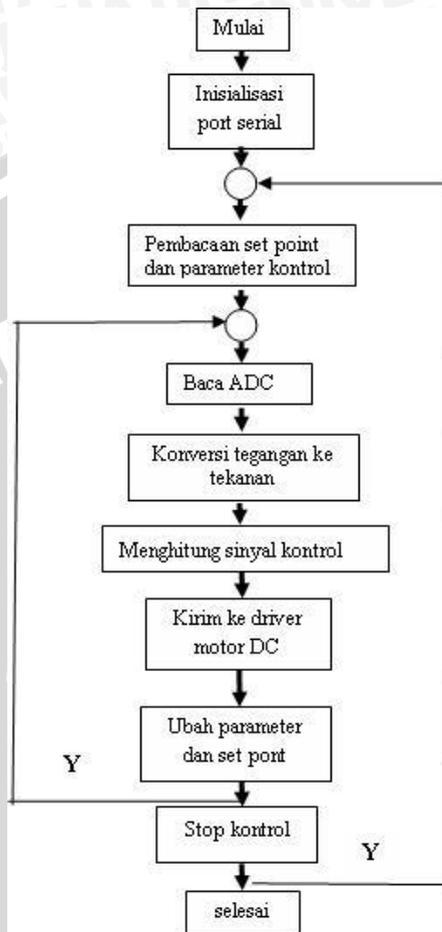
### 3.5 Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak ini mempunyai tampilan depan dengan masukan berupa *setpoint*, penala parameter PID dan tampilan grafis tekanan sistem. Rutin-rutin programnya terdiri dari subrutin pembacaan ADC, penghitungan sinyal kontrol menggunakan PID, mengeluarkan sinyal kontrol melalui aktuator untuk membuka atau menutup katup

Untuk melakukan pengontrolan digunakan software labview. Kelebihan dari software ini lebih mudah digunakan dan bersifat *graphical unit interface* (GUI). Software ini juga dapat dikembangkan lebih lanjut pada masa mendatang apabila dibutuhkan untuk pendukung alat instrumentasi tambahan. Prinsip perancangan software agar mampu mengendalikan laju aliran gas. Sehingga tekanan pada ruang vakum dijaga stabil.

### 3.5.1 Diagram Alir Program Utama

Pada saat aplikasi dijalankan *form* utama akan tampil dengan menu: menentukan setpoin tekanan, penentuan parameter kontrol PID, grafik pembacaan tekanan *setpoint* dan tekanan proses. Diagram alir program utama ini dapat dilihat pada gambar 3.5



Gambar 3.5 Diagram alir program utama

### 3.5.2 Diagram Alir Sub Program Pembacaan ADC

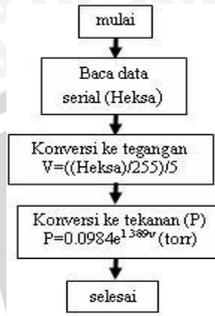
Data tekanan yang telah diubah menjadi data digital dikirim ke komputer melalui rangkaian antarmuka mikrokontroller, data yang masih dalam format biner selanjutnya dikonversi oleh program labview menjadi data heksa desimal.



Gambar 3.6 Alur Pembacaan ADC

### 3.5.3 Diagram Alir Sub Konversi Tegangan Ke Tekanan

Untuk mengetahui kesebandingan antara tekanan dengan tegangan keluaran dilakukan regresi linear. Data yang masuk ke ADC merupakan tegangan sensor pirani yang telah dikuatkan. Data yang keluar dari ADC merupakan data digital, sehingga untuk mendapatkan tegangan sensor, harus dibagi dengan 19,6 mV. Setelah nilai tegangan didapatkan, maka mulai dilaksanakan konversi tegangan ke tekanan pada persamaan yang didapatkan dari persamaan regresi linear hasil pengujian sensor pirani.



Gambar 3.7 Diagram alir konversi tegangan ke tekanan

### 3.5.4 Diagram Alir Program Perhitungan Sinyal Kontrol PID

Pengolahan data menggunakan algoritma PID. Algoritma ini menghitung nilai yang didapat dari nilai *error* dan mengeluarkannya sebagai sinyal kontrol. Dari persamaan PID untuk sinyal kontinu diperoleh persamaan

$$C(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int e(t) dt + K_d \cdot \frac{de(t)}{dt}$$

Karena sistem bekerja pada sinyal diskrit, maka persamaan tersebut diturunkan kedalam fungsi z dengan menggunakan transformasi z, diperoleh persamaan

$$\begin{aligned} \frac{M(z)}{E(z)} &= Kp + Ki \frac{T}{2} \left[ \frac{z+1}{z-1} \right] + Kd \left[ \frac{z-1}{Tz} \right] \\ \frac{M(z)}{E(z)} &= \frac{Kp(z-1)(z) + (Ki \frac{T}{2})(z+1)(z) + \frac{Kd}{T}(z-1)(z-1)}{(z-1)(z)} \\ &= \frac{Kp(z^2 - z) + (Ki \frac{T}{2})(z^2 + z) + \frac{Kd}{T}(z^2 - 2z + 1)}{(z-1)(z)} \\ &= \frac{(Kp + Ki \frac{T}{2} + \frac{Kd}{T})z^2 + (-Kp + Ki \frac{T}{2} - 2 \frac{Kd}{T})z + \frac{Kd}{T}}{(z^2 - z)} \\ &= \frac{a_0 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}}{1 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}} \end{aligned}$$

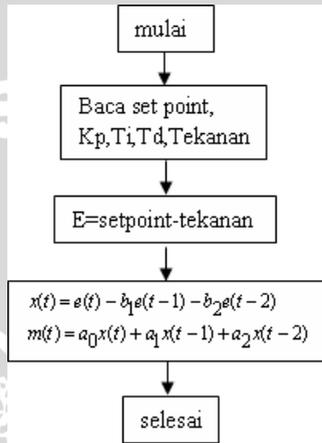
Dengan nilai

$$\begin{aligned} a_0 &= Kp + \frac{KiT}{2} + \frac{Kd}{T} = Kp \left( 1 + \frac{T}{2Ti} + \frac{Td}{T} \right) \\ a_1 &= -Kp + \frac{KiT}{2} - 2 \frac{Kd}{T} = Kp \left( -1 + \frac{T}{2Ti} - 2 \frac{Td}{T} \right) \\ a_2 &= \frac{Kd}{T} = \frac{KpTd}{T} \\ b_1 &= -1 \\ b_2 &= 0 \end{aligned}$$

Dari persamaan diatas akhirnya diperoleh fungsi PID dalam bentuk diskrit.

$$\begin{aligned} x(t) &= e(t) - b_1 e(t-1) - b_2 e(t-2) \\ m(t) &= a_0 x(t) + a_1 x(t-1) + a_2 x(t-2) \end{aligned}$$

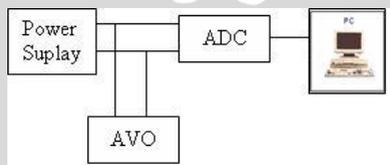
Dari persamaan sinyal kontrol PID diatas selanjutnya diimplementasikan kedalam program Labview dengan digram alir sebagai berikut:



Gambar 3.8 Diagram alih perhitungan sinyal kontrol PID

### 3.6 Metode Pengujian ADC

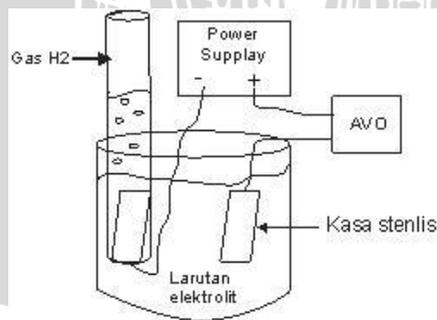
Pengujian ini dilakukan dengan memberi tegangan masukan analog ke rangkaian input ADC dan melihat apakah data keluaran 8 bit sesuai dengan yang diinginkan.



Gambar 3.9 Skema pengujian ADC.

### 3.7 Metode Pengujian Gas Hidrogen

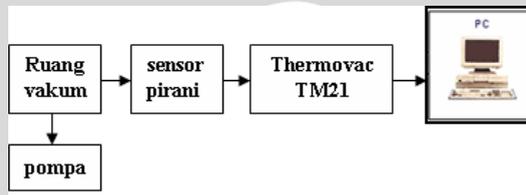
Pengujian ini dilakukan dengan cara melarutkan 10 hingga 35 gram katalis  $\text{NaHCO}_3$  kedalam 500 ml air. Selanjutnya katoda ditempatkan pada tabung pengumpul gas dan anoda dibiarkan diletakkan kedalam wadah. Sebagai sumber tegangan digunakan catu daya DC, kutub negative catu daya dihubungkan ke katoda sedangkan kutub negative dihubungkan ke avometer yang berfungsi mengukur arus yang melalui larutan. Selanjutnya untuk memulai elektrolisis catu daya dinyalakan dan dinaikkan tegangannya hingga mencapai 30V. Pada saat air dialiri arus listrik maka pada katoda akan timbul gelembung gas hidrogen dan dicatat laju produksinya dalam ml/menit pengujian ini berlangsung dengan memberikan katalis  $\text{NaHCO}_3$  berbeda-beda dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan konsentrasi katalis terhadap produksi gas hidrogen. Selain itu pada setiap penambahan konsentrasi juga dicatat arus listriknya, tujuannya untuk mengetahui hubungan antara penambahan konsentrasi katalis terhadap daya yang dikeluarkan dalam proses elektrolisis.



Gambar 3.10 Skema pengukuran gas hidrogen

### 3.8 Pengujian Sensor Tekanan

Pengujian sensor tekanan bertujuan untuk mengkalibrasi antara pengukuran tekanan dari pengondisi sinyal thermovac TM21 dengan pengukuran tekanan oleh komputer. Dengan cara memompa gas keluar kemudian dibandingkan pembacaan tekanan gas dari pengondisi sinyal thermovac TM21 dengan komputer.



Gambar 3.11 Skema pengujian sensor tekanan

Halaman ini sengaja dikosongkan

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem suplay gas hidrogen pada reaktor redoks tersusun dari dua komponen utama yaitu perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras terdiri dari beberapa unit yang terdiri dari unit pengukur tekanan, unit pengubah tegangan analog ke digital, unit antarmuka (*interface*) menggunakan mikrokontroller AT89S52, unit aktuator dan unit generator gas hidrogen. Sedangkan komponen perangkat lunak menggunakan software Labview 5.1 digunakan sebagai pengendali yang mengkomunikasikan antara computer dengan perangkat keras melalui antarmuka serial RS-232. Sedangkan system (*plant*) yang dikontrol adalah tekanan ruang hampa.

#### 4.1 Perangkat Keras

Berikut ini adalah hasil pengujian yang telah dilakukan terhadap perangkat keras sistem suplay gas hidrogen pada reaktor redoks. Pengujian ini dilakukan pada masing-masing blok rangkaian pengujian sistem yaitu: sensor tekanan pirani gauge, rangkaian aktuator, dan generator hidrogen.

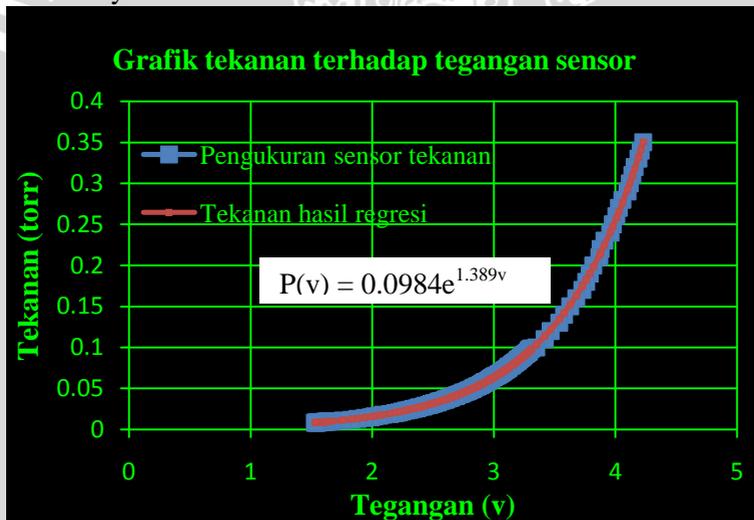
##### 4.1.1 Hasil Pengujian Sensor Tekanan

Pada penelitian ini langkah awal yang dilakukan adalah melakukan pengujian sensor tekanan pirani gauge. Tujuan pengujian ini agar diketahui hubungan antara tegangan rekorder dari *transducer* dengan tekanan ruang hampa. Pengujian ini dilakukan dengan cara memompa gas ruang hampa kemudian diukur tekanannya menggunakan sensor pirani. Didalam sensor pirani sendiri terdapat filamen yang memiliki hambatan bergantung dari konduktifitas thermal. Apabila terjadi pemompaan dalam ruang hampa maka akan mengurangi jumlah molekul udara. Berkurangnya molekul udara ini mengakibatkan suhu filamen akan meningkat karena tidak adanya molekul pendingin. Apabila suhu filamen meningkat maka diikuti pula peningkatan hambatan filamen. Bertambah dan berkurangnya hambatan filamen inilah yang digunakan sebagai sensor untuk

mendeteksi perubahan tekanan dalam ruang hampa. Perubahan tekanan pada ruang hampa akan merubah tegangan rekorder pada Transducer. Kemudian setiap terjadi perubahan tekanan dicatat tegangan rekordernya.

Dari hasil pengujian diperoleh data pada lampiran 1 yang selanjutnya diolah untuk mengetahui fungsi tekanan terhadap tegangan. Metode yang digunakan adalah regresi linear. Karena fungsi tekanan terhadap tegangan membentuk kurva eksponensial, maka kurva tekanan dilinearkan terlebih dahulu dengan logaritma natural.

Dari hasil perhitungan regresi linear maka diperoleh fungsi tekanan terhadap tegangan yaitu  $P(v) = 0.0984e^{1.389v}$  fungsi tekanan ini selanjutnya dibandingkan dengan pengukuran tekanan sebenarnya dan diperoleh grafik yang sangat mendekati nilai tekanan sebenarnya.



Gambar 4.1. Grafik hubungan tekanan dengan tegangan sensor

Dari grafik pada gambar 4.1 diatas terdapat dua buah kurva yaitu kurva tekanan hasil pengukuran yang berwarna biru dan kurva hasil perhitungan berwarna merah. Dapat diketahui bahwa nilai tekanan yang terbaca oleh *transducer* pada saat sistem hampa belum dipompa

sebesar 0.35 torr dan tegangan sensor yang terbaca sebesar 4.23 volt. Kemudian setelah pompa dinyalakan terjadi penurunan tekanan yang mendekati linear sebesar 0.01 torr, penurunan tekanan diimbangi penurunan tegangan sensor sebesar 0.02 volt. Penurunan tekanan semakin tidak linear dan membentuk kurva eksponensial ketika tekanan menurun hingga sebesar 0.1 torr sampai 0.001 torr. Peristiwa ini disebabkan karena penurunan daya hisap pompa untuk menghisap udara keluar dari sistem hampa. Terkadang untuk menurunkan tekanan yang lebih rendah sistem sering ditambahkan pompa pembantu.

#### 4.1.2 Hasil Pengujian Kemampuan Katup

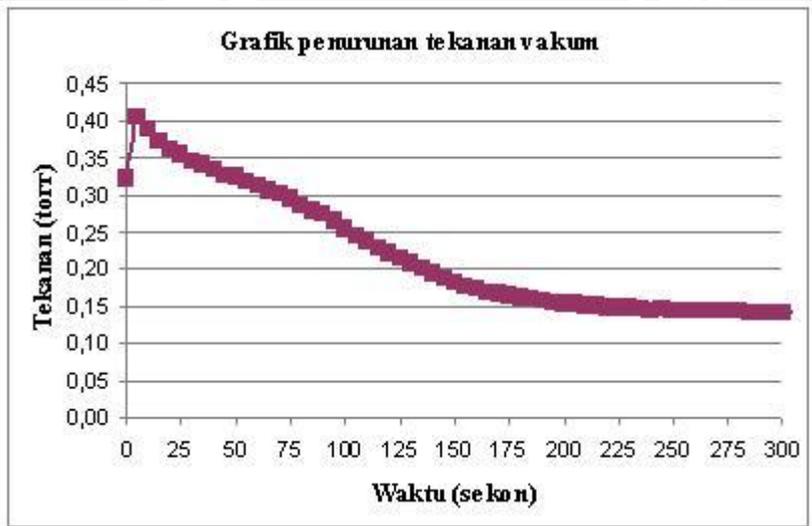
Katup (valve) merupakan komponen akhir dari sistem pengendalian. Sinyal yang berasal dari PID selanjutnya akan digunakan untuk mengontrol katup. Pada peralatan yang telah dibuat katup di desain agar mampu membuka 0 hingga 100 persen dengan cara memberikan sinyal heksa dari 0H sampai 0FH. 0H menyatakan kondisi valve menutup sedangkan ketika nilai heksa bertambah maka katup perlahan akan membuka hingga mencapai nilai 0FH yang menyatakan katup 100 persen membuka.



Gambar 4.2 Grafik posisi valve terhadap nilai heksa.

Gambar 4.2 diatas menunjukkan grafik hubungan antara posisi valve terhadap nilai heksa yang diberikan. Nilai 0H pada program akan membuat valve menutup 100% bertambahnya nilai heksa akan menambah persentase membukanya valve. Nilai heksa maksimal yang diberikan hanya terbatas hingga 0FH dengan kondisi valve membuka 94%.

Dalam pengendalian tekanan vakum kekuatan katup dalam menahan masuknya gas sangatlah dibutuhkan. Sehingga perlu dilakukan pengujian kemampuan valve dalam menahan masuknya gas.



Gambar 4.3 Grafik pengujian kemampuan katup.

Berdasarkan gambar 4.3 diatas nampak bahwa kemampuan katup dalam menahan masuk gas terbatas hingga tekanan dalam tabung hampa mencapai 0,15 torr. Hal ini disebabkan karena katup yang digunakan bukan merupakan katup untuk tekanan rendah sehingga pada perancangan alat ini hanya mampu mengendalikan tekanan vakum diatas 0,17 torr.

#### 4.1.3 Hasil Pengujian Generator Gas Hidrogen.

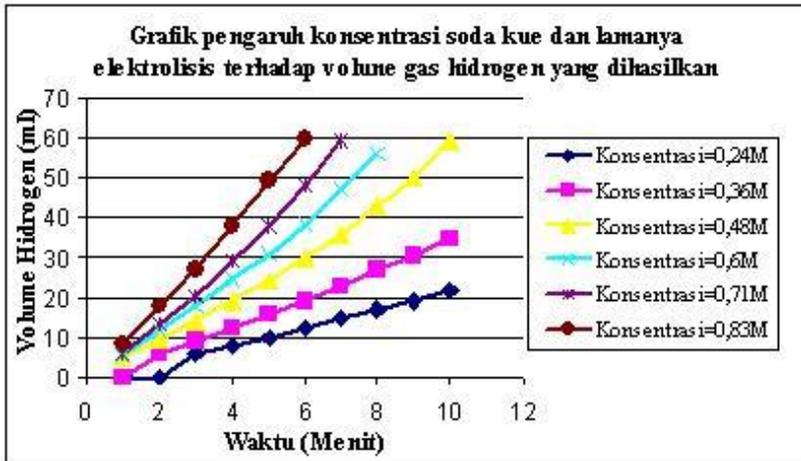
Generator gas hidrogen bekerja berdasarkan prinsip elektrolisis dimana molekul air dipecah menjadi senyawa hidrogen dan oksigen. Agar reaksi elektrolisis berlangsung spontan dibutuhkan tegangan DC yang besarnya lebih dari 1,23V listrik. Untuk mempercepat reaksi diatas dibutuhkan elektrolit  $\text{NaHCO}_3$  (soda kue) yang larut dalam air murni. Pada penelitian ini digunakan tegangan maksimum yang mampu dihasilkan catu daya sebesar 30 V serta arus maksimum 1 ampere. Sehingga kemampuan produksi gas hidrogen dibatasi oleh kemampuan suplay energi listrik alat. Perancangan generator gas hidrogen terdiri dari sumber tegangan DC dan tabung elektrolisis yang berfungsi sebagai tempat berlangsungnya reaksi elektrolisis. Tabung dirancang agar mampu memisahkan gas hidrogen dengan gas oksigen. Selain itu tabung juga dijaga dari kebocoran gas. Pada penelitian ini digunakan elektroda kasa stenlis yang berfungsi menghantarkan elektron selain itu elektroda stenlis sukar mengalami reduksi ketika proses elektrolisis terjadi.

Pengukuran produksi gas hidrogen dengan cara memberikan  $\text{NaHCO}_3$  dalam berbagai konsentrasi kedalam 500ml air. Selanjutnya larutan tersebut diberi sumber tegangan DC 30 volt. Kemudian diamati dan dicatat volume gas hidrogen yang dihasilkan setiap 1 menit. Dari data hasil pengukuran gas hydrogen (pada lampiran1) kemudian dirata-rata sehingga diperoleh tabel 4.1 sebagai berikut.

Tabel 4.1 Data hasil pengukuran gas hidrogen.

No	Konsentrasi Larutan $\text{NaHCO}_3$ (Molar)	v (volt)	i (ampere)	t (mnt)	$V_{\text{H}_2}$ (ml)	Qrata2 (ml/mnt)	Qp rata2 (torr/mnt)
1	0,24	30	0,240	10	21,5	2,29	0,000043
2	0,36	30	0,360	10	34,5	2,67	0,000050
3	0,48	30	0,500	10	59,0	5,09	0,000100
4	0,60	30	0,660	8	56,0	6,85	0,000110
5	0,71	30	0,740	7	59,0	7,27	0,000140
6	0,83	30	1.000	6	59.5	9,29	0,000200

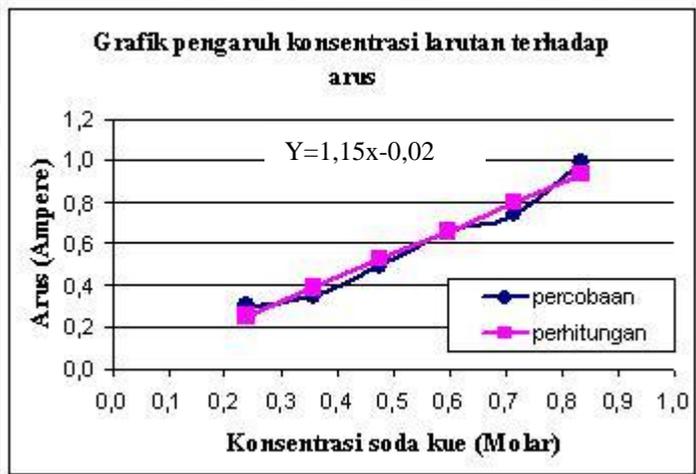
Grafik hubungan antara penambahan konsentrasi  $\text{NaHCO}_3$  dan waktu elektrolisis terhadap volume gas hidrogen yang dihasilkan berdasarkan data lampiran I digambarkan sebagai berikut



Gambar 4.4 Grafik laju Produksi gas  $\text{H}_2$  terhadap pertambahan waktu.

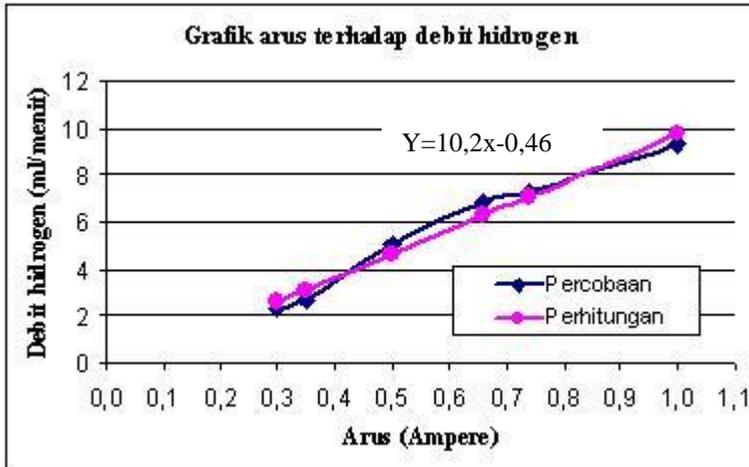
Dari grafik pada gambar 4.4 diatas dapat dilihat ketika konsentrasi soda kue sebesar 0,24 molar menyebabkan laju produksi gas sangat lambat bahkan pada saat elektrolisis berlangsung selama 2 menit tidak ada molekul gas yang dihasilkan. Baru setelah elektrolisis berjalan lebih dari 3 menit timbul gelembung gas, kenaikan volume gas bertambah seiring dengan lamanya elektrolisis dengan laju produksi gas rata-rata sebesar 2,29 ml/menit. Untuk konsentrasi soda kue 0,36 molar dalam waktu 10 menit dihasilkan 34,5 ml gas hydrogen atau laju produksinya sebesar 2,67 ml/menit. Untuk konsentrasi soda kue 0,48 molar dalam waktu 10 menit dapat menghasilkan 59 ml hydrogen dengan laju produksi rata-rata sebesar 5,09 ml/menit. Untuk konsentrasi soda kue 0,6 molar dalam waktu 8 menit dihasilkan 56 ml hydrogen dengan laju produksi rata-rata sebesar 6,85 ml/menit. Untuk konsentrasi soda kue 0,71 molar dalam waktu 7 menit dihasilkan 59 ml hydrogen dengan laju produksi rata-rata sebesar 7,27 ml/menit. Sedangkan untuk konsentrasi soda kue

0,83 molar dalam waktu 6 menit dihasilkan 59,5 ml hydrogen dengan laju produksi rata-rata 9,29 ml/menit. Laju produksi gas hidrogen akan terus bertambah bergantung dari konsentrasi katalis yang ditambahkan kedalam larutan dan lamanya elektrolisis. Penambahan konsentrasi soda kue dibatasi hingga arus yang mengalir kedalam larutan menjadi 1 ampere hal ini bertujuan untuk mencegah kerusakan catu daya. Grafik pengaruh konsentrasi larutan terhadap arus yang mengalir kedalam larutan digambarkan dibawah ini.



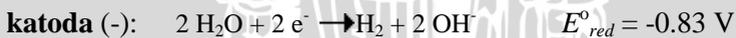
Gambar 4.5 Grafik pengaruh konsentrasi larutan soda terhadap arus

Berdasarkan grafik pada gambar 4.5 dapat disimpulkan bahwa penambahan konsentrasi katalis soda kue menyebabkan bertambahnya arus. Hal ini disebabkan karena soda kue merupakan larutan elektrolit yang mampu menghantarkan arus listrik. Semakin besar konsentrasi zat menyebabkan bertambahnya arus yang mampu dihantarkan oleh larutan tersebut. Secara matematis hubungan antara konsentrasi larutan terhadap arus dapat didekati dengan persamaan  $Y = 1,15x - 0,02$ . Pada penelitian kemampuan catu daya yang hanya dapat bekerja pada arus hanya sebesar 1 ampere.

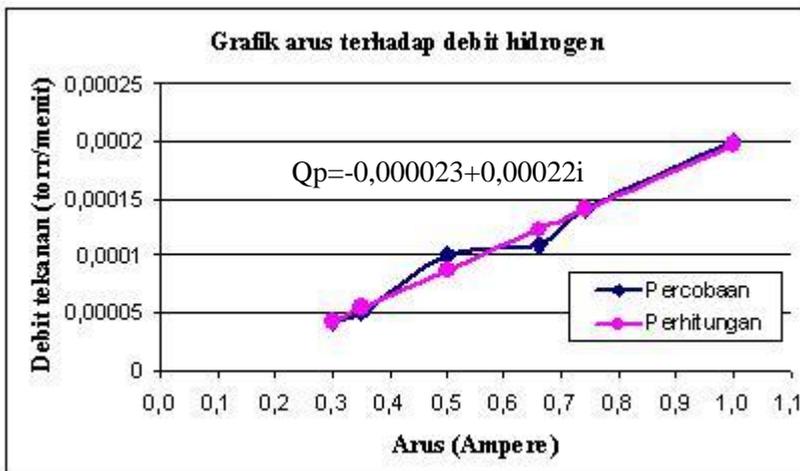


Gambar 4.6 Grafik hubungan antara Arus terhadap debit gas H<sub>2</sub>

Pada gambar 4.6 diatas dapat diketahui grafik hubungan antara laju produksi gas hidrogen terhadap Arus listrik yang mengalir melalui larutan dimana laju produksi gas hidrogen sebanding dengan arus listrik. Semakin besar arus listrik yang diberikan semakin cepat pula laju pertambahan volume gas hidrogen. Proses ini berlangsung karena adanya elektron yang bereaksi dengan molekul air. Pertambahan jumlah mol elektron akan menambah jumlah mol zat yang direduksi pada katoda sehingga dihasilkan gas hidrogen sedangkan pada anoda akan terjadi oksidasi air menjadi gas oksigen. Proses reaksi kimia pada katoda dan anoda adalah:



Selanjutnya data hasil pengukuran diregresi menggunakan regresi linear diperoleh persamaan  $Y=10,2x-0,46$ . Sehingga dari grafik diatas nampak bahwa debit gas hidrogen hasil perhitungan sangat mendekati nilai hasil pengukuran, sehingga dari persamaan ini dapat ditentukan debit gas yang diinginkan.



Gambar 4.7 Grafik laju perubahan tekanan terhadap arus

Mula-mula larutan dialiri arus listrik sebesar 0.3A maka dalam waktu 10 menit mampu menghasilkan gas  $H_2$  bertekanan 0.005 torr sehingga apabila dirata-rata laju penambahan tekanannya sebesar 0.00005 torr/menit. Sama halnya ketika arus ditambah hingga mencapai maksimum sebesar 1A maka dalam waktu sangat cepat yaitu 6 menit mampu menghasilkan tekanan sebesar 0.011 torr atau laju penambahan gas nya sebesar 0.0002 torr/menit.

Dari grafik pada gambar 4.7 tersebut nampak bahwa laju perubahan tekanan gas sangat bergantung dari besarnya arus listrik yang diberikan. Semakin besar arus listrik yang diberikan menyebabkan penambahan debit tekanan. Prinsip ini sesuai dengan hukum faraday bahwa massa zat yang terbentuk pada masing-masing elektroda sebanding dengan kuat arus yang mengalir pada elektrolisis tersebut atau  $m = e \cdot i / 96500$ .

#### 4.2 Perangkat Lunak.

Untuk mempermudah pengoperasiannya, maka perangkat lunak instrumen pengontrol tekanan ruang hampa ini dirancang dalam bentuk menu GUI (Graphical User Interface) dimana pemakai dapat berinteraksi dengan komputer melalui papan ketik maupun mouse. Perangkat lunak ini terdiri dari menu masukan yang berupa setpoint,

penentuan parameter PID, menu keluaran dalam bentuk grafik yang memplot hasil pembacaan tekanan, sinyal kontrol dan besarnya tekanan setpoint. Tampilan menu utama dapat dilihat pada gattor berikut.



Gambar 4.8 Tampilan panel depan program

Input terdiri dari setpoint dan konstanta PID. Setpoint digunakan untuk menentukan berapa tekanan yang diinginkan. Sedangkan konstanta PID dapat diubah-ubah sesuai dengan penalaan.

Rutin program diawali dengan menginisialisasi port serial. Setelah inisialisasi, saat tombol start ditekan, maka aksi pengontrolan dimulai dengan memerintahkan ADC untuk membaca tegangan rekorder. Tegangan yang dibaca oleh ADC adalah tegangan yang dihasilkan oleh sensor pirani yang telah dikuatkan dengan pengondisi sinyal sehingga menghasilkan sinyal tegangan analog 0-5 volt. sinyal analog ini selanjutnya akan menjadi sinyal diskrit. Data tekanan dalam bentuk diskrit selanjutnya dikirim ke akumulator mikrokontroler AT89S52 melalui port 1 dan selanjutnya program akan memindahkan data di port 1 kedalam register akumulator. Pengiriman data serial ke komputer dilakukan melalui register serial buffer (SBUF). Pertama-tama Register TI akan memantau apakah register SBUF siap mengirimkan data ke komputer. Register TI berlogika '1' (aktif) menandai bahwa register SBUF siap mengirim

data serial. Kemudian data di register akumulator disalin ke register SBUF untuk selanjutnya akan di kirim ke komputer. Agar TI bisa dipakai untuk memantau keadaan SBUF pada pengiriman data berikutnya, maka TI dinolkan secara manual.

Didalam program Labview data biner ADC diformat kebentuk data desimal yaitu dari 0-255. Karena tekanan merupakan fungsi dari tegangan, data yang masih dalam bentuk desimal dibagi dengan 19.6mv untuk mendapatkan tegangan 0-5 volt. Besarnya data ini selanjutnya diubah menjadi tekanan  $P(v) = 0.0984e^{1.389v}$  sebelum dibandingkan dengan setpoint.

Hasil perbandingan data setpoint dengan data konversi merupakan sinyal error. Sinyal error ini kemudian dimasukkan kedalam perhitungan PID sehingga dihasilkan sinyal kontrol. Besarnya sinyal kontrol dari hasil transformasi z balik dihasilkan dari persamaan berikut:

$$x(t) = e(t) - b_1e(t-1) - b_2e(t-2)$$

$$m(t) = a_0x(t) + a_1x(t-1) + a_2x(t-2)$$

Dengan nilai

$$a_0 = Kp + \frac{Ki.T}{2} + \frac{Kd}{T} = Kp(1 + \frac{T}{2Ti} + \frac{Td}{T})$$

$$a_1 = -Kp + \frac{Ki.T}{2} - 2\frac{Kd}{T} = Kp(-1 + \frac{T}{2Ti} - 2\frac{Td}{T})$$

$$a_2 = \frac{Kd}{T} = \frac{Kp.Td}{T}$$

$$b_1 = -1$$

$$b_2 = 0$$

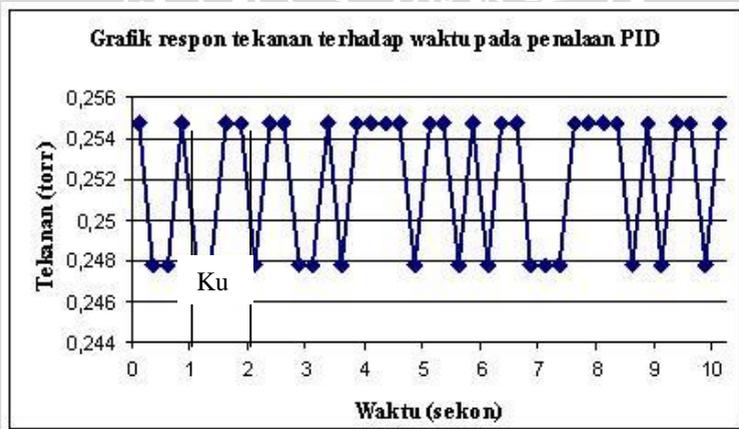
Sinyal kontrol ini yang dihasilkan digunakan untuk mengendalikan aktuator yaitu katup motor DC. Sinyal kontrol ini terlebih dahulu diubah kedalam bentuk heksa. Selanjutnya dikirim ke register SBUF melalui port serial. Register RI akan berlogika 1 bila data telah diterima. Data ini selanjutnya disalin sementara kedalam register A untuk selanjutnya dikirim ke port 2. Dari port 2 ini data digunakan untuk mengatur katup motor DC membuka atau menutup melalui IC driver motor DC. Persentasi buka dan menutupnya katup bergantung dari sinyal kesalahan. Katup akan membuka apabila

tekanan ruang hampa dibawah tekanan setpoint. Dan akan menutup kalau tekanan ruang hampa diatas setpoint.

### 4.3 Hasil Pengujian dan Analisa Respon Sistem

Pada pengujian ini dilakukan dengan cara memasukan nilai parameter kontrol  $K_p$ ,  $T_i$  dan  $T_d$  yang telah diperoleh dengan menggunakan metode osilasi. Pemberian nilai parameter  $K_p$ ,  $T_i$ , dan  $T_d$  bertujuan untuk memperoleh respon sistem yang optimal. Langkah-langkah penalaan yang dilakukan dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Memberikan nilai  $T_i = \infty$  dan  $T_d = 0$
2. Tekanan ruang vakum diturunkan hingga 0,25 torr
3. Menaikkan nilai  $K_p$  hingga kontroler masih menghasilkan keluaran dan osilasi, dengan mengamati keluaran kontroler Menentukan periode osilasi ( $P_u$ )
4. Memasukkan persamaan untuk menentukan nilai  $T_i$  dan  $T_d$  dari nilai  $K_p$  dan  $P_u$



Gambar 4.9 Grafik sistem berosilasi pada  $K_u=7$

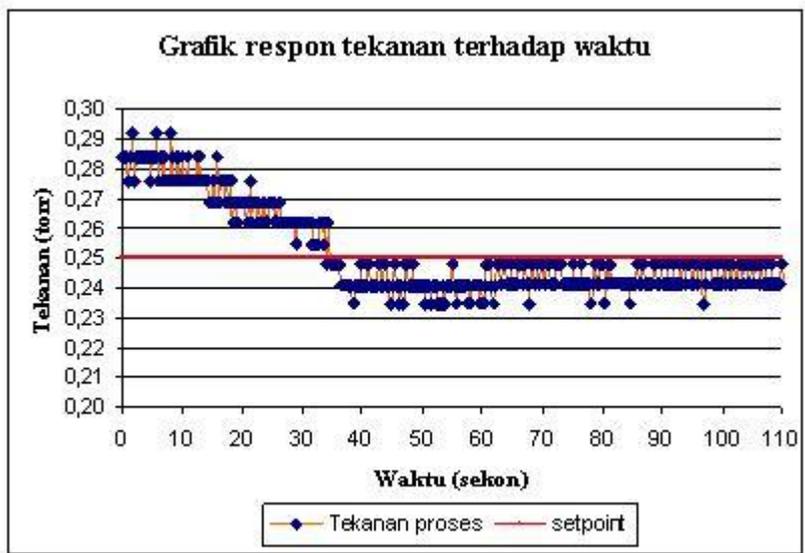
Berdasarkan hasil penalaan untuk setpoint 0,25 torr, diperoleh harga konstanta yang baik untuk  $K_u$  adalah 7 dan  $P_u = 0.75$  s. dengan

memasukkan nilai  $K_u$  dan  $P_u$  tersebut kedalam penalaan parameter PID metode ziegler-nchols, maka untuk pengontrolan PID didapatkan konstanta

Tabel 4.2 Konstanta penalaan PID

Konstanta	Nilai
$K_p$	4,2
$T_i$	0,375
$T_d$	0,09375

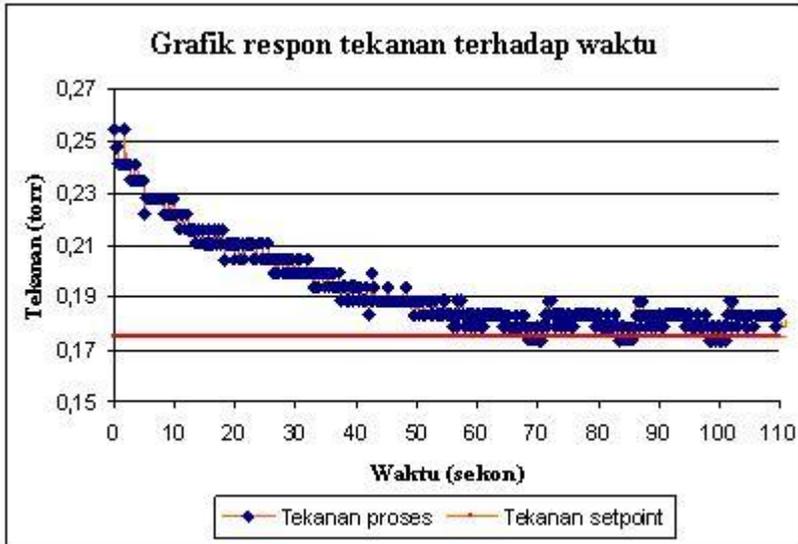
Hasil pengujiannya dalam bentuk grafik respon sistem ditunjukkan pada Gambar 4.10



Gambar 4.10 Grafik respon sistem untuk nilai acuan = 0,25 torr

Pengujian ini dilakukan pada tekanan awal  $0,29 \cdot 10^{-2}$  torr dengan memberikan nilai *setpoint* 0,25 torr. Dari grafik respon sistem

diperoleh *overshoot* maksimum 0,235 torr dengan waktu tunda 35 sekon secara umum terlihat bahwa hasil pengaturannya tidak stabil secara sempurna sesuai *setpoint*. Respon sistem beresilasi sebesar kurang lebih antara 0,02 torr sampai 0,001 torr terhadap *setpoint* nya.

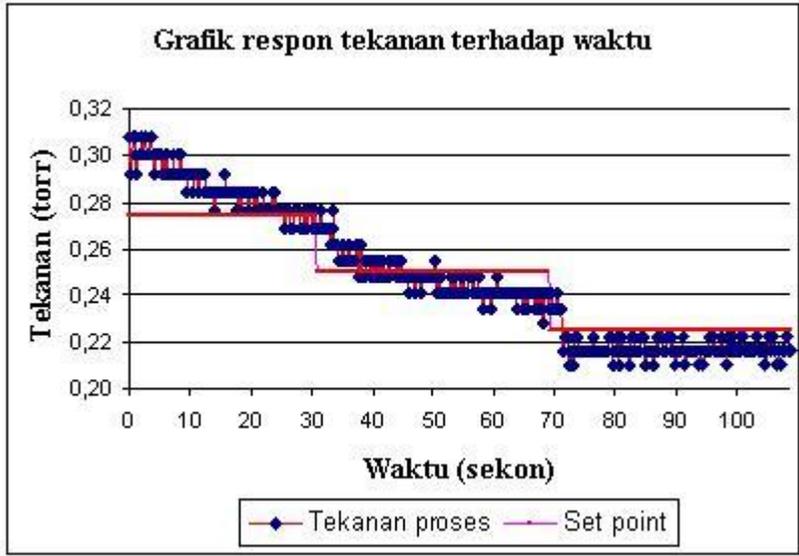


Gambar 4.11 Grafik respon tekanan terhadap waktu pada tekanan setpoint=0,175 torr

Pengujian yang kedua dilakukan dengan memberikan nilai *setpoint* 0,175 torr. Dari grafik respon sistem diperoleh *overshoot* maksimum 0,173 torr dengan waktu tunda 56 sekon secara umum terlihat bahwa hasil pengaturannya tidak stabil secara sempurna sesuai *setpoint*. Respon sistem beresilasi sebesar kurang lebih antara 0,002 torr sampai 0,2 torr terhadap *setpoint* nya.

Untuk mengetahui performansi atau kemampuan alat dalam mengendalikan sistem maka perlu dilakukan pengujian dengan cara memberikan gangguan pada sistem kemudian dilihat respon alat terhadap sistem tersebut. Artinya tekanan setpoint sistem diubah-ubah selama proses pengendalian berlangsung. Berdasarkan hasil

percobaan diperoleh grafik respon alat terhadap gangguan dibawah ini.



Gambar 4.12 Grafik respon tekanan sistem dengan variasi tekanan.

Berdasarkan grafik pada gambar 4.12 diatas, tekanan setpoint ditala pada tekanan 0,275 torr, tekanan sistem mula-mula 0,31 torr kemudian menurun sampai 20 sekon tekanan mengalami osilasi antara 0,26 torr-0,27 torr, tekanan dibiarkan bertahan hingga *steady state*. Selanjutnya dilakukan penurunan tekanan *setpoint* menjadi 0,25 torr hingga dihasilkan *steady state* pada tekanan antara 0,248 torr-0,254 torr. *Setpoint* diturunkan kembali menjadi 0,2 torr hingga diperoleh *steady state* pada tekanan antara 0,21 torr -0,22 torr.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Halaman ini sengaja dikosongkan

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian sistem suplay gas hidrogen pada reaktor redoks dihasilkan generator hidrogen yang mampu menghasilkan gas hydrogen maksimum rata-rata 9,92 ml/menit. Laju produksi gas hidrogen bergantung dari konsentrasi katalis, arus dan lamanya proses elektrolisis. Pada pengujian ini digunakan arus DC dari catu daya 30 watt. Selain itu diketahui hubungan antara arus terhadap debit tekanan gas hidrogen yang mendekati linear sesuai dengan persamaan  $Q_p(\text{dalam torr/mnt}) = -0,000023 + 0,00022i$  dengan arus maksimum yang mampu dihasilkan oleh alat sebesar 1 ampere.

Setelah dilakukan pengujian dan analisa data dapat diketahui bahwa sistem suplay gas hidrogen pada reaktor redoks dapat mengendalikan tabung hampa pada kisaran tekanan antara 0,17 torr sampai 0,275 torr. Hal ini disebabkan katup yang digunakan pada penelitian ini bukanlah katup untuk tekanan rendah sehingga pada tekanan dibawah 0,17 valve tidak dapat menahan masuknya gas kedalam tabung hampa. Pengujian kestabilan sistem dilakukan dengan cara memberi tekanan setpoint yang berbeda-beda. Dari hasil analisa untuk tekanan setpoint 0,25 torr sistem mengalami kestabilan pada tekanan antara 0,241 torr-0,235 torr. Untuk tekanan setpoint 0,175 torr mengalami kestabilan pada tekanan antara 0,178 torr-0,184 torr. Sedangkan pada pengujian dengan tekanan yang berubah dihasilkan sistem yang mendekati setpoint dengan error kurang dari 1 persen.

#### **5.2 Saran**

Pada penelitian selanjutnya perlu digunakan katup yang khusus digunakan untuk kondisi kehampaan yang tinggi. Selain itu perlu dilakukan secara analitis dan eksperimen yang lebih mendalam tentang faktor-faktor apa saja yang dapat berpengaruh terhadap laju produksi gas hidrogen

## DAFTAR PUSTAKA

- Bishop, Robert H. 1999. *Learning with LABVIEW*. Addison Wesley Longman, Inc. USA
- Budiharto, Widodo. 2004. *Interfacing Komputer dan Mikrokontroler*. Penerbit ElexMedia Komputindo. Jakarta
- Cooper, W. D. *Instrumentasi Elektronik dan Teknik Pengukuran*. Penerbit Erlangga. Jakarta
- Delchar, t.a.1993. *Vacuum Physics Dan Techniques*.chapman & hall. London
- Gunterus, Frans. 1994. *Falsafah Dasar: Sistem Pengendalian Proses*, PT. Elex Media Komputindo, Jakarta
- Johnson, Curtis.1988. *Process Control Instrumentation Technology*, Englewood Cliffs, New Jersey
- Ogata, Katsuhiko.1997. *Teknik Kontrol Automatik – terjemahan*: Ir. Edi Laksono, Erlangga, Jakarta
- Rusli, Mohammad. 1997. *Sistem Kontrol kedua*, Teknik Elektro - Universitas Brawijaya, Malang
- Santoso, Didik R., 1999. *Petunjuk Praktikum Interfacing*. Penerbit Jurusan Fisika FMIPA Unibraw. Malang
- Sugiharto, Agus. 2002. *Penerapan Dasar Transducer dan Sensor*. Penerbit Kanisius. Yogyakarta
- Syukri, S. 2003. *Kimia Dasar 3*. Penerbit ITB. Bandung.
- Ziegler, J. G. dan N.B. Nichols, 1942, *Optimum Setting for Automatic Controllers*, Tans. ASME, vol. 64, pp. 759-768

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

