



UNIVERSITAS INDONESIA

**METODE PENGHEMATAN GAS H₂ PADA SISTEM PEMFC
(Proton Exchange Membrane Fuel Cell)
DENGAN MENGATUR BUKAAN VALVE
SEBANDING PERUBAHAN DAYA BEBAN**

TESIS

**HABIBULLAH
0906577892**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KONTROL INDUSTRI
DEPOK
JULI 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**METODE PENGHEMATAN GAS H₂ PADA SISTEM PEMFC
(Proton Exchange Membrane Fuel Cell)
DENGAN MENGATUR BUKAAN VALVE
SEBANDING PERUBAHAN DAYA BEBAN**

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister

**HABIBULLAH
0906577892**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KONTROL INDUSTRI
DEPOK
JULI 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber yang baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar**

Nama : Habibullah
NPM : 0906577892
Tanda Tangan :



Tanggal : Juli 2011


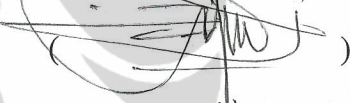


HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh:

Nama : Habibullah
NPM : 0906577892
Program Studi : Teknik Kontrol Industri
Judul Tesis : Metode penghematan Gas H₂ pada Sistem PEMFC (*Proton Exchange Membrane Fuel Cell*) dengan mengatur bukaan valve sebanding perubahan daya beban.

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister pada program studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Feri Yusivar, M.Eng. ()
Penguji : Dr. Ir. Ridwan Gunawan, M.T. ()
Penguji : Dr. Abdul Halim, M.Eng. ()
Penguji : Ir. Aries Subiantoro, M.SEE ()

Depok, Juli 2011

UCAPAN TERIMAKASIH

Alhamdulillah, atas segala karunia dan petunjuk dari Allah SWT. Karena kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan laporan tesis ini. Penyusunan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis menyadari betapa besar dukungan dan bimbingan dari berbagai pihak, baik dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini.

Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih yang sangat mendalam kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Feri Yusivar, M.Eng., selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran di dalam mengarahkan penulis dalam penyusunan tesis ini.
2. Dosen-dosen yang telah mengajarkan ilmu yang sangat bermanfaat.
3. Orang Tua, Istri dan anak tersayang atas do'a dan kesabarannya.
4. Sahabat-sahabat yang selalu ada setiap saat.

Dan semoga tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Juli 2011

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Habibullah
NPM : 0906577892
Program Studi : Teknik Kontrol Industri
Departemen : Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Tesis

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right) atas karya ilmiah saya yang berjudul: **Metode penghematan Gas H₂ pada Sistem PEMFC (*Proton Exchange Membrane Fuel Cell*) dengan mengatur bukaan valve sebanding perubahan daya beban** beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : Juli 2011

Yang menyatakan



(Habibullah)

ABSTRAK

Nama : Habibullah
Program Studi : Teknik Kontrol Industri
Judul : Metode penghematan Gas H₂ pada Sistem PEMFC (*Proton Exchange Membrane Fuel Cell*) dengan mengatur bukaan valve sebanding perubahan daya beban.

Tesis ini bertujuan untuk menguji persamaan yang diperoleh dari grafik karakteristik hubungan tegangan masukan optimum driver valve terhadap perubahan daya beban pada bukaan valve proporsional pada masukan sistem PEMFC sehingga bukaan valve akan bekerja secara otomatis sesuai dengan perubahan daya beban. Persamaan yang diambil ada dua yaitu persamaan polinomial dan linier. Masukan persamaan adalah daya beban dan keluarannya dijadikan tegangan masukan driver valve. Hasil pengujian dengan kedua persamaan menunjukkan karakteristik tegangan dan arus keluaran sistem yang hampir sama dengan karakteristik pada bukaan valve optimum dan maksimum. Pemakaian gas H₂ pada pengujian dengan kedua persamaan menunjukkan nilai yang hampir sama dengan bukaan valve optimum, sehingga lebih hemat dalam konsumsi gas H₂ dibandingkan dengan bukaan valve maksimum.

Kata kunci: PEM Fuel Cell, valve proporsional, penghematan gas H₂.

ABSTRACT

Name : Habibullah
Study Program : Control Engineering
Title : Hydrogen saving method in PEMFC (*Proton Exchange Membrane Fuel Cell*) system by regulating the valve opening proportional change in the power load.

This thesis aims to testing the equation which obtained from the graph characteristics relationships of the optimum input voltage driver valve to change the power load on the valve opening proportional to the input PEMFC system so that the valve opening will work automatically according to changes in load power. Equations are taken there are two linear equations and polynomials. Enter the equation is used as the power load and input voltage output driver valves. Test results show similarities with both voltage and output current characteristics are almost the same system with the characteristics of the optimum and maximum valve opening. H₂ gas usage on testing with both equations show similar values with optimum valve opening, making it more efficient than the maximum valve opening.

Key word : PEM Fuel Cell, proportional valve, H₂ gas savings.

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMBUNG	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan	2
1.3. Pembatasan Masalah	3
1.4. Susunan Penulisan	3
BAB 2 DASAR TEORI	4
2.1. Fuel Cell	4
2.2. Komponen Utama Sistem Fuel Cell	4
2.3. Prinsip Kerja Fuel Cell	5
2.4. PEMFC	6
2.5. Karakteristik PEMFC	7
2.6. PEMFC Horizon H-100	8
2.7. Karakteristik Power PEMFC Horizon H-100	10
2.8. Spesifikasi PEMFC Horizon H-100	12
2.9. NI PCI-6024E/CB-68LP Academic Starter Kit	13
2.10. Sensor-sensor dan rangkaian driver	14
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1. Diagram blok percobaan sistem PEMFC H-100 dengan bukaan valve maksimum dan optimum	17
3.2. Karakteristik hubungan masukan driver valve terhadap daya beban pada sistem PEMFC H-100	18
3.1.1. Persamaan polinomial	19
3.1.2. Persamaan linier	19
3.3. Blok diagram pengujian pengaturan bukaan valve masukan gas H ₂ secara otomatis pada sistem PEMFC H-100	20
3.4. Blok simulink pengujian sistem PEMFC H-100	21
3.3.1. Penambahan batas minimum dan maksimum keluaran persamaan	22
3.3.2. Penambahan filter	23
3.5. Blok diagram pengujian keseluruhan	24
3.6. Langkah-langkah pengujian	25
BAB 4 PENGUJIAN DAN ANALISA	27
4.1. Tegangan dan arus keluaran sistem PEMFC	27
4.2. Pemakaian gas H ₂ pada sistem PEMFC	29

4.3. Perbandingan efisiensi sistem PEMFC	32
4.4. Pengujian dinamik sistem PEMFC H-100	35
4.4.1. Pengujian dinamik sistem dengan persamaan polinomial	35
4.4.2. Pengujian dinamik sistem dengan persamaan linier	37
4.5. Pengontrolan bukaan valve menggunakan persamaan linier	39
BAB 5 KESIMPULAN	41
DAFTAR REFERENSI	42



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Unit Fuel Cell.....	5
Gambar 2.2.	Prinsip Kerja Fuel Cell	6
Gambar 2.3.	Skematik <i>PEMFC</i>	8
Gambar 2.4.	Bagian sistem PEMFC H-100	9
Gambar 2.5.	Kurva Arus terhadap Tegangan sistem PEMFC H-100	11
Gambar 2.6.	Grafik Daya terhadap Aliran sistem PEMFC H-100	11
Gambar 2.7.	Grafik Arus terhadap Daya sistem PEMFC H-100	11
Gambar 2.8.	National Instrument PCI-6024E/CB-68LP	13
Gambar 2.9.	Karakteristik Sensor Aliran D6F	14
Gambar 2.10.	Karakteristik keluaran sensor arus ACS714T LLC-05B	15
Gambar 2.11.	Rangkaian driver valve	15
Gambar 2.12.	Karakteristik driver valve	16
Gamabr 3.1.	Blok diagram percobaan sistem PEMFC dengan bukaan valve maksimum dan optimum	18
Gambar 3.2.	Karakteristik hubungan tegangan optimum masukan driver valve terhadap daya beban	19
Gambar 3.3.	Blok diagram kendali pengujian sistem PEMFC H-100	20
Gambar 3.4.	Blok simulink pengujian bukaan valve masukan gas H ₂ pada sistem PEMFC secara otomatis	21
Gambar 3.5.	Penambahan batas minimum dan maksimum masukan driver	22
Gambar 3.6.	Blok filter	23
Gambar 3.7.	Contoh grafik keluaran persamaan sebelum dan sesudah filter	24
Gambar 3.8.	Blok diagram pengujian sistem PEMFC H-100	25
Gambar 3.9.	Diagram alir langkah-langkah pengujian sistem PEMFC H-100	26
Gambar 4.1.	Karakteristik tegangan terhadap arus beban pada persamaan polinomial dan linier	27
Gambar 4.2.	Karakteristik tegangan terhadap arus beban pada persamaan polinomial, linier, bukaan valve maksimum dan optimum	28
Gambar 4.3.	Perbandingan aliran masukan gas H ₂ terhadap beban pada pengujian dengan persamaan polinomial dan linier	29
Gambar 4.4.	Perbandingan aliran masukan gas H ₂ terhadap beban pada pengujian dengan persamaan polinomial, linier, bukaan valve maksimum dan optimum	30
Gambar 4.5.	Perbandingan aliran keluaran gas H ₂ terhadap beban pada pengujian dengan persamaan polinomial dan linier	31
Gambar 4.6.	Perbandingan aliran keluaran gas H ₂ terhadap beban	31
Gambar 4.7.	Perbandingan daya beban sistem per aliran masukan gas H ₂ pada sistem PEMFC dengan bukaan valve menggunakan persamaan polinomial dan linier	33
Gambar 4.8.	Perbandingan daya beban per aliran masukan gas H ₂ pada sistem PEMFC H-100 terhadap beban pada bukaan valve	

	maksimum, optimum, bukaan valve menggunakan persamaan polinomial dan linier	34
Gambar 4.9.	Grafik tegangan keluaran sistem PEMFC pada pengujian dinamik dengan persamaan polinomial	35
Gambar 4.10.	Grafik tegangan valve masukan gas H ₂ sistem PEMFC pada pengujian dinamik dengan persamaan polinomial	36
Gambar 4.11.	Grafik arus keluaran sistem PEMFC pada pengujian dinamik dengan persamaan polinomial	37
Gambar 4.12.	Grafik tegangan keluaran sistem PEMFC pada pengujian dinamik dengan persamaan linier	37
Gambar 4.13.	Grafik tegangan valve masukan gas H ₂ sistem PEMFC pada pengujian dinamik dengan persamaan linier	38
Gambar 4.14.	Grafik arus keluaran sistem PEMFC pada pengujian dinamik dengan persamaan linier	39
Gambar 4.15.	Perbandingan daya beban per aliran masukan gas H ₂ pada sistem PEMFC H-100 terhadap beban dengan bukaan valve optimum, maksimum, bukaan dengan persamaan polinomial dan linier yang baru	40



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Reaksi Elektrokimia Fuel Cell	6
Tabel 2.3.	Spesifikasi PEMFC H-100.....	12
Tabel 4.1.	Data tegangan dan arus keluaran sistem PEMFC pada bukaan valve optimum, maksimum, bukaan dengan persamaan polinomial dan linier	29
Tabel 4.2.	Data perbandingan efisiensi sistem PEMFC pada bukaan valve optimum, maksimum, persamaan polinomial dan linier	34



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Datasheet sensor arus ACS714	43
Lampiran 2	Datasheet D6F sensor aliran	51
Lampiran 3	<i>H-100 Fuel Cell Stack User Manual</i>	52
Lampiran 4	Datasheet valve proporsional PSV1S	63



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Teknologi konvensional menggunakan minyak bumi sebagai sumber energi dipandang tidak ramah lingkungan karena menimbulkan polusi udara. Pembakaran minyak bumi menghasilkan karbon monoksida (CO) dan karbondioksida (CO₂) yang berbahaya. Sebagai solusi, telah dikembangkan teknologi fuel cell yang terus mengalami riset dan pengembangan di beberapa negara maju. Teknologi fuel cell merupakan teknologi ramah lingkungan karena tidak menimbulkan polusi seperti halnya pembangkit energi tenaga minyak bumi.

Pada fuel cell, konversi energi terjadi dengan adanya reaksi elektrokimia dari bahan bakar (hidrogen) dan oksidan (oksigen) yang akan mengubah energi kimia fuel menjadi energi listrik. Tegangan keluaran yang dihasilkan oleh fuel cell juga dipengaruhi oleh adanya rugi-rugi dari proses yang terjadi, baik dari proses kimia maupun mekanis. Karakteristik dari sistem fuel cell adalah tegangan yang dihasilkan akan semakin menurun jika terjadi penambahan beban. Untuk mengatasinya biasanya tekanan gas H₂ diatur pada tekanan maksimumnya, sesuai dengan kapasitas fuel cell tersebut. Tujuannya supaya suplay gas H₂ tetap memadai jika beban tiba-tiba membesar.

Pada sistem PEMFC H-100 suplay gas H₂ nya diberikan pada tekanan yang maksimum, yaitu antara 5.8 psi – 6.5 psi. Tekanan ini diberikan pada semua beban tanpa memperhatikan besar bebannya, tujuannya supaya sistem mendapatkan suplay gas yang cukup untuk menyuplay beban yang terhubung sesuai dengan kapasitasnya. Tekanan ini sebenarnya dapat disesuaikan dengan besar beban yang terhubung ke sistem, pada saat bebannya kecil tekanan gas yang diberikan juga kecil, dan sebaliknya jika beban besar maka tekanannya juga diperbesar, sehingga dapat menghemat pemakaian gas H₂.

Untuk memperbesar atau memperkecil tekanan gas H₂ yang masuk ke sistem PEMFC ini maka ditambahkan suatu valve proporsional pada masukan

sistem. Bukaannya maksimum adalah bukanya valve dengan bukanya 100%, artinya tegangan masukan diatur pada tegangan maksimum. Bukaannya optimum adalah bukanya valve yang diatur secara trial error dengan cara merubah tegangan valve proporsional mulai dari nilai minimum pada saat sistem diberi beban tertentu. Jika tegangan keluaran sistem cenderung turun maka tegangan masukan valve dinaikkan sampai tegangan keluaran sistem konstan pada nilai tertentu.

Tegangan masukan valve didapatkan dari sebuah driver yang dibangun dari rangkaian op-amp. Masukan driver ini diatur secara manual pada setiap perubahan daya beban. Data-data perubahan tegangan masukan driver dan daya beban direkam untuk keperluan analisa. Berdasarkan data-data tersebut diperoleh grafik karakteristik hubungan tegangan masukan driver valve terhadap perubahan daya beban, kemudian dicari grafik pendekatan karakteristik tersebut. Dari grafik tersebut didapatkan dua persamaan, yaitu persamaan polinomial dan linier. Kedua persamaan digunakan untuk mengatur tegangan masukan driver. Masukan persamaan adalah daya beban dan keluarannya sebagai masukan driver. Jika daya beban berubah maka tegangan masukan valve juga berubah, sehingga bukanya valve proporsional pada masukan sistem PEMFC akan berubah sesuai dengan perubahan daya beban.

Dengan mengatur bukanya valve proporsional pada masukan sistem PEMFC sesuai dengan persamaan tersebut maka kebutuhan gas H₂ pada sistem PEMFC dapat dioptimalkan sesuai dengan besar beban yang terhubung ke sistem sehingga dapat menghemat pemakaian gas H₂ tanpa mengurangi performa keluaran sistem.

1.2. Tujuan Penulisan

Tesis ini bertujuan untuk mengoptimalkan kebutuhan gas H₂ pada sistem PEMFC sesuai dengan besar beban. Hal ini dilakukan dengan cara mengatur aliran masukan gas H₂ pada sistem PEMFC H-100 secara otomatis sesuai dengan persamaan yang diperoleh dari grafik karakteristik hubungan tegangan masukan driver valve terhadap daya beban. Hal ini dapat

menghemat pemakaian gas H₂ tanpa mengurangi performa keluaran sistem.

1.3. Pembatasan Masalah

Tesis ini membahas rancangan pengaturan bukaan valve proporsional pada saluran masukan gas H₂ sistem PEMFC H-100 secara otomatis sesuai dengan perubahan daya beban menggunakan dua persamaan yang diperoleh dari grafik karakteristik hubungan tegangan masukan driver valve terhadap perubahan daya beban. Ada dua persamaan yang digunakan, yaitu persamaan polinomial dan linier.

Kedua persamaan diujikan untuk mengatur bukaan valve proporsional pada saluran masukan gas H₂ sistem PEMFC H-100. Keluaran sistem berupa arus dan tegangan dibandingkan dengan hasil percobaan pada bukaan valve maksimum dan optimum. Banyaknya aliran gas H₂ pada masing-masing pengujian juga dibandingkan dengan hasil percobaan sistem pada bukaan valve maksimum dan optimum.

1.4. Susunan Penulisan

Penulisan laporan tesis ini dibagi ke dalam lima bab yang akan menjelaskan secara bertahap mengenai keseluruhan isi tesis ini.

Bab satu merupakan pendahuluan yang berisi latar belakang, tujuan, pembatasan masalah, dan sistematika penulisan. Bab dua membahas dasar teori yaitu tentang fuel cell, PEMFC (proton exchange membrane fuel cell) Horizon H-100, karakteristik sistem PEMFC H-100 dan spesifikasinya, sensor-sensor serta rangkaian yang digunakan dalam pengujian. Bab tiga membahas rancangan pengujian persamaan pada bukaan valve masukan gas H₂ sistem PEMFC H-100. Bab empat berisi hasil pengujian dan analisa. Bab lima merupakan kesimpulan dari keseluruhan pembahasan dalam laporan tesis ini.

BAB 2 DASAR TEORI

2.1. Fuel Cell

Fuel cell ialah alat konversi elektrokimia yang berfungsi mengubah energi kimia dari fuel (bahan bakar) menjadi energi listrik. Sama halnya dengan baterai yang menghasilkan listrik melalui proses elektrokimia perbedaan fuel cell dengan baterai adalah karena fuel cell menghasilkan air dan panas di samping energi listrik. Fuel cell dapat menghasilkan energi secara berkelanjutan (kontinyu) karena sumber energinya diberikan langsung dari sumber di luar sistem, sedangkan pada baterai sumber energi bersatu dengan sistem, sehingga jika sumber energinya habis, maka harus dilakukan pengisian sumber energi lagi.

Fuel Cell memiliki beberapa keunggulan lain yaitu:

1. Mempunyai kemampuan untuk mengkonversi energi kimia menjadi energi listrik dengan lebih sempurna (efisiensi tinggi, panas buangan dapat digunakan kembali).
2. Ramah lingkungan. Fuel cell beroperasi dengan emisi rendah, tanpa bising dan hasil buangan yang tidak berbahaya (air dan panas).
3. Fuel cell dapat ditempatkan di berbagai lokasi sesuai kebutuhan, ukurannya fleksibel.

Namun, fuel cell juga memiliki beberapa kekurangan, diantaranya;

1. Harga pasaran yang relative masih tinggi.
2. Hidrogen yang akan digunakan sebagai bahan bakar tidak tersedia dengan mudah.

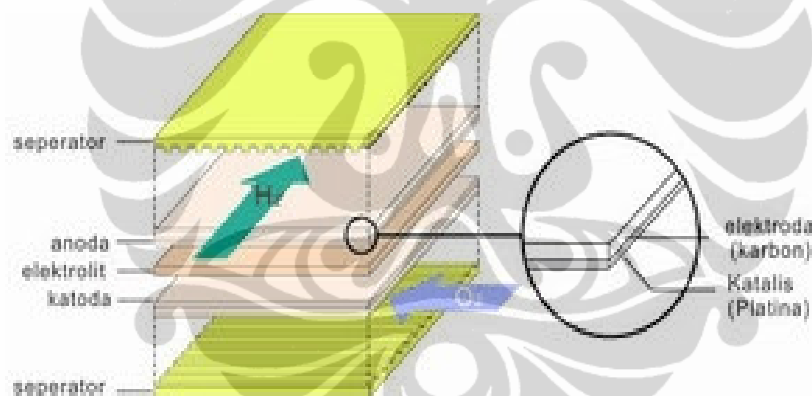
2.2. Komponen utama sistem fuel cell

Tiap unit sistem fuel cell terdiri atas 4 komponen utama, yaitu:

1. **Anoda** (fuel electrode) yaitu komponen yang menjadi tempat untuk bertemunya fuel dengan elektrolit, sehingga ia menjadi katalisator dalam reaksi reduksi bahan bakar dan kemudian mengalirkan elektron dari reaksi tersebut menuju rangkaian eksternal (beban)

2. **Katoda** (oxygen electrode) yaitu komponen yang menjadi tempat untuk bertemunya oksigen dengan elektrolit, sehingga ia menjadi katalisator dalam reaksi oksidasi oksigen dan kemudian mengalirkan elektron dari rangkaian eksternal kembali ke dalam fuel cell yang akhirnya menghasilkan air dan panas.
3. **Elektrolit** yaitu bahan yang berfungsi sebagai penghantar yang mengalirkan ion yang berasal dari bahan bakar di anoda menuju katoda.
4. **Katalis** yaitu material atau bahan khusus untuk mempercepat reaksi kimiawi atau reduksi-oksidasi.

Untuk mampu menghasilkan tegangan yang tinggi/yang diinginkan maka sel tersebut dihubungkan secara seri. Kumpulan dari banyak sel tunggal ini disebut *stack*. Untuk membuat *stack*, selain dibutuhkan sel tunggal, juga diperlukan sel separator.



Gambar 2.1 Unit Fuel Cell

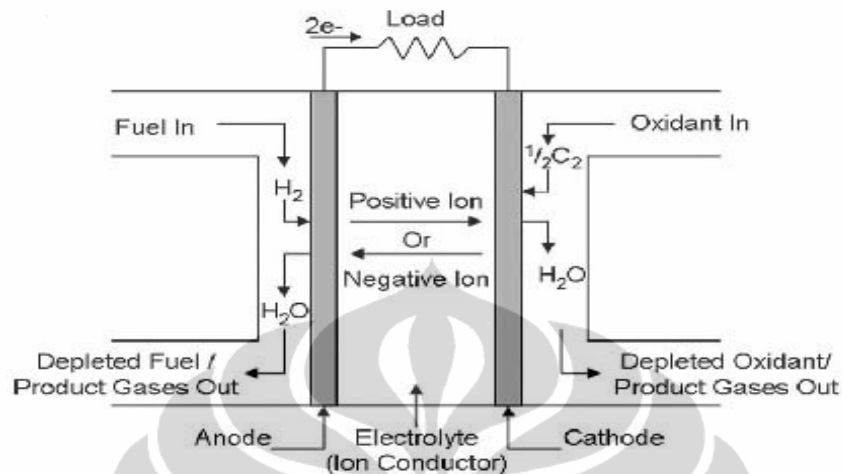
(Aryani, Dharma. Identifikasi Sistem Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) dengan Metode Kuadrat Terkecil. Seminar, Universitas Indonesia. Desember 2008.)

2.3. Prinsip kerja fuel cell

Seperti yang diilustrasikan pada gambar 2.2. fuel (hidrogen) dialirkan ke permukaan anoda dan secara bersamaan, oksigen yang berasal dari udara bebas, dialirkan ke permukaan katoda.

Saat elektroda dihubungkan dengan beban dari luar, maka proses yang terjadi adalah sebagai berikut; Hidrogen (H_2) yang menyentuh permukaan anoda akan bereaksi secara kimiawi (reduksi), menghasilkan ion hidrogen (H^+) dan ion elektron (e^-). Sedangkan pada katoda terjadi reaksi oksidasi,

menghasilkan air. Ion hidrogen (H^+) akan bergerak dari permukaan anoda menuju katoda melalui elektrolit dan ion elektron (e^-) bergerak ke beban lalu menuju katoda.



Gambar 2.2. Prinsip kerja Fuel Cell

(Aryani, Dharma. Identifikasi Sistem Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) dengan Metode Kuadrat Terkecil. Seminar, Universitas Indonesia. Desember 2008.)

2.4. PEMFC (proton exchange membrane fuel cell)

Fuel cell ini bekerja pada temperatur operasi yang rendah (50^0 - 120^0) dengan menggunakan bahan bakar hidrogen murni. Jenis membran yang digunakan adalah Nafion. Nafion memiliki sifat sebagai konduktor dan melewatkan muatan positif H^+ . Katalis PEMFC umumnya menggunakan bahan dasar platina. Jenis fuel cell ini yang akan diuji dan diatur masukan gas H_2 nya dalam penelitian ini. Pada sub bab selanjutnya akan dibahas lebih rinci tentang perbandingan bukaan valve masukan gas H_2 pada sistem PEMFC terhadap daya beban dan efisiensi pemakaian gas H_2 .

Tabel 2.1. Reaksi elektrokimia Fuel Cell

Fuel Cell	Reaksi pada Anoda	Reaksi pada Katoda
Proton Exchange Membrane dan Phosporic Acid	$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$	$\frac{1}{2} O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$
Alkaline	$H_2 + 2(OH)^- \rightarrow 2H_2O + 2e^-$	$\frac{1}{2} O_2 + H_2O + 2e^- \rightarrow 2(OH)^-$
Molten carbonate	$H_2 + CO_3^- \rightarrow H_2O + CO_2 + 2e^-$ $CO + CO_3^- \rightarrow 2CO_2 + 2e^-$	$\frac{1}{2} O_2 + CO_2 + 2e^- \rightarrow CO_3^-$

Solid Oxide	$\text{H}_2 + \text{O}^{\ominus} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$ $\text{CO} + \text{O}^{\ominus} \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{e}^-$ $\text{CH}_4 + 4\text{O}^{\ominus} \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + 8\text{e}^-$	$\frac{1}{2} \text{O}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow \text{O}^{\ominus}$
-------------	---	---

(Aryani, Dharma. Identifikasi Sistem Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) dengan Metode Kuadrat Terkecil. Seminar, Universitas Indonesia. Desember 2008.)

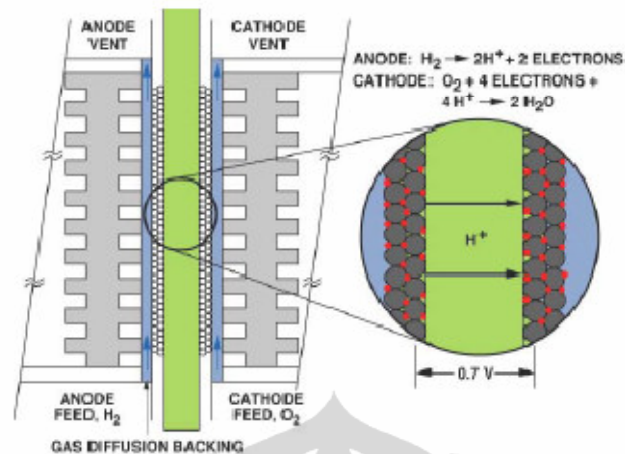
2.5. Karakteristik PEMFC

Polymer electrolyte membrane fuel cell (PEMFC) disebut juga *proton exchange membrane fuel cell*. Membrane ini berupa lapisan tipis padat yang berfungsi sebagai elektrolit pemisah katoda dan anoda. Membran ini secara selektif mengontrol transport proton dari anoda ke katoda dalam fuel cell. PEMFC mengandung katalis platina. Untuk menghasilkan energi, PEMFC hanya memerlukan hidrogen, oksigen dan udara, serta air untuk mengoperasikannya. Selain itu, pada fuel cell ini tidak dipakai fluida yang bersifat korosif seperti jenis fuel cell lainnya.

Material berbasis polimer memiliki beberapa keunggulan:

- Mempunyai hantaran yang cocok untuk aplikasi sel elektrokimia.
- Mempunyai hantaran listrik yang rendah.
- Mempunyai sifat mekanik yang baik.
- Mempunyai kestabilan kimia, elektrokimia dan fotokimia yang baik.
- Murah dalam pembuatannya.

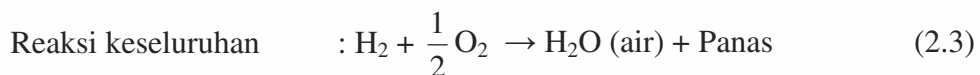
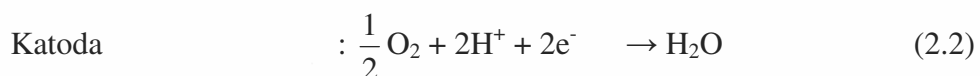
Disebut Proton Exchange Membrane (PEM), karena menggunakan proton sebagai konduktor untuk melewati membran dari bahan polimer yang berfungsi sebagai elektrolit dari anoda ke katoda. Katalisator yang digunakan adalah platina.



Gambar 2.3. Skematik PEMFC

(Aryani, Dharma. Identifikasi Sistem Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) dengan Metode Kuadrat Terkecil. Seminar, Universitas Indonesia. Desember 2008.)

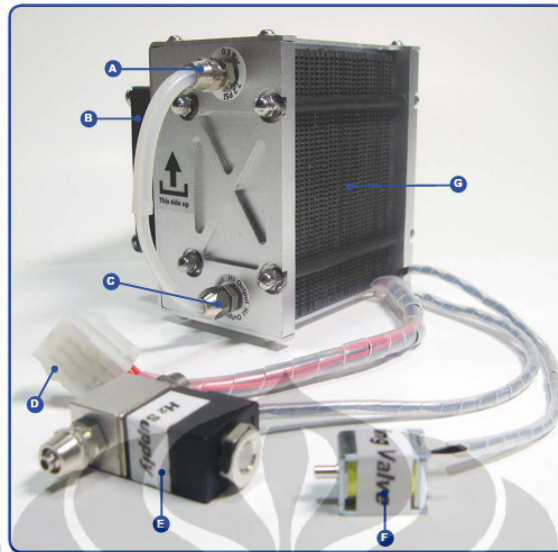
Struktur satu unit PEMFC yang terdiri dari anoda, katoda serta membran, disebut Membrane Electrode Assembly (MEA). Bekerja pada suhu rendah (60° - 80°) dalam hidrogen murni dalam bentuk gas, yang dialirkan ke anoda dengan tekanan konstan. Hidrogen yang menyebar di anoda akan dibantu katalisator, dari bahan platina untuk melepaskan elektron menuju beban dan ion positif hidrogen (proton) yang akan dialirkan menuju katoda. Proton yang dipindahkan ke katoda melalui membran penghantar proton yang hanya membolehkan ion proton saja yang lewat dan menyaring elektron. Reaksi yang terjadi pada PEMFC adalah sebagai berikut;



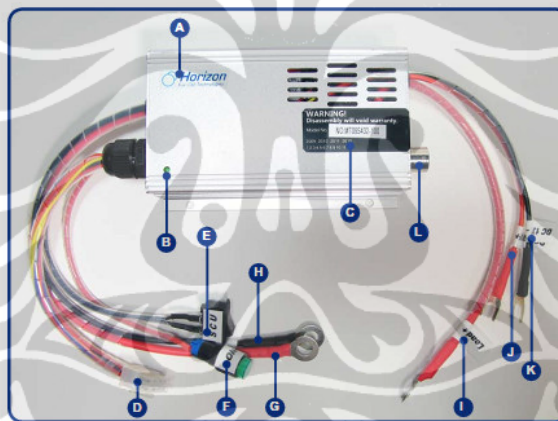
2.6. PEMFC Horizon H-100

PEMFC Horizon H-100 ini merupakan jenis fuel cell komersil yang diproduksi oleh Horizon. Fuel cell ini memiliki kapasitas daya sebesar 100 watt. Fuel cell ini memiliki saluran masukan dan keluaran gas H₂, sedangkan untuk saluran oksigennya hanya dialirkan dari blower.

Gambar bagian-bagian sistem PEMFC H-100 dapat dilihat pada gambar 2.4.



(a)



(b)

Gambar 2.4. Bagian-bagian PEMFC H-100
 (a) Stack, valve masukan, valve purging, blower.
 (b) Kontroller, saklar on/off, SCU

(Horizon Fuel Cell. *H-100 Fuel Cell Stack User Manual*. V2.0, 2009)

1) Stack

Stack adalah komponen utama dari sebuah fuel cell. Pada komponen ini terdapat membran polymer, lempeng anoda dan katoda, saluran masukan dan keluaran gas H₂, konektor tegangan keluaran, blower, serta kabel konektor kontroler. Di dalam *stack* inilah terjadi reaksi gas H₂ dengan oksigen melalui membran polymer sehingga menguraikan gas H₂ menjadi ion dan menghasilkan aliran elektron.

2) H2 Supply Valve

Valve ini berjenis valve selenoid yang berfungsi agar gas H₂ dapat mengalir dari tabung gas ke stack. Valve ini terletak pada saluran gas H₂ sebelum stack. Saat sistem hidup maka valve ini terbuka, dan ketika sistem mati valve ini tertutup. Valve ini tidak dapat diatur besar bukaannya, jadi hanya berfungsi buka tutup saja.

3) H2 Purge Valve

Valve purging berfungsi membuang sisa reaksi gas dari dalam stack, berupa air dan gas sisa. Valve ini akan hidup secara periodik, yaitu 1 kali dalam 10 detik. Selain itu valve ini juga berfungsi untuk menjaga kestabilan tegangan keluaran fuel cell, dimana valve ini akan membuang gas H₂ yang telah jenuh, dan kemudian diganti dengan gas yang baru sehingga akan menstabilkan tegangan keluarannya.

4) Blower

Berfungsi untuk mengalirkan gas O₂ ke sistem serta mengurangi panas pada sistem. Blower ini hanya akan hidup jika sistem juga hidup.

5) Controller

Berfungsi untuk mengontrol suhu stack, kipas, masukan hidrogen, purging dan SCU. Selain itu controller ini juga berfungsi sebagai pengaman sistem ketika beban lebih besar dari kapasitas maka sistem akan *turn off*.

6) On/Off Switch

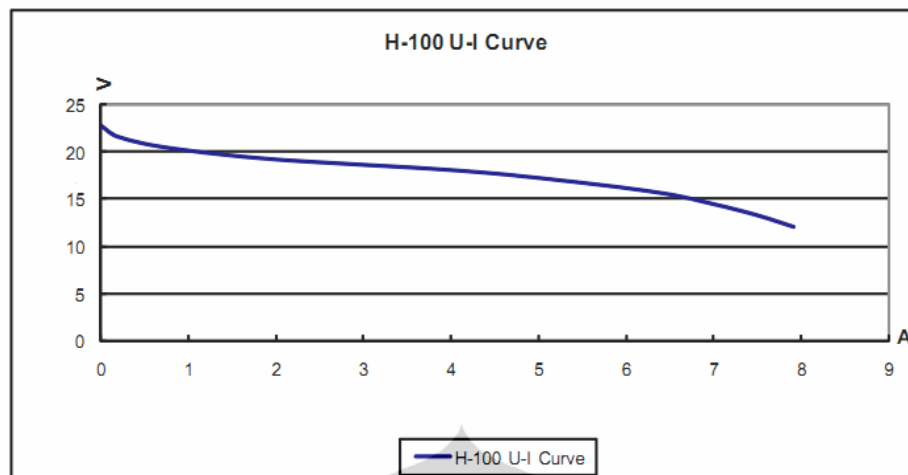
Saklar ini digunakan untuk mematikan atau menghidupkan sistem. Penggunaannya dengan cara menekan tombolnya selama ± 5 detik.

7) Short Circuit Unit

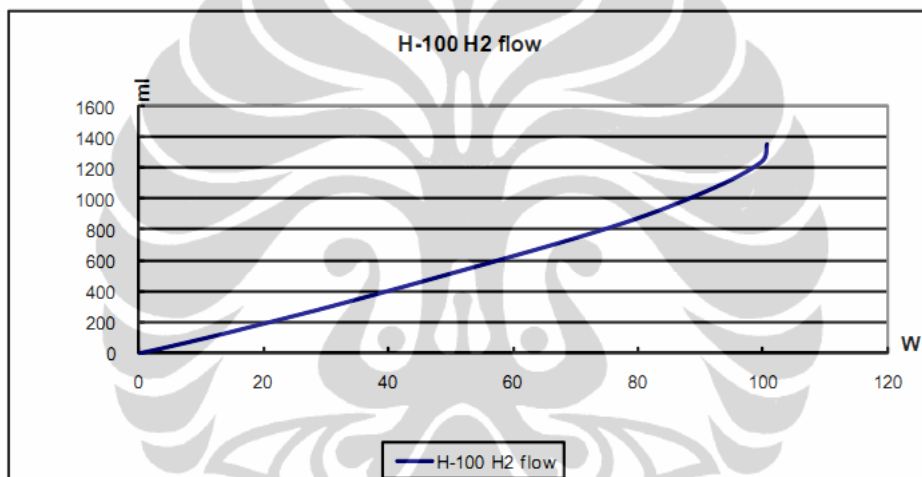
Saklar ini berfungsi untuk mematikan sistem dengan cepat. Saklar ini hanya digunakan jika dibutuhkan.

2.7. Karakteristik Power PEMFC H-100

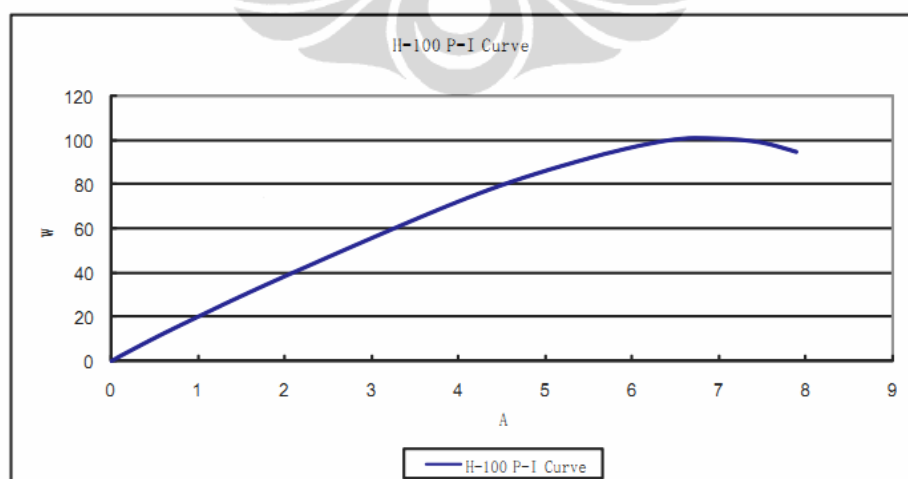
Grafik karakteristik power PEMFC H-100 ditunjukkan pada gambar 2.5. sampai dengan gambar 2.7. Grafik karakteristik ini diperoleh dari data spesifikasi yang disertakan dalam user manual Horizon H-100.



Gambar 2.5. Grafik Arus terhadap Tegangan



Gambar 2.6 Grafik Daya terhadap Aliran



Gambar 2.7. Grafik Arus terhadap Daya

(Horizon Fuel Cell. *H-100 Fuel Cell Stack User Manual*. V2.0, 2009)

2.8. Spesifikasi PEMFC H-100

Sistem PEMFC H-100 ini membutuhkan suplay H₂ dengan tekanan berkisar antara 5,8 psi sampai 6,5 psi. Gas H₂ yang dipakai haruslah yang murni, sedangkan gas oksigen disalurkan melalui blower yang terdapat pada stack.

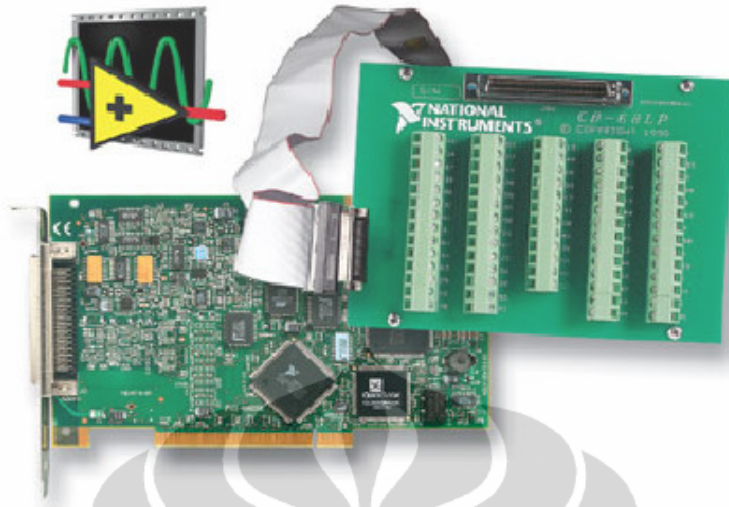
Tabel spesifikasi PEMFC H-100 ditunjukkan pada tabel 2.3.

Tabel 2.2. Spesifikasi PEMFC H-100

Type of fuel cell	PEM
Number of cells	24
Rated power	100W
Rated performance	14V@7.2A
Output voltage range	13V-23V
Weight (with fan & casing)	0.95kg(201lbs)
Size	143 x 109 x 94 mm (5.6 x 4.3 x 3.7)
Reactants	Hydrogen and Air
Rated H ₂ consumption	1.4l/min (83in ³ /min)
Hydrogen pressure	0.4-0.45Bar (5.8-6.5PSI)
Controller weight	0.4kg (0.88lbs)
Hydrogen supply valve voltage	12V
Purging valve voltage	12V
Blower voltage	12V
Ambient temperature	5-35°C (41-95°F)
Max stack temperature	65°C (149°F)
Hydrogen purity	99.999% dry H ₂
Humidification	Self-humidified
Cooling	Air (integrated cooling fan)
Start up time	Immediate
Efficiency of system	40%@14V

(Horizon Fuel Cell. *H-100 Fuel Cell Stack User Manual*. V2.0, 2009)

2.9. NI PCI-6024E/CB-68LP Academic Starter Kit



Gambar 2.8. National Instrument® PCI-6024E/CB-68LP Academic Starter Kit

CB-68LP merupakan alat yang digunakan untuk menyebarkan 68 pin yang terdapat pada konektor R6868 sehingga setiap pin tersebut dapat dihubungkan dengan mudah ke peralatan listrik lain sesuai kebutuhan. Nomor channel dan pin dari CB-68LP terdapat pada lampiran. Penomoran channel dimulai dari channel 0 (CH0). Dalam penggunaannya setiap channel mempunyai pasangan, yaitu channel n , channel $n+8$, dan ground. Jadi channel 0 berpasangan dengan channel 8 (+ ground), channel 1 berpasangan dengan channel 9 (+ ground), dan seterusnya. Penggunaan channel ini berpengaruh pada konfigurasi pada *Analog Masukan/Keluaran* yang akan digunakan pada percobaan sistem PEMFC H-100.

Koneksi dapat dilakukan dengan menghubungkan CB-68LP dan PCI-6024E (yang tertanam dalam CPU) dengan menggunakan konektor R6868 (68 pin).

2.10. Sensor dan rangkaian driver valve

1. Sensor Aliran

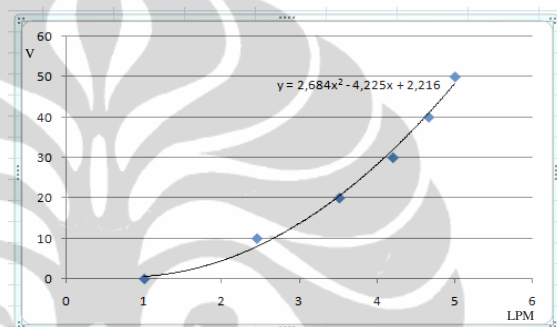
Terdapat dua jenis sensor aliran gas yang digunakan yaitu tipe D6F-50A6-000, dipasang pada sisi masukan, berfungsi untuk mengukur aliran gas H₂ masukan pada sistem PEMFC H-100 dan tipe D6F-01A1-

110, dipasang pada sisi keluaran, berfungsi untuk mengukur aliran gas H₂ keluaran. Sensor D6F-50A6-000 memiliki kemampuan pengukuran aliran 0 - 50 liter permenit [LPM], sedangkan D6F-01A1-110 memiliki kemampuan pengukuran aliran 0 – 1 liter permenit [LPM].

Karakteristik dari masing-masing sensor aliran ini diturunkan dari data yang diberikan pabrik pembuatnya (Omron). Grafik hubungan antara tegangan keluaran dan besarnya aliran yang diukur ditunjukkan pada gambar 2.9.

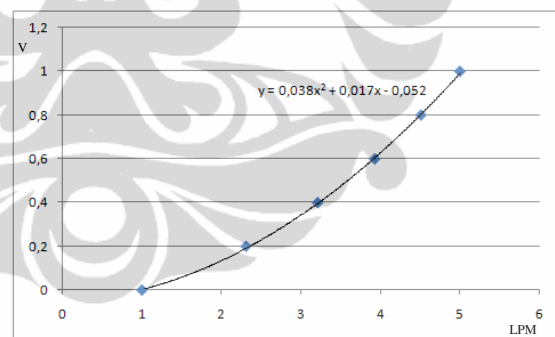
- D6F-50A6-000

V	LPM
1	0
2,45	10
3,51	20
4,2	30
4,66	40
5	50



- D6F-01A1-110

V	LPM
1	0
2,31	0,2
3,21	0,4
3,93	0,6
4,51	0,8
5	1

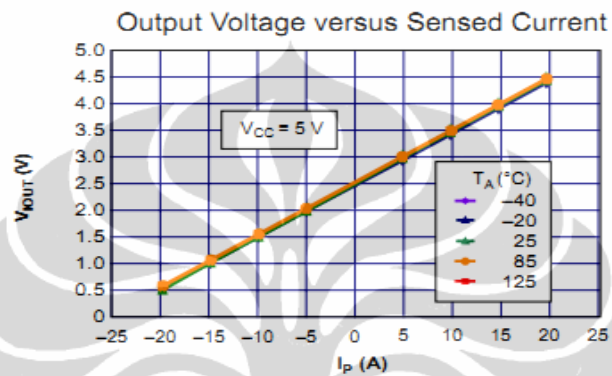


Gambar 2.9. Karakteristik Sensor Aliran D6F

Data tabel pada gambar 2.9 adalah data tegangan dan aliran dari sensor aliran yang diperoleh dari datasheetnya. Sedangkan persamaannya dicari dari grafiknya yang dibuat di microsoft excell.

2. Sensor Arus

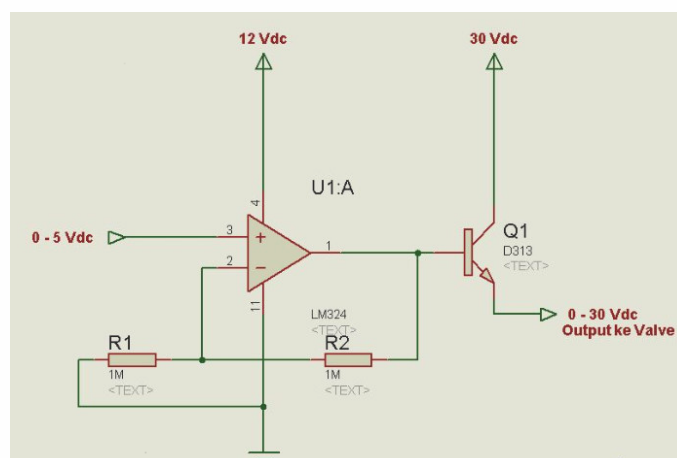
Sensor arus digunakan untuk mengukur arus keluar/arus beban dari sistem PEMFC H-100. Sensor arus yang digunakan adalah tipe ACS714T LLC-05B dengan sensitifitas 185mV/A dan tegangan keluran 0 – 5 Vdc. Pada saat tidak ada arus, tegangan keluran sensor ini adalah 2,5 Vdc. Karakteristik masukan-keluaran dari sensor arus ini ditunjukkan pada gambar 2.10.



Gambar 2.10. Karakteristik keluaran sensor arus ACS714T LLC-05B
(datasheet ACS714)

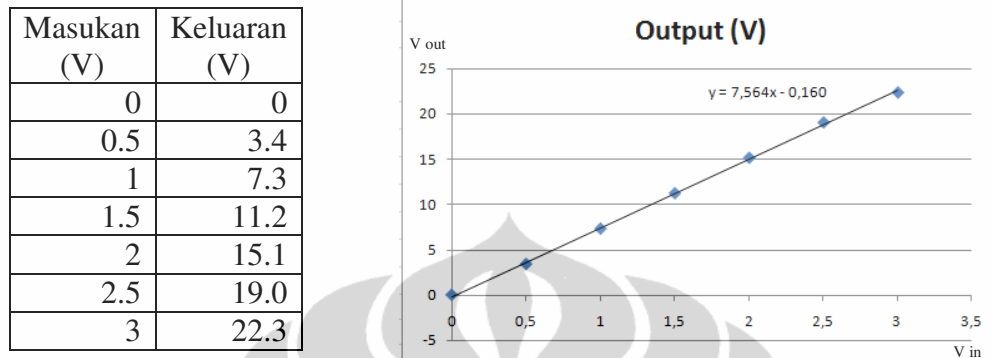
3. Driver valve

Driver ini digunakan untuk memberikan tegangan masukan pada valve proporsional, sehingga bukaan valve dapat diatur. Rangkaian driver ini dibangun menggunakan op-amp jenis LM324 dengan sinyal masukan 0 – 5 Vdc dan keluaran dari 0 – 30 Vdc. Untuk menguatkan arusnya ditambahkan sebuah transistor 2SD313. Rangkaian driver ini ditunjukkan pada gambar 2.11.



Gambar 2.11. Rangkaian driver valve

Berdasarkan pengujian terhadap masukan dan keluaran pada rangkaian driver ini didapat karakteristik yang linier seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.12.



Gambar 2.12. Karakteristik Driver Valve

BAB 3

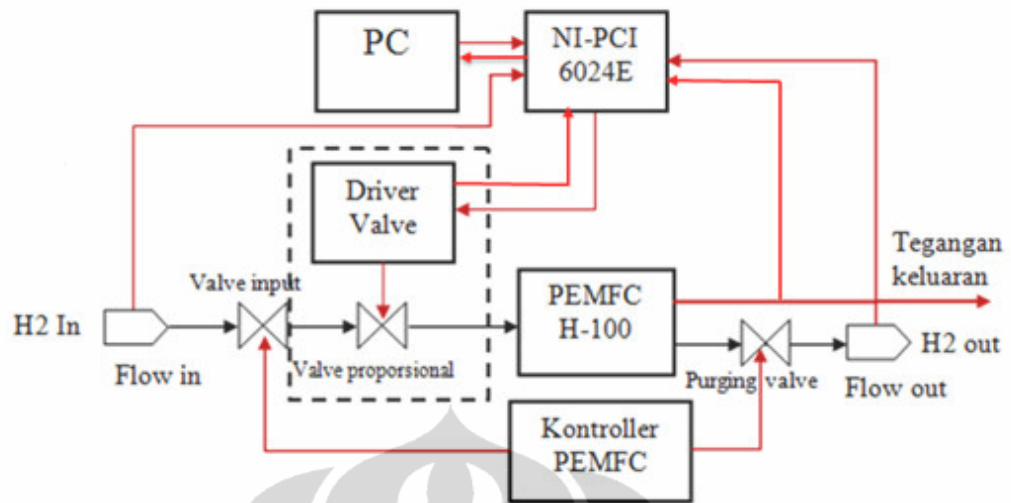
METODE PENELITIAN

Untuk dapat mengatur aliran gas H₂ pada sistem PEMFC H-100 maka perlu ditambahkan sebuah valve pada saluran masukan gas H₂ sistem. Jenis valve yang digunakan adalah valve proporsional yang mempunyai tegangan kerja dari 0 – 30 Vdc. Bukaannya valve ini dapat diatur bukaannya dengan mengubah tegangan masukannya. Tegangan masukan valve ini diperoleh dari sebuah valve yang mempunyai tegangan masukan 0 -5 Vdc. Tegangan inilah yang diatur untuk mengubah bukaannya valve proporsional, sehingga aliran gas H₂ pada sistem PEMFC dapat diubah sesuai kebutuhan.

Selanjutnya akan dilakukan percobaan pada sistem PEMFC H-100 dengan bukaannya valve maksimum dan optimum. Bukaannya maksimum artinya tegangan valve diatur pada nilai maksimum, yaitu 30 Vdc, sedangkan bukaannya optimum artinya bukaannya valve diatur dibawah bukaannya maksimum, sesuai dengan besar beban yang terhubung. Caranya dengan menaikkan masukan driver secara perlahan, jika tegangan keluaran sistem cenderung turun saat diberi beban, maka masukan driver perlu dinaikkan sampai tegangan keluaran sistem konstan pada nilai tertentu pada beban tertentu. Percobaan ini bertujuan untuk melihat keluaran sistem fuel cell, serta melihat banyaknya aliran masukan gas H₂ pada masing-masing percobaan.

3.1. Diagram blok percobaan sistem PEMFC H-100 dengan bukaannya valve maksimum dan optimum.

Percobaan pada sistem PEMFC H-100 dilakukan dengan membuka valve proporsional pada masukan sistem dengan dua kondisi. Pertama dengan bukaannya valve 100%, artinya tegangan valve diatur pada nilai maksimum, yaitu 30 Vdc. Kemudian yang kedua dengan bukaannya valve yang diatur secara manual sehingga didapatkan bukaannya optimum. Diagram blok percobaan sistem PEMFC H-100 dengan bukaannya valve maksimum dan optimum dapat dilihat pada gambar 3.1.

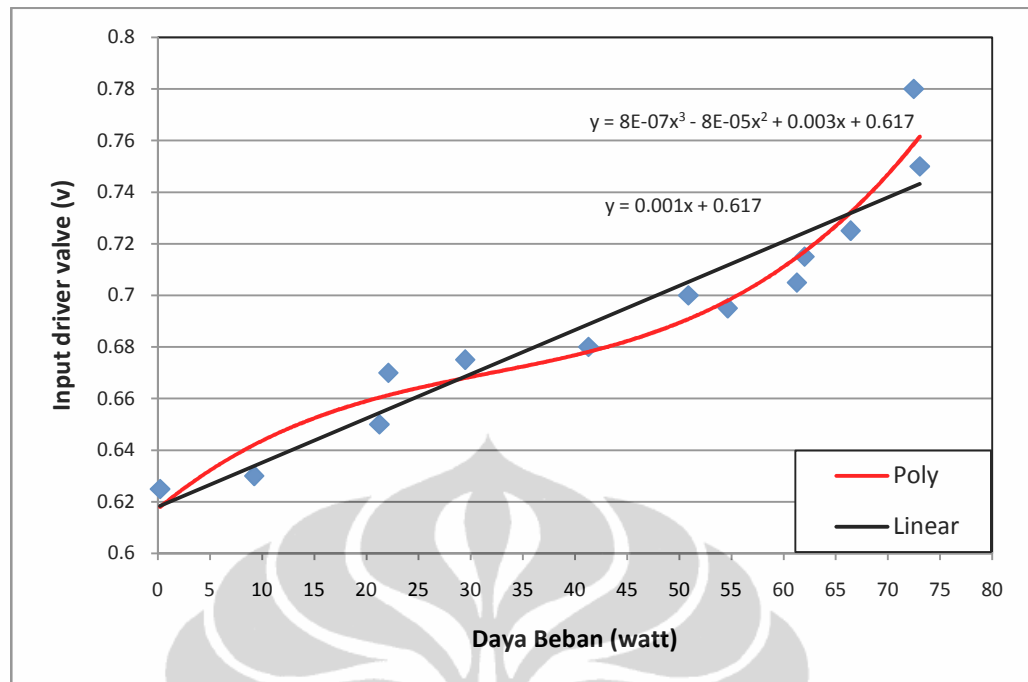


Gambar 3.1. Blok diagram percobaan sistem PEMFC dengan bukaan valve maksimum dan optimum.

Gambar 3.1. merupakan gambar blok diagram percobaan sistem PEMFC H-100. Gambar yang ditandai dengan garis putus-putus merupakan bagian yang ditambahkan pada sistem. Tegangan masukan driver diatur melalui PC. Percobaan pertama dilakukan dengan memberikan masukan driver valve pada nilai maksimum sehingga bukaan valve juga maksimum. Percobaan kedua dilakukan dengan mengubah masukan driver valve ke nilai optimum sesuai dengan beban yang sedang terhubung ke sistem. Tegangan masukan driver ini nilainya akan naik seiring naiknya beban. Percobaan dilakukan dengan bantuan program simulink matlab dengan sample time 0.01 selama 90 detik. Selama percobaan, data tegangan masukan driver valve dan daya beban direkam untuk keperluan analisa.

3.2. Karakteristik hubungan masukan driver valve terhadap daya beban pada sistem PEMFC H-100.

Berdasarkan data yang didapatkan dari hasil percobaan dengan bukaan valve optimum, didapatkan karakteristik hubungan tegangan masukan optimum driver valve terhadap daya beban pada sistem PEMFC H-100, yang ditunjukkan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2. Karakteristik hubungan tegangan optimum masukan driver valve terhadap daya beban.

Dari grafik pada gambar 3.1 ada dua persamaan yang didapatkan, yaitu persamaan linier dan persamaan polinomial.

Keluaran sistem PEMFC H-100 berupa daya beban dijadikan masukan dalam persamaan, hasilnya dijadikan masukan driver sehingga bukaan valve proporsional berubah sesuai dengan perubahan daya beban.

3.1.1. Persamaan polinomial

Berdasarkan grafik karakteristik masukan driver valve terhadap daya beban pada gambar 3.2 maka didapatkan persamaan polinomial sebagai berikut:

$$y = 8E-07x^3 - 8E-05x^2 + 0.003x + 0.617 \quad (3.1)$$

Persamaan ini didapatkan dengan bantuan *tool chart* pada program *microsoft excell*.

3.1.2. Persamaan linier

Persamaan linier yang didapat dari grafik pada gambar 3.2 adalah sebagai berikut:

$$y = 0.001x + 0.617 \quad (3.2)$$

keterangan:

y = masukan driver valve (vdc)

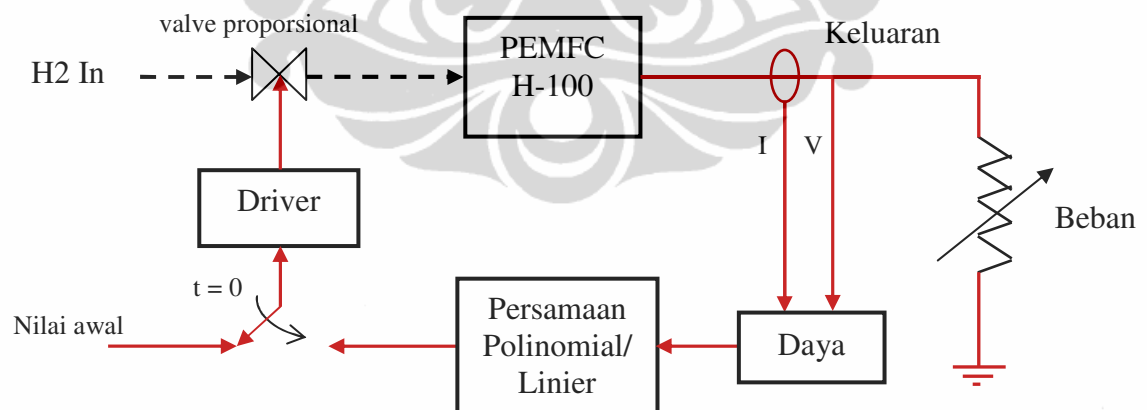
x = daya beban (watt)

Persamaan linier ini juga didapatkan dengan bantuan *tool chart* pada program *excell 2007*.

3.3. Blok diagram pengujian pengaturan bukaan valve masukan gas H₂ secara otomatis pada sistem PEMFC H-100.

Bukaan valve masukan gas H₂ pada sistem akan diatur sesuai dengan perubahan daya beban. Daya beban dijadikan masukan pada kedua persamaan (3.1 dan 3.2) dan keluarannya menjadi masukan driver.

Masing-masing persamaan diujikan pada sistem kemudian tegangan dan arus keluaran serta aliran masukan/keluaran gas H₂ sistem PEMFC dibandingkan dengan hasil percobaan sebelumnya. Blok diagram pengujian bukaan valve secara otomatis pada sistem PEMFC H-100 ini dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3. Blok diagram kendali pengujian sistem PEMFC H-100

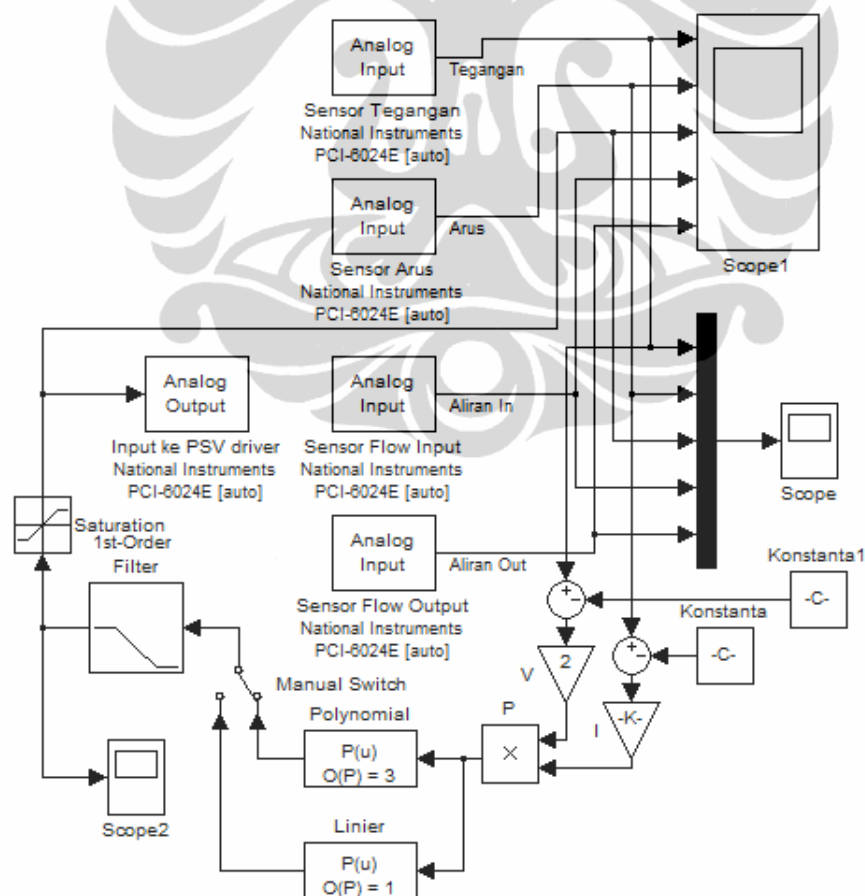
Pada gambar 3.3 terlihat blok diagram kendali sistem pengujian sistem dengan bukaan valve secara otomatis sesuai dengan perubahan daya beban. Daya beban yang merupakan hasil perkalian arus dan tegangan

keluaran sistem akan dimasukkan dalam persamaan, hasilnya akan dijadikan masukan driver valve. Sebelum pengujian dijalankan, tegangan masukan driver diatur pada nilai awal maksimum. Saat pengujian dijalankan, tegangan masukan driver diambil alih oleh keluaran persamaan.

Pengujian dilakukan dengan mengubah beban yang terhubung pada sistem secara bertahap, mulai dari tanpa beban sampai dengan beban maksimum. Setiap perubahan beban data tegangan, arus, aliran masukan dan keluaran gas H₂ nya direkam untuk keperluan analisa.

3.4. Blok Simulink Pengujian Sistem PEMFC H-100

Pengujian dilakukan dengan bantuan simulink pada program matlab. Sebelum sistem simulink dijalankan, masukan driver di atur pada nilai maksimum. Blok simulink pengujian sistem yang dibuat dengan program Matlab 2008b dapat dilihat pada gambar 3.4.

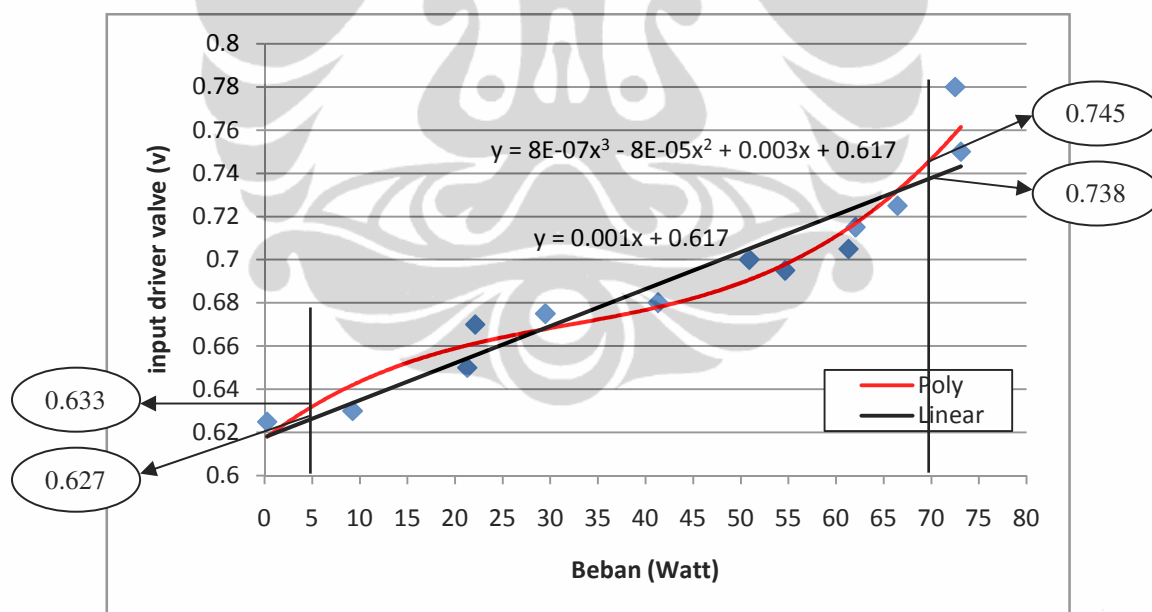


Gambar 3.4. Blok simulink pengujian bukaan valve masukan gas H₂ pada sistem PEMFC secara otomatis.

Driver valve mendapatkan masukan dari analog keluaran NI-PCI 6024 dan keluarannya menjadi masukan valve proporsional. Pada blok simulink dalam gambar 3.4, masukan driver valve didapatkan dari persamaan polinomial dan linier.

3.3.1. Penambahan batas minimum dan maksimum keluaran persamaan

Penambahan batas min/max pada sistem bertujuan agar bukaan valve proporsional tidak terlalu kecil atau terlalu besar. Jika terlalu kecil maka tegangan keluaran sistem akan cenderung turun sehingga sistem *off*. Jika terlalu besar maka akan terjadi pemborosan gas H₂. Batas masukan minimum yang diberikan adalah pada saat daya beban sebesar 5 watt. Untuk batas maksimum dibatasi pada saat daya beban 70 watt. Batasan ini diperoleh dengan metode trial error. Penambahan batas minimum dan maksimum pada sistem dapat dijelaskan melalui gambar 3.5.



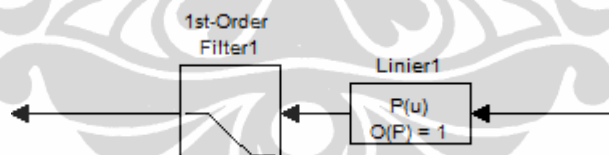
Gambar 3.5. Penambahan batas minimum dan maksimum masukan driver

Pada gambar 3.5. dapat dilihat batasan minimum dan maksimum tegangan masukan driver valve pada grafik karakteristik hubungan tegangan masukan driver valve terhadap daya beban. Batasan tegangan minimum masukan driver valve diatur pada saat

daya beban 5 watt, yaitu sebesar 0.627 volt pada persamaan linier dan 0.633 volt pada persamaan polinomial. Jadi untuk beban dibawah 5 watt maka masukan driver tidak berdasarkan daya beban, tapi telah ditetapkan besarnya pada daya beban sebesar 5 watt. Dengan memberikan batasan/saturasi ini maka masukan driver valve masih dapat memberikan masukan minimal pada valve sehingga bukaan valve masih cukup untuk mengalirkan gas H₂ yang memadai bagi sistem PEMFC H-100. Untuk batas maksimum, nilai masukan driver dibatasi pada saat daya beban sebesar 70 watt, yaitu sebesar 0.745 volt pada persamaan polinomial dan 0.738 volt pada persamaan linier.

3.3.2. Penambahan filter

Filter diletakkan sesudah blok persamaan pada blok simulink. Tujuannya untuk memperbaiki grafik keluaran persamaan sehingga noisennya dapat diminimalkan. Gambar blok filter yang ditambahkan dalam blok diagram pengujian dapat dilihat pada gambar 3.6.

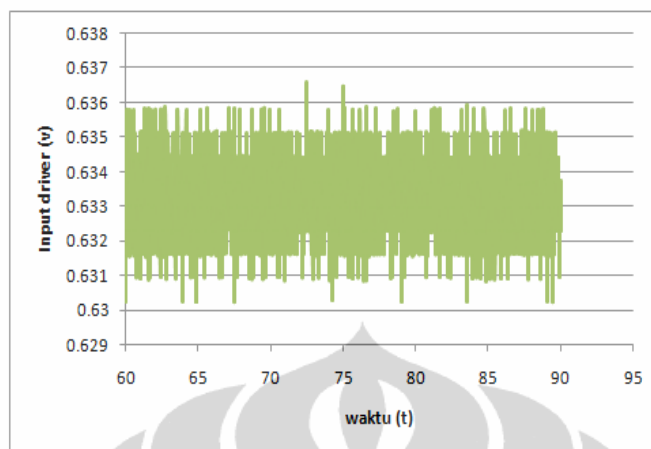


Gambar 3.6. Blok filter

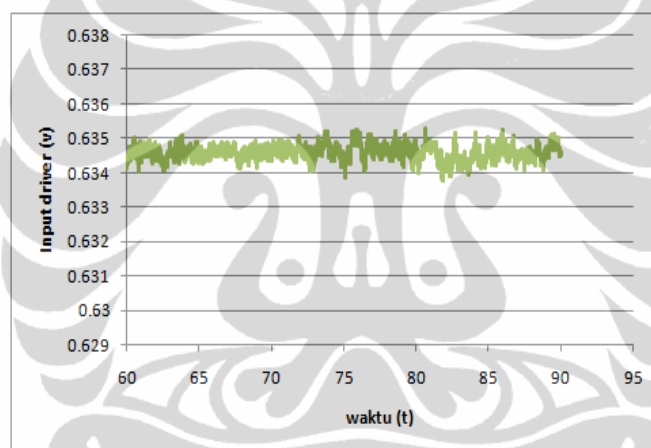
Filter yang digunakan adalah filter orde 1 yang telah disediakan dalam *tool box simulink* pada program Matlab. Jenis filter yang digunakan adalah filter kontinu jenis *low pass* dengan *time constan* 0.1. Filter *low pass* ini digunakan karena noise yang dihasilkan memiliki frekuensi yang cukup tinggi. Model matematika dari filter low pass dapat dilihat pada persamaan 3.3.

$$f_c = \frac{1}{2\pi\tau} = \frac{1}{2\pi RC} \quad (3.3)$$

Dengan menggunakan filter ini didapatkan keluaran persamaan yang lebih mulus seperti yang terlihat pada gambar 3.7.



(a)



(b)

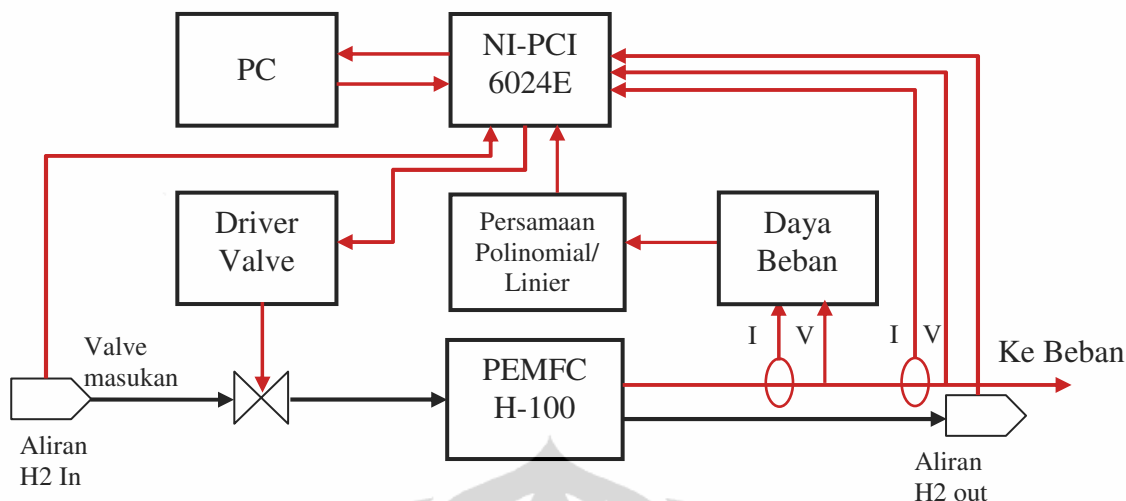
Gambar 3.7. Contoh grafik keluaran persamaan.

(a) Sebelum difilter

(b) Sesudah difilter

3.5. Blok diagram pengujian secara keseluruhan.

Gambar blok diagram pengujian secara keseluruhan, termasuk sensor aliran dan driver valve ditunjukkan oleh gambar 3.8.



Gambar 3.8. Blok diagram pengujian

Sebelum fuel cell dihidupkan, masukan driver valve diberikan nilai maksimum melalui PC. Setelah sistem fuel cell hidup dan simulasi simulink dijalankan, maka masukan driver valve akan ditentukan oleh besarnya beban yang terhubung. Jika bebannya tidak ada atau belum dihubungkan maka tegangan masukan driver valve akan diset pada nilai minimum sesuai dengan nilai yang diberikan pada batasan minimum keluaran persamaan sehingga bukaan valve masih cukup untuk mengalirkan gas H₂ yang memadai sehingga sistem fuel cell masih tetap bekerja.

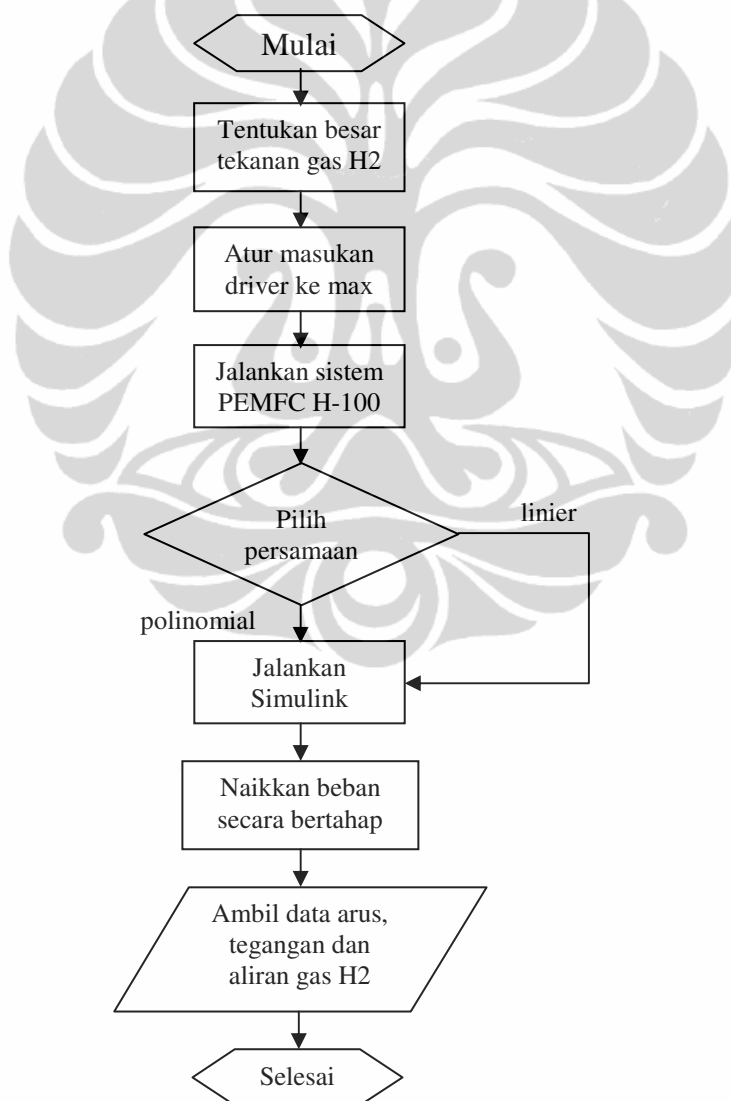
Simulasi simulink dilakukan dengan sample time 0.01 detik selama 90 detik. Selama simulasi, data tegangan, arus, aliran gas H₂ dan besar masukan driver direkam untuk keperluan analisa.

3.6. Langkah langkah pengujian

- Buka valve utama pada tabung gas H₂ dan atur pada tekanan 40 kpa.
- Buka program simulink, tegangan input driver valve diatur pada nilai 5 Vdc (max).
- Hidupkan sistem PEMFC H-100 sesuai buku petunjuk.
- Setelah sistem hidup, berikan beban secara bertahap mulai dari tanpa beban hingga beban maksimum.

- Setelah diberikan beban, jalankan simulink. Pengujian dengan simulink dilakukan dengan sample time 0,01 detik selama 90 detik.
- Pengujian dilakukan dengan dua persamaan, yang pertama persamaan polinomial dan yang kedua persamaan linier.
- Pada setiap pengujian, data arus dan tegangan keluaran, aliran gas input/output dan tegangan input driver valve proporsional direkam untuk keperluan analisa.

Diagram alir pengujian sistem PEMFC pada bukaan valve berdasarkan persamaan polinomial dan linier dapat dilihat pada gambar 3.9.



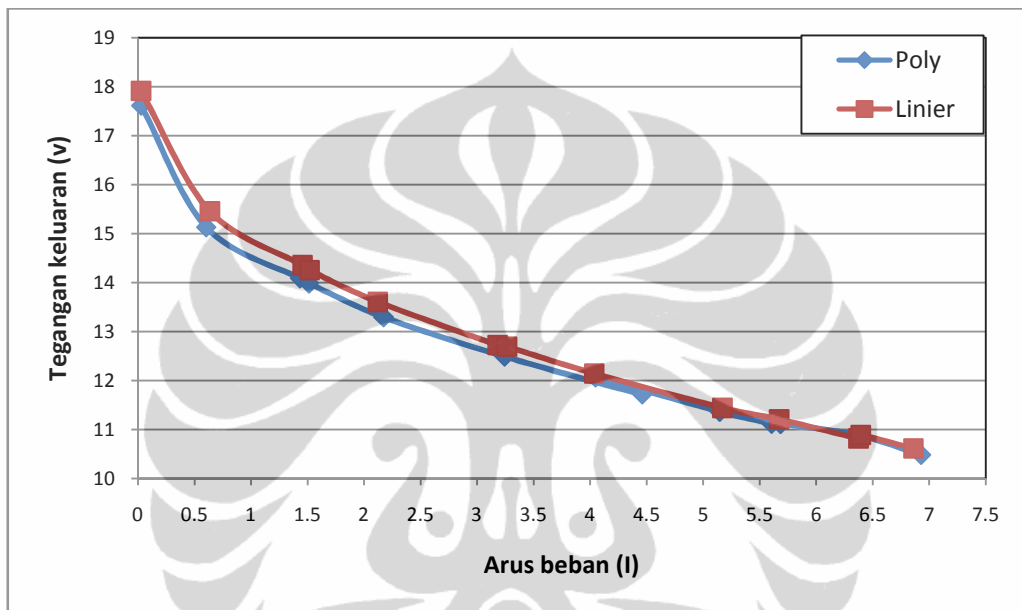
Gambar 3.9. Diagram alir langkah-langkah pengujian sistem PEMFC H-100

BAB 4

PENGUJIAN DAN ANALISA

4.1. Tegangan dan arus keluaran sistem PEMFC.

Pada pengujian bukaan valve berdasarkan persamaan polinomial dan linier didapatkan karakteristik tegangan keluaran sistem PEMFC H-100 terhadap arus beban seperti pada gambar 4.1.



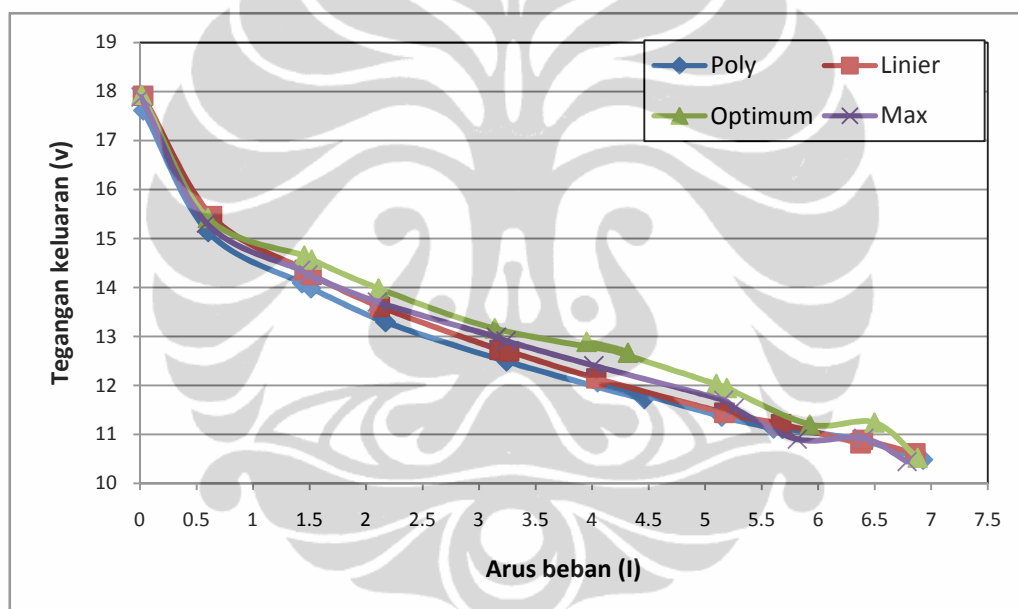
Gambar 4.1. Karakteristik tegangan terhadap arus beban pada persamaan polinomial dan linier.

Dari gambar 4.1 terlihat ada perbedaan pada karakteristik tegangan keluaran fuel cell terhadap arus beban pada bukaan valve berdasarkan persamaan polinomial dan linier. Perbedaan ini disebabkan karena kondisi sistem saat pengujian yang berbeda. Idealnya karakteristik tegangan keluaran sistem terhadap arus beban pada kedua pengujian harusnya sama. Intinya jika sistem masih dalam keadaan hidup maka performance pada kedua pengujian seharusnya memiliki karakteristik yang sama.

Grafik berwarna biru merupakan grafik karakteristik tegangan keluaran sistem terhadap arus beban pada bukaan valve dengan persamaan polinomial. Sedangkan grafik berwarna merah merupakan grafik karakteristik tegangan keluaran sistem terhadap arus beban pada bukaan valve dengan persamaan linier. Jadi maksud dari grafik bukanlah grafik yang berbentuk polinomial atau

linier, namun maksudnya adalah grafik karakteristik tegangan keluaran sistem terhadap arus beban pada bukaan valve dengan persamaan polinomial dan linier.

Jika dibandingkan dengan bukaan valve maksimum dan bukaan optimal, pengujian yang dilakukan dengan dua persamaan ini menghasilkan karakteristik keluaran sistem yang lebih kecil. Hal ini juga disebabkan karena kondisi saat dilakukan pengujian sistem tidak sama sehingga terdapat sedikit perbedaan karakteristik keluaran sistem. Perbedaan keluaran sistem pada pengujian dengan persamaan polinomial, linier, bukaan valve maksimum dan optimum dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2. Karakteristik tegangan terhadap arus beban pada persamaan polinomial, linier, bukaan valve maksimum dan optimum.

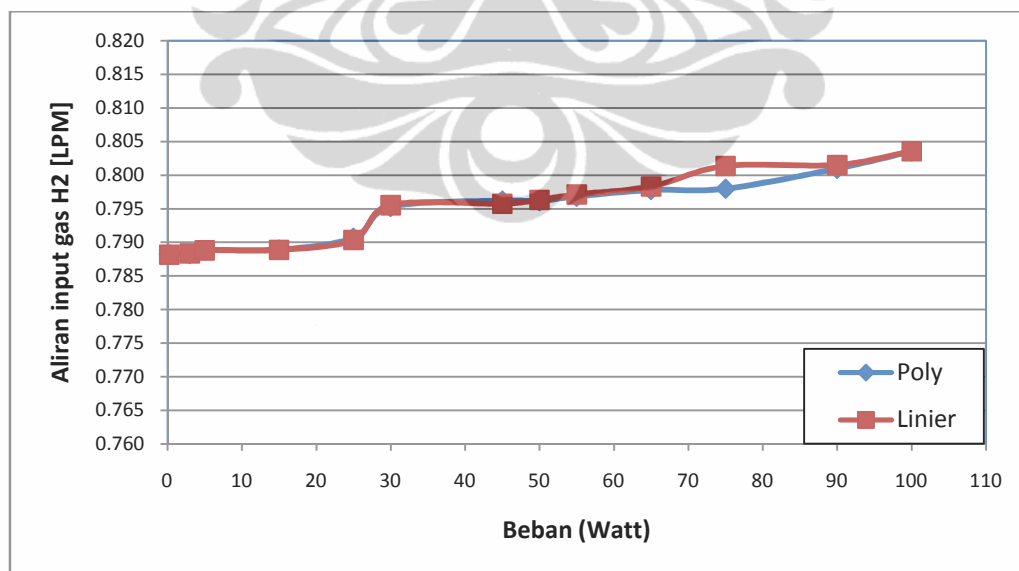
Perbedaan karakteristik tegangan terhadap arus beban untuk masing-masing bukaan valve pada sistem PEMFC dapat dilihat pada tabel 4.1

Tabel 4.1. Data tegangan dan arus keluaran sistem PEMFC pada bukaan valve optimum, maksimum, bukaan dengan persamaan polinomial dan linier

Beban (watt)	Poly		Linier		Optimal		Max	
	V	I	V	I	V	I	V	I
R 2k (1/4 watt)	17.6129	0.0274	17.9150	0.0257	17.9339	0.0132	17.8897	0.0095
Inverter	15.1285	0.6027	15.4571	0.6354	15.4179	0.5995	15.3168	0.5865
Inv. + lp 5 watt	14.0875	1.4316	14.3554	1.4558	14.6428	1.4516	14.3526	1.4204
Inv. + lp 15 watt	13.9837	1.5113	14.2534	1.5176	14.5672	1.5174	14.2608	1.4857
Inv. + lp 25 watt	13.2942	2.1731	13.6043	2.1212	13.9810	2.1086	13.7021	2.0972
Inv. + lp 30 watt	12.4920	3.2420	12.7271	3.1808	13.1588	3.1385	12.9848	3.1531
Inv. + lp 45 watt	11.7174	4.4600	12.6933	3.2635	12.6668	4.3146	12.9041	3.2382
Inv. + lp 50 watt	12.0683	4.0476	12.1433	4.0354	12.8849	3.9505	12.4037	4.0142
Inv. + lp 55 watt	11.3627	5.1447	11.4411	5.1692	12.0232	5.0965	11.6980	5.1619
Inv. + lp 65 watt	11.1218	5.6055	11.2083	5.6708	11.9488	5.1901	11.5356	5.2562
Inv. + lp 75 watt	11.1153	5.6841	10.8194	6.3732	11.2024	5.9249	10.9000	5.8145
Lp DC 90 watt	10.8839	6.3714	10.8871	6.3929	11.2430	6.4956	10.9202	6.4013
Lp DC 100 watt	10.4821	6.9274	10.6135	6.8586	10.5250	6.8787	10.4434	6.7857

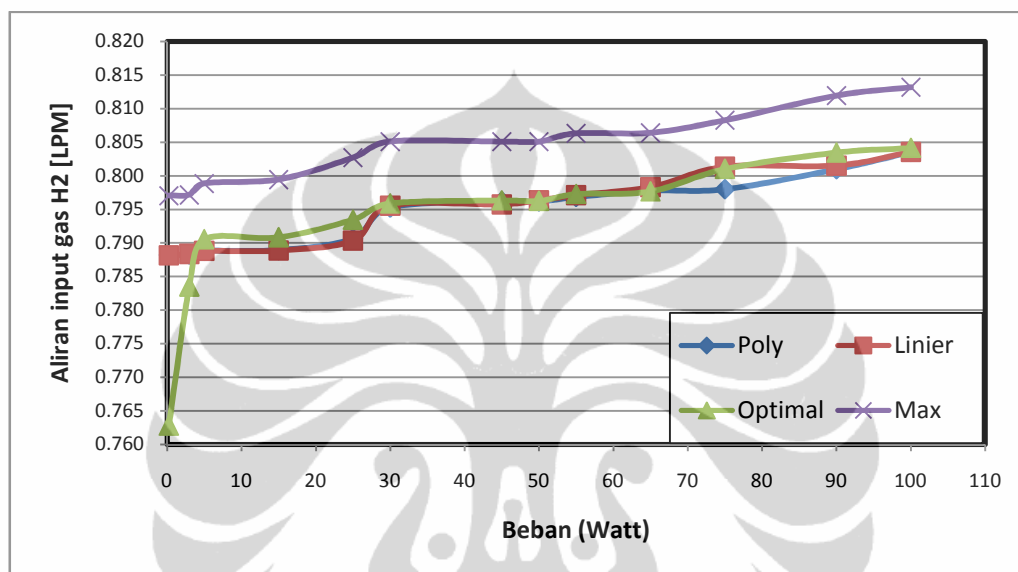
4.2. Pemakaian gas H₂ pada sistem PEMFC

Grafik perbandingan aliran gas H₂ terhadap beban pada pengujian sistem dengan bukaan valve berdasarkan persamaan polinomial dan linier dapat dilihat pada gambar 4.3.



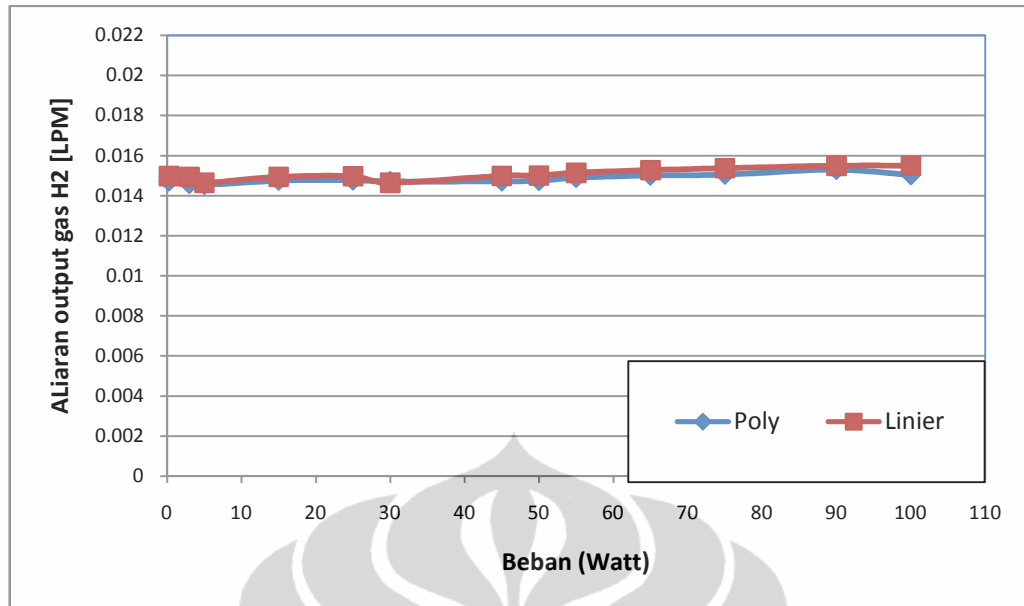
Gambar 4.3. Perbandingan aliran masukan gas H₂ terhadap beban pada pengujian dengan persamaan polinomial dan linier

Pada gambar 4.3 dapat dilihat bahwa aliran masukan gas H₂ pada sistem PEMFC H-100 pada pengujian bukaan valve proporsional menggunakan persamaan polinomial dan linier menunjukkan perbedaan yang sangat kecil, yaitu sekitar ± 0.0004 LPM. Aliran masukan gas H₂ dengan bukaan valve persamaan linier lebih tinggi dibandingkan dengan persamaan polinomial. Perbedaan ini mulai terlihat pada saat beban 50 sampai 90 watt.



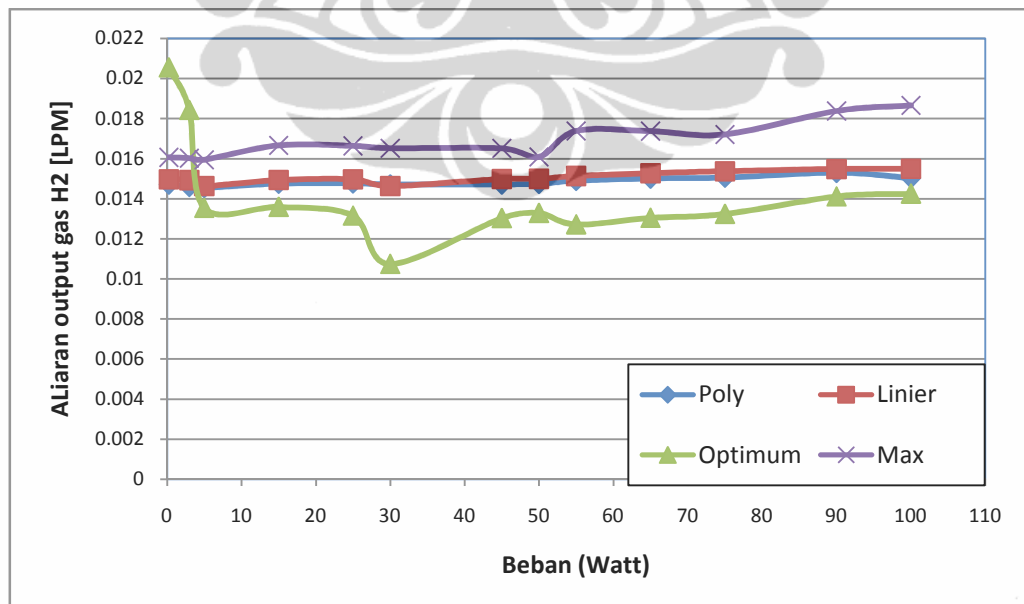
Gambar 4.4. Perbandingan aliran masukan gas H₂ terhadap beban pada pengujian sistem dengan bukaan valve menggunakan persamaan polinomial dan linier, serta bukaan valve maksimum dan optimum.

Pada gambar 4.4 dapat dilihat bahwa aliran masukan gas H₂ pada pengujian sistem dengan bukaan valve menggunakan persamaan polinomial dan linier mendekati aliran masukan gas H₂ pada bukaan valve optimum. Bukaan valve menggunakan persamaan polinomial rata-rata lebih kecil ± 0.0012 LPM dibandingkan dengan bukaan valve optimum. Sementara itu bukaan valve menggunakan persamaan linier rata-rata lebih kecil ± 0.00077 dibandingkan bukaan valve optimum. Hal ini menunjukkan bahwa dengan pengaturan bukaan valve secara otomatis dapat menghemat gas H₂ sama dengan bukaan valve optimum.



Gambar 4.5. Perbandingan aliran keluaran gas H₂ terhadap beban pada pengujian dengan persamaan polinomial dan linier

Gambar 4.5 menunjukkan perbandingan aliran keluaran gas H₂ terhadap beban antara pengujian sistem dengan bukaan valve menggunakan persamaan polinomial dan linier. Dari gambar terlihat bahwa aliran keluaran gas H₂ pada pengujian dengan persamaan polinomial rata-rata lebih kecil ± 0.00024 LPM dibandingkan dengan persamaan linier.



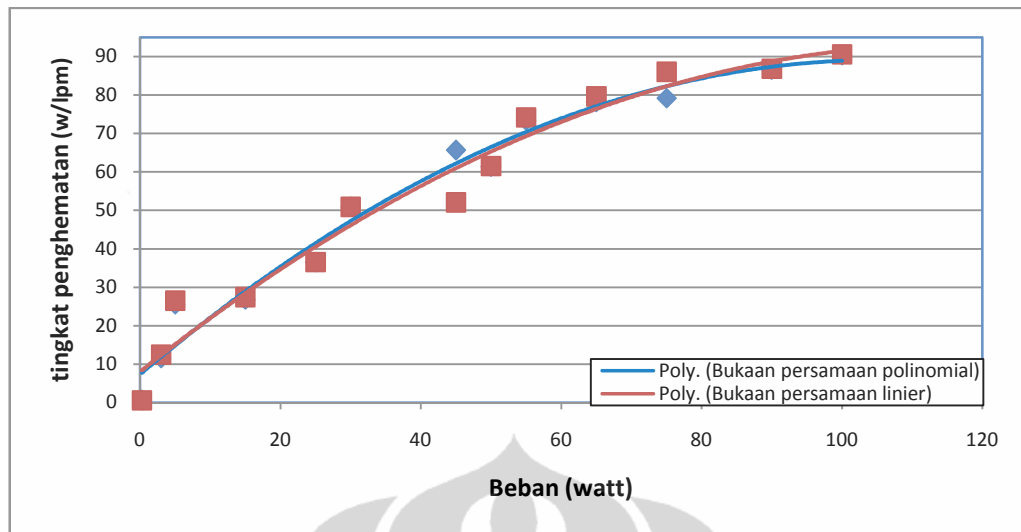
Gambar 4.6. Perbandingan aliran keluaran gas H₂ terhadap beban

Gambar 4.6. menunjukkan perbandingan aliran keluaran gas H₂ terhadap beban antara pengujian dengan bukaan valve maksimum, optimum, bukaan valve menggunakan persamaan polinomial dan linier. Dari grafik terlihat bahwa aliran gas pada kedua persamaan berada di antara bukaan valve maksimum dan minimum. Perbedaan aliran keluaran rata-rata persamaan polinomial lebih besar ± 0.0007 LPM dibandingkan dengan bukaan valve optimum, dan lebih kecil ± 0.0021 LPM dibandingkan dengan bukaan valve maksimum. Sementara itu perbedaan aliran keluaran pada persamaan linier lebih besar ± 0.0009 LPM dibandingkan dengan bukaan valve optimum, dan lebih kecil ± 0.0018 LPM dibandingkan dengan bukaan valve maksimum.

Pengukuran aliran output gas H₂ pada sistem PEMFC H-100 ini bertujuan untuk melihat berapa besar gas H₂ yang bereaksi dalam sistem. Semakin besar aliran keluaran gas H₂ maka jumlah gas H₂ yang bereaksi semakin sedikit sehingga pemakaian gas H₂ menjadi boros. Sebaliknya jika aliran keluaran gas H₂ semakin kecil berarti konsumsi gas H₂ menjadi lebih hemat. Dari perbedaan pada grafik pada gambar 4.6 terlihat bahwa pemakaian gas H₂ dengan pengujian sistem menggunakan persamaan polinomial dan linier lebih hemat dibandingkan dengan bukaan valve maksimum, sehingga persamaan ini dapat dipakai untuk pengaturan bukaan valve gas H₂ pada sistem PEMFC H-100.

4.3. Perbandingan tingkat penghematan gas H₂ pada sistem PEMFC H-100

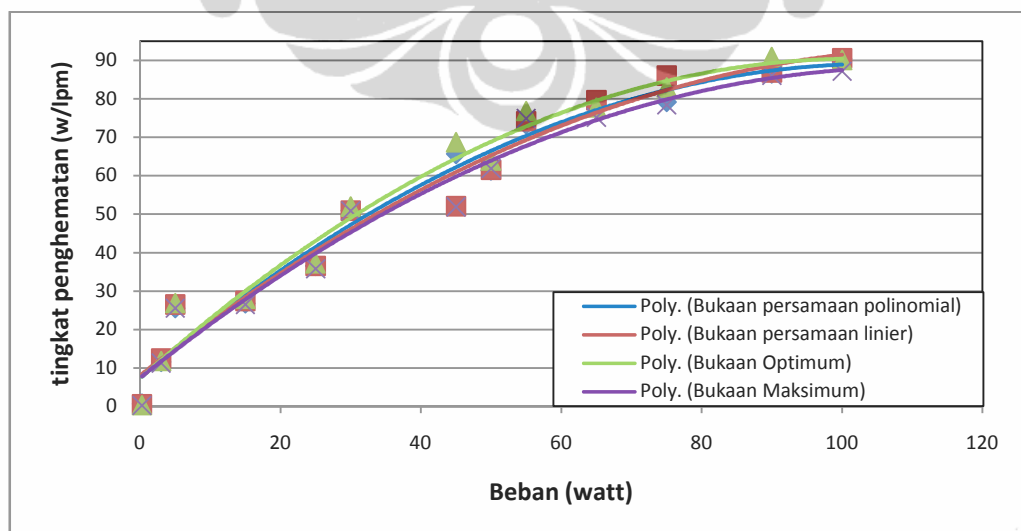
Tingkat penghematan di sini maksudnya adalah rasio daya beban dengan aliran masukan gas H₂ pada sistem PEMFC H-100. Perbandingan tingkat penghematan gas H₂ pada pengujian sistem PEMFC H-100 terhadap beban dengan bukaan valve menggunakan persamaan polinomial dan linier dapat dilihat pada gambar 4.6.



Gambar 4.7. Perbandingan tingkat penghematan gas H₂ pada sistem PEMFC dengan bukaan valve menggunakan persamaan polinomial dan linier

Dari gambar 4.7. terlihat bahwa tingkat penghematan gas H₂ menggunakan persamaan linier lebih tinggi dibandingkan menggunakan persamaan polinomial pada beban di atas 50 watt. Pada beban di atas 70 watt, tingkat penghematan gas H₂ menggunakan persamaan linier rata-rata lebih tinggi 1.6 dibandingkan menggunakan persamaan polinomial.

Perbandingan tingkat penghematan gas H₂ pada sistem PEMFC H-100 dengan bukaan valve optimum, maksimum, bukaan menggunakan persamaan polinomial dan linier dapat dilihat pada gambar 4.8.



Gambar 4.8. Perbandingan tingkat penghematan gas H₂ pada sistem PEMFC H-100 terhadap beban pada bukaan valve maksimum, optimum, bukaan valve menggunakan persamaan polinomial dan linier.

Pada gambar 4.8. dapat dilihat bahwa tingkat penghematan gas H₂ pada bukaan valve optimum lebih tinggi dibandingkan pada bukaan valve lainnya. Semakin tinggi nilai tingkat penghematan gas H₂ berarti semakin hemat dalam pemakaian gas H₂.

Data perbandingan tingkat penghematan gas H₂ pada sistem PEMFC dengan bukaan valve optimum, maksimum, bukaan valve menggunakan persamaan polinomial dan linier dapat dilihat pada tabel 4.2.

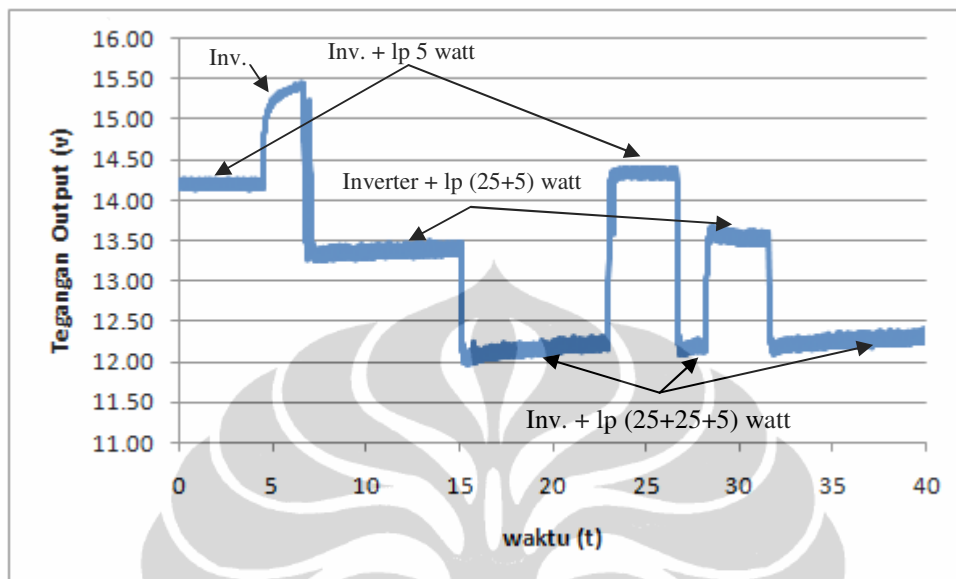
Tabel 4.2. Data perbandingan tingkat penghematan gas H₂ pada sistem PEMFC H-100 dengan bukaan valve optimum, maksimum, bukaan valve menggunakan persamaan polinomial dan linier

Beban	tingkat penghematan gas H ₂			
	Optimum	Maksimum	Poly	Linier
R 2kOhm	0.3113	0.2130	0.6128	0.5846
Inverter	11.7966	11.2699	11.5678	12.4584
Inverter + LP 5 Watt	26.8879	25.5193	25.5668	26.4944
Inverter + LP 15 Watt	27.9498	26.5033	26.7881	27.4208
Inverter + LP 25 Watt	37.1535	35.7998	36.5414	36.5118
Inverter + LP 30 Watt	51.8900	50.8546	50.9246	50.8879
Inverter + LP 45 Watt	68.6305	51.9028	65.6364	52.0572
Inverter + LP 50 Watt	63.9259	61.8461	61.3561	61.5363
Inverter + LP 55 Watt	76.8576	74.8891	73.3647	74.1941
Inverter + LP 65 Watt	77.7446	75.1914	78.1456	79.6182
Inverter + LP 75 Watt	82.8604	78.4126	79.1752	86.0482
Lampu DC 90 watt	90.8947	86.0962	86.5784	86.8362
Lampu DC 100 watt	90.0325	87.1475	90.3686	90.5917

Dari data tabel di atas terlihat bahwa tingkat penghematan gas H₂ pada sistem PEMFC H-100 dengan bukaan valve optimum memiliki nilai yang paling tinggi. Bukaan valve menggunakan persamaan linier memiliki nilai daya beban per aliran masukan gas H₂ tinggi kedua pada beban di atas 50 watt.

4.4. Pengujian dinamik sistem PEMFC.

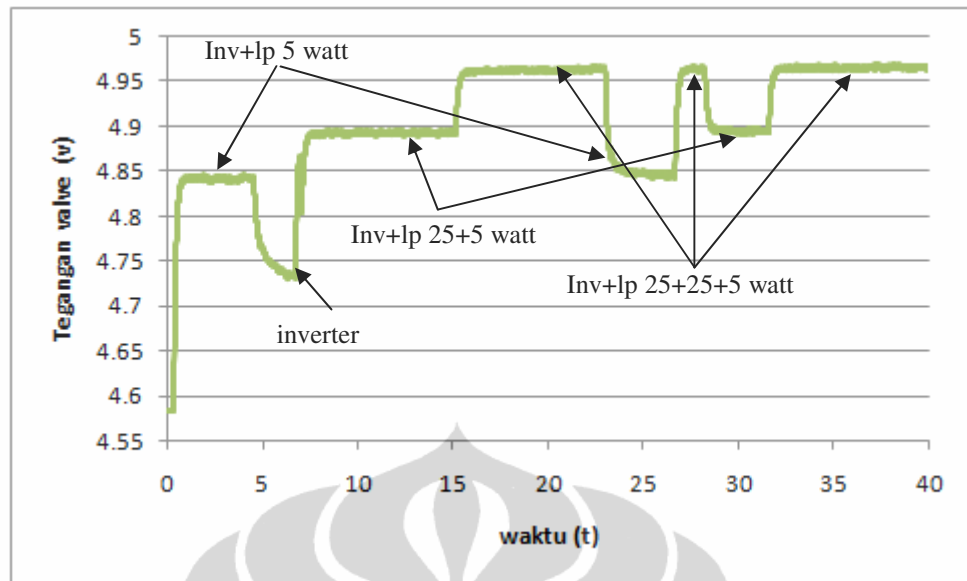
4.4.1. Pengujian dinamik sistem dengan bukaan valve menggunakan persamaan polinomial.



Gambar 4.9. Grafik tegangan keluaran sistem PEMFC pada pengujian dinamik dengan persamaan polinomial.

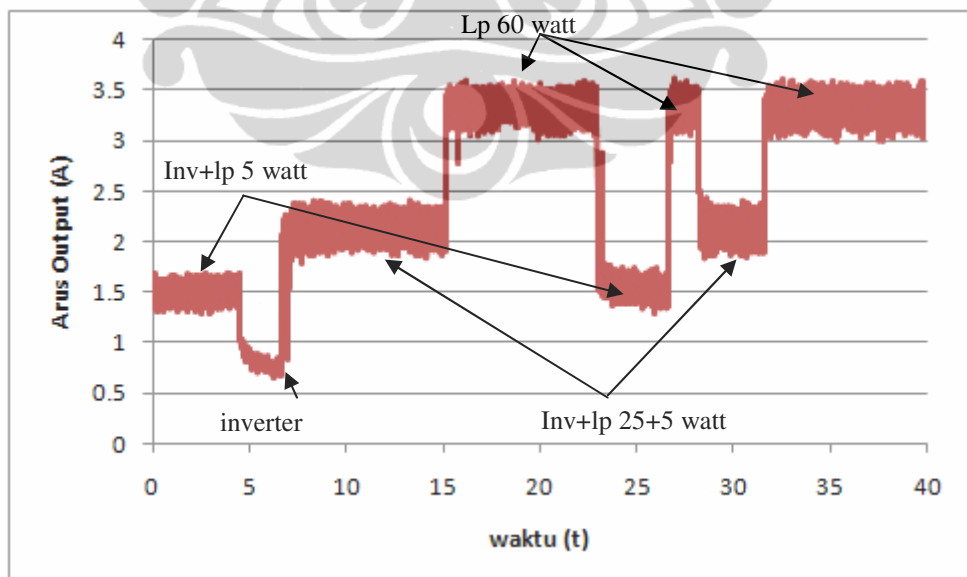
Pengujian ini dilakukan dengan mengubah-ubah beban secara manual ketika sistem dijalankan. Beban yang digunakan adalah inverter dan lampu pijar AC 5 watt 1 buah dan 25 watt 2 buah. Beban dikombinasikan, yaitu pertama inverter dan lampu pijar 5 watt, kemudian lampu dimatikan dan dihidupkan lagi bersamaan dengan lampu 25 watt. Kemudian ditambahkan lagi lampu 25 watt. Selanjutnya lampu 25 watt dimatikan keduanya kemudian dihidupkan kembali bersamaan.

Dari gambar 4.9 dapat dilihat grafik tegangan keluaran sistem pada pengujian bukaan valve dengan persamaan polinomial. Saat beban hanya inverter, tegangan berada pada ± 15.3 volt. Pada beban lampu 5 watt terlihat tegangan sistem berada ± 14.3 volt, pada beban lampu 25+5 watt tegangan adalah ± 13.3 volt dan pada beban lampu 5+25+25 watt tegangan sistem berada pada ± 12.1 volt. Grafik tegangan valve dan arus sistem pada pengujian bukaan valve pada masukan gas H₂ sistem PEMFC dapat dilihat pada gambar 4.10 dan 4.11.



Gambar 4.10. Grafik tegangan valve pada masukan gas H₂ sistem PEMFC pada pengujian dinamik dengan persamaan polinomial.

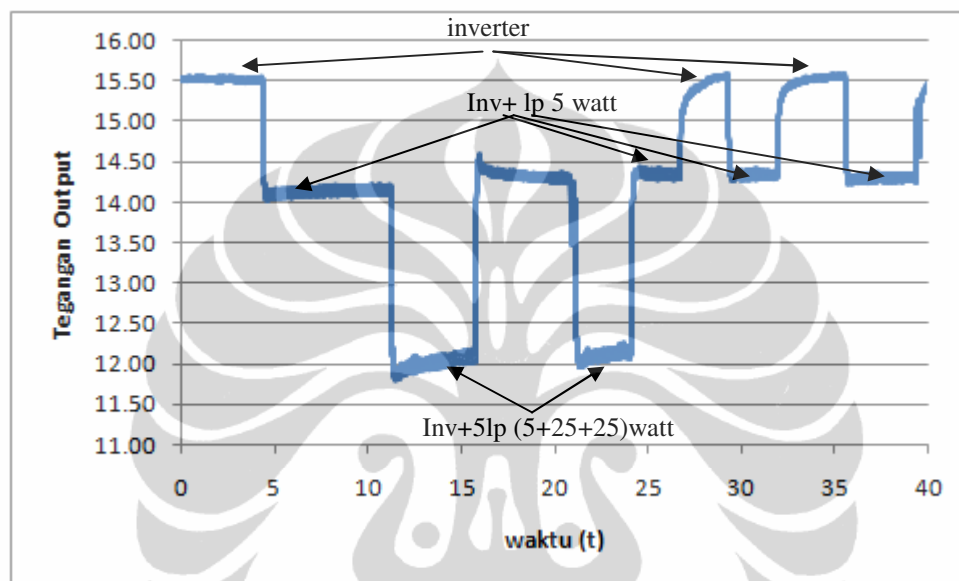
Pada gambar 4.10. terlihat grafik tegangan valve pada masukan gas H₂ sistem PEMFC H-100. Besar tegangan valve ini berbanding terbalik dengan besar tegangan keluaran sistem. Hal ini terlihat saat beban lampu 5 watt, tegangan valve ± 4.85 , sedangkan saat bebannya lampu 25+5 watt, tegangan valve nya naik menjadi ± 4.9 volt.



Gambar 4.11. Grafik arus keluaran sistem PEMFC pada pengujian dinamik dengan persamaan polinomial.

Pada gambar 4.11. terlihat grafik arus keluaran sistem PEMFC H-100. Saat diberi beban lampu 5 watt arus keluaran sistem berada pada ± 1.5 A. Besar arus beban sebanding dengan besar tegangan valve dan berbanding terbalik dengan tegangan keluaran sistem.

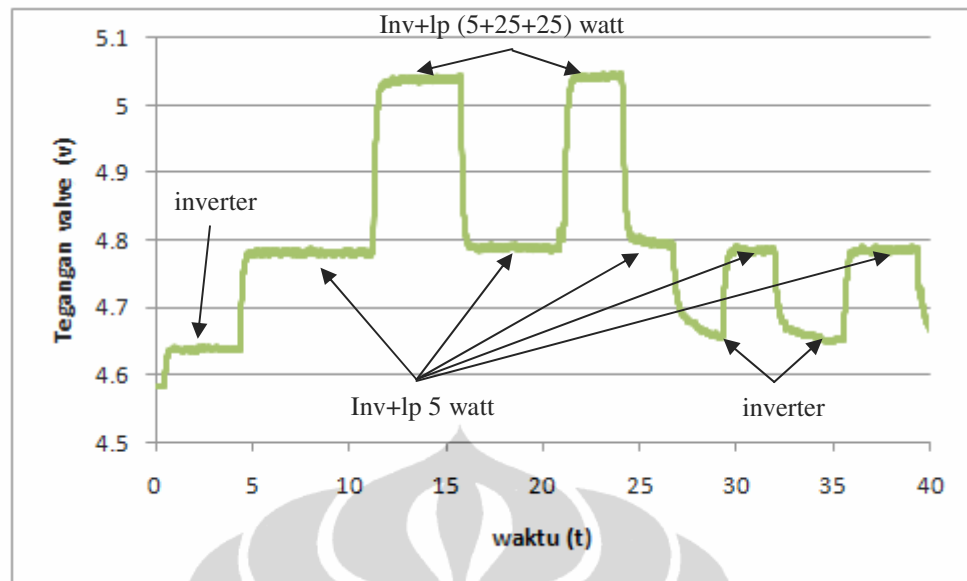
4.4.2. Pengujian dinamik sistem dengan bukaan valve menggunakan persamaan linier.



Gambar 4.12. Grafik tegangan keluaran sistem PEMFC pada pengujian dinamik dengan persamaan linier.

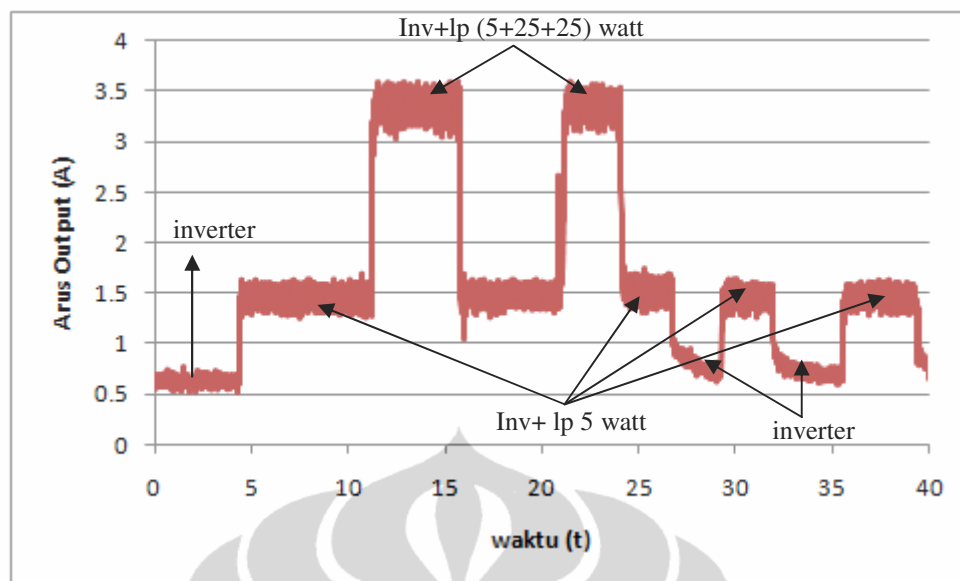
Pengujian ini dilakukan dengan mengubah beban ketika sistem dijalankan. Beban yang digunakan adalah lampu pijar 5 watt 1 buah dan 25 watt 2 buah. Pertama kali sistem dibebani dengan inverter, kemudian ditambah lampu 5 watt, selanjutnya ditambahkan 2 lampu 25 watt.

Pada gambar 4.12 terlihat grafik tegangan keluaran sistem PEMFC pada pengujian bukaan valve dengan persamaan linier. Dari grafik terlihat saat beban hanya inverter, tegangan keluaran sistem berada pada ± 15.5 volt, saat beban lampu 5 watt, tegangan sistem ± 14.1 volt dan pada beban lampu 5+25+25 watt, tegangan sistem berada pada ± 12 volt. Grafik tegangan valve dan arus keluaran sistem pada pengujian bukaan valve pada masukan gas H₂ sistem PEMFC dengan persamaan linier dapat dilihat pada gambar 4.13 dan 4.14.



Gambar 4.13. Grafik tegangan valve pada masukan gas H₂ sistem PEMFC pada pengujian dinamik dengan persamaan linier.

Pada gambar 4.13. di atas terlihat grafik tegangan valve pada masukan gas H₂ pada pengujian dinamik sistem dengan persamaan linier. Tegangan valve akan naik jika bebannya diperbesar dan akan turun jika bebannya kecil. Ini dapat dilihat pada grafik, saat bebannya hanya inverter, tegangan valve ±4.63 volt, ketika beban ditambah dengan lampu 5 watt, tegangan valve juga naik menjadi ±4.79 volt. Pada saat beban diganti dengan lampu 5+25+25 watt, tegangan valve naik menjadi ±5.04 volt. Dari grafik jelas terlihat bahwa bukaan valve tergantung pada besar beban yang terhubung.



Gambar 4.14. Grafik arus keluaran sistem PEMFC pada pengujian dinamik dengan persamaan linier.

Gambar 4.14. memperlihatkan grafik arus keluaran sistem pada bukaan valve dengan persamaan linier. Saat beban hanya inverter arus beban menunjukkan nilai ± 0.6 A. Ketika diberikan beban lampu 5 watt, arus beban menjadi ± 1.4 A, dan saat beban diganti dengan lampu 5+25+25 watt, arus beban naik menjadi ± 3.4 A.

4.5. Pengontrolan bukaan valve dengan persamaan linier.

Dari hasil pengujian dinamik sistem PEMFC H-100 terlihat bahwa kedua persamaan dapat mengatur bukaan valve sesuai dengan besar daya beban yang terhubung ke sistem. Namun untuk selanjutnya persamaan linier yang akan digunakan untuk dijadikan algoritma dalam mengatur bukaan valve proporsional pada masukan gas H₂ sistem PEMFC H-100.

Karena hasil dari grafik daya beban per aliran masukan gas H₂ pada bukaan valve menggunakan persamaan linier memiliki efisiensi yang lebih rendah dari bukaan valve optimum maka nilai pada persamaan linier diturunkan menjadi:

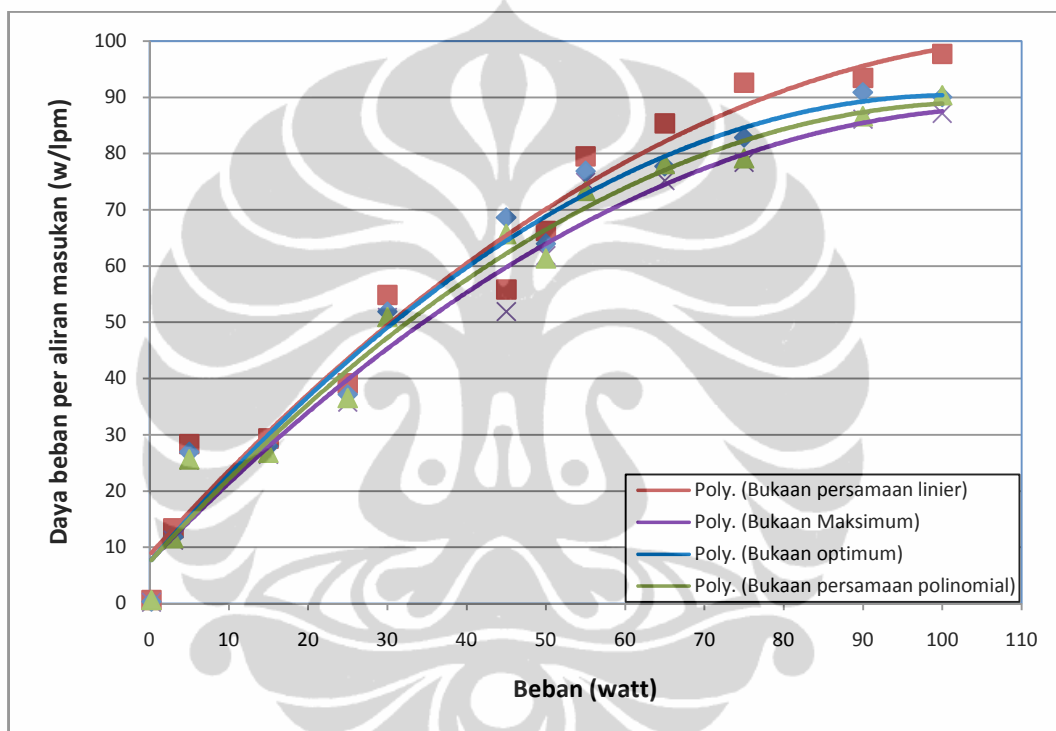
$$y = 0.0017x + 0.45 \quad (4.1)$$

dimana;

x = daya beban (watt)

y = masukan driver valve (vdc)

Batasan minimum masukan driver ditetapkan pada nilai 0.45 vdc dan batas maksimum pada nilai 2 vdc. Hal ini untuk menjaga agar sistem masih mendapat suplay gas yang cukup dan tidak boros. Dengan menggunakan persamaan linier yang baru didapatkan perbandingan daya beban per aliran masukan gas H₂ terhadap beban yang lebih tinggi dibandingkan dengan bukaan valve optimum seperti yang terlihat pada gambar 4.15.



Gambar 4.15. Perbandingan daya beban per aliran masukan gas H₂ pada sistem PEMFC H-100 terhadap beban dengan bukaan valve optimum, maksimum, bukaan dengan persamaan polinomial dan linier yang baru.

BAB 5

KESIMPULAN

Dari pengujian yang dilakukan dapat disimpulkan :

- Persamaan pada grafik karakteristik hubungan tegangan optimum driver valve terhadap daya beban dapat dijadikan sebagai kontrol untuk mengatur bukaan valve input gas H₂ sistem PEMFC H-100 secara otomatis sesuai dengan perubahan daya beban.
- Hasil pengujian menunjukkan karakteristik tegangan keluaran terhadap arus beban yang sedikit berbeda untuk setiap persamaan.
- Pengujian dengan bukaan valve menggunakan persamaan linier menunjukkan pemakaian gas H₂ yang lebih kecil dibandingkan dengan persamaan linier untuk beban di atas 50 watt.
- Tingkat penghematan gas H₂ pada sistem dengan bukaan valve menggunakan persamaan polinomial dan linier menunjukkan nilai yang sedikit berbeda, namun masih dibawah bukaan valve optimum.
- Dengan menurunkan nilai pada persamaan linier didapatkan tingkat penghematan gas H₂ yang lebih tinggi, sehingga lebih hemat dalam konsumsi gas H₂ tanpa mengurangi performa keluaran sistem secara signifikan.

DAFTAR REFERENSI

- Aryani, Dharma. Perancangan Pengendali *Model Predictive Control (MPC) Constrained* pada sistem *Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)*. Tesis, Universitas Indonesia. Juli 2009.
- Aryani, Dharma. Identifikasi Sistem Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) dengan Metode Kuadrat Terkecil. Seminar, Universitas Indonesia. Desember 2008.
- Larminie, James & Dicks, Andrew. *Fuel Cell System Explained* (John Wiley and Sons, February 2001).
- P.Srinivasa Raju, P.V.V.N.R.Prasada Raju, K.V.Sharma, B.J.J.Raju. *Dynamic Modeling of a PEM Fuel Cell*. European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X Vol.43 No.1 (2010), pp.138-147. EuroJournals Publishing, Inc. 2010
- Muzamir Isa, Baharuddin Ismail, Che Mat Hadzer, Ismail Daut and Faizah Abu Bakar. *Characteristic Curve of a Fuel Cell*. American Journal of Applied Sciences 3 (11): 2134-2135, 2006 ISSN 1546-9239.
- C. Tori, M. Baleztena, C. Peralta, R. Calzada, E. Jorge, D. Barsellini, G. Garaventa, A. Visintin, W.E. Triaca. *Advances in the development of a hydrogen/oxygen PEM fuel cell stack*. International Journal of Hydrogen Energy 33 (2008) 3588– 3591
- Ogata, Katsuhiko. *Modern Control Engineering Third Edition*. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey. 1997.
- Horizon Fuel Cell. *H-100 Fuel Cell Stack User Manual*. V2.0, 2009
- Aalborg. *Liquids and Gas Flow Regulators*. www.aalborg.com
- Saengrungs, Anucha. *Modeling and Control of Proton Exchange Membrane (PEM) Fuel Cell System*. Disertasi, Florida Atlantic University, Boca Raton, Florida, Agustus 2008.





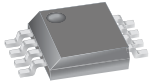
ACS714


Automotive Grade, Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Features and Benefits

- Low-noise analog signal path
- Device bandwidth is set via the FILTER pin
- 5 μ s output rise time in response to step input current
- 80 kHz bandwidth
- Total output error 1.5% typical, at $T_A = 25^\circ\text{C}$
- Small footprint, low-profile SOIC8 package
- 1.2 m Ω internal conductor resistance
- 2.1 kVRMS minimum isolation voltage from pins 1-4 to pins 5-8
- 5.0 V, single supply operation
- 66 to 185 mV/A output sensitivity
- Output voltage proportional to AC or DC currents
- Factory-trimmed for accuracy
- Extremely stable output offset voltage
- Nearly zero magnetic hysteresis
- Ratiometric output from supply voltage
- Operating temperature range, -40°C to 150°C

Package: 8 pin SOIC (suffix LC)



Approximate Scale 1:1 

Description

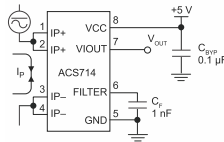
The Allegro[®] ACS714 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in automotive systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switched-mode power supplies, and overcurrent fault protection.

The device consists of a precise, low-offset, linear Hall sensor circuit with a copper conduction path located near the surface of the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which is sensed by the integrated Hall IC and converted into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer. A precise, proportional voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy after packaging.

The output of the device has a positive slope ($>V_{\text{IOUT}(Q)}$) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from pins 1 and 2, to pins 3 and 4), which is the path used for current sensing. The internal resistance of this conductive path is 1.2 m Ω typical, providing low power loss. The thickness of the copper conductor allows survival

Continued on the next page...

Typical Application



Application 1. The ACS714 outputs an analog signal, V_{OUT} , that varies linearly with the uni- or bi-directional AC or DC primary sensed current, I_p , within the range specified. C_F is recommended for noise management, with values that depend on the application.

ACS714

Automotive Grade, Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Description (continued)

of the device at up to $5\times$ overcurrent conditions. The terminals of the conductive path are electrically isolated from the sensor leads (pins 5 through 8). This allows the ACS714 current sensor to be used in applications requiring electrical isolation without the use of opto-isolators or other costly isolation techniques.

The ACS714 is provided in a small, surface mount SOIC8 package. The leadframe is plated with 100% matte tin, which is compatible with standard lead (Pb) free printed circuit board assembly processes. Internally, the device is Pb-free, except for flip-chip high-temperature Pb-based solder balls, currently exempt from RoHS. The device is fully calibrated prior to shipment from the factory.

Selection Guide

Part Number	Optimized Range, I_p (A)	Sensitivity, Sens (Typ) (mV/A)	T_A ($^\circ\text{C}$)	Packing*
ACS714ELCTR-05B-T	± 5	185	-40 to 85	Tape and reel, 3000 pieces/reel
ACS714ELCTR-20A-T	± 20	100		
ACS714ELCTR-30A-T	± 30	66		
ACS714LLCTR-05B-T	± 5	185	-40 to 150	
ACS714LLCTR-20A-T	± 20	100		
ACS714LLCTR-30A-T	± 30	66		

*Contact Allegro for additional packing options.

Absolute Maximum Ratings

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	V_{CC}		8	V
Reverse Supply Voltage	V_{RCC}		-0.1	V
Output Voltage	V_{IOUT}		8	V
Reverse Output Voltage	V_{RIOUT}		-0.1	V
Reinforced Isolation Voltage	V_{ISO}	Pins 1-4 and 5-8; 60 Hz, 1 minute, $T_A = 25^\circ\text{C}$	2100	V
Rated Input Voltage	V_{working}	Voltage applied to leadframe (Ip+ pins)	184	V AC Max
Output Current Source	$I_{\text{IOUT(SOURCE)}}$		3	mA
Output Current Sink	$I_{\text{IOUT(SINK)}}$		10	mA
Overcurrent Transient Tolerance	I_p	1 pulse, 100 ms	100	A
Nominal Operating Ambient Temperature	T_A	Range E	-40 to 85	$^\circ\text{C}$
		Range L	-40 to 150	$^\circ\text{C}$
Maximum Junction Temperature	$T_{\text{J(max)}}$		165	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature	T_{stg}		-65 to 170	$^\circ\text{C}$



TUV America
Certificate Number:
U8V 06 05 54214 010

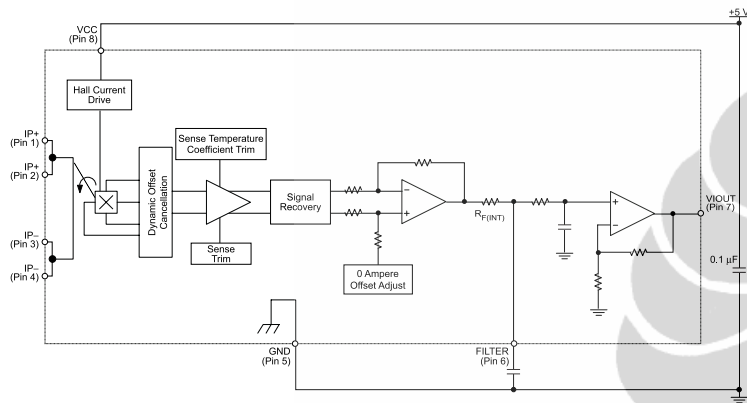
Parameter	Specification
Fire and Electric Shock	CAN/CSA-C22.2 No. 60950-1-03 UL 60950-1:2003 EN 60950-1:2001



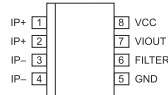
ACS714

Automotive Grade, Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Functional Block Diagram



Pin-out Diagram



Terminal List Table

Number	Name	Description
1 and 2	IP+	Terminals for current being sensed; fused internally
3 and 4	IP-	Terminals for current being sensed; fused internally
5	GND	Signal ground terminal
6	FILTER	Terminal for external capacitor that sets bandwidth
7	V_IOUT	Analog output signal
8	VCC	Device power supply terminal

ACS714

Automotive Grade, Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

COMMON OPERATING CHARACTERISTICS¹ over full range of T_A , $C_F = 1$ nF, and $V_{CC} = 5$ V, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
ELECTRICAL CHARACTERISTICS						
Supply Voltage	V_{CC}		4.5	5.0	5.5	V
Supply Current	I_{CC}	$V_{CC} = 5.0$ V, output open	–	10	13	mA
Output Capacitance Load	C_{LOAD}	V_IOUT to GND	–	–	10	nF
Output Resistive Load	R_{LOAD}	V_IOUT to GND	4.7	–	–	k Ω
Primary Conductor Resistance	$R_{PRIMARY}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	–	1.2	–	m Ω
Rise Time	t_r	$I_p = I_p(\text{max})$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $C_{OUT} = \text{open}$	–	5	–	μs
Frequency Bandwidth	f	–3 dB, $T_A = 25^\circ\text{C}$; I_p is 10 A peak-to-peak	–	80	–	kHz
Nonlinearity	E_{LIN}	Over full range of I_p	–	1.5	–	%
Symmetry	E_{SYM}	Over full range of I_p	98	100	102	%
Zero Current Output Voltage	$V_{IOUT(0)}$	Bidirectional; $I_p = 0$ A, $T_A = 25^\circ\text{C}$	–	$V_{CC} \times 0.5$	–	V
Power-On Time	t_{PO}	Output reaches 90% of steady-state level, $T_J = 25^\circ\text{C}$, 20 A present on leadframe	–	35	–	μs
Magnetic Coupling ²			–	12	–	G/A
Internal Filter Resistance ³	$R_{F(INT)}$		–	1.7	–	k Ω

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_p , and ambient, T_A , and internal leadframe temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_J(\text{max})$, is not exceeded.

²1G = 0.1 mT.

³ $R_{F(INT)}$ forms an RC circuit via the FILTER pin.

COMMON THERMAL CHARACTERISTICS¹

		Min.	Typ.	Max.	Units
Operating Internal Leadframe Temperature	T_A	–40	–	85	$^\circ\text{C}$
		–40	–	150	$^\circ\text{C}$
				Value	Units
Junction-to-Lead Thermal Resistance ²	$R_{\theta JL}$	Mounted on the Allegro ASEK 714 evaluation board		5	$^\circ\text{C/W}$
Junction-to-Ambient Thermal Resistance	$R_{\theta JA}$	Mounted on the Allegro 85-0322 evaluation board, includes the power consumed by the board		23	$^\circ\text{C/W}$

¹Additional thermal information is available on the Allegro website.

²The Allegro evaluation board has 1500 mm² of 2 oz. copper on each side, connected to pins 1 and 2, and to pins 3 and 4, with thermal vias connecting the layers. Performance values include the power consumed by the PCB. Further details on the board are available from the Frequently Asked Questions document on our website. Further information about board design and thermal performance also can be found in the Applications Information section of this datasheet.



ACS714

Automotive Grade, Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

x05B PERFORMANCE CHARACTERISTICS over Range E: $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 85°C ¹, $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_P		-5	-	5	A
Sensitivity	Sens	Over full range of I_P , $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	180	185	190	mV/A
Noise	$V_{\text{NOISE(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 185 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{\text{OUT}} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	-	21	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta I_{\text{OUT(O)}}$	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	-0.26	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.08	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	0.054	-	mV/A/ $^{\circ}\text{C}$
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.008	-	mV/A/ $^{\circ}\text{C}$
Electrical Offset Voltage	V_{OE}	$I_P = 0\text{ A}$	-40	-	40	mV
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_P = \pm 5\text{ A}$, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	± 1.5	-	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(\text{max})}$, is not exceeded.

²Percentage of I_P , with $I_P = 5\text{ A}$. Output filtered.

x05B PERFORMANCE CHARACTERISTICS over Range L: $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 150°C ¹, $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_P		-5	-	5	A
Sensitivity	Sens	Over full range of I_P , $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	185	-	mV/A
		Over full range of I_P , $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 150°C	161	-	190	mV/A
Noise	$V_{\text{NOISE(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 185 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{\text{OUT}} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	-	21	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta I_{\text{OUT(O)}}$	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	-0.26	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.08	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	0.054	-	mV/A/ $^{\circ}\text{C}$
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.008	-	mV/A/ $^{\circ}\text{C}$
Electrical Offset Voltage	V_{OE}	$I_P = 0\text{ A}$	-60	-	60	mV
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_P = \pm 5\text{ A}$, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	± 1.5	-	%
		$I_P = \pm 5\text{ A}$, $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-7	-	7	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(\text{max})}$, is not exceeded.

²Percentage of I_P , with $I_P = 5\text{ A}$. Output filtered.

ACS714

Automotive Grade, Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

x20A PERFORMANCE CHARACTERISTICS over Range E: $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 85°C ¹, $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_P		-20	-	20	A
Sensitivity	Sens	Over full range of I_P , $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	96	100	104	mV/A
Noise	$V_{\text{NOISE(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 100 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{\text{OUT}} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	-	11	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta I_{\text{OUT(O)}}$	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	-0.34	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.07	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	0.017	-	mV/A/ $^{\circ}\text{C}$
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.004	-	mV/A/ $^{\circ}\text{C}$
Electrical Offset Voltage	V_{OE}	$I_P = 0\text{ A}$	-30	-	30	mV
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_P = \pm 20\text{ A}$, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	± 1.5	-	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(\text{max})}$, is not exceeded.

²Percentage of I_P , with $I_P = 20\text{ A}$. Output filtered.

x20A PERFORMANCE CHARACTERISTICS over Range L: $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 150°C ¹, $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_P		-20	-	20	A
Sensitivity	Sens	Over full range of I_P , $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	100	-	mV/A
		Over full range of I_P , $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 150°C	94	-	104	mV/A
Noise	$V_{\text{NOISE(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 100 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{\text{OUT}} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	-	11	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta I_{\text{OUT(O)}}$	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	-0.34	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.07	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	0.017	-	mV/A/ $^{\circ}\text{C}$
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.004	-	mV/A/ $^{\circ}\text{C}$
Electrical Offset Voltage	V_{OE}	$I_P = 0\text{ A}$	-40	-	40	mV
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_P = \pm 20\text{ A}$, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	± 1.5	-	%
		$I_P = \pm 20\text{ A}$, $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-5	-	5	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(\text{max})}$, is not exceeded.

²Percentage of I_P , with $I_P = 20\text{ A}$. Output filtered.



x30A PERFORMANCE CHARACTERISTICS over Range E: $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 85°C ¹, $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_P		-30	-	30	A
Sensitivity	Sens	Over full range of I_P , $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	64	66	68	mV/A
Noise	$V_{\text{NOISE(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 66 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{\text{OUT}} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	-	7	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta I_{\text{OUT(O)}}$	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	-0.35	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.08	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	0.007	-	mV/A/ $^{\circ}\text{C}$
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.002	-	mV/A/ $^{\circ}\text{C}$
Electrical Offset Voltage	V_{OE}	$I_P = 0\text{ A}$	-30	-	30	mV
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_P = \pm 30\text{ A}$, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	± 1.5	-	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_J(\text{max})$, is not exceeded.

²Percentage of I_P with $I_P = 30\text{ A}$. Output filtered.

x30A PERFORMANCE CHARACTERISTICS over Range L: $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 150°C ¹, $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_P		-30	-	30	A
Sensitivity	Sens	Over full range of I_P , $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	66	-	mV/A
		Over full range of I_P , $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 150°C	63	-	69	mV/A
Noise	$V_{\text{NOISE(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 66 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{\text{OUT}} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	-	7	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta I_{\text{OUT(O)}}$	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	-0.35	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.08	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	0.007	-	mV/A/ $^{\circ}\text{C}$
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.002	-	mV/A/ $^{\circ}\text{C}$
Electrical Offset Voltage	V_{OE}	$I_P = 0\text{ A}$	-40	-	40	mV
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_P = \pm 30\text{ A}$, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	± 1.5	-	%
		$I_P = \pm 30\text{ A}$, $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-5	-	5	%

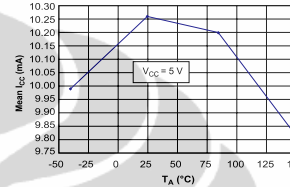
¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_J(\text{max})$, is not exceeded.

²Percentage of I_P with $I_P = 30\text{ A}$. Output filtered.

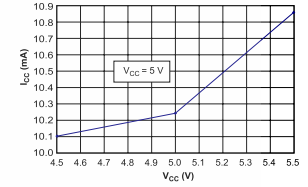
Characteristic Performance

$I_P = 5\text{ A}$, unless otherwise specified

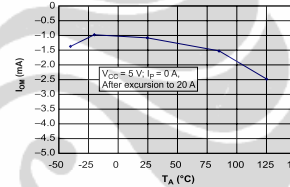
Mean Supply Current versus Ambient Temperature



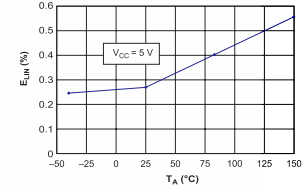
Supply Current versus Supply Voltage



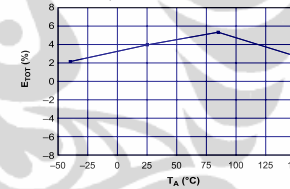
Magnetic Offset versus Ambient Temperature



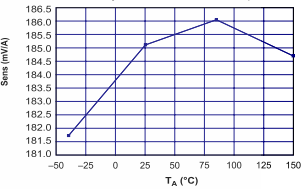
Nonlinearity versus Ambient Temperature



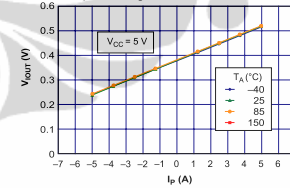
Mean Total Output Error versus Ambient Temperature



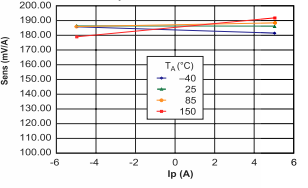
Sensitivity versus Ambient Temperature



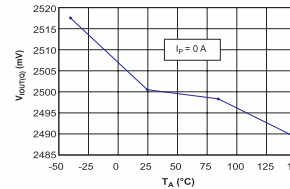
Output Voltage versus Sensed Current



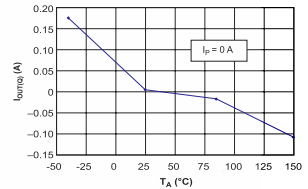
Sensitivity versus Sensed Current



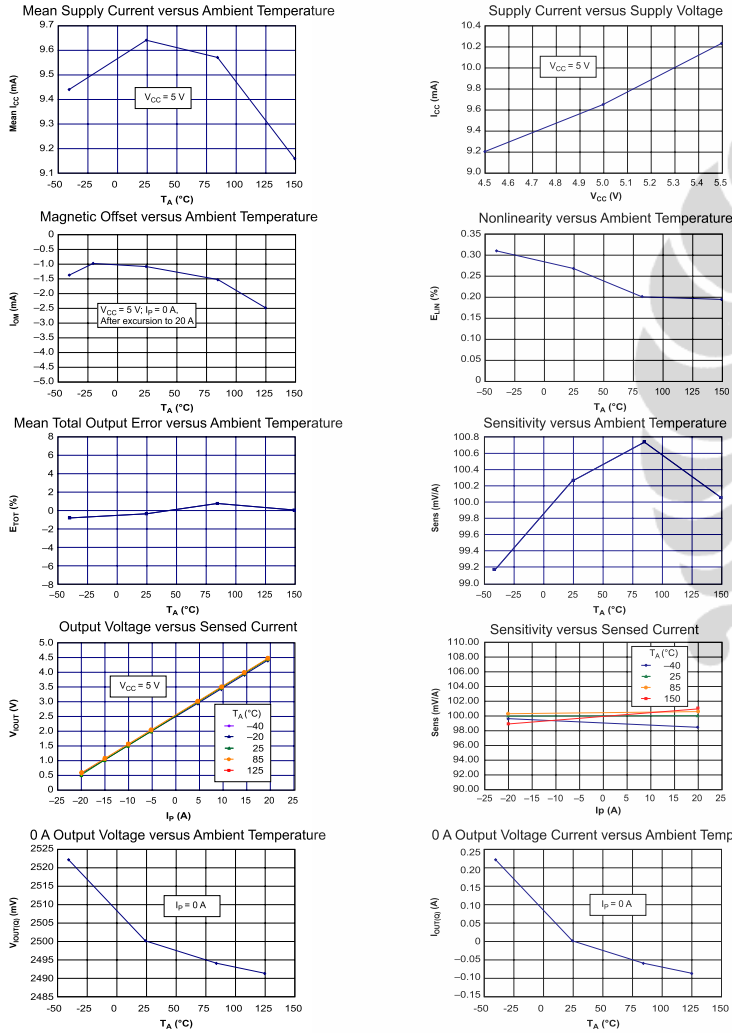
0 A Output Voltage versus Ambient Temperature



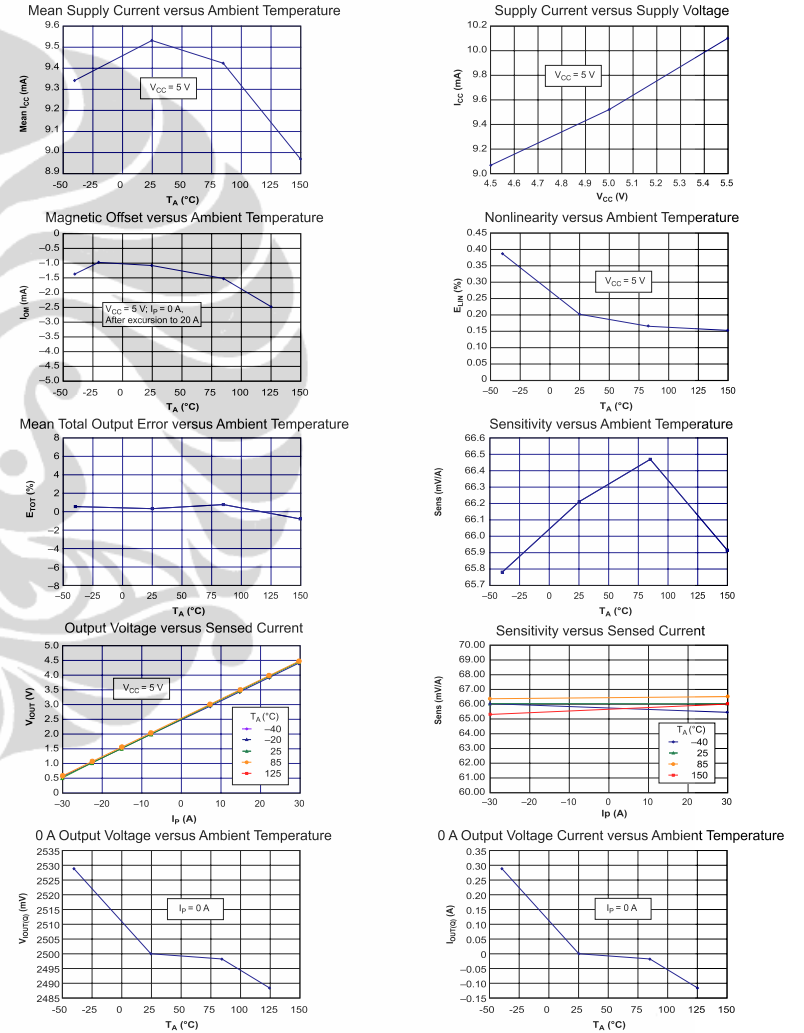
0 A Output Voltage Current versus Ambient Temperature



Characteristic Performance
 $I_p = 20$ A, unless otherwise specified



Characteristic Performance
 $I_p = 30$ A, unless otherwise specified



Definitions of Accuracy Characteristics

Sensitivity (Sens). The change in sensor output in response to a 1 A change through the primary conductor. The sensitivity is the product of the magnetic circuit sensitivity (G/A) and the linear IC amplifier gain (mV/G). The linear IC amplifier gain is programmed at the factory to optimize the sensitivity (mV/A) for the full-scale current of the device.

Noise (V_{NOISE}). The product of the linear IC amplifier gain (mV/G) and the noise floor for the Allegro Hall effect linear IC (≈1 G). The noise floor is derived from the thermal and shot noise observed in Hall elements. Dividing the noise (mV) by the sensitivity (mV/A) provides the smallest current that the device is able to resolve.

Linearity (E_{LIN}). The degree to which the voltage output from the sensor varies in direct proportion to the primary current through its full-scale amplitude. Nonlinearity in the output can be attributed to the saturation of the flux concentrator approaching the full-scale current. The following equation is used to derive the linearity:

$$100 \left[1 - \frac{\Delta \text{ gain} \times \% \text{ sat} (V_{IOUT_full\text{-}scale\text{ amperes}} - V_{IOUT(Q)})}{2 (V_{IOUT_half\text{-}scale\text{ amperes}} - V_{IOUT(Q)})} \right]$$

where $V_{IOUT_full\text{-}scale\text{ amperes}}$ = the output voltage (V) when the sensed current approximates full-scale ±I_P.

Symmetry (E_{SYM}). The degree to which the absolute voltage output from the sensor varies in proportion to either a positive or negative full-scale primary current. The following formula is used to derive symmetry:

$$100 \left(\frac{V_{IOUT_+full\text{-}scale\text{ amperes}} - V_{IOUT(Q)}}{V_{IOUT(Q)} - V_{IOUT_full\text{-}scale\text{ amperes}}} \right)$$

Quiescent output voltage (V_{IOUT(Q)}). The output of the sensor when the primary current is zero. For a unipolar supply voltage, it nominally remains at V_{CC}/2. Thus, V_{CC} = 5 V translates into V_{IOUT(Q)} = 2.5 V. Variation in V_{IOUT(Q)} can be attributed to the resolution of the Allegro linear IC quiescent voltage trim and thermal drift.

Electrical offset voltage (V_{OE}). The deviation of the device output from its ideal quiescent value of V_{CC}/2 due to nonmagnetic causes. To convert this voltage to amperes, divide by the device sensitivity, Sens.

Accuracy (E_{TOT}). The accuracy represents the maximum deviation of the actual output from its ideal value. This is also known as the total output error. The accuracy is illustrated graphically in the output voltage versus current chart at right.

Accuracy is divided into four areas:

- **0 A at 25°C.** Accuracy of sensing zero current flow at 25°C, without the effects of temperature.
- **0 A over Δ temperature.** Accuracy of sensing zero current flow including temperature effects.
- **Full-scale current at 25°C.** Accuracy of sensing the full-scale current at 25°C, without the effects of temperature.
- **Full-scale current over Δ temperature.** Accuracy of sensing full-scale current flow including temperature effects.

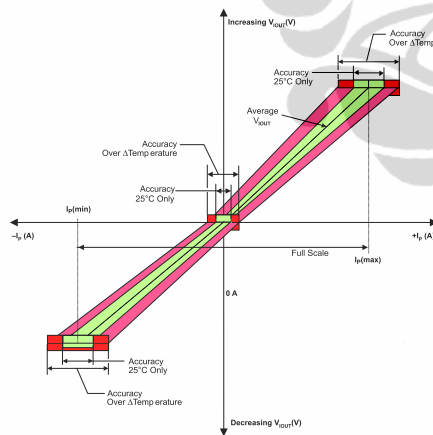
Ratiometry. The ratiometric feature means that its 0 A output, V_{IOUT(Q)}, (nominally equal to V_{CC}/2) and sensitivity, Sens, are proportional to its supply voltage, V_{CC}. The following formula is used to derive the ratiometric change in 0 A output voltage, ΔV_{IOUT(Q)RAT} (%).

$$100 \left(\frac{V_{IOUT(Q)VCC} / V_{IOUT(Q)SV}}{V_{CC} / 5 V} \right)$$

The ratiometric change in sensitivity, ΔSens_{RAT} (%), is defined as:

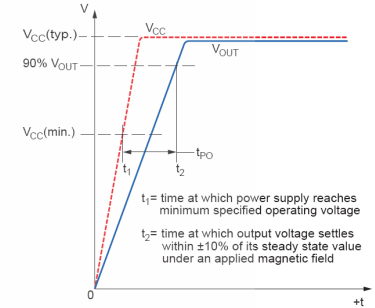
$$100 \left(\frac{Sens_{VCC} / Sens_{SV}}{V_{CC} / 5 V} \right)$$

Output Voltage versus Sensed Current Accuracy at 0 A and at Full-Scale Current

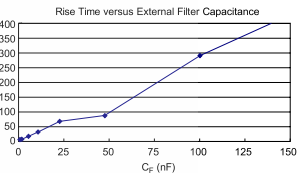
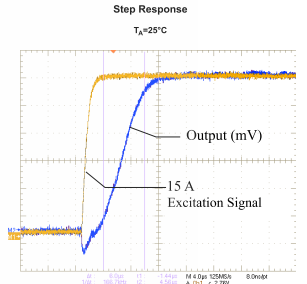
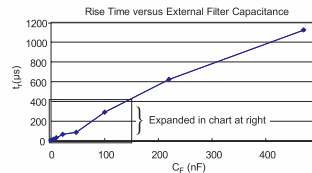
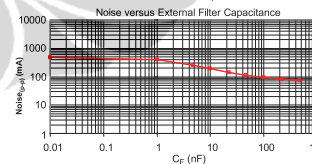
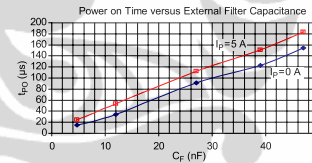
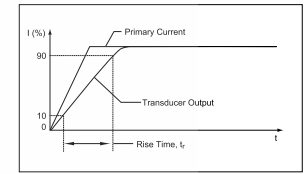


Definitions of Dynamic Response Characteristics

Power-On Time (t_{PO}). When the supply is ramped to its operating voltage, the device requires a finite time to power its internal components before responding to an input magnetic field. Power-On Time, t_{PO}, is defined as the time it takes for the output voltage to settle within ±10% of its steady state value under an applied magnetic field, after the power supply has reached its minimum specified operating voltage, V_{CC}(min), as shown in the chart at right.



Rise time (t_r). The time interval between a) when the sensor reaches 10% of its full scale value, and b) when it reaches 90% of its full scale value. The rise time to a step response is used to derive the bandwidth of the current sensor, in which f(-3 dB) = 0.35/t_r. Both t_r and t_{RESPONSE} are detrimentally affected by eddy current losses observed in the conductive IC ground plane.



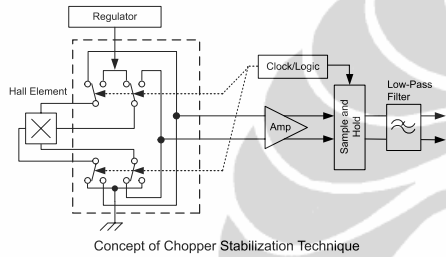
ACS714

Automotive Grade, Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

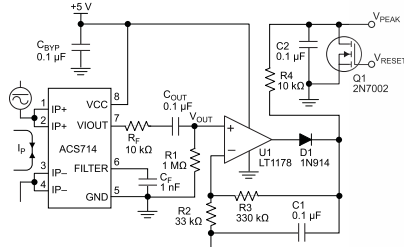
Chopper Stabilization Technique

Chopper Stabilization is an innovative circuit technique that is used to minimize the offset voltage of a Hall element and an associated on-chip amplifier. Allegro patented a Chopper Stabilization technique that nearly eliminates Hall IC output drift induced by temperature or package stress effects. This offset reduction technique is based on a signal modulation-demodulation process. Modulation is used to separate the undesired dc offset signal from the magnetically induced signal in the frequency domain. Then, using a low-pass filter, the modulated dc offset is suppressed while the magnetically induced signal passes through the filter. As a result of this chopper stabilization approach, the output voltage from the Hall IC is desensitized to the effects of temperature and mechanical stress. This technique produces devices that have an extremely stable Electrical Offset Voltage, are immune to thermal stress, and have precise recoverability after temperature cycling.

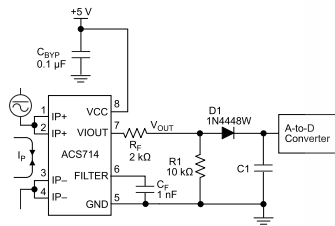
This technique is made possible through the use of a BiCMOS process that allows the use of low-offset and low-noise amplifiers in combination with high-density logic integration and sample and hold circuits.



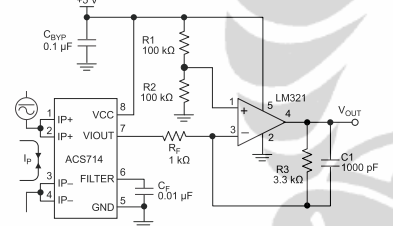
Typical Applications



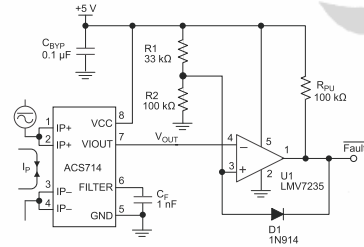
Application 2. Peak Detecting Circuit



Application 4. Rectified Output. 3.3 V scaling and rectification application for A-to-D converters. Replaces current transformer solutions with simpler ACS circuit. C1 is a function of the load resistance and filtering desired. R1 can be omitted if the full range is desired.



Application 3. This configuration increases gain to 610 mV/A (tested using the ACS714ELC-05A).



Application 5. 10 A Overcurrent Fault Latch. Fault threshold set by R1 and R2. This circuit latches an overcurrent fault and holds it until the 5 V rail is powered down.

ACS714

Automotive Grade, Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Improving Sensing System Accuracy Using the FILTER Pin

In low-frequency sensing applications, it is often advantageous to add a simple RC filter to the output of the sensor. Such a low-pass filter improves the signal-to-noise ratio, and therefore the resolution, of the sensor output signal. However, the addition of an RC filter to the output of a sensor IC can result in undesirable sensor output attenuation — even for dc signals.

Signal attenuation, ΔV_{ATT} , is a result of the resistive divider effect between the resistance of the external filter, R_F (see Application 6), and the input impedance and resistance of the customer interface circuit, R_{INTFC} . The transfer function of this resistive divider is given by:

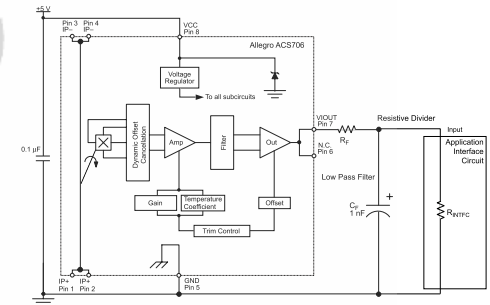
$$\Delta V_{ATT} = V_{IOUT} \left(\frac{R_{INTFC}}{R_F + R_{INTFC}} \right)$$

Even if R_F and R_{INTFC} are designed to match, the two individual resistance values will most likely drift by different amounts over

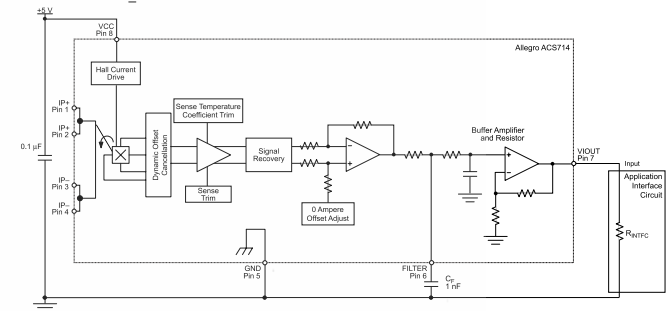
temperature. Therefore, signal attenuation will vary as a function of temperature. Note that, in many cases, the input impedance, R_{INTFC} , of a typical analog-to-digital converter (ADC) can be as low as 10 k Ω .

The ACS714 contains an internal resistor, a FILTER pin connection to the printed circuit board, and an internal buffer amplifier. With this circuit architecture, users can implement a simple RC filter via the addition of a capacitor, C_F (see Application 7) from the FILTER pin to ground. The buffer amplifier inside of the ACS714 (located after the internal resistor and FILTER pin connection) eliminates the attenuation caused by the resistive divider effect described in the equation for ΔV_{ATT} . Therefore, the ACS714 device is ideal for use in high-accuracy applications that cannot afford the signal attenuation associated with the use of an external RC low-pass filter.

Application 6. When a low pass filter is constructed externally to a standard Hall effect device, a resistive divider may exist between the filter resistor, R_F , and the resistance of the customer interface circuit, R_{INTFC} . This resistive divider will cause excessive attenuation, as given by the transfer function for ΔV_{ATT} .



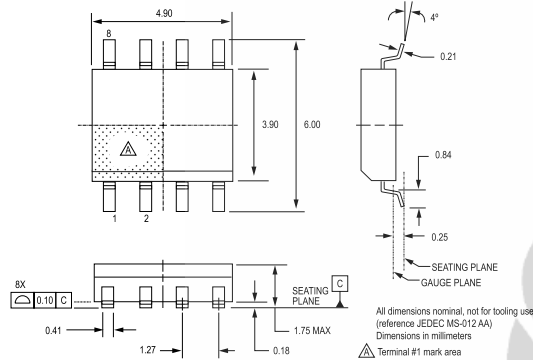
Application 7. Using the FILTER pin provided on the ACS714 eliminates the attenuation effects of the resistor divider between R_F and R_{INTFC} , shown in Application 6.



ACS714

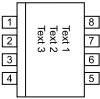
Automotive Grade, Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Package LC, 8-pin SOIC



Package Branding

Two alternative patterns are used



ACS714T RLCPPP YYWWA	ACS	Allegro Current Sensor
	714	Device family number
	T	Indicator of 100% matte tin leadframe plating
	R	Operating ambient temperature range code
	LC	Package type designator
PPP	Primary sensed current	
YY	Date code: Calendar year (last two digits)	
WW	Date code: Calendar week	
A	Date code: Shift code	

ACS714T RLCPPP L...L YYWW	ACS	Allegro Current Sensor
	714	Device family number
	T	Indicator of 100% matte tin leadframe plating
	R	Operating ambient temperature range code
	LC	Package type designator
PPP	Primary sensed current	
L...L	Lot code	
YY	Date code: Calendar year (last two digits)	
WW	Date code: Calendar week	

Copyright ©2006,2007, Allegro MicroSystems, Inc.

The products described herein are manufactured under one or more of the following U.S. patents: 5,045,920; 5,264,783; 5,442,283; 5,389,889; 5,581,179; 5,517,112; 5,619,137; 5,621,319; 5,650,719; 5,686,894; 5,694,038; 5,729,130; 5,917,320; and other patents pending.

Allegro MicroSystems, Inc. reserves the right to make, from time to time, such departures from the detail specifications as may be required to permit improvements in the performance, reliability, or manufacturability of its products. Before placing an order, the user is cautioned to verify that the information being relied upon is current.

Allegro's products are not to be used in life support devices or systems, if a failure of an Allegro product can reasonably be expected to cause the failure of that life support device or system, or to affect the safety or effectiveness of that device or system.

The information included herein is believed to be accurate and reliable. However, Allegro MicroSystems, Inc. assumes no responsibility for its use, nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use.

For the latest version of this document, visit our website:

www.allegromicro.com



Allegro MicroSystems, Inc.
115 Northeast Cutoff, Box 15036
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000
www.allegromicro.com





OVERVIEW OF THE STACK

H-100 Fuel Cell Stack User Manual

Thank you for choosing our fuel cell stack. The Horizon 100W fuel cell stack is an air-cooled, light weight and compact fuel cell stack.

Please read all instructions carefully prior to product use and keep this manual for future reference.

Further copies can be obtained from Horizon Fuel Cell Technologies or by emailing: support@horizonfuelcell.com

Please refer to the Horizon website for latest information: www.horizonfuelcell.com

Specifications and descriptions in this document were in effect at the time of publication. Horizon Fuel Cell Technologies reserves the right to change specifications, product appearance or to discontinue products at any time.

Information on the stack warranty can be found on the warranty card that comes with this stack system.

Do not attempt, under any circumstance, to disassemble or inappropriately tamper with the fuel cell. There will be no returns, refunds or exchanges should disassembly or tampering occur. If you have questions or need help with regards to the fuel cell and its technology contact: support@horizonfuelcell.com

V2.0
Updated 24 Nov 2009

Table of Contents

1. Terminology.....	1
2. Stack and System Component Information.....	5
3. Technical Specification.....	7
4. System Power Curves.....	8
5. System Set-Up.....	9
6. Notes for the set up	15
7. Fuel Cell with Load.....	17
8. Storage and Re-Use.....	18
9. Trouble Shooting.....	19

1. Terminology

PEM fuel cell:

a PEM (Proton Exchange Membrane) fuel cell is a device that converts hydrogen and oxygen into water and electricity.

A fuel cell stack:

it includes a plurality of plate-like fuel cells arranged along an axis generally parallel to cell thickness with electrically conductive separator plates between each pair of cells.

Reactants:

reactant is a material used to start a chemical reaction. In the fuel cell the reactants are air and hydrogen by which the electricity will be generated.

Humidification:

humidity that the fuel cells need for running.

Blower:

supply air to the fuel cells and meanwhile decrease the temperature in the stack.

Purging valve:

the controller will control the purging time for purging the water and air gas redundant in the fuel cells.

SCU:

short circuit unit – the short circuit will be controlled for good performance of the stack.

Dead ended valve:

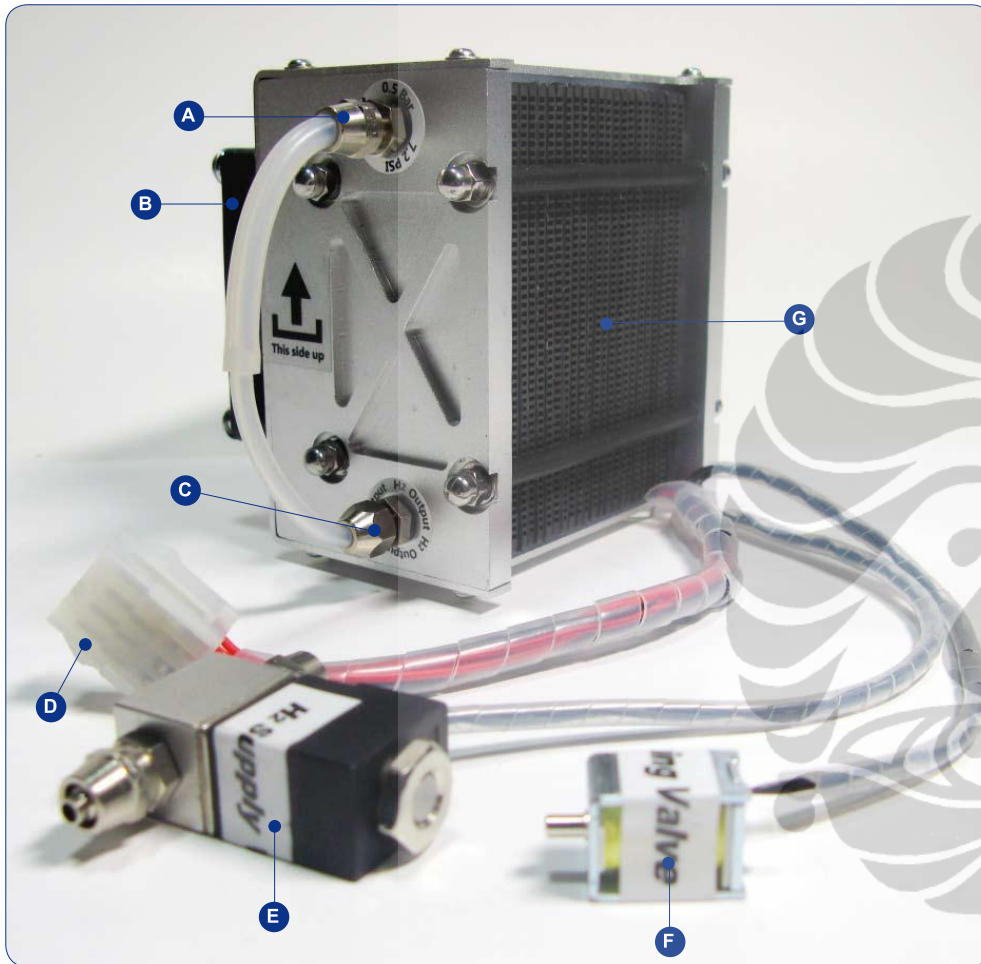
purge valve for the controlling of the gas purging.

Mass flow per minute:

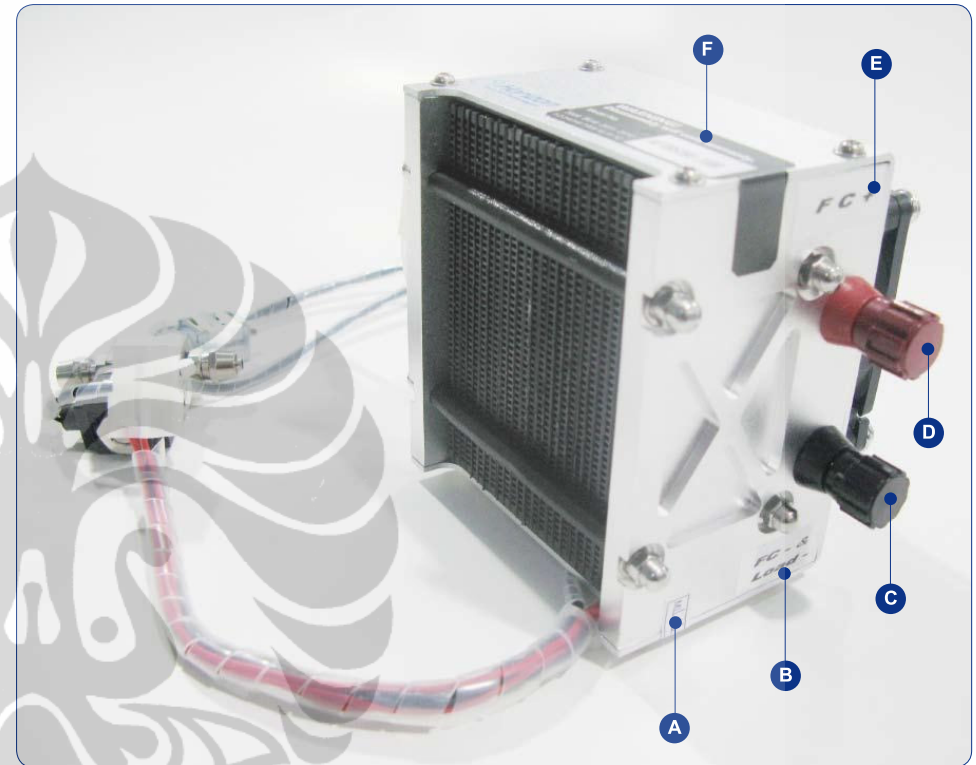
the total amount of the hydrogen flow to the fuel cell every minute, which the hydrogen supply can be calculated.

HFCT:

Horizon Fuel Cell Technologies

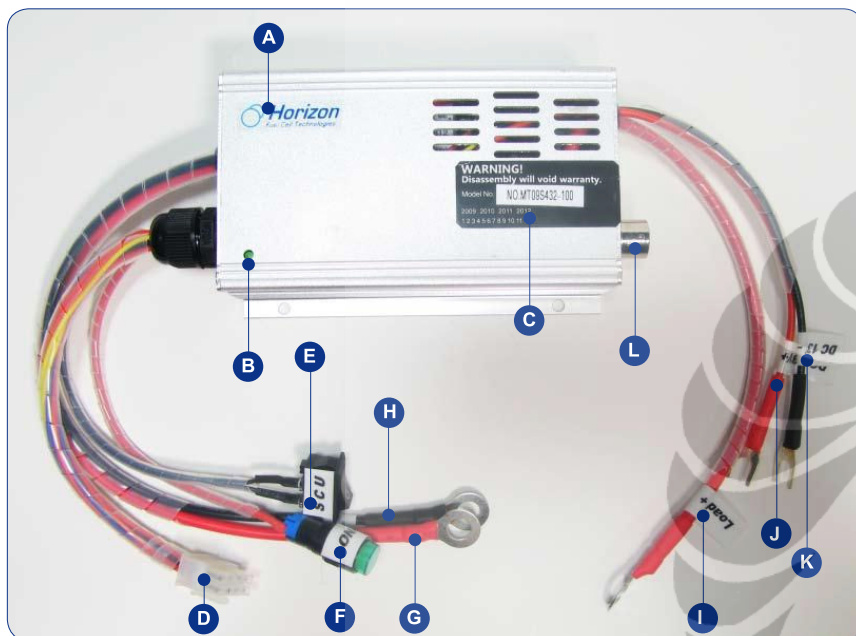


- A: H2 inlet connector
- B: Blower
- C: H2 outlet connector
- D: Controller connection with the multi-connector
- E: H2 supply valve
- F: H2 purge valve
- G: Fuel cell air inlet side



- A: Protection label
- B: FC- & load- stick
- C: FC- & load- connector
- D: FC+ connector
- E: FC+ stick
- F: Warning labels

2. Stack and System Component Information



- A: Logo
- B: LED
- C: Product No.Label
- D: Connect plug
- E: SCU(short circuit units) switch
- F: ON/OFF button
- G: Connect to FC+
- H: Connect to FC-
- I: Connect to Load+
- J: Controller power supply DC 13V+
- K: Controller power supply DC 13V-
- L: LCD connector



1. Stack

Is made up of plate-like cells with air channels to allow the flow of air across the membrane. The membrane facilitates the flow of Hydrogen creating the release of electrons. Electrically conductive separator plates between each pair of cells enable the flow of electrons. The stack aspect is that they are all placed on top of each other and held together by epoxy endplates.



2. H2 Supply Valve

It controls the H2 input. When the controller turns on, also the H2 supply valve does. When system turns off, it is in the off position for preventing the leakage.



3. H2 Purge Valve

Purging valve: the controller will control the purging time for purging the water and air gas redundant in the fuel cells.



4. Short Circuit Unit

The short circuit unit can be turned on or off depending on what application the stack is to be used in. It ensures enhanced performance of the fuel cells in applications where the stack is turned off for prolonged periods.



5. On/Off Switch

This switches the controller on and off. Hold it for 5 seconds for either the on or off operation.



6. Blower

Supply air to the fuel cells and meanwhile decrease the temperature in the stack.



7. Controller Connector

Connect the stack cables to the lead wires of the T-sensor/blower/purging valve/input valve on the controller.



8. Controller

Controls the stack temperature, blowers, hydrogen input, purging and short circuiting of the stack.



9. H2 Input/Output connectors

H2 OUT: connect tube in 12 below.
H2 IN: connect tube shown in 11 below.



10. Fuel Cell +/- Load Connectors

FC+ is connected to the fuel cell positive pole.
FC- is connected to the fuel cell negative pole.



11. Tube for H2 Input

The tube with 6mm outer diameter and 3mm inner diameter is connected to the H2 IN as in 9 above and to the input valve of the hydrogen source.



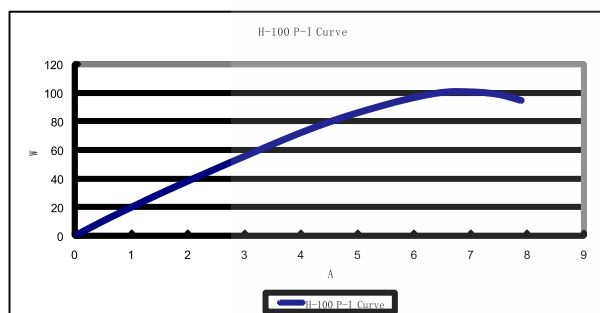
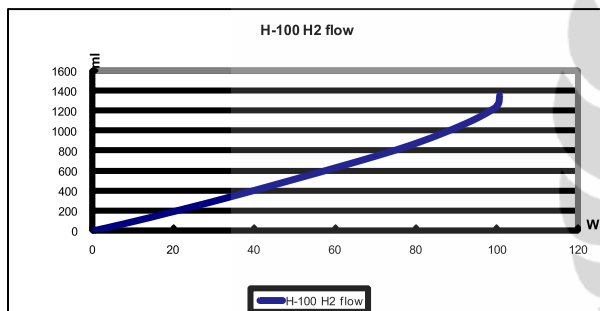
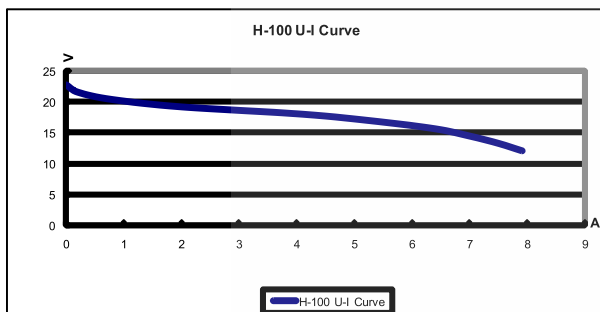
12. Tube for H2 Output

H2 output tube with 4mm outer diameter and 2mm inner diameter is connected to the purging valve on one end and the H2 OUT in 9 above.

3. Technical Specification

Type of fuel cell	PEM
Number of cells	24
Rated power	100W
Rated performance	14V@7.2A
Output voltage range	13V-23V
Weight (with fan & casing)	0.95kg(201lbs)
Size	143 x 109 x 94 mm (5.6 x 4.3 x 3.7)
Reactants	Hydrogen and Air
Rated H2 consumption	1.4l/min (83in ³ /min)
Hydrogen pressure	0.4-0.45Bar (5.8-6.5PSI)
Controller weight	0.4kg (0.88lbs)
Hydrogen supply valve voltage	12V
Purging valve voltage	12V
Blower voltage	12V
Ambient temperature	5-35°C (41-95°F)
Max stack temperature	65°C (149°F)
Hydrogen purity	99.999% dry H2
Humidification	Self-humidified
Cooling	Air (integrated cooling fan)
Start up time	Immediate
Efficiency of system	40%@14V

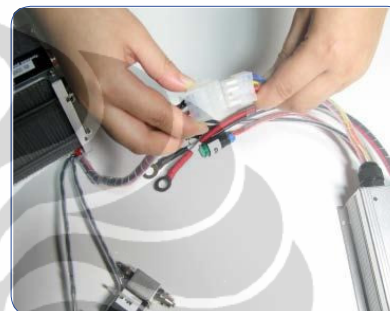
4. System Power Curves



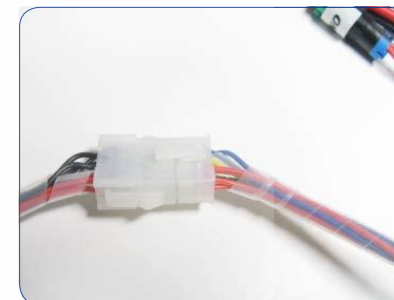
5. System Set-Up

STEP1:

Connect the connectors of the controller and the stack to get the blower, the temperature sensor, the hydrogen supply valve and the purge valve under control. The finished connection is shown in 1B.



1A



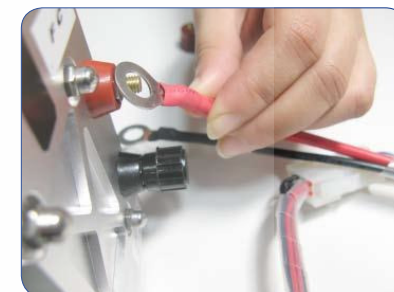
1B

STEP2:

Connect the controller and the stack as the output power also should be under control. The finished connection is shown in 2E.



2A



2B

STEP4:

Keep the SCU (Short Circuit Unit) switch at 1 normally. Only if the short circuit effects the operation, you can use the switch to shut off the short circuit, but it will cause at least 20% performance loss.



2C



2D



2E



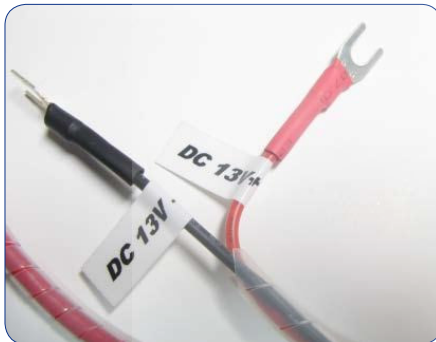
4A

STEP5:

Connect the outside hydrogen supply valve to the stack. The hydrogen supply valve will prevent damage from the hydrogen while the stack is off. Notice the direction of the connection of the Hydrogen supply valve. The finished connection is shown in 5H.

STEP3:

Connect the stack to a stabilized voltage supply through the "13V DC" connectors (3A), and the voltage of the power should be between 12V and 14V.



3A



5A



5B



5C



5D



5E



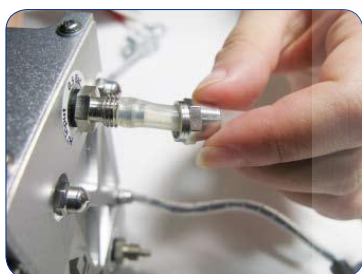
5G



6C



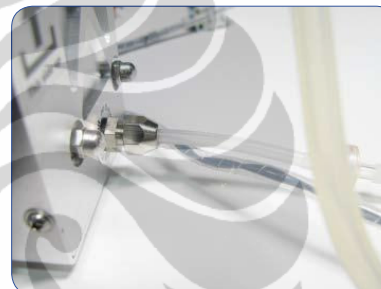
6D



5F



5H



6E



6F

STEP6:

Connect the stack with the purge valve through the filter for a longer runtime and a better performance (6A-6I). If not, the gas out of stack may have a negative effect on the purge valve after a long-time running. Connect the output of the purge valve to a place away from the stack in case of the damage caused by the Hydrogen leakage.



6G



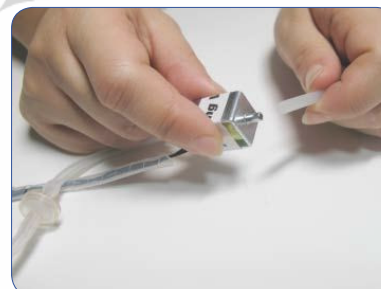
6H



6A



6B



6I

STEP7:

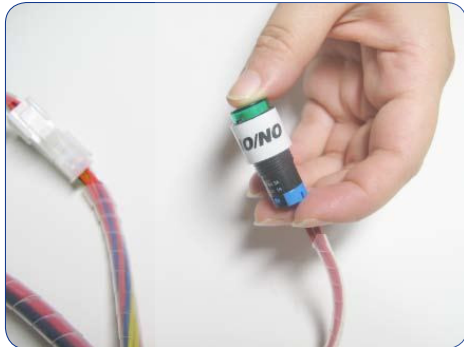
Check all the connection first and connect the load to the system, Load+ is linked to the "load+" at the controller, Load- links to the "FC- and load-" in the stack shown in 7A



7A

STEP8:

Provide hydrogen and stabilized voltage first and then press the ON/OFF switch to start the system.

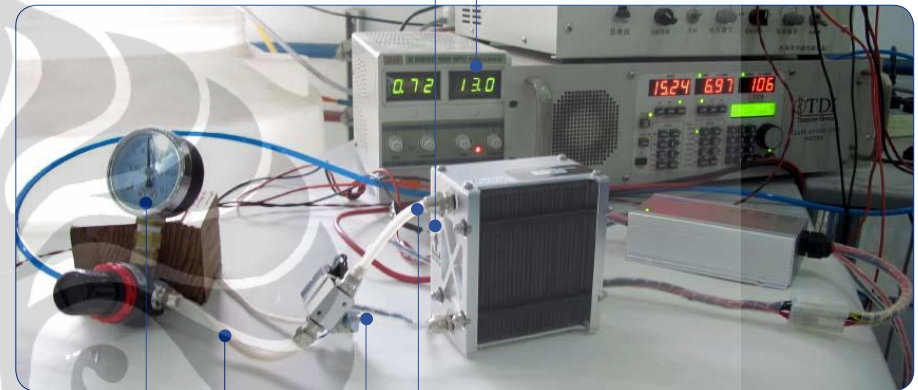


8A

6. Notes for the set-up

Stack should be placed like this position.

The voltage of external power supply is between 12V - 14V, the current range is different based on the different stack.



It should be as short as possible between stack and valve.

It should be less than 0.3M between the pressure regulator and the stack.

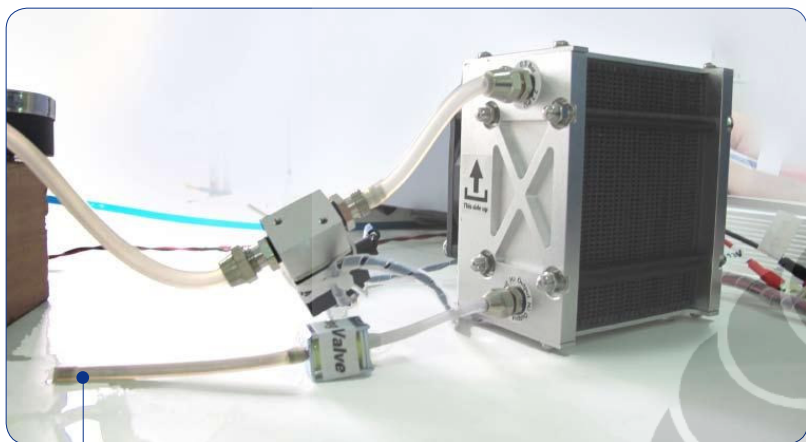


The pressure of the hydrogen is between 0.4--0.45Bar (0.04 -- 0.045Mpa).

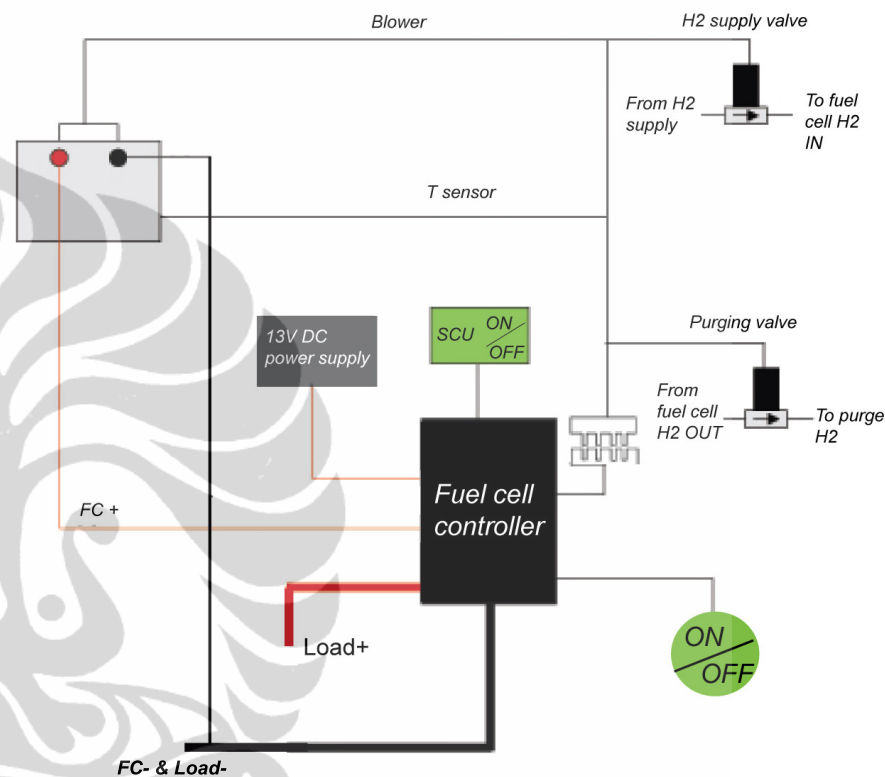


The load connector, load+, is connected to the "load +" in the controller. Connected the load- to "FC- & Load-" in the stack.

7. Fuel Cell with Load



The outlet of the purge valve should be far away from the stack. Don't let the hydrogen from purge valve back to the stack, otherwise it would damage the stack.



SCU: Short Circuit Unit

- Set up the fuel cell system according to the diagram above, ensuring that:
 - The stack is placed upright
 - The external DC power supply voltage is between 12V and 14V.
 - The pressure is between 5.8PSI and 6.5PSI.
- Connect the load to the "Load +" and "FC- & Load-".
- Start the power supply and Hydrogen supply.
- Press the 'ON/OFF' button and the fuel cell system is ready to use.

8. Storage and Re-Use

When finished operating the stack please place it back in the supplied air tight container. Place a small container of water inside the container in order to keep the stack from getting too dry.

The stack should be stored at room temperature in a dry area.

If the stack is un-used for a long period of time (months):

1. Rejuvenate by injecting water into the stack:
2. Connect a short section of hosing to the gas port marked "H2 in" and another one to the "H2 out" port.
3. Fill a syringe with pure water (distilled) and connect it to the hose attached to the "H2 in" port.
4. Inject pure water into the stack until you see water coming out of the hose connected to the "H2 out" port. Keep the water inside the stack for about 5 minutes. Now disconnect the syringe, and leave the water in the two hoses.

Note:

Please make sure you have purged the water out of the stack thoroughly before use. This is done by connecting the H2 supply to the stack, without a load attached, and purging the stack thoroughly (i.e. letting hydrogen flow through the stack to remove water and other contaminants).

WARNING: Using the fuel cell stack with water inside can irreparably damage it!

WARNING: Disconnect the hydrogen supply completely if the fuel cell is not in operation for more than 30 mins. This is to stop hydrogen gas leaking into the fuel cell and destroying some of the parts.

WARNING: When the temperature of the fuel cell stack is higher than 45°C the on/off switch connected to the control box will stop working for the protection of the stack. So in order to make it work well, the fuel cell stack must be maintained lower than 45°C before turning on the on/off switch.

WARNING: The stack must be standing on the clear plastic feet.

Tip: To keep the stack humidified once you have finished using it, we strongly recommend you connect a small hose filled with water to both "H2 in" and "H2 out" ports.

9. Trouble Shooting

If the system shuts down by itself check the following details:

1. Make sure you have connected all wires according to the diagram.
2. Make sure the external voltage is 12V -15V.
3. Make sure you have a hydrogen supply.
4. Make sure the load is below 100W, because the controller will protect the stack from drawing too much current.
5. Check whether the fuel cell temperature is below 65°C, the system will shut off if it is above 65°C.

If the stack initially has lower performance than expected:

1. Turn it on and off and gradually add a resistor load.
2. The hydrogen supply set-up should strictly follow the guidance in this manual. Ranges outside this may make the system volatile and even dangerous.
3. If a power level below the specified output is experienced this maybe due to insufficient hydrogen supply at a high power output. If the hydrogen supply set up causes too high pressure at low power and too low pressure of hydrogen at high power, results in a very dangerous at situation at lower power outputs and causes fuel starvation at high power outputs.
4. We suggest:
 - a. Setting a wide range pressure regulator at output. The range should be in the region of 50PSI.
 - b. Add a high flow rate, low pressure regulator as the second stage pressure regulator close to the fuel cell, to reduce pressure at lower power outputs.





PSV Proportionating Electromagnetic Valve

PSV Proportionating Electromagnetic Valves are designed to respond to variable power inputs to proportionately regulate the flow of liquids and gases.

For added safety PSV valves are normally closed (NC) when de-energized. They can also serve as "ON-OFF" valves. For control functions see the PSV-D Driver Module.

Flow is controlled by increasing or decreasing the voltage applied to the coil. This causes a magnetic force which raises the core and allows gas to flow.

PSV valves, constructed of stainless steel are available in five different sizes covering flow ranges from 3.5 L/min - 100 L/min air and 125 mL/min - 2.85 L/min H₂O.

Design Features

- Leak Integrity 1 x 10⁻⁹ mL/min
- Rigid metallic construction
- Gas and liquids.
- Max pressure of 1000 psig (34.8 bars)

Principle of Operation

A variable stroke electromagnetic valve featuring a valve seat design which permits increasing or decreasing flow rates of liquids or gases through it in proportion to variable input power.

Regulator Systems

Complete flow regulating systems include a PSV electromagnetic valve connected to a pulse width modulated PSV-D Driver Module. For details see Driver Module description. Optional external RS-232 or RS-485 modules are available. (See page 23).

TABLE 74 - MAX FLOW RATES AND CV VALUES FOR PSV

MODEL NUMBER	ORIFICE SIZE		Cv	*MAXIMUM FLOW [mL/min]	
	[in]	[mm]		AIR	WATER
PSV1S-VA	0.02	0.51	0.009	3500	125
PSV2S-VA	0.04	1.02	0.033	13000	400
PSV3S-VA	0.055	1.4	0.055	21500	700
PSV4S-VA	0.063	1.6	0.068	25000	850
PSV5S-VA	0.125	3.18	0.24	100000	2850

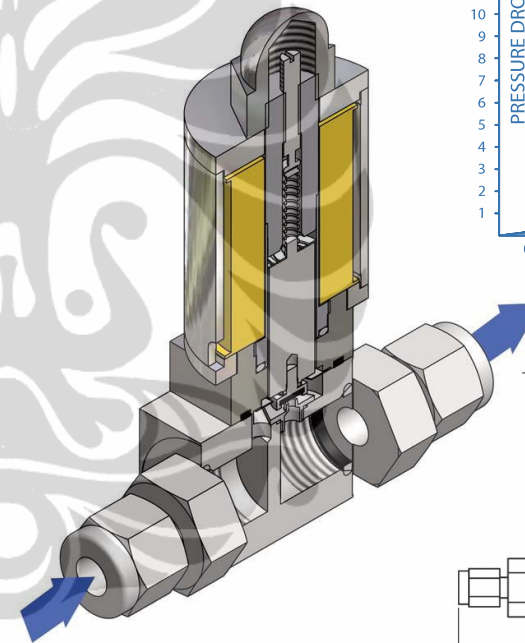
*Based on 10 psig (690 mbar) differential pressure.

**The selection of materials of construction, is the responsibility of the customer. The company accepts no liability.

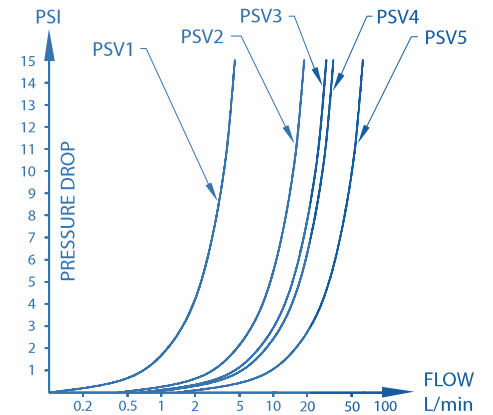
TABLE 75 - SPECIFICATIONS

POWER INPUT:	0-30Vdc.
MAXIMUM POWER REQUIRED:	400 mA.
TYPE OF OPERATION:	Normally closed (NC) when de-energized.
CONNECTIONS:	1/4" Compression fittings optional 1/8" and 3/8".
DIMENSIONS:	3.45" (87.6mm) high x 3.25" (82.6mm) long (including compression fittings) x 1.00" (25.4mm) deep.
**MATERIALS IN FLUID CONTACT:	Types 316 and 416 stainless steel, Viton® O-rings. Optional O-rings: Buna®, EPR and Kalrez®.
MAXIMUM PRESSURE:	1000 psig (3448 kPa).
MAXIMUM DIFFERENTIAL PRESSURE:	50 psid (345 kPa).
LEAK INTEGRITY:	1 X 10 ⁻⁹ smL/sec Helium individually tested.
MAXIMUM TEMPERATURE (typical):	174°F (79°C) inside, 130°F (54°C) outside surface at 24Vdc.

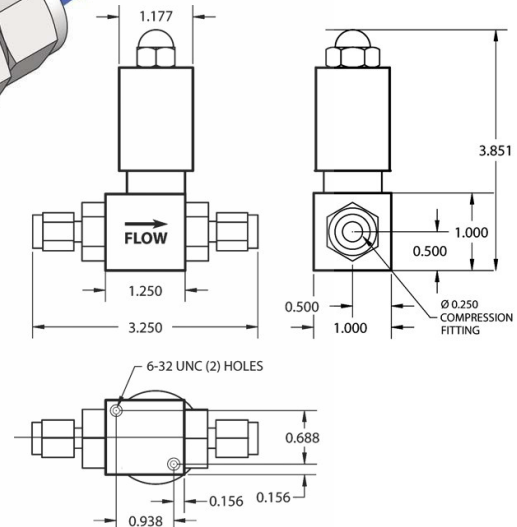
Cross Sectional View PSV Valve



Pressure Drops Across PSV Valves



PSV Proportionating Electromagnetic Valves



MODEL	
PSV	
SERIES	
1	
2	
3	
4	
5	
MATERIAL	
S	Stainless Steel
SEALS	
V	Viton®
B	Buna®
E	EPR
T	PTFE / Kalrez®
FITTINGS	
A	1/4" Compression
B	1/8" Compression
D	3/8" Compression
X	Special

PSV	4	S	—	V	A
-----	---	---	---	---	---

EXAMPLE: PSV4S-VA
 PSV4 stainless steel, Viton® seals with 1/4" compression fittings.

PSV-D

Pulse width modulated PSV-D Driver Modules regulate the power supplied to PSV Regulating valves based on a reference signal.

Set-point signals, 0-5 Vdc or 4-20 mA, input are employed to control the output pulse width modulated voltage at a fixed frequency (~30KHz) and amplitude. Incoming power to the valve coil is applied and discontinued for predetermined periods of time by a low loss solid state switching element.

As incoming power is applied, energy in the inductive coils increases and when it is discontinued energy stored in the coil maintains the magnetic flux level required to hold flow at the controlled rate. This cycle takes place many thousands of times per second.

The wide range of power input features conveniently accommodates 12 to 32 Vdc sources.

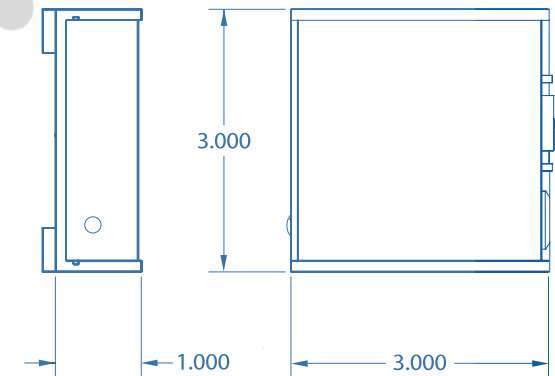
The Auto-Select feature of the Driver Module recognizes the type of reference signal received and defaults to 0 - 5 Vdc if both signals are provided.



Pulse Width Modulated Driver Module

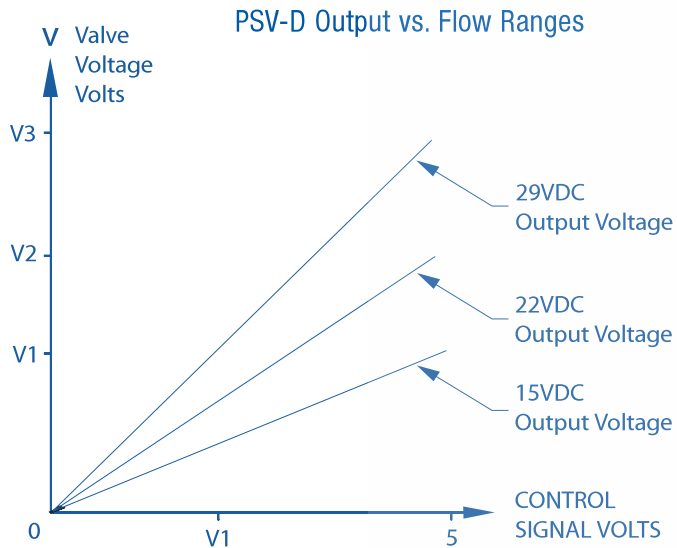
Shown with PSV Valve

Dimensions Pulse Width Modulated Driver Module



BULLETH EMB01000 PSV

BULLETH EMB201000 PSVD



Jumper selectable output power allows a choice of dc voltage range for cooler more efficient operation, as a function of flow rates.

Internal resettable fuse protects electronics and rectifier circuits, prevents polarity reversal damage.

The maximum output voltage supplied to the PSV Valve can be set or changed in the field to allow for optimal use of the input reference signal to output voltage based on the specific flow rate and operating pressure applied to the valve.

TABLE 76 - SPECIFICATIONS

CONNECTION:	9-pin male "D" subconnector for input/output signals.
POWER INPUT REQUIRED:	+12 to 30 Vdc 1A @12 Vdc, 0.5A (not supplied) @24 Vdc via 9-pin "D"-connector or dc power jack (center positive).
INPUT SIGNAL:	Auto-Select feature allows circuit to recognize which analog input reference (0 to 5 Vdc or 4-20 mA) signal is provided.
TTL ON/OFF:	Jumper selectable LOW (0 Vdc) OFF-HIGH (5 Vdc) on, or reverse, to select valve ON/OFF status.
VALVE OUTPUT POWER:	Jumper selectable to +15, +22, and +29 Vdc with adjacent potentiometer to obtain ±2 Vdc.
FUSE RATING:	An internal resettable 1.6A fuse protects the electronics on the power input.
POLARITY PROTECTION:	Internal rectifier circuit protects from reversed polarity on the power input.
OPERATING TEMPERATURE:	32 °F (0 °C) to 122 °F (50 °C).
DIMENSIONS:	3" (7.62mm) wide x 3" (7.62mm) deep x 1" (25.4mm) high.
CE COMPLIANCE:	EMC Directive 89/336/EEC EN55011:1991 Group 1, Class A EN50082-2:1995.

ORDERING INFORMATION FOR PSV-D

MODEL	
PSV-D	Proportionating Solenoid Valve Driver
PSV-D	

TABLE 77 - ACCESSORIES FOR FOR PSVD DRIVER MODULE

PS-PSV-110NA-4	Power Supply, 110vac/24 Vdc /North America
PS-PSV-230EU-4	Power Supply, 230vac/24 Vdc /Europe
PS-PSV-240AU-4	Power Supply 240vac/24 Vdc /Australia
PS-PSV-240UK-4	Power Supply 240vac/24 Vdc /United Kingdom
CBL-DP9-6	Female 9 pin D-connector with 6 ft.cable

BULLETIN EMR01009 PSVD