



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Fuel cell

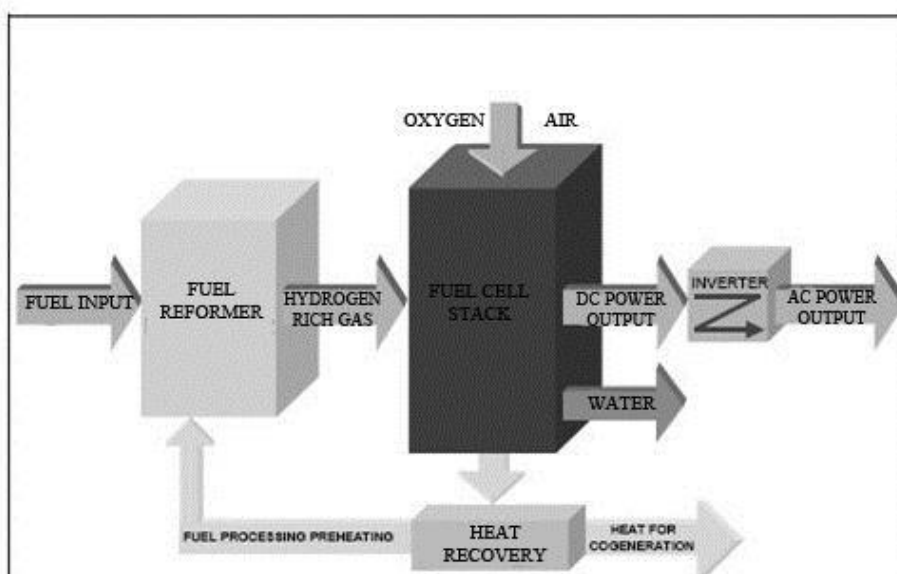
Fuel cell adalah alat konversi energi elektrokimia yang dapat mengubah hidrogen dan oksigen menjadi air, secara bersamaan akan menghasilkan energi listrik dan panas dalam prosesnya. Fuel cell merupakan suatu bentuk teknologi sederhana seperti baterai yang dapat diisi bahan bakar untuk mendapatkan energinya kembali, dalam hal ini yang menjadi bahan bakar adalah oksigen dan hydrogen, Seperti halnya sebuah baterai, semua jenis fuel cell memiliki elektroda positif yang disebut katoda dan elektroda negatif yang disebut anoda. Pada elektroda tersebut terjadi reaksi kimia yang menghasilkan listrik. Pada fuel cell terdapat elektrolit yang akan membawa muatan listrik dari satu elektroda ke elektroda lain, serta katalis yang akan mempercepat reaksi di elektroda. Pada umumnya yang membedakan tipe fuel cell adalah material elektrolit yang digunakan.

Arus listrik serta panas yang dihasilkan setiap jenis fuel cell merupakan produk samping reaksi kimia yang terjadi di katoda dan anoda [7] Secara prinsip, fuel cell beroperasi seperti baterai, hanya saja fuel cell tidak memerlukan proses charging. Fuel cell akan terus menghasilkan energi listrik sepanjang adanya suplai bahan bakar yang masuk ke dalam sistem. Proses konversi energi yang terjadi dalam fuel cell adalah melalui proses elektrokimia, sehingga prosesnya bersih, tidak ada kebisingan dan mempunyai efisiensi yang tinggi. [8] Fuel cell juga sebuah alat elektrokimia yang menghasilkan listrik tanpa suara dan tanpa pembakaran.

Fuel cell terdiri dari dua elektroda yang mengapit mengelilingi sebuah elektroda. Oksigen melalui sebuah elektroda dan hidrogen melalui elektroda yang lainnya yang menghasilkan listrik, air, dan panas. Tidak seperti alat elektrokimia yang lain seperti baterai, fuel cell tidak mengalami penurunan atau memerlukan pengisian ulang. Fuel cell menghasilkan energi dalam bentuk listrik dan panas selama bahan disuplai. Dengan demikian fuel cell membuat energi dapat digunakan dari listrik dan panas dengan menggabungkan hidrogen dan oksigen dari udara ke reaksi elektrokimia. Untuk penggunaannya, hidrogen dibuat dari gas alami dengan

menggunakan reformer. Fuel cell memiliki efisiensi energi yang tinggi, menghasilkan dua atau tiga kali lebih banyak energi yang berguna dari bahan bakar daripada metode generasi lainnya. Karena sel bahan bakar tidak memiliki bagian bergerak dalam sistem inti, kehandalan bisa tinggi. Fuel tidak menggunakan pembakaran sehingga tidak menghasilkan polutan udara ketika dioperasikan dengan bahan hidrogen murni dan tentunya mengurangi polusi udara.[9]

Sistem fuel cell terdiri dari tiga bagian sistem utama yang bekerja bersama: reformer fuel cell, membrane electrode assembly, gas dan distribusi air berlipat ganda dengan kontrol elektronik. Reformer bertanggung jawab untuk memproduksi aliran yang kaya hidrogen, biasanya dari sumber bahan bakar fosil, yang kemudian dimasukkan ke dalam perakitan membran untuk dikombinasikan dengan oksigen dari udara. Kombinasi reaktif katalis dari hidrogen dan oksigen menghasilkan listrik. Reformer dapat dirancang untuk mengkonversi sejumlah bahan bakar sehari-hari menjadi hidrogen, termasuk gas alam, propana, gas coal-bed (gas asam), gas dekomposisi TPA, dan bensin. Reformer menjauhkan hidrogen dari molekul hidrokarbon, umumnya menggunakan uap atau panas yang diambil dari sel bahan bakar operasi. Atau, hidrogen dapat diproduksi secara massal di fasilitas terpisah dan kemudian diangkut dan disimpan di suatu tempat dalam bentuk gas terkompresi atau terikat dalam hidrida logam.[9]



Gambar 2.1 Fuel Cell Stack

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Inti dari fuel cell adalah perakitan membran elektroda, terdiri dari anoda, katoda, elektrolit, dan saluran terkait untuk mengirimkan hidrogen dan oksigen dan untuk menghilangkan air dan panas. Elektroda anoda dan katoda terisolasi elektrik dari satu sama lain, tetapi dengan membran di antara elektroda memungkinkan ion hidrogen yang dikatalis pada anoda bermigrasi ke katoda untuk bergabung dengan oksigen dari udara menghasilkan air. [9]

Fuel cell memiliki beberapa keuntungan sebagai salah satu energi terbarukan yaitu: fuel cell memiliki efisiensi yang tinggi dibandingkan dengan mesin pembakaran yang menggunakan piston atau turbin sebagai penggerak utama; *Fuel cell* sangat sederhana. *Fuel Cell* tidak memiliki bagian yang bergerak. Sehingga memiliki keandalan yang tinggi dan dapat digunakan untuk jangka panjang; Hasil dari *fuel cell* adalah panas dan air, sehingga menghasilkan nol emisi. *Fuel cell* cocok digunakan untuk kendaraan bermotor, karena dapat mengurangi emisi kendaraan bermotor.[10]

### 2.1.1 Aplikasi Penggunaan Fuel Cell

#### a. Peralatan

Peralatan fuel cell adalah sebuah nama yang ditujukan kepada suatu alat yang dibangkitkan dengan fuel cell pada suatu lokasi yang tetap dan tidak bergerak seperti mobil. Peralatan fuel cell memiliki berbagai macam ukuran. Dari yang terkecil pada fuel cell antara 1 dan 10kW untuk memberi tenaga listrik pada rumah, perkantoran, atau aplikasi alat elektronik yang berdiri sendiri seperti tower telepon. Contohnya adalah *fuel cell* pada perumahan Plug Power menghasilkan sekitar 5 kW . Sejak teknologi ini modular dan mudah memungkinkan unit yang akan ditambahkan bersama-sama, unit daya didistribusikan tersebut dapat digunakan untuk hotel listrik, rumah sakit, atau industri instansi yang membutuhkan ratusan kilowatt daya. *Fuel cell* peralatan yang lebih besar menghasilkan antara 50 dan 200 MW dari daya dan lebih cocok untuk pembangkit listrik pusat. Setiap konsumen listrik dapat menggunakan *fuel cell*. Satu keuntungan dari didistribusikan di tempat peralatan *fuel cell* adalah kemampuan untuk menjual listrik tambahan yang dihasilkan , tetapi tidak dikonsumsi kembali ke "grid". Untuk bersaing dengan listrik yang berasal dari grid, power unit sel bahan bakar harus mampu menghasilkan listrik kurang dari \$ 1.000 / kW.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

b. Transportasi

Sel bahan bakar Ballard telah didukung bus di Kanada sejak tahun 1993. Semua produsen otomotif besar memiliki kendaraan sel bahan bakar dalam pengembangan dan pengujian sekarang - General Motors, Ford, Daimler Chrysler, Honda, Toyota, Hyundai, dan Volkswagen. Untuk bersaing dengan mesin pembakaran internal, kereta listrik sel bahan bakar harus dibuat kecil, ringan, dan sangat biaya efektif kurang dari \$ 50 / kW - yang lebih dari 10 kali lebih murah daripada unit stasioner. Penetrasi pasar sel bahan bakar kemungkinan akan mulai dipasarkan saat di mana biaya tidak lebih besar dari kendaraan pada umumnya. Pasar-pasar baru akan mencakup unit pendistribusian untuk listrik komersial dan residensial dan juga mikro *fuel cell*.

c. Lisrik Portabel

*Micro fuel cell* akan memungkinkan konsumen untuk berbicara sampai satu bulan terus menerus pada telepon selular tanpa mengisi ulang. Sel bahan bakar akan mengubah dunia telekomunikasi, laptop dan asisten digital pribadi lainnya (PDA) lainnya. Banyak dari *micro fuel cell* berjalan pada metanol, alkohol murah yang digunakan dalam cairan wiper. Sejak konsumen membayar lebih dari \$ 5.000 / kW untuk baterai isi ulang dengan keterbatasan *charge*. Maka selama 10 tahun ke depan diharapkan pasar *fuel cell* terus berkembang, sehingga *micro fuel cell* pada saat nya nanti akan turun ke bawah \$ 1.000 / kW. Stasioner dan *micro fuel cell* akan berfungsi untuk mengkatalisasi pembangunan infrastruktur industri manufaktur *fuel cell* yang akan menjadi penting untuk penggunaan otomotif, di mana poin biaya yang jauh lebih ketat dan target teknologi yang kuat harus dipenuhi

### 2.1.2 Jenis-jenis Fuel Cell

Perbedaan utama antara masing-masing jenis bahan yang digunakan dalam *fuel cell* stack untuk menghasilkan reaksi kimia yang diperlukan untuk menghasilkan listrik. [8]

- Proton Exchange Membrane (PEMFC)

Suhu : 50 – 100 °C

Elektroda: Solid polymer, proton-conducting electrolyte

Penggunaan : Transportasi, pembangkit, alat listrik portabel

Keterangan : Lebih dari 1.900 pembangkit *fuel cell* kecil digunakan pada tahun 2003, 75% adalah PEM. Plug Power telah terpasang lebih dari 100 *fuel cell* PEM stasioner untuk demonstrasi. Ballard telah menghasilkan sel bahan bakar PEM untuk mobil dan truk selama dekade terakhir

- Direct Methanol (DMFC)

Elektroda : Solid polymer, proton-conducting elektroda

Suhu : 40 – 100 °C

Penggunaan : Alat listrik portabel, transportasi, pembangkit

Keterangan : Dari 3.500 FC portabel digunakan saat ini, sekitar 45% menggunakan metanol.

- Solid Oxide (SOFC)

Elektroda : Ytria stabilized zirconia

Suhu : 800 – 1000 °C

Penggunaan : Alat listrik portabel, transportasi, pembangkit

Keterangan : 25% dari 1.900 pembangkit *fuel cell* kecil digunakan pada tahun 2003 adalah oksida padat.

- Phosphoric Acid (PAFC)

Elektroda : Phosphoric Acid

Suhu : 190 – 210 °C

Penggunaan : pembangkit

Keterangan : Lebih dari 200 FC telah dipasang di seluruh dunia, termasuk di rumah sakit, hotel, dan gedung perkantoran.

- Molten Carbonate (MCFC)

Elektroda : Carbonate

Suhu : 630 – 650 °C

Penggunaan : pembangkit

Keterangan : *fuel cell* karbonat untuk aplikasi pembangkit/stationari telah berhasil ditunjukkan di Jepang dan Italia.

### 2.1.3 Proton Exchange Membrane (PEMFC)

PEMFC, juga disebut solid polymer *fuel cell*, pertama kali dikembangkan



#### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta


**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

oleh General Electric di Amerika Serikat sekitar tahun 1960-an, yang digunakan oleh NASA pada kendaraan angkasa berawak pertama mereka. Jenis *fuel cell* ini utamanya tergantung pada membran polimer khusus yang dilapisi dengan partikel katalis terdispersi tinggi. Hidrogen diumpankan ke anoda sisi membran (yang mungkin tekanan lebih besar dari tekanan atmosfer) di mana katalis menyebabkan atom hidrogen melepaskan elektron sehingga menjadi ion  $H^+$  (proton) (Beo Gou. 2010):



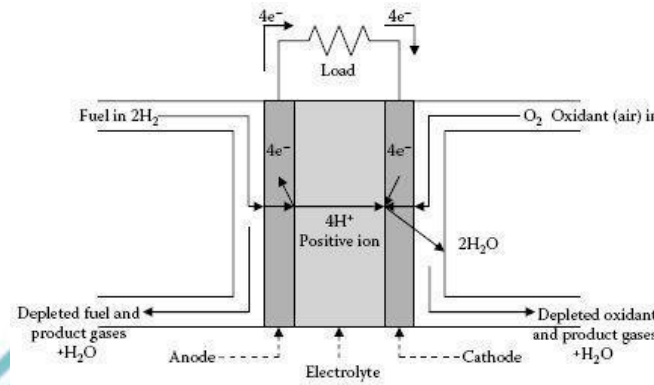
seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1. Proton Exchange Membrane (PEM) hanya memungkinkan ion  $H^+$  untuk melewati itu, sedangkan elektron dikumpulkan dan dimanfaatkan sebagai listrik yang melewati beban sebelum mereka mencapai sisi katoda. Elektron dan ion hidrogen yang berdifusi melalui membran bergabung dengan oksigen yang didapat dari udara untuk membentuk air, sebuah reaksi yang melepaskan energi dalam bentuk panas [11] :



Air hasil dari produk harus dihilangkan untuk mencegah sel dari kemungkinan banjir dan membuat tidak beroperasi. Selain itu, setiap hidrogen dan oksigen yang tidak terpakai (udara) harus dikeluarkan dari anoda dan katoda melalui outlet masing-masing. Untuk reaksi terus menerus, elektron yang dihasilkan pada anoda harus mengalir melalui sirkuit eksternal untuk sel bahan bakar, dan proton harus mengalir melalui PEM seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 (Beo Gou. 2010).

Reaksi dalam sebuah sel *fuel cell* menghasilkan tegangan output sekitar 0,7 V; untuk aplikasi umum, beberapa sel-sel individual dihubungkan secara seri untuk membentuk *stack fuel cell* untuk menghasilkan tegangan yang diinginkan. Suhu operasi yang diperlukan untuk PEMFCs hanya  $50^\circ C - 100^\circ C$ , yang memungkinkan operasi start-up yang cepat. Dengan demikian, PEMFC sangat menarik untuk aplikasi transportasi, dan juga sebagai kecil atau menengah didistribusikan pembangkit tenaga listrik karena memiliki kepadatan tinggi daya, elektrolit padat, umur *stack fuel cell* panjang, dan korosi rendah. Keuntungan lainnya termasuk produk yang bersih (air murni ketika hidrogen adalah bahan bakar, yang berarti "nol-emisi"), efisiensi energi tinggi lebih dari 40% biasanya dalam produksi tenaga listrik, dan operasi yang tidak bersuara. Oleh karena itu

PEMFCs sangat mungkin digunakan untuk mobil listrik, pesawat (daya tambahan), rumah dan kantor-kantor kecil, dan elektronik portabel (sebagai pengganti baterai isi ulang) [11].



Gambar 2.2. Reaksi elektrokimia PEMFC

#### 2.1.4 Komponen PEMFC

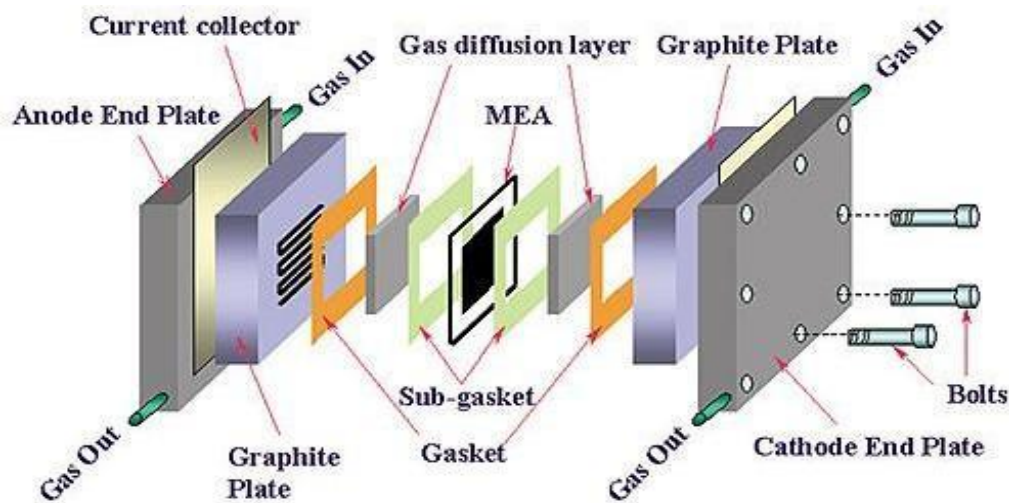
Bagian utama dari PEMFC diilustrasikan pada Gambar 2.2. Membran elektroda perakitan / *membrane electrode assembly* (MEA) terdiri dari membran polimer bersama elektroda dan lapisan difusi gas. Setiap elektroda pada dasarnya terdiri dari lapisan partikel katalis (biasanya platinum diendapkan pada permukaan partikel yang lebih besar dari dukungan karbon bubuk), dan ditempelkan ke salah satu membran atau lapisan difusi gas. Lapisan difusi gas terbuat dari bahan berpori dan elektrik konduktif, seperti kain karbon, untuk memungkinkan reaktan berdifusi ke dalam dan keluar dari MEA, dan untuk mengumpulkan arus yang dihasilkan dengan memberikan kontak listrik antara elektroda dan pelat bipolar luar. Selain itu, memungkinkan air yang terbentuk di katoda untuk keluar ke saluran gas.

Pelat bipolar / *bipolar plates*, disebut juga pelat medan aliran, berfungsi mendistribusikan gas reaktan di atas permukaan elektroda melalui saluran aliran pada permukaan pelat bipolar. Pelat bipolar juga mengumpulkan arus dan membentuk struktur pendukung dari *fuel cell*. Untuk listrik dan konduktivitas termal yang baik, ditambah kekuatan fisik dan stabilitas kimia, biasanya digunakan grafit pada sebagai bahan pelat tersebut [11].



#### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 2.3 Struktur rangkaian *fuel cell*

MEA terdiri dari 2 elektroda, 1 membran elektrolit dan 2 GDL. Membran memisahkan (dengan pembatas gas) 2 setengah reaksi sel dan melepaskan proton dari anoda ke katoda. Lapisan katalis yang terdispersi pada elektroda memacu setiap setengah reaksi, GDL mendistribusikan gas secara merata ke katalis di membran dan mengalirkan elektron dari area aktif menuju pelat bipolar dan membantu pengaturan air. Material MEA terdiri dari polimer solid terintegrasi dengan lapisan katalis pada anoda dan katoda, Kertas atau kain carbon berpori untuk lapisan difusi gas (GDL) [11].

- Pelat Bipolar

Mendistribusikan gas di bagian area aktif membran. Mengalirkan elektron dari anoda menuju katoda. Membuang air keluar sel. Material pelat bipolar terdiri dari grafit, *stainless steel*, atau komposit polimer termoplastik.

- Pelat Penutup

Berfungsi menyatukan rangkaian *fuel cell*. Material pelat penutup memiliki kekuatan mekanik yang baik (biasanya baja atau aluminium)[11].

- Penyimpan Arus

Menyimpan dan mentransfer arus listrik dari dalam ke luar sirkuit. Material yang digunakan adalah logam dengan kontak elektrik dan konduktivitas yang baik (biasanya tembaga).

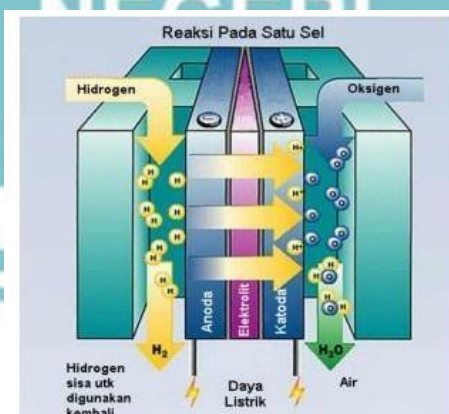
Dalam sistem *fuel cell* terdapat komponen dasar yang menyusun sistem *fuel cell*, sekurang-kurangnya terbagi menjadi empat bagian yaitu:




**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1. Anoda (*fuel electrode*) yaitu komponen yang menjadi tempat untuk bertemunya bahan bakar (*fuel*) dengan elektrolit, sehingga ia menjadi katalisator dalam reaksi reduksi bahan bakar dan kemudian mengalirkan elektron dari reaksi tersebut menuju rangkaian diluar (eksternal sirkuit/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 diluar kembali kedalam *fuel cell* dalam hal ini katoda yang akhirnya menghasilkan air dan panas.
3. Elektrolit yaitu bahan (cairan, gas, padat) yang berfungsi mengalirkan ion yang berasal dari bahan bakar di anoda menuju katoda, jika ada elektron yang mengalir melalui elektrolit maka akan terjadi *short circuit*. Sebagai tambahan agar praktis, peranan gas yang berfungsi sebagai pemisah biasanya disediakan oleh sistem elektrolit. Gas yang ada biasanya diatur kapasitasnya dengan tekanan yang disesuaikan.
4. Katalis yaitu material atau bahan khusus untuk mempercepat proses reaksi kimiawi atau reduksi-oksidasi. Pada PEMFC biasanya digunakan bahan dari platina.



Gambar 2.4 Proses *fuel cell*

### 2.1.5 Cara Kerja *Fuel cell*

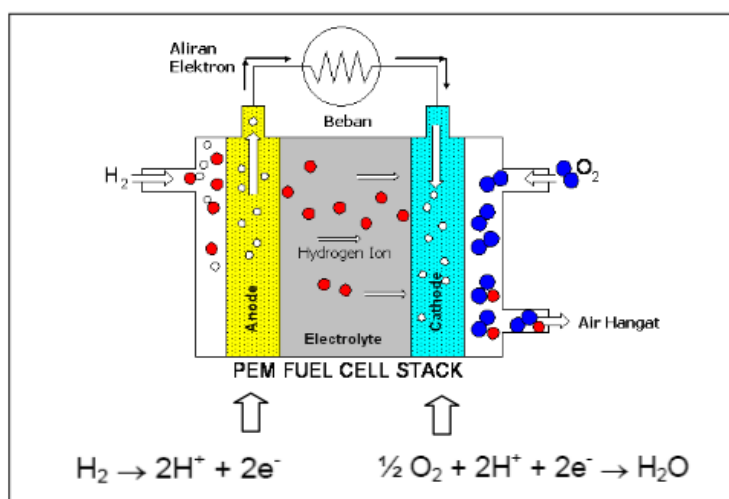
Cara kerja dari *fuel cell* dapat diilustrasikan pada gambar 2.2 dimana terdapat dua karbon elektroda yang dicelupkan dalam cairan/gas elektrolit yang


**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

terpisah satu sama lain. Bahan bakar, dalam hal ini hidrogen, akan dialirkan ke permukaan anoda dengan tekanan gas tertentu sesuai kebutuhan. Dan secara bersamaan oksigen yang berasal dari udara bebas, dialirkan ke permukaan elektroda yang lain (katoda). Saat elektroda dihubungkan dengan beban dari luar, maka proses yang terjadi sebagai berikut:

1. Hidrogen ( $H_2$ ) yang menyentuh permukaan anoda akan bereaksi secara kimiawi (reduksi), menghasilkan ion hidrogen ( $H^+$ ) dan ion elektron ( $e^-$ ).  
Sedangkan di katoda terjadi reaksi kimia (oksidasi) dimana oksigen ( $O_2$ ) diubah menjadi ion.
2. Ion hidrogen ( $H^+$ ) akan bergerak dari permukaan fuel elektroda (anoda) menuju katoda melalui elektrolit (cairan/gas).
3. Sedangkan ion elektron ( $e^-$ ) di anoda bergerak melalui kawat yang dihubungkan dengan beban / circuit diluar yang akhirnya menuju elektroda yang sama dituju ion hidrogen ( $H^+$ ) yaitu katoda.
4. Oksigen, ion hidrogen dan elektron mengalami reaksi kimia dengan oksigen elektroda maka pada permukaannya akan menghasilkan air ( $H_2O$ ) dan panas sebagai efek dari reaksi tersebut.



**Gambar 2.5.** Prinsip Kerja Fuelcell PEM

Stack suatu fuelcell PEM terdiri dari dua buah elektroda, anoda dan katoda. Keduanya dipisahkan oleh Polymer Electrolyte Membrane (PEM). Setiap elektroda dilapisi dengan platinum-based catalyst. Sebagai bahan bakar digunakan gas


**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

hidrogen bertekanan dan dilewatkan ke anoda (?). Sebagai oksidan digunakan oksigen yang diambil dari udara dan dialirkan ke katoda (+) dengan menggunakan kompresor. Akibat adanya katalis platinum, molekul H<sub>2</sub> terpecah menjadi dua proton dan dua elektron. Arus elektron ini dialirkan melalui rangkaian listrik agar menghasilkan arus listrik. Proton akan menembus lapisan membrane, dan bergabung di katode dengan elektron dan oksigen dari udara membentuk air bersih. Dari proses ini dihasilkan panas dan air bersih.[12]

### 2.1.6 Persamaan Elektrokimia dalam *Fuel cell*

Kinerja dari *fuel cell* dipengaruhi oleh beberapa variabel yaitu temperatur, tekanan, gas, komposisi satuan reaktan dan faktor lain (kemurnian dan umur sel). Tegangan keluaran *fuel cell* dapat di definisikan dengan persamaan:

$$V_{FC} = E_{Nernst} - V_{Act} - V_{Ohmic} - V_{mt} \quad (2.3)$$

Dimana :

$V_{FC}$  = tegangan keluaran *fuel cell*, V

$E_{NERST}$  = tegangan Nernst / tegangan open circuit, V

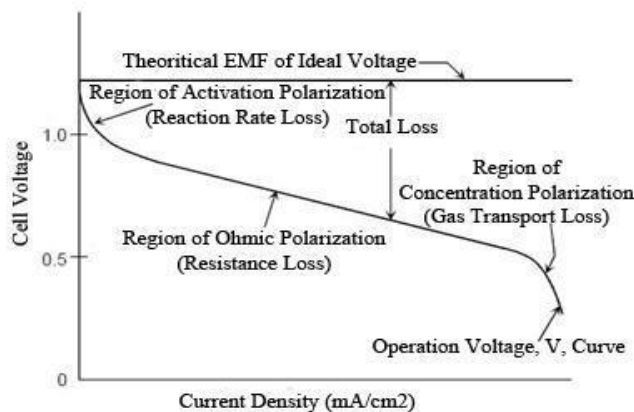
$V_{Act}$  = tegangan aktivasi (disaat activation polarization)

$V_{V_{Ohmic}}$  = tegangan ohmic (disaat ohmic polarization),

$V_{V_{Mt}}$  = tegangan akibat perpindahan (Mass transport losses),

### 2.1.7 Kerugian Aktivasi (Kehilangan Tegangan)

Kehilangan tegangan yang sering terjadi di dalam sel bahan bakar diilustrasikan pada gambar 2.4, Fuel cell menghasilkan tegangan tergantung pada kondisi operasi seperti temperatur, beban yang diberikan, dan laju aliran massa bahan bakar / oksidan. Sebagaimana ditunjukkan pada performa sistem fuel cell dalam kurva polarisasi yang mewakili sifat tegangan sel dibandingkan dengan berat jenis daya.



**Gambar 2.6** Karakteristik arus dan tegangan *fuel cell* ideal

Tegangan aktual dari sebuah sel bahan bakar lebih rendah daripada model secara teoritis karena penyilangan benda dari satu elektroda melalui elektrolit dan daya internal. Tiga klasifikasi utama dari kehilangan yang menghasilkan dari jatuhnya tegangan sirkuit terbuka adalah

1. Polarisasi Aktivasi
2. Polarisasi Ohmic
3. Polarisasi konsentras

## 2.2. Elektrolisis

Elektrolisa air pada dasarnya dilakukan dengan mengalirkan arus listrik kedalam air melalui dua buah elektroda yaitu anoda dan katoda. Untuk mempercepat proses elektrolisa maka air dicampur dengan cairan elektrolit yang berfungsi sebagai katalis. Proses elektrolisis air dapat terjadi dengan setengah reaksi asam, basa atau dapat terjadi kedua-duanya. Terjadinya reaksi asam dan basa tergantung dari elektrolit yang digunakan dan lingkungannya. Pada proses elektrolisa ini hidrogen terbentuk pada katoda dan oksigen terbentuk pada anoda. Selama ini elektrolisis air dikenal dengan produksi hidrogen dari air yang memiliki nilai efektif dan kemurnian dari gas hidrogen yang dihasilkan cukup tinggi, tetapi hanya terbatas untuk skala kecil Proses elektrolisa yang terus berlangsung pada elektroda menyebabkan gelembung gas hidrogen dan gas oksigen akan bertambah kemudian mengapung dan bergerak naik, Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu, dan untuk melengkapi penelitian-penelitian terdahulu maka kami akan melakukan pengujian analisis, tentang pengaruh jarak cell terhadap produksi

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Hidrogen dengan menggunakan alat penghasil Hidrogen jenis Dry Cell yang merupakan reaktor cell elektrolisis dimana sebagian elektrodanya tidak terendam sehingga elektrolitnya hanya mengisi celah-celah elektroda. Dalam penelitian ini kinerja Generator HHO dapat dihitung menggunakan parameter sebagai berikut  
Besarnya daya yang dibutuhkan generator HHO ditentukan oleh besarnya tegangan dan arus listrik yang digunakan dalam proses elektrolisis. Perhitungannya menggunakan persamaan 2.4.

$$P = V \times I \quad (2.4)$$

Dimana :

P = Daya generator HHO (watt)

V = Beda potensial/ tegangan (volt)

I = Arus Listrik (ampere)

2. Laju produksi gas HHO ditentukan dengan persamaan 2.5

$$Q_{HHO} = V_{\text{gas HHO}} / t \text{ (ml/s)} \quad (2.5)$$

Dimana :

$Q_{HHO}$  = Laju produksi HHO (ml/s)

$V_{\text{gas HHO}}$  = Volume Brown's gas HHO yang ditampung pada alat ukur (flow rate) (ml)

t = Waktu yang diperlukan untuk menghasilkan Brown's gas HHO.

3. Efisiensi generator HHO adalah perbandingan energi yang diperlukan pada proses elektrolisis dengan energi yang dihasilkan, dan kegunaannya dari efisiensi generator HHO adalah untuk mengetahui performance generator HHO ketika proses elektrolisis tersebut bekerja (zaini,2014) Efisiensi generator dapat dihitung dengan persamaan 2.6 dengan rumus :

$$\eta_{HHO} = x \text{ 100\%} \quad (2.6)$$

Dimana :

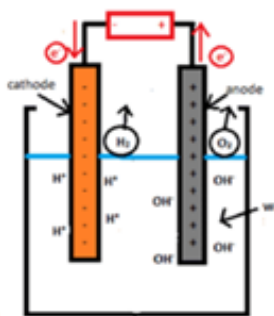
$Q_{HHO}$  = Laju produksi gas HHO

$\rho_{HHO}$  = Densitas gas HHO (kg/m<sup>3</sup>)

LHV<sub>HHO</sub> = Low heating Value gas HHO (J/kg)


**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta


**Gambar 2.7** Proses elektrolisis

Proses elektrolisis seperti yang ditunjukkan pada gambar 1, dimulai dengan dialirkan arus listrik searah dari sumber tegangan listrik. Elektron dari kutub negatif akan mengalir menuju ke katode. Pada proses elektrolisis, elektroda dialiri arus listrik searah (DC) dan terjadi proses reduksi oksidasi, karena terbentuk senyawa pada elektrolit yang terurai membentuk ion-ion sehingga menghasilkan gas. Proses elektrolisis membutuhkan arus listrik tinggi agar proses reaksi kimia menjadi efektif dan efisien. Apabila kedua kutub elektroda (katoda dan anoda) diberi arus listrik, elektroda tersebut akan saling berhubungan karena adanya larutan elektrolit sebagai penghantar listrik menyebabkan elektroda timbul gelembung gas. Proses elektrolisis dinyatakan bahwa atom oksigen membentuk sebuah ion bermuatan negative ( $\text{OH}^-$ ) dan atom hidrogen membentuk sebuah ion bermuatan positif ( $\text{H}^+$ ). Pada kutub positif menyebabkan ion  $\text{H}^+$  tertarik ke kutub katoda yang bermuatan negatif sehingga ion  $\text{H}^+$  menyatu pada katoda. Selama proses elektrolisis terjadi pertukaran ion-ion yang cepat menyebabkan kenaikan temperatur disekitar proses elektrolisis tersebut. Adanya peningkatan temperatur dapat menyebabkan perubahan arus dan tegangan serta berpengaruh pada wadah yang digunakan selama elektrolisis, karena kenaikan temperatur berpengaruh terhadap ketahanan alat yang dibuat. Untuk mengatasi hal tersebut diperlukan suatu alat yang dapat menstabilkan energi listrik selama proses elektroisis berlangsung. Pulse width modulation (PWM) secara umum adalah sebuah cara memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa dalam suatu perioda, untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda. Proses elektrolisis membutuhkan arus listrik yang stabil agar volume gas yang dihasilkan dapat optimal. Pada sel elektrolisis. Reaksi kimia akan terjadi jika arus listrik dialirkan melalui larutan elektrolit, yaitu energi listrik (arus listrik) diubah menjadi energi kimia (reaksi redoks).

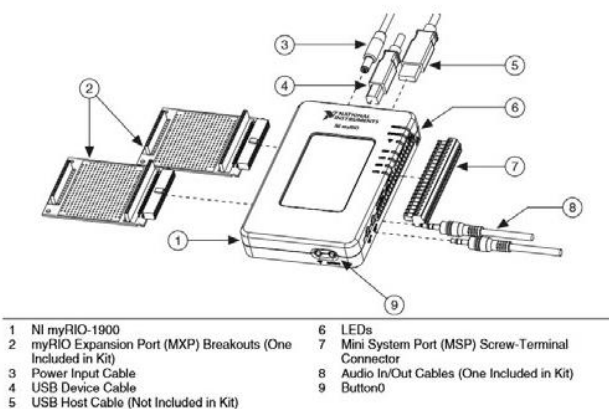
### 2.3. NI MYRIO-1900

NI MyRIO-1900 adalah mikrokontroler dari National Instrument. Dapat menggunakannya untuk merancang sistem kontrol, robot, dan mekatronika. MyRIO memiliki 2 prosesor utama yaitu LabVIEW RT (Real Time) dan FPGA. Bentuk fisik NI MyRIO-1900 dapat dilihat pada gambar 2.7.



**Gambar 2.8.** NI MyRIO-1900

Sumber: <http://www.ni.com/en-id/support/model.myrio-1900.html>



**Gambar 2.9.** Detail MyRIO 1900

Sumber: <http://www.ni.com/en-id/support/model.myrio-1900.html>

Adapun penjelasan perangkat pada gambar 2.6 dijelaskan pada poin-poin berikut:

1. NI MyRIO 1900
2. MyRIO Expansion Port (MXP) merupakan pin pin berisi analog output.
3. Power Input Cable sebagai masukan kabel power.
4. USB Device Cable sebagai port USB menghubungkan MyRIO dengan komputer.
5. USB Host Cable sebagai port USB yang bisa digunakan sebagai memori maupun sebagai masukan sensor.

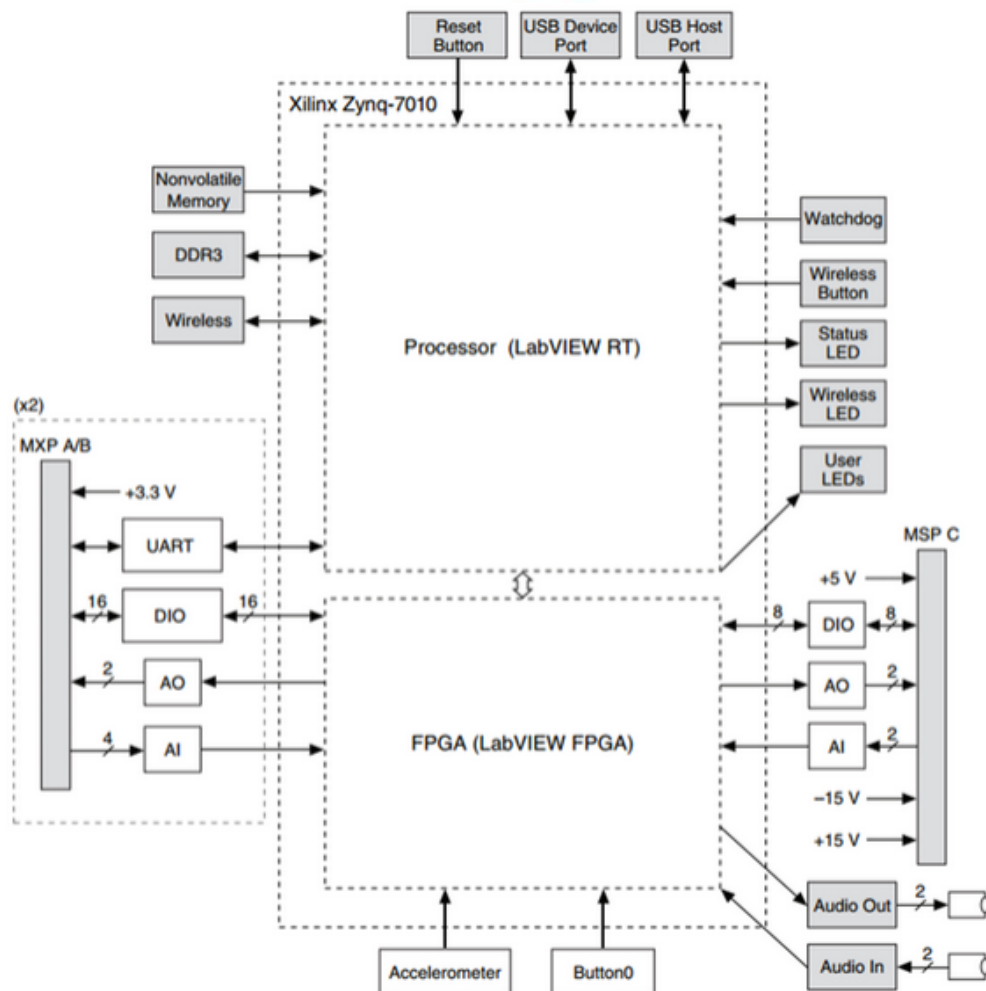




**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

6. LEDs sebagai sinyal keluaran yang dapat di program.
7. Mini System Port (MSP) berisi pin pin analog dan digital.
8. Audio In/Out Cable sebagai port audio.
9. Button 0 yang input boolean yang dapat diberi nilai true atau false



**Gambar 2.10** Block Diagram MyRIO 1900

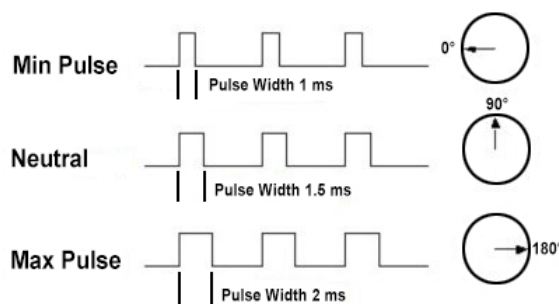
Sumber: <http://www.ni.com/en-id/support/model.myrio-1900.html>

#### 2.4. Valve Servo Control

Motor servo dikendalikan dengan sinyal PWM dari encoder/potentiometer. Lebar sinyal (pulsa) yang diberikan inilah yang akan menentukan posisi sudut putaran dari poros motor servo. Sebagai contoh, lebar sinyal dengan waktu 1,5 ms (mili second) akan memutar poros motor servo ke posisi sudut 90°. Bila sinyal lebih pendek dari 1,5 ms maka akan berputar ke arah posisi 0° atau ke kiri (berlawanan dengan arah jarum jam), sedangkan bila sinyal yang diberikan lebih lama dari 1,5 ms maka poros motor servo akan berputar ke

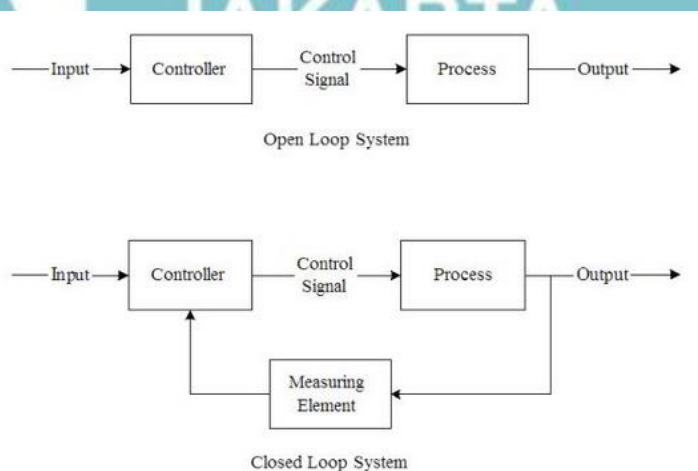


arah posisi 180° atau ke kanan (searah jarum jam). Lebih jelasnya perhatikan gambar berikut ini:



**Gambar 2.11** Pulse control derajat pada servo

Ketika sinyal PWM telah diberikan, maka poros motor servo akan bergerak ke posisi yang telah ditargetkan dan berhenti pada posisi tersebut serta akan tetap bertahan pada posisi tersebut. Jika ada kekuatan eksternal yang mencoba memutar atau mengubah posisi tersebut, maka sistem closed loop dari motor servo tersebut akan bekerja dengan mencoba menahan atau melawan kekuatan eksternal tersebut dengan kekuatan internal dari motor servo itu sendiri. Namun motor servo tidak akan mempertahankan posisinya untuk selamanya, sinyal PWM harus diulang setiap 20 ms (mili second) agar posisi poros motor servo tetap bertahan pada posisinya. Berikut ini adalah ilustrasi dari perbedaan *open loop system vs closed loop system* dimana motor servo mengandalkan closed loop system dengan sinyal umpan balik (feedback) sehingga posisi yang ditargetkan akan tergapai secara otomatis:



**Gambar 2.12** Close loop dan open loop



**Hak Cipta :**

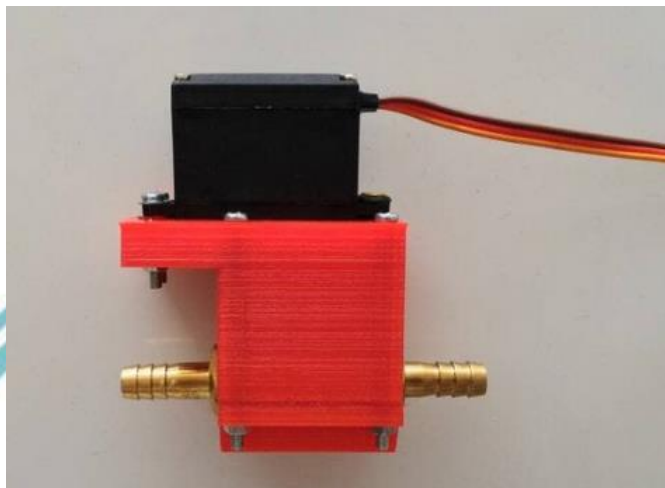
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

*system vs closed loop system* dimana motor servo mengandalkan closed loop system dengan sinyal umpan balik (feedback) dari fungsi motor servo bisa di aplikasi di valve dengan ukuran ¼ inch seperti gambar berikut.

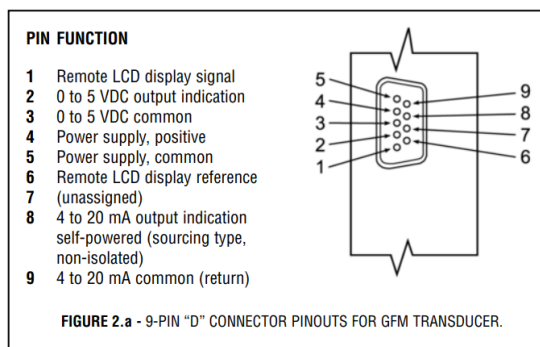


**Gambar 2.13** Servo valve control

## 2.5. Mass Flow Meter

Aliran gas yang memasuki transduser Mass Flow dipecah dengan shunting kecil bagian dari aliran melalui tabung sensor stainless steel kapiler. Peningkat gas mengalir melalui saluran aliran utama. Geometri con duit utama dan tabung sensor dirancang untuk memastikan aliran laminar di setiap cabang. Menurut prinsip dinamika fluida laju aliran gas dalam dua laminar saluran aliran sebanding satu sama lain. Oleh karena itu, laju aliran diukur dalam tabung sensor berbanding lurus dengan aliran total melalui transduser. Untuk merasakan aliran dalam tabung sensor, fluks panas dimasukkan pada dua bagian tabung sensor dengan menggunakan gulungan sensor-pemanas luka presisi. Panas ditransfer melalui dinding tipis tabung sensor ke gas yang mengalir di dalamnya. Sebagai aliran gas berlangsung panas dibawa oleh aliran gas dari koil hulu ke gulungan kumparan hilir. Resistansi tergantung suhu yang dihasilkan diferensial terdeteksi oleh sirkuit kontrol elektronik. Gradien terukur pada belitan sensor berbanding lurus dengan laju aliran sesaat yang terjadi. Sinyal keluaran dihasilkan yang merupakan fungsi dari jumlah panas yang dibawa gas untuk menunjukkan laju aliran berbasis massa-molekul. batas ketinggian Mass Flow Meter adalah  $\pm 15F$  dari posisi kalibrasi (standar kalibrasi dalam posisi horizontal). Ini berarti jalur aliran gas dari Flow Meter. harus berada dalam batas ini untuk menjaga akurasi kalibrasi asli. Sebaiknya

ada kebutuhan untuk orientasi meter yang berbeda, kalibrasi ulang mungkin diperlukan. Lebih baik juga memasang transduser GFM di lingkungan yang stabil, gratis perubahan suhu yang sering dan tiba-tiba, kelembapan tinggi, dan angin kencang.



Gambar 2.14 Detail Pin dan fungsi mass flow meter Aalborg Seri TD9411M



Gambar 2.15 Mass flow meter Aalborg seri TD9411M

Spesifikasi Mas flow meter Aalborg seri TD9411M :

**FLOW MEDIUM:** Please note that GFM 1101 thru 1145 Mass Flow Meters are designed to work with clean gases only. Never try to meter or control flow rates of liquids with any GFM's.

**CALIBRATIONS:** Dilakukan pada kondisi standar [14,7 psia (1,01 bar) dan 70 FF (21,1 FC)] kecuali diminta atau dinyatakan lain

**ENVIRONMENTAL (per IEC 664):** Instalasi Tingkat II; Derajat Pencemaran II

**ACCURACY:** GFM 17, 37, 47  $\pm 1.0\%$  F.S. GFM 57, 67, 77  $\pm 1.5\%$  F.S.

**REPEATABILITY:**  $\pm 0.25\%$  of full scale.

**TEMPERATURE COEFFICIENT:** 0.15% of full scale/ FC.

**PRESSURE COEFFICIENT:** 0.01% of full scale/psi (0.07 bar).





**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

**RESPONSE TIME:** konstanta waktu 800 ms; sekitar 2 detik hingga  $\pm 2\%$  dari laju alir yang ditetapkan untuk 25% hingga 100% dari laju alir skala penuh.

**GAS PRESSURE:** 1000 psig (69 bars) GFM 17, 37 and 47; 500 psig (34.5 bars) GFM 57, 67 and 77. Optimum pressure is 20 psig (1.4 bars)

**GAS AND AMBIENT TEMPERATURE:** 32 FF to 122 FF (0 FC to 50 FC). 14 FF to 122 FF (-10 FC to 50 FC) - Dry gases only

**RELATIVE GAS HUMIDITY:** Up to 70%.

**LEAK INTEGRITY:**  $1 \times 10^{-9}$  sccs He max. to the outside environment.

**ATTITUDE SENSITIVITY:** Rotasi tidak lebih besar dari  $\pm 15$  derajat dari horizontal. Kalibrasi standar dalam posisi horizontal.

**OUTPUT SIGNALS:** Linier 0-5 VDC (impedansi beban minimum 1000  $\Omega$ ) dan tipe sumber mandiri 4-20 mA, tidak terisolasi (tahanan 0-500 loop  $\Omega$ ); 20 mV puncak ke puncak kebisingan maks.

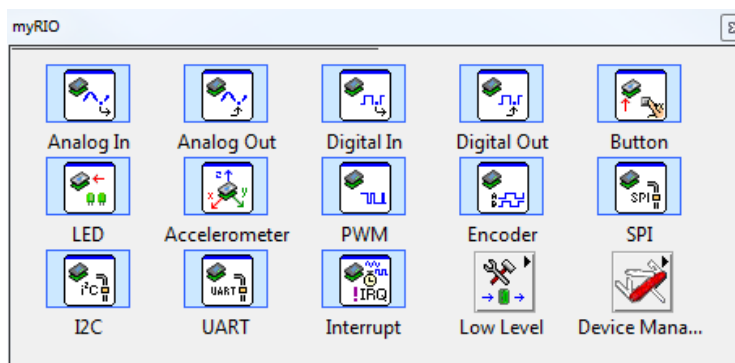
**LCD DISPLAY:** LCD 3½ digit (digit maksimum yang dapat dilihat "1999"), tinggi karakter 0,5 inci. Pada model aluminium atau stainless steel GFM171/371/471/571/671/771, layar LCD terpasang pada elemen blok atas dan dapat dimiringkan lebih dari 90 derajat untuk kenyamanan tampilan yang optimal. Pembacaan jarak jauh atau pemasangan panel adalah opsional. Pembacaan standar ada dalam satuan teknik langsung untuk gas dan laju aliran yang diberikan (yaitu liter/menit [slpm], sentimeter kubik/menit standar [scm], kaki kubik/jam standar [scfh], dll.). Penskalaan kalibrasi LCD 0 hingga 100% tersedia berdasarkan permintaan pada saat pemesanan. Hubungi distributor Anda atau Aalborg7 jika ingin menyetel tampilan non-standar.

**TRANSDUCER INTERFACE CABLE:** Kabel berpelindung opsional tersedia dengan konektor "D" 9-pin transduser GFM. Untuk mengoperasikan flow meter dalam spesifikasi, panjang kabel untuk keluaran analog 0-5 Vdc dan layar LCD jarak jauh tidak boleh melebihi 9,5 kaki (3 meter).

## 2.6. NI LabVIEW MyRIO Toolkit

Untuk melakukan pemrograman pada NI MyRIO diperlukan perangkat lunak LabVIEW MyRIO toolkit. Toolkit ini diperlukan untuk dapat mengenali MyRIO yang digunakan baik pin-pin, push button, LED dan USB port. Setelah

menginstal toolkit ini maka secara otomatis pada block diagram LabVIEW juga akan muncul palatte khusus untuk memprogram MyRIO



Gambar 2.16 MyRIO Palatte

## 2.7. State of The Art

Selama beberapa dekade terakhir, beberapa metode untuk menghasilkan elektrolisis dan pengaturan flow gas hydrogen ke fuel cell secara manual simulasi atau dengan metode control, Tools analytical yang digunakan, tahun publikasi.

**Keisuke Tomoda** (2013) menggunakan hydrogen generator wet cell dengan sodium borohydride ( $\text{NaBH}_4$ ) [13]

**Nobukazu Hoshi**, (2016) Aplikasi hydrogen generator dengan type Wet cell dan Natrium borohidrida ( $\text{NaBH}_4$ ) sebagai katalis, dan menggunakan asam sitrat sebagai meningkatkan laju pembentukan hydrogen karena jika menggunakan  $\text{NaBH}_4$  saja laju aliran rendah. FCEV (Fuel Cell Vehicle) menghasilkan daya sebesar 100-W dengan menggunakan  $\text{NaBH}_4$ . Dengan menghasilkan 0,083 L/min dengan Pressure 50kPa, dan 0.092 L/min menghasilkan pressure 40 kPa, kemudian 0.104 L/min pressure 30kPa. [13]

**Guoai Quan**, (2020) Aliran pasokan udara secara langsung mempengaruhi kinerja sel bahan bakar membran pertukaran proton (PEMFC), ketika aliran pasokan udara melebihi kebutuhan PEMFC, energi panas meningkat dan konsumsi daya kompresor udara juga meningkat, dengan demikian Fuel Cell stack akan rusak. Sehingga menggunakan metode ANN dengan mengadopsi Fuzzy-PID untuk



membuat aliran pasokan udara mengikuti kebutuhan PEMFC. Hasil simulasi menggunakan Matlab. [14]

**Icni Alif Rudiyanto**, (2016) Penelitian ini menggunakan PEMFC dengan luas permukaan membran sebesar  $2 \times 10 \text{ cm}^2$ . Suplai gas yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan bukaan valve sebesar  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  dan  $90^\circ$ , serta menggunakan gas hasil reaksi elektrolisis. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan oleh fuel cell dengan menggunakan gas hasil reaksi elektrolisis dengan tegangan 0.20 V ampere 0.12A. ketika dilakukan pembebanan berupa lampu sebesar 0.025 watt dengan nilai efisiensi 8.495%, sedangkan pada penambahan hidrogen dengan bukaan valve sebesar  $30^\circ$  sebesar 0.272 watt dengan nilai efisiensi 31.092% dan pada penambahan hidrogen dengan bukaan valve sebesar  $45^\circ$  sebesar 0.277 watt dengan nilai efisiensi 26.355%. Sedangkan pada penambahan hidrogen dengan bukaan valve sebesar  $90^\circ$  fuel cell tidak menghasilkan daya keluaran dikarenakan pada bukaan tersebut terjadi over flow gas, sehingga tidak ada reaksi yang terjadi di dalam fuel cell.[4]

**Yusuf Dewantoro H** (2019) Menguji dan menganalisa unjuk kerja paling baik PEM Fuel Cell terhadap pengaruh laju aliran gas hidrogen dan oksigen. Pengujian elektroliser dilakukan variasi konsentrasi KOH dan arus input, sedangkan pada pengujian fuel cell dilakukan variasi laju aliran gas H<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> serta beban menggunakan lampu LED dioda. Dari hasil pengujian dan perhitungan elektroliser jumlah produksi gas hidrogen paling tinggi pada konsentrasi 2M dengan arus 20A sebesar 189,3 ml dan efisiensi tertinggi sebesar 93,5% . Dari data tersebut digunakan untuk menguji fuel cell. Pada fuel cell efisiensi tertinggi dan unjuk kerja paling bagus ada pada pemberian input gas H<sub>2</sub> 0,81 ml/s dan O<sub>2</sub> 0,45 ml/s dengan nilai efisiensi 4,25% dan nilai SFC 0,7 kg/kWh. Tidak menggunakan metode control [15]

**Widiyantoro (2020)**, Penelitian menggunakan Solid Oxide Fuel Cell (SOFC) dengan fokus pada parameter pengendalian valve untuk mengatur besar aliran bahan bakar yang akan digunakan. Purwarupa dirancang menggunakan sensor



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



hidrogen MQ-8, sensor aliran Omron D6F-05N2-000 dan valve yang disambung dengan motor servo. Kontroler dirancang dengan menggunakan metode kontrol open loop dan on-off. Hasil pengujian pada masukan bahan bakar sebesar 1; 2; 3; 4; dan 5 liter per menit, purwarupa mampu mengatur besar aliran secara bertahap. Aliran minimal dan maksimal pada sistem oksigen masing-masing 0,24 dan 4,89 L/min, sedangkan pada sistem hidrogen sebesar 0,06 dan 4,74 L/min.

**Keisuke Aisaka (2017)** Sistem pembangkit hidrogen untuk kendaraan listrik hibrida Fuel cell yang menggunakan Natrium borohidrida ( $\text{NaBH}_4$ ) sebagai hydrogen generator. Kemudian dikembangkan dalam sebuah sistem control tekanan gas hydrogen untuk supply Fuel Cell. Masalah ini dapat menyebabkan kerusakan pada membrane elektrolit polimer padat tumpukan Fuel Cell. Sebagai solusi terhadap masalah ini, metode pengendalian yang menggunakan beberapa konverter daya, yang terdiri dari boost dan bidirectional chopper. Secara simulasi menggunakan MATLAB.

**Shah (2018)** Studi ini didasarkan pada perbandingan dry cell dan wet sell untuk Hidrogen Generator HHO yang dapat digunakan sebagai bahan bakar. Parameter fisik dan operasional untuk kedua sel dibandingkan dan didiskusikan secara kritis. Dampak dari pembangkitan panas pada kedua sel dan masalah keamanan yang relevan menjadi perhatian khusus. Produksi HHO dari kedua bahan bakar dibandingkan. Dapat disimpulkan sekarang bahwa sel kering jauh lebih baik daripada sel basah karena menghasilkan lebih banyak gas HHO dibandingkan dengan sel basah untuk kondisi input yang sama. Dari segi kerja dan perawatannya, sel kering lebih andal dan cocok daripada sel basah. Fitur keamanan sel kering lebih menjanjikan daripada sel basah.[6]

**Maiket, (2022)** Uji beban dinamis biasanya dilakukan untuk menyelidiki kinerja pengoperasian sel yang terkait dengan perilaku mengemudi dalam penggunaan khusus kendaraan listrik sel bahan bakar. Pengontrol aliran hidrogen otomatis, yang digunakan untuk mengatur aliran hidrogen yang diterapkan untuk uji dinamis. Perilaku mengemudi umumnya terdiri dari fluktuasi beban yang cepat, beberapa beban yang berjalan saat diam, daya penuh, kondisi kelebihan beban, pengulangan

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

start-stop, dan start dingin, dan variasi dinamis ini secara langsung berkaitan dengan daya yang dibutuhkan untuk mendorong kendaraan dan permintaan untuk fluktuasi volume hidrogen sepanjang waktu. Pengontrol aliran hidrogen otomatis yang diinginkan dirancang dan diproduksi untuk uji kinerja dinamis melalui protokol simulasi mengemudi kendaraan tugas berat. Laju aliran hidrogen yang dikendalikan oleh pengontrol aliran yang dibuat menyajikan toleransi data sekitar 0,84% yang tidak berbeda nyata dari angka teoritis berdasarkan analisis uji-T. Pengontrol bereaksi terhadap variasi laju aliran hanya dalam 1–2 detik, yang dapat diterima untuk pengujian dinamis. Mengenai peningkatan kinerja, pengontrol aliran hidrogen otomatis ini membantu satu sel untuk menghasilkan daya 16% lebih banyak dan energi 33% lebih banyak 45 mA sebagai kebutuhan arus minimum dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dari sistem pengujian menggunakan pengontrol hidrogen tradisional dengan laju aliran konstan, merancang dan membuat pengontrol aliran hidrogen otomatis untuk mengontrol jumlah laju aliran dalam kisaran 0,00–1,00 L/mnt.[16]

**Nahco (2021)** Elektrolizer dengan menggunakan elektroda pelat Stainless Steel, dengan prosentase katalis 5% dapat diambil kesimpulan yaitu, Produksi Gas Hidrogen tertinggi sebesar 2.3402 liter secara teoritis dan 2.0598 liter secara aktual dengan menggunakan katalis KOH. Sedangkan katalis  $\text{NaHCO}_3$  menghasilkan gas Hidrogen sebesar 2.3332 liter secara teoritis dan 1.9895 liter secara aktual. Serta katalis NaCl menghasilkan gas sebesar 2.3323 liter secara teoritis dan 1.9593 liter secara aktual. [17]

**Arbie Marwan (2012)**, Dalam penelitian ini larutan yang digunakan adalah larutan KOH sedangkan arus listrik berasal dari power supply DC sebagai sumber tegangan kemudian dianalisis menggunakan metode analisis regresi, Hasil penelitian diperoleh bahwa produktifitas  $\text{H}_2$  pada saat arus 4A. Besarnya arus sangat mempengaruhi proses terjadinya elektrolisis. Arus yang pada umumnya kurang dari 1 A sangat sulit dijumpai gelembung-gelembung yang muncul pada permukaan elektroda. Semakin besar arus yang diberikan maka semakin cepat munculnya gelembung-gelembung di permukaan elektroda. Gejala ini berarti menunjukkan semakin besar arus yang diberikan ketika proses elektrolisis maka

#### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta





semakin besar pula volume gas yang dihasilkan. Sehingga untuk menghasilkan H<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> dalam jumlah yang banyak hal yang harus dilakukan adalah dengan memperbesar arus. [18]

**Marlina (2016)** KOH mempunyai nilai yang lebih besar sebagai katalis untuk mempercepat proses elektrolisis H<sub>2</sub>O yaitu pada prosentase 4 % laju gas yang dihasilkan 16,33 ml/s sedangkan pada NaHCO<sub>3</sub> menghasilkan 12,675 ml/s, dikarenakan KOH termasuk jenis senyawa elektrolit kuat, yang mana ketika dilarutkan dalam air (H<sub>2</sub>O) terurai menjadi ion-ion sehingga memiliki daya hantar listrik yang baik dan ketika proses elektrolisis terjadi larutan KOH cenderung lebih panas. [19]

**Pradigdo, Dedy (2018)** Besar kecilnya hasil produksi gas hidrogen generator dengan metode Wet Cell, salah satunya dipengaruhi oleh luasan elektrodanya ini agar sesuai dengan kebutuhannya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh berbagai variasi luasan permukaan elektrode (Varian 1 sampai dengan Varian 4) yang digunakan pada proses elektrolisis air dalam rangka memproduksi gas HHO yang memanfaatkan daya listriknya secara langsung dari sebuah baterai 12 Volt 70 AH. Pada Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan menguji beberapa variasi luasan elektroda secara langsung tanpa sambungan dan perhitungan seluruh permukaan pada elektrodanya yang tercelup dalam air elektrolisis ini bahan baku anoda dan katodanya dari stainless steel. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa laju produksi HHOnya yang paling optimum diantara keempat variasi luasan elektroda yaitu pada variasi ke tigalah yang paling besar yaitu 0,7694 ml/menit atau 0,0128 ml/s. [20]

**Fitriyanti, (2019)** Besarnya volume gas yang terbentuk pada penelitian ini bergantung pada besarnya arus dan tegangan yang dapat memberikan hasil yang signifikan. Produksi gas hidrogen yang terbentuk pada arus dan tegangan 3 ampere dan 12 volt yaitu  $1.78 \times 10^{-5}$  gram/liter dengan rata-rata debit volume gas sebesar 0.000199034 liter/sekon. Dengan mengubah besarnya arus dan tegangan yaitu 38 volt dan 6.3 ampere maka gas hidrogen yang dihasilkan juga meningkat. laju



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

produksi rata-rata gas hidrogen yang dihasilkan sebesar  $3.46 \times 10^{-5}$  gram/sekon dengan debit volume gas rata-rata sebesar 0.000396663 liter/sekon. Hasil maksimal diperoleh dengan meningkatkan arus dan tegangan, produksi gas hidrogen rata-rata sebesar  $4.197 \times 10^{-5}$  gram/liter dengan rata-rata debit volume gas hidrogen perdetik yaitu 0.000467 liter/sekon. Nilai efisiensi 12 Volt 3 Ampere Efisiensi 5.95%, dan 38 volt 6.3 Ampere Efisiensi 1,78%. [21]

## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta





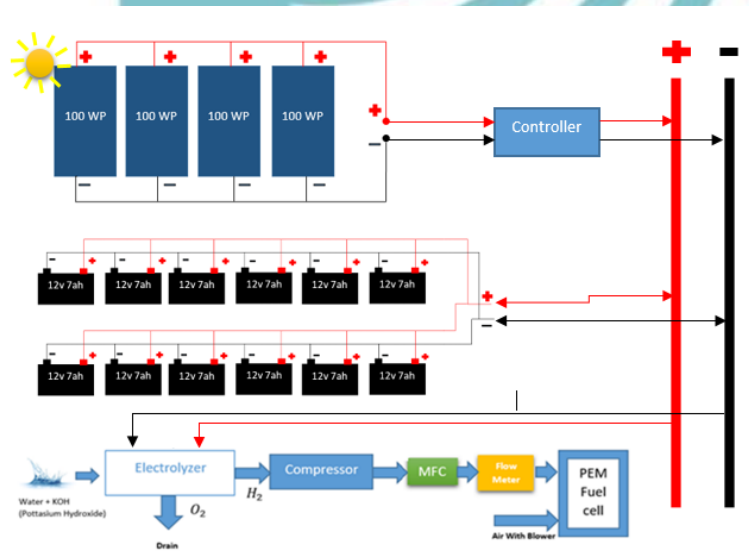
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

### BAB III

#### METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di rumah dosen pembimbing Pak Endang Wijaya di area Hankam kelapa dua depok, dimana terpasang PLTS dengan kapasitas 400 Wp, yang terdiri dari 4 x Module 100 Wp, yang terdapat di atas rumah Pak endang yang di sambungkan ke baterai dengan kapasitas 84 Ah dan tersambung ke inverter 1000 Watt. Elektrolisis dapat menyala dengan daya dari baterai untuk menghasilkan gas hydrogen dan oksigen secara terpisah yang nantinya ditampung oleh storage tank dengan menggunakan power supply dengan teggangan 24 volt 30 ampere. Output gas yang ada di storage kemudian di control oleh servo valve dengan menggunakan metode PID sebagai input PEM Fuel Cell. Penelitian ini dilakukan selama 5 jam (15 Juli 2023 di jam 09:00 s/d jam 14:00) untuk memperoleh kestabilan alat dan kehandalan dari alat ini dilakukan di pagi hari atau pada saat dimana terdapat sinar matahari.



Gambar 3.1 Desain alat penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian yaitu Air ( $H_2O$ ), potassium hydroxide (KOH) sebagai katalis, PWM Controller, aki 12V, amperemeter, voltmeter, dan wadah sebagai tempat berlangsungnya proses elektrolisis. Ilustrasi sederhana mengenai rangkaian dari alat elektrolisis ditunjukkan pada gambar 3.1.



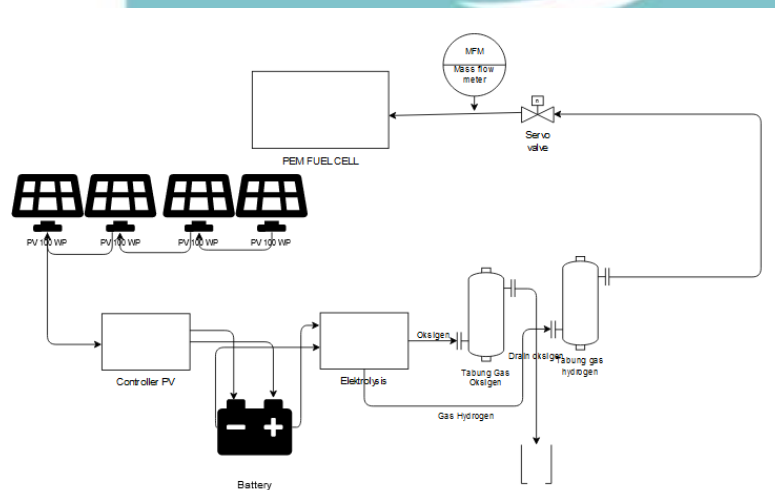
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Pada gambar 3.2 menunjukkan rangkaian dari alat elektrolisis. Katoda dan anoda yang digunakan adalah plat Stainless Steel 1 mm dengan type 304. dengan menggunakan ukuran 10 x 10 cm plat katoda dan anoda disusun secara sejajar sebanyak masing-masing 20 buah plat, dan di buat secara paralel jadi total terdapat ada 40 susunan plat stainless yang dipisahkan dengan seal dengan tebal 2 mm. Proses elektrolisis dengan berbagai variable antara banyaknya kandungan KOH dengan ampere power supply. Selama proses elektrolisis gas hydrogen yang keluar di monitoring oleh mass flow meter dan di baca oleh labview. Proses selanjutnya gas hydrogen yang di dihasilkan kemudian di tarik oleh compressor kecil yang dan di atur flownya oleh valve servo motor dan output gas di baca oleh Aalborg mass flow meter. Gas yang keluar dari mass flow sesuai dengan setpoint yang diinginkan di labview dengan menggunakan metode PID.

### 3.1. Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian atau batasan penelitian hanya akan dibatasi pada pengontrolan gas hydrogen dan oksigen dengan satu penampungan storage tank gas. Pengontrolan valve servo dengan menggunakan metode PID dan software labview.



Gambar 3.2 P&ID penelitian

Modul surya yang digunakan adalah tipe *monocrystalline*, dan *Polycrystalline Silicon*, dengan terpasang total 400Wp, dimana terdapat masing-masing modul berkapasitas 100 Wp, sehingga total terdapat 4 modul surya dihubungkan secara paralel.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Controller valve bisa mengatur aliran gas mulai dari 2 – 7 L/min, sesuai dengan yang dibutuhkan dengan spesifikasi PEM fuel cell.

Elektrolisis menggunakan metode dry cell sebanyak 2 pcs di pasang secara paralel yang menggunakan tegangan 24 volt 30 Ampere, dengan jumlah air sebanyak 3 Liter dan volume berat variatif 40 gram, 80 gram, dan 10 gram.

### 3.2 Rancangan Penelitian

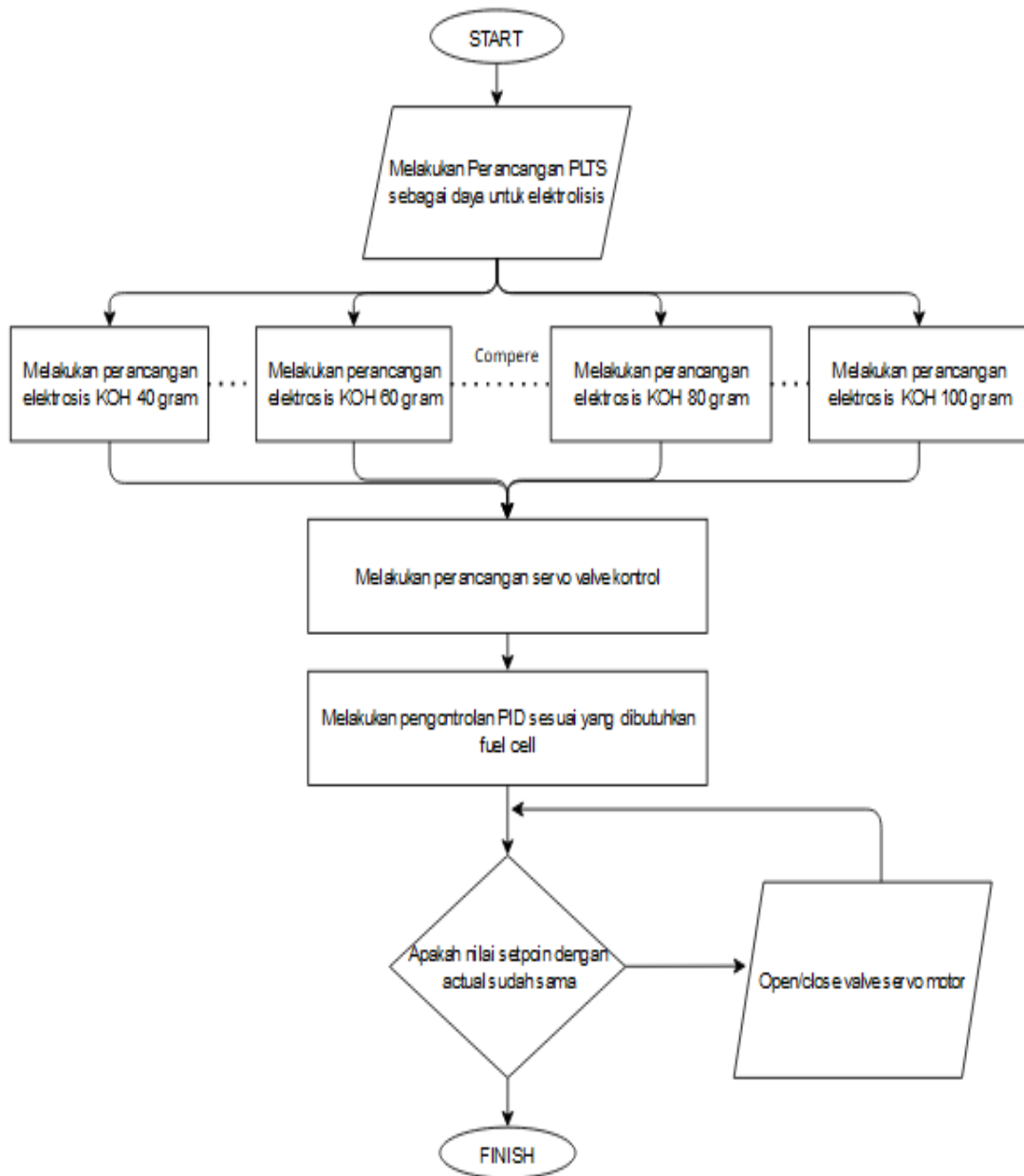
Ancangan penelitian berupa analisa kebutuhan peralatan yang dibutuhkan dalam penelitian ini seperti terlihat dalam Tabel 3.1. Komponen utama yang dibutuhkan antara lain adalah satu set modul surya atap sebagai penghasil energi listrik yang masih berbentuk arus searah, inverter, power supply, elektrolisis, compressor, valve control, dan massflow meter.

Tabel 3.1 Analisa Kebutuhan Peralatan Penelitian

NO	Komponen	Jml	Satuan	Keterangan
1	Solar cell	4	pcs	100 WP
2	Kabel solar cell	5	pcs	
3	Socket solar cell	8	pcs	male female
4	Baterai	10	pcs	12v
6	Elektrolisis	2	pcs	stenless steel
7	Fitting	6	pcs	ukuran 8
8	Tubing	10	pcs	ukuran 8
9	Mass flow control	1	pcs	servo valve 5v
10	kompressor	1	pcs	220v
11	Tabung gas hidrogen/oksigen	1	pcs	
12	Inverter	1	unit	400 Watt
13	Regulator	2	unit	0-4 bar
14	Sensor pressure	2	pcs	5v
15	Controller solar cell	1	pcs	
16	myRio	1	pcs	Nasional Instrument
17	Adaptor myRio	1	pcs	12 v
18	socket myRio	1	pcs	
19	Kabel AWG 26 Merah	10	meter	
20	Kabel AWG 26 Hitam	10	meter	
21	Kabel AWG 26 putih	10	meter	
22	Kabel AWG 26 biru	10	meter	
23	skun tusuk 0.75 mm Hitam	1	Pack	
24	skun tusuk 0.5 mm Merah	1	Pack	
25	Spiral kabel 6mm	10	Meter	

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 3.3 Diagram Alir (Flow Chart) Penelitian

### 3.3 Perancangan

Dalam merancang peralatan pengaturan gas flow hydrogen untuk fuel cell dibutuhkan HHO generator dan outputnya akan di control oleh servo valve control. Pengaturan ini bertujuan agar PEM Fuel cell nantinya akan menghasilkan output tegangan yang stabil.



### 3.3.1 Modul Surya

Modul surya yang digunakan dalam penelitian ini dirancang untuk digunakan di atap rumah (PLTS tipe atap), dipasang di lantai atas rumah penelitian, dengan tujuan agar sinar matahari bisa didapatkan secara maksimal. Pemasangan dilakukan secara paralel.



**Gambar 3.4** Solar cell 400 WP

Berdasarkan Gambar 3.2 di atas, terdapat 4 x Modul Surya masing-masing berkapasitas 100 Wp, sehingga total daya listrik PLTS 400 Wp. Tabel 3.2 menunjukkan spesifikasi modul surya yang terpasang pada sistem PLTS atap ini.

**Tabel 3.2** Spesifikasi Modul Surya Terpasang

Deskripsi	Nilai
<i>Temperature</i>	25 <sup>0</sup> C
<i>Rated Maximum Power</i>	100 Wp
<i>Current at Pmax</i>	2.81 A
<i>Voltage at Pmax</i>	17.8 VDC
<i>Open Circuit Voltage</i>	21.8 VDC
<i>Short Circuit Current</i>	3.05 A
<i>Nominal Op. Cell Temp</i>	50 <sup>0</sup> C

#### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

### 3.3.2 Controller, *Inverter & power Supply*

Controller solar charge bertujuan untuk mengisi baterai, dengan spesifikasi controller 12 v 30a, spesifikasi ini di pilih karna mengikuti dengan spesifikasi baterai yang di butuhkan, untuk inverter menggunakan daya output sebesar 1000 watt yang akan menunjang kebutuhan semua power pada sistem ini, Power supply yang digunakan power sebesar 24 Volt 30A spesifikasi ini diambil karena merupakan catu data dengan spesifikasi tertinggi, yang mana nantinya akan menghasilkan ouput gas hydrogen yang optimal.



Gambar 3.5 Controller, power suply & inverter

Tabel 3.3 Spesifikasi *Inverter* Satu Fasa

Deskripsi	<i>Grid Tie/MPPT</i>
<i>Brand</i>	Hanaya
<i>DC Input Range</i>	12~15 VDC
<i>Temperature</i>	-10 <sup>0</sup> ~ 60 <sup>0</sup> C
<i>Capacity</i>	1000 W
<i>DC Max. Current</i>	50 A
<i>AC Output Range</i>	190~260 VAC
<i>Ouput Freq</i>	50 Hz +/- 3%
<i>Efficiency</i>	85%
<i>Cooling</i>	Fan

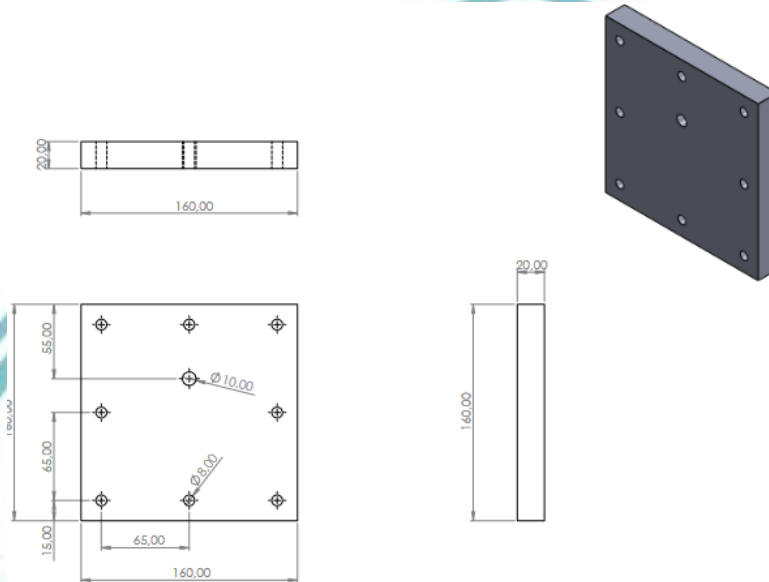


**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

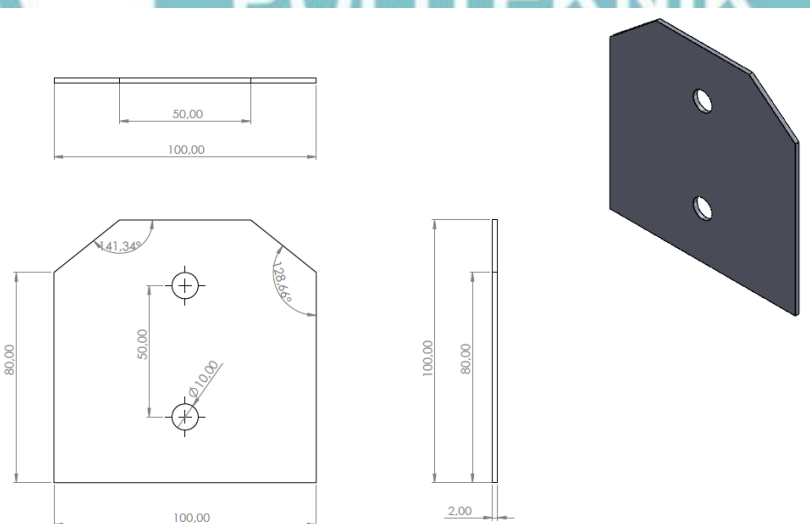
### 3.3.3 Elektrolisis

Penggunaan elektrolisis dengan dry cell lebih efektif di banding dengan wet cell, penyusunan cell ini dilapisi dengan seal membrane dengan tebal 2mm seperti gambar berikut.



**Gambar 3.6** Cover elektrolisis

Cover ini menggunakan bahan Teflon dengan tebal 2 cm cover ini berfungsi untuk penahan plat stainless 304 dapat terjaga dengan baik.

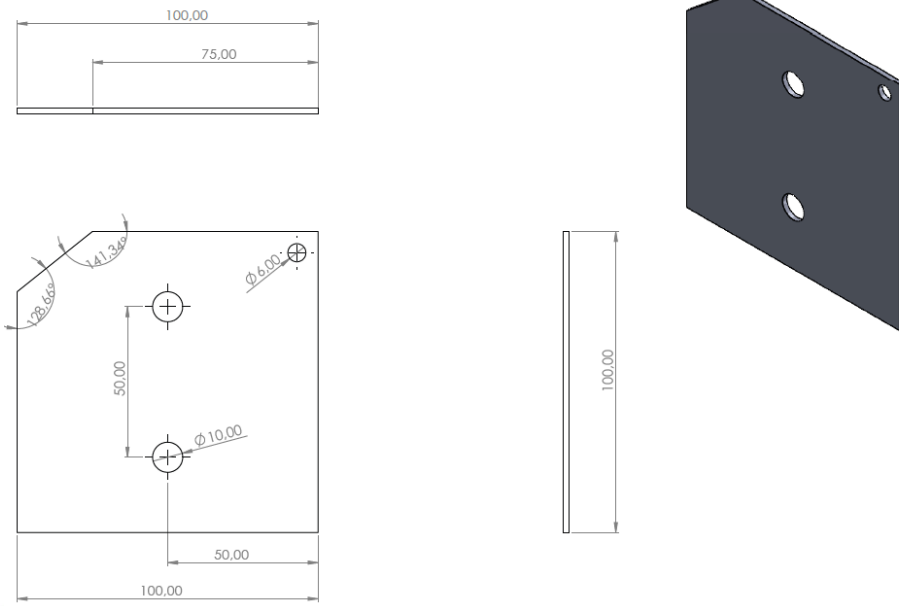


**Gambar 3.7** Plat anoda

Plat anoda ini menggunakan bahan stainless type 304 dengan tebal 1mm dan ini sebagai penghantar kutub positif untuk elektrolisis.

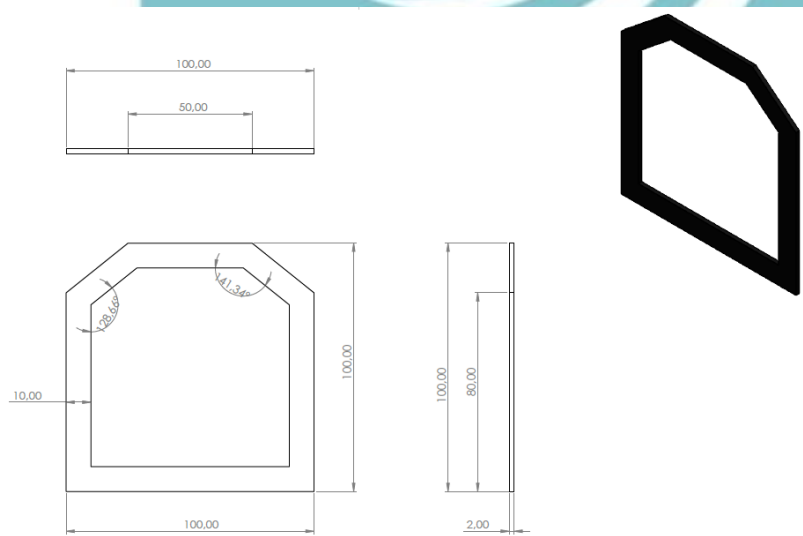
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 3.8 Plat katoda

Plat katoda ini menggunakan bahan stainless type 304 dengan tebal 1mm dan ini sebagai penghantar kutub negatif untuk elektrolisis.



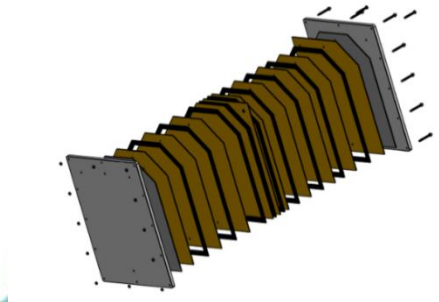
Gambar 3.9 Rubber



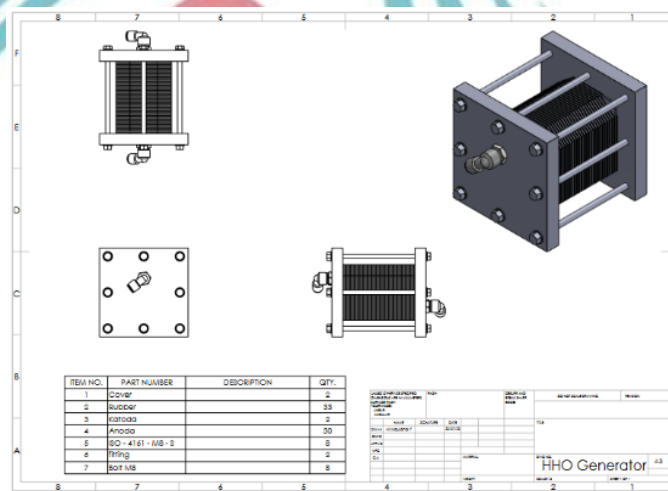
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Rubber ini memiliki tebal 2mm dengan menggunakan bahan karet yang elastis rubber ini berfungsi untuk pemisah antar plat elektrolisis.



Gambar 3.10 Bagian dry cell sebelum assembly



Gambar 3.11 Elektrolisis dry cell setelah Assembly

Jumlah cell terdiri dari 20 pcs dengan ukuran 10 x 10 cm dengan tebal 1mm dan dibuat secara paralel, dan dilengkapi dengan tabung penampung air sebanyak 2 pcs seperti gambar berikut.



Gambar 3.12 Elektrolisis Dry cell dengan 2 tabung hydrogen dan oksigen



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Tabung ini menggunakan tabung filter air yang di balik dan desain ulang secara terbalik untuk memperoleh dudukan yang maksimal, karena dari proses elektrolisis di hasilkan suhu yang panas dan getaran dari gas hydrogen itu sendiri.

Tabel 3.4 Spesifikasi Elektrolisis

Deskripsi	Nilai	Keterangan
Brand	None	<i>Fabrication independent</i>
Tegangan Input	24Volt	
Gas hydrogen	2-3 L/min	
Ampere	30A	
Temperature	35 <sup>0</sup> ~ 50 <sup>0</sup> C	
Plat stainless 304, 10 x 10 cm	1 mm	<i>Fabrication independent</i>
Seal 10 x 10 x 2	2 mm	<i>Fabrication independent</i>
Katalis -KOD (potassium hridoxide)	Gram	40 gram, 80 gram, 100 gram
Fitting & tubing	8 mm	

### 3.3.4 Mass flow meter

Mass flow meter digunakan untuk mengukur aliran gas hydrogen secara real time. Dengan spesifikasi sebagai berikut.

Tabel 3.5 Spesifikasi Mass flow meter aalborg

Deskripsi	Nilai	Keterangan
Brand	<i>Aalborg</i>	
Voltage	220/12v/200mA	With adaptor
Flow Rate Range	0 – 50	
Type/model	GFM17	
Unit	L/min	
Maximum pressure	500 psi/ 3400 Kpa	
Gas	Air	



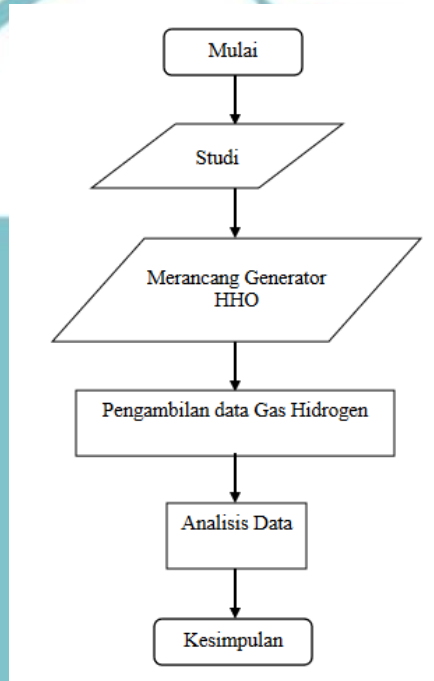
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

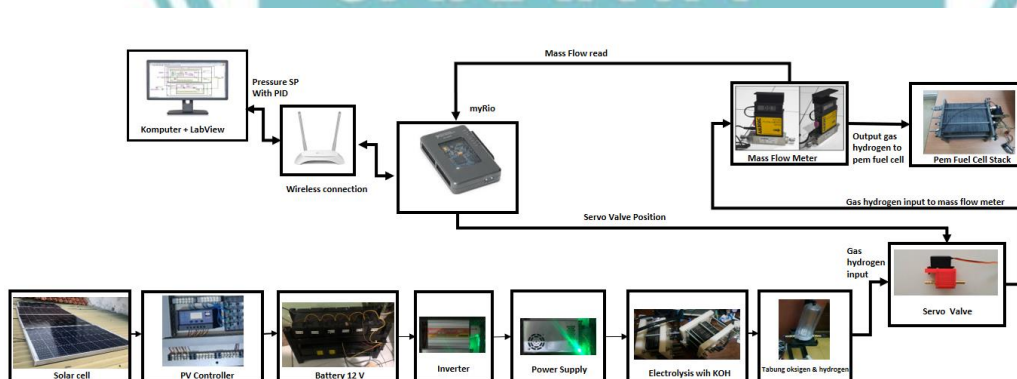
Untuk spesifikasi Mass flow meter Aalborg yang terpasang di sistem, seperti ditunjukkan pada Tabel 3.5, untuk membaca laju aliran gas yang keluar dari proses elektrolisis dan juga untuk membaca dan memberikan feedback dari proses pengontrollaran gas yang akan masuk ke fuel cell.

### 3.4 Cara Kerja

Cara kerja peralatan penelitian sangat dibutuhkan, untuk mengetahui secara jelas bagaimana peralatan beroperasi, dapat dilihat pada diagram alir (*flow chart*) cara kerja peralatan seperti ditunjukkan pada Gambar 3.5



Gambar 3.13 Diagram Alir (*Flow Chart*) Cara Kerja Peralatan elektrolisis



Gambar 3.14 Diagram block Proses alat



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Deskripsi dan cara kerja sistem sebagai berikut :

Panel surya mengubah sinar matahari menjadi arus listrik searah (DC), kemudian di transferkan ke solar controller sebagai charge untuk aki dan output digunakan *inverter* kemudian mengubah listrik DC menjadi listrik arus bolak balik (AC) dan mengirimkan ke semua power yang alat yang dibutuhkan. Power AC juga sebagai peran untuk menyalakan power supply 24volt 30Ampere untuk daya elektrolisis. Gas hydrogen yang di hasilkan oleh elektrolisis di dorong oleh compressore. Pengaturan servo valve bertujuan agar out gas dari compressore bisa di atur secara stabil yang selanjutnya akan di baca oleh mass flow meter. output gas hydrogen yang stabil sangat dibutuhkan oleh fuel cell karena beban fuel cell variatif dimana input gas harus bisa mengikuti terhadap beban fuel cell itu sendiri dan tidak ada impact terhadap membrane fuel cell.

### 3.5 Pengujian

Untuk melakukan pengujian peralatan, maka dibutuhkan beberapa kondisi pada saat pengambilan data, antara lain pengujian kondisi pada saat proses elektrolisis dengan melakukan koneksi langsung ke mass flow meter dengan variatif volume katalis KOH, pengujian ini dilakukan untuk mencari campuran KOH yang optimal. Pengujian dilakukan saat jam (09.00- 14.00).



Gambar 3.15 Alat control gas hydrogen



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

### 3.6 Metode dan Teknik Analisis Data

Data yang didapat adalah data berupa laju aliran hydrogen pada elektrolisis dan pengaturan flow oleh servo valve motor outputnya gas hydrogen akan di baca sesuai set point yang dibutuhkan. Metode analisa data yang di gunakan ada melakukan perbandingan jumlah KOH yang masuk 3liter air mulai dari 40 gram, 60 gram, 80 gram, dan 100 gram

Hasil yang didapat nantinya adalah penggunaan kandungan KOH yang optimal untuk elektrolisis sebagai sumber gas hydrogen yang akan didistribusikan ke fuel cell. Menggunakan mass flow control digunakan sebagai alat ukur laju aliran yang akurat. Data parameter-parameter seperti data laju aliran, date, setpoint dan akan dilakukan secara *auto measuring* secara real time setiap 1 detik sekali. Akan di rekapitulasi di folder di laptop dengan type data notepad.

### 3.7 Metode dan Teknik Penyajian Hasil

Penyajian hasil analisis data penelitian ini berupa paparan tentang pengontrolan gas hydrogen atau oksigen dimana, analisis data meliputi perhitungan berapa efektifitas yang dihasilkan oleh alat, yang ditunjukkan dalam persamaan sebagai berikut :

Efisiensi Generator HHO

$$\eta = \frac{Q \times \rho \times LHV}{P} \times 100\% \quad (3.1)$$

Q = Debit produksi gas HHO (lt/s)

P = Daya generator HHO (Watt)

ρ = Massa Jenis gas HHO (g/lt)

LHV HHO (Lower Heating Value) = LHV gas HHO (119930 J/g)

N = Efisiensi generator HHO (%)

(ρ = 0,287 gr/L ) (ρHydrogen = 0,8988 gr/L) (ρOksigen = 0,219 gr/L)

Daya

$$P = V \times I \quad (3.2)$$



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Dimana :

P = Daya generator HHO (Watt)

V = Beda potensial/tegangan (Volt)

I = Arus listrik (Ampere)

Debit Produksi gas

$$Q = V/t \quad (3.3)$$

V = Volume gas terukur (liter)

T = waktu produksi gas (s)

Q = debit produksi gas (liter/s)

Hasil dari control PID kemudian dilakukan analisa

- Delay time = Waktu yang dibutuhkan untuk respon sistem untuk mencapai setengah dari nilai akhir untuk pertama kalinya
- Rise time = Waktu yang di butuhkan untuk respon sistem 5-95%
- Peak time = Waktu untuk sistem mencapai puncak over shoot untuk pertama kalinya
- Maksimum over shoot = Persentase kelebihan melewati nilai yang di tuju. perbandingan overshoot nilai lebih dari setpoint
- Setting time = Waktu yang diperlukan untuk respon sistem berada di nilai antara 2% - 5% dari nilai akhir
- Study state eror = Nilai eror ketika sistem sudah tidak bergerak kembali

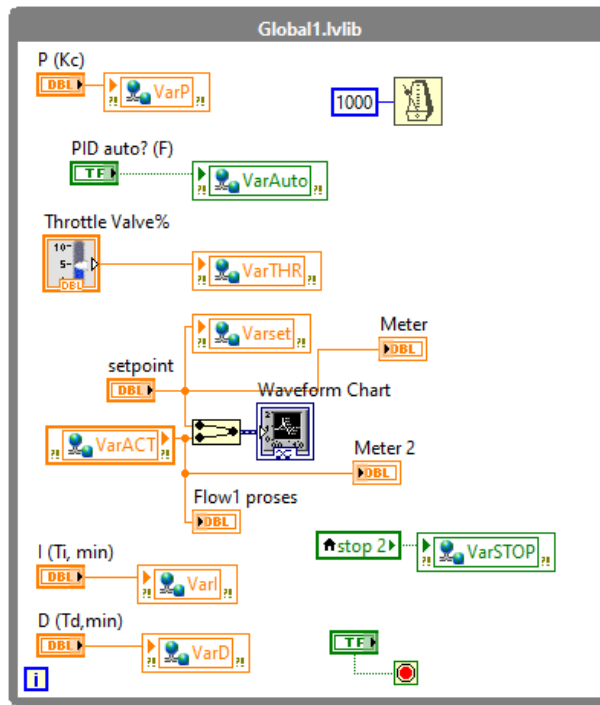
### 3.7.1 Labview program

Pemograman labview sebagai pengolahan data dan pengaturan control valve juga sebagai monitoring laju aliran dari gas hydrogen yang masuk ke Aalborg mass flow meter.

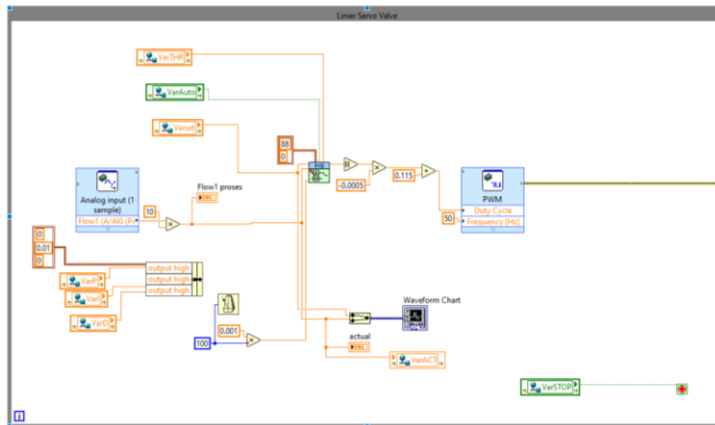


**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 3.16 Program labview global



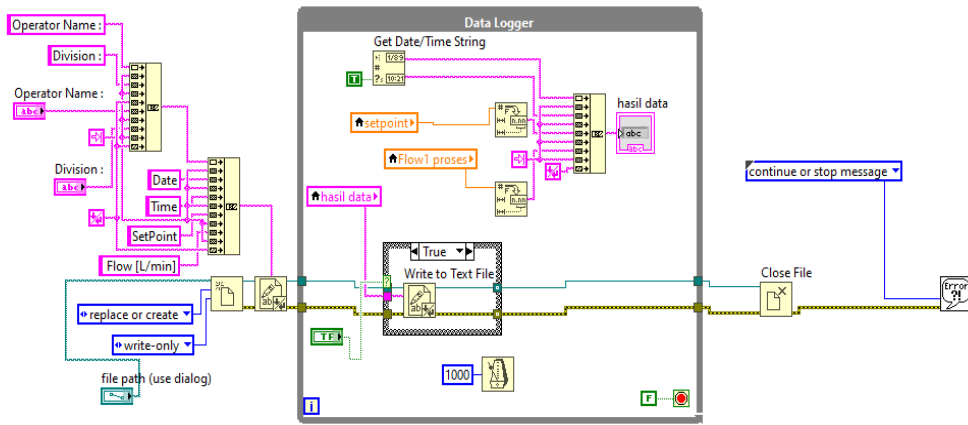
Gambar 3.17 Program PID menggunakan myRio

Pemogram ini bertujuan untuk pengaturan PID antara servo valve dengan mass flow meter aalborg, PID ini dalam program ini menggunakan auto tuning PID.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

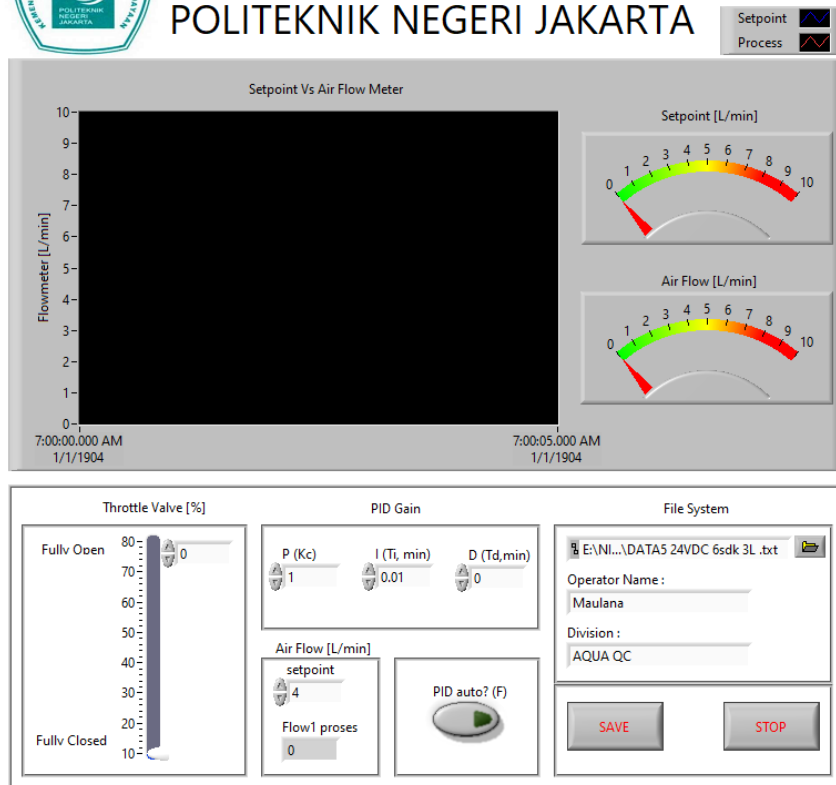


Gambar 3.18 Program data logger

Program ini bertujuan untuk melakukan penggabungan data yang sudah dibaca oleh massflow meter ke dalam type data notepad, dan bisa di convert ke excel dan untuk dianalisa selanjutnya.



TESIS FUEL CELL PUMP CONTROLLER  
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA



Gambar 3.19 HMI tampilan depan



## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Tampilan depan HMI dibuat agar user friendly memudahkan user menggunakan, dengan melakukan input data setpoint yang dibutuhkan oleh fuel cell dan mengklik tombol aktif PID dan memilih tempat save data yang di inginkan pengguna atau user, dan lakukan save data.



### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

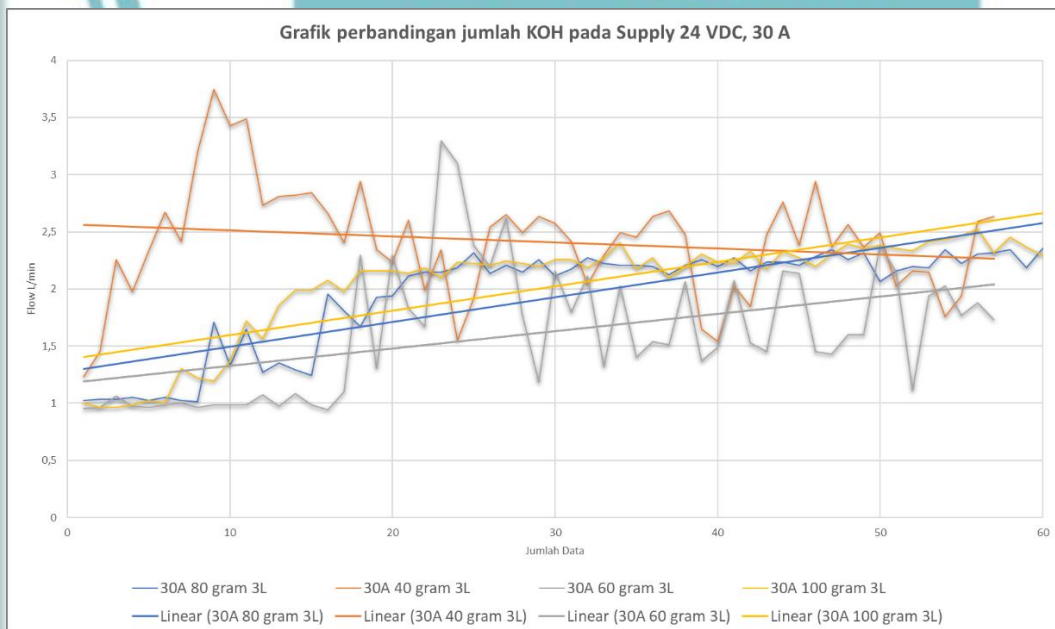
## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan dengan mengimplementasi semua komponen untuk memperoleh hasil actual gas yang di hasilkan dan flow gas hydrogen untuk fuel cell secara stabil. Dokumentasi pemasangan hardware dapat dilihat pada Gambar 4.1.



**Gambar 4.1** Dokumentasi assembly semua komponen



**Gambar.4.2** Grafik data Perbandingan Jumlah KOH dengan Supply 24Volt, 30A



Hak Cipta :

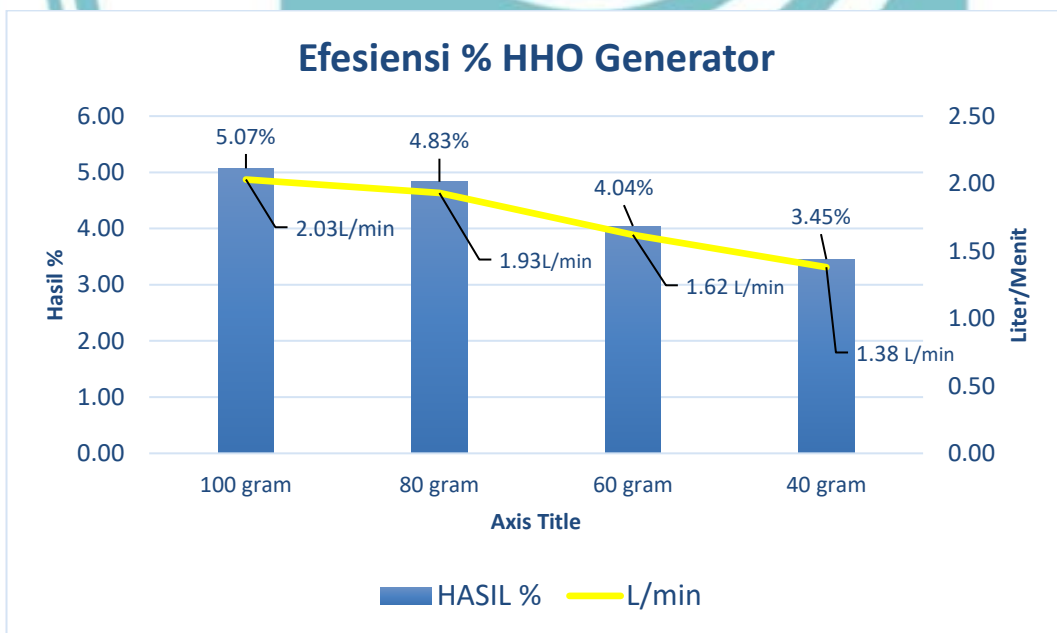
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Berdasarkan grafik tersebut bisa di simpulkan bahwa nilai KOH semakin tinggi maka akan memperoleh trend yang lebih stabil dan jumlah hydrogen yang di hasilkan lebih besar. Setelah di Tarik garis linear dengan jumlah KOH 100 gram memiliki trend yang terus naik dan stabil.

Tabel 4.1. Nilai efisiensi generator HHO (%)

Volume air	Jumlah KOH	L/min	L/s	p Hidrogen	LHV	DAYA	HASIL %
3 Liter	100 gram	2,033	0,034	0,8988	119.930	720	5,073
3 Liter	80 gram	1,937	0,032	0,8988	119.930	720	4,833
3 Liter	60 gram	1,621	0,027	0,8988	119.930	720	4,045
3 Liter	40 gram	1,384	0,023	0,8988	119.930	720	3,453

Berdasarkan tabel 2, dapat disimpulkan bahwa efisiensi generator HHO mencapai nilai terbesar pada 5.073% dengan daya 720 watt dan laju aliran persecond 0.034 L/s, volume air 3 Liter dan jumlah KOH 100 gram dengan spesifikasi dry cell 10 x 10 cm, 40 cell dengan di bagi dua bagian di pasang secara paralel.



Grafik 4.3 Hubungan antara Jumlah KOH dengan efisiensi generator HHO

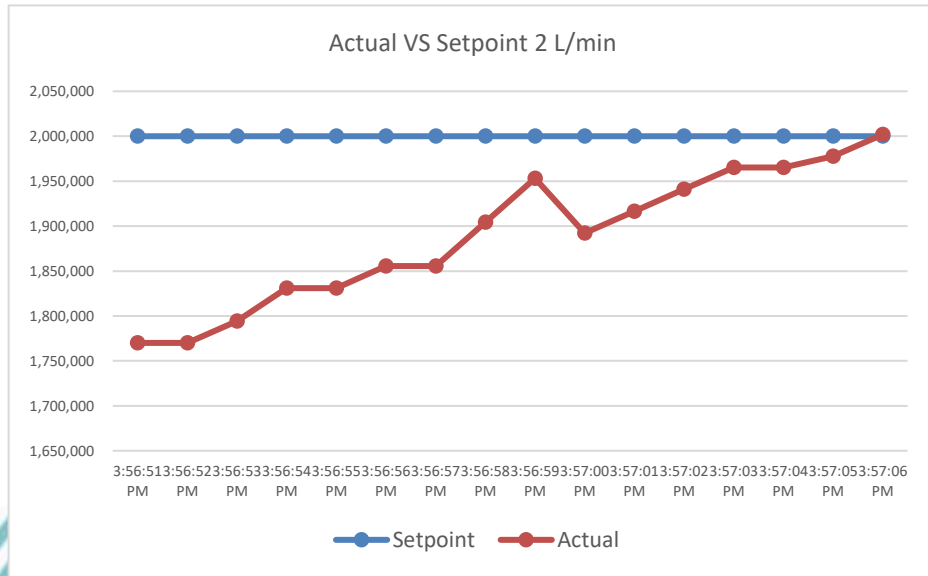
Berdasarkan gambar grafik diatas, dapat dilihat besarnya jumlah KOH yang masuk akan mempengaruhi efisiensi dari hydrogen generator yang lebih tinggi dan efektif. maka molekul-molekul di dalam air akan semakin bebas untuk bergerak



Hak Cipta :

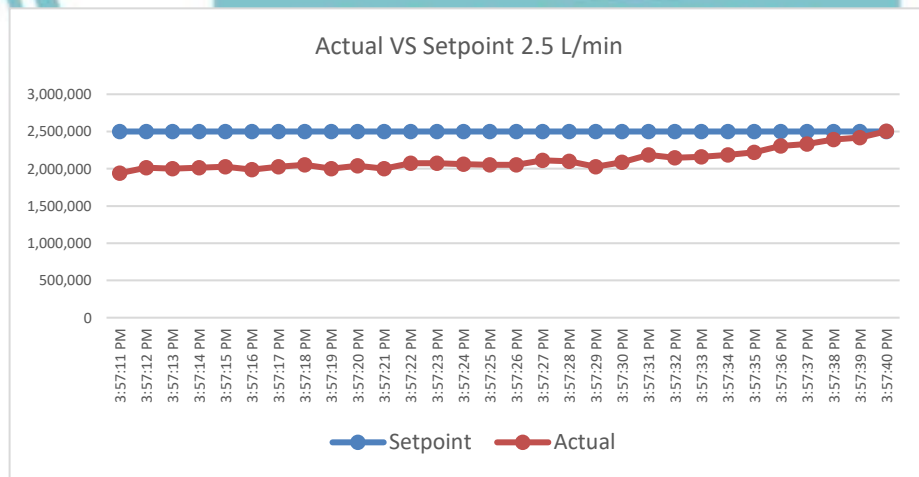
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

yang menyebabkan pertukaran ion-ion pada proses elektrolisis semakin cepat, sehingga produktivitas gas HHO juga akan semakin besar.



Grafik 4.4 Setpoint 2 Liter/menit

Berdasarkan data tersebut dapat di analisa pada setpoint 2 Liter/menit hydrogen bahwa delay time = 0 detik, Rise time = 9 detik, peak time = 0 detik, over shoot 5 %, setting time = 8 detik, study state eror 16 detik.



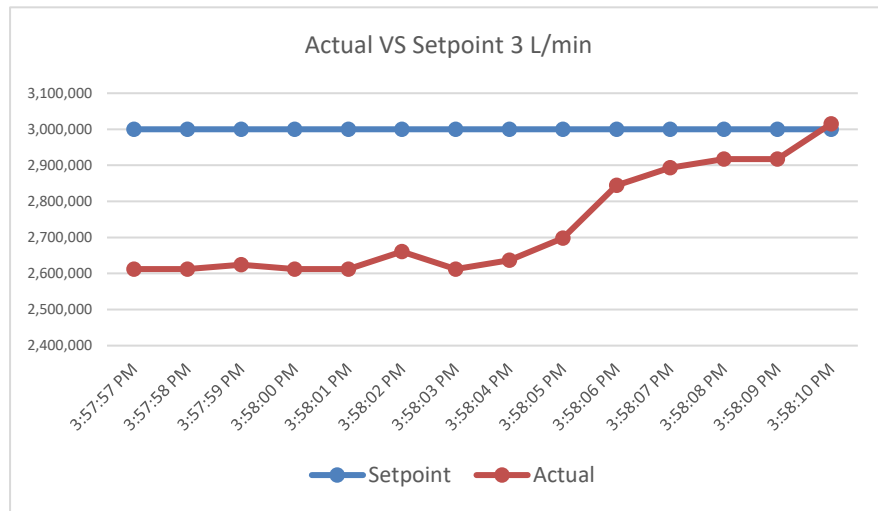
Grafik 4.5 Setpoint 2.5 Liter/menit

Berdasarkan data tersebut dapat di analisa pada setpoint 2.5 Liter/menit hydrogen bahwa delay time = 0 detik, Rise time = 25 detik, peak time = 21 detik, over shoot 0.08 %, setting time = 25 detik, study state eror 29 detik.



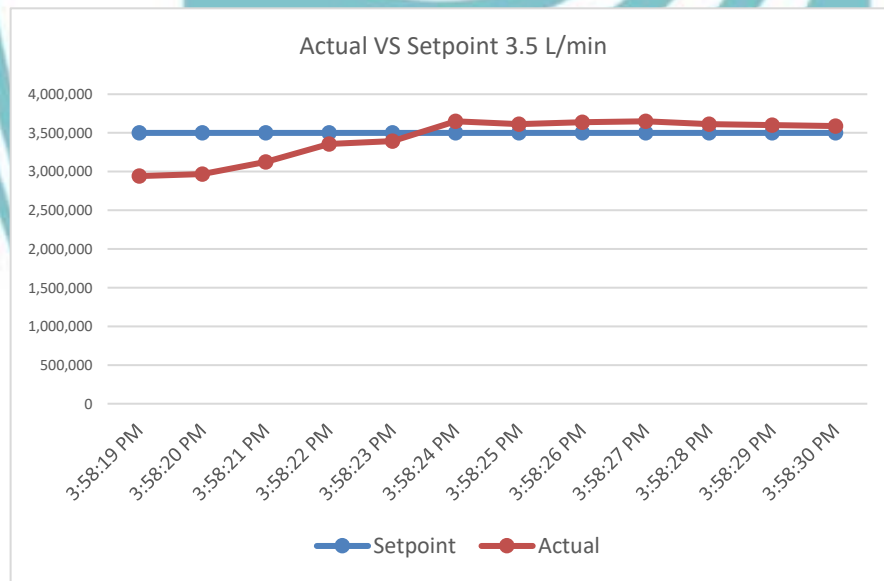
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Grafik 4.6 Setpoint 3 Liter/menit

Berdasarkan data tersebut dapat di analisa pada setpoint 3 Liter/menit hydrogen bahwa delay time = 0 detik, Rise time = 10 detik, peak time = 7 detik, over shoot 0.5 %, setting time = 10 detik, study state eror 13 detik.



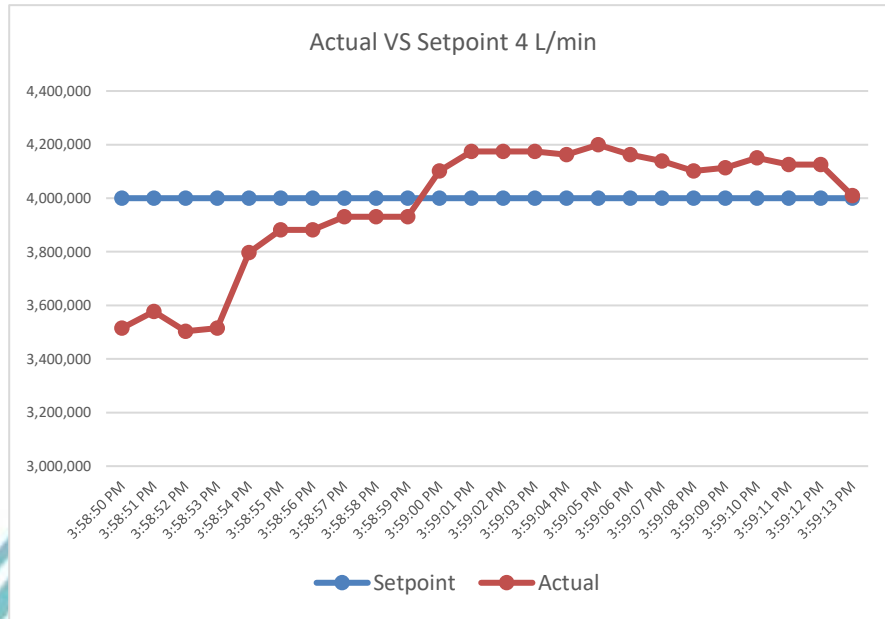
Grafik 4.7 Setpoint 3.5 Liter/menit

Berdasarkan data tersebut dapat di analisa pada setpoint 3.5 Liter/menit hydrogen bahwa delay time = 0 detik, Rise time = 4 detik, peak time = 6 detik, over shoot 4.2 %, setting time = 4 detik, study state eror 11 detik.



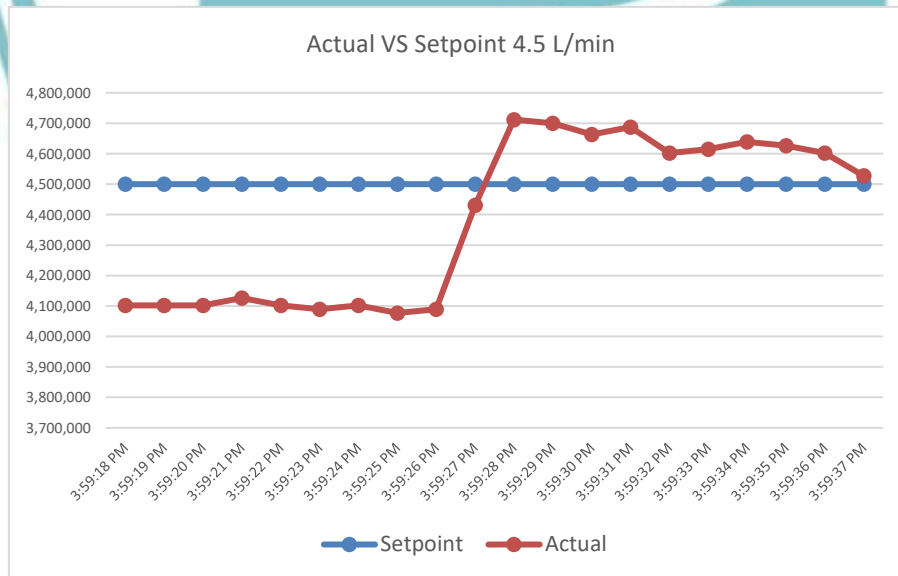
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Grafik 4.8 Setpoint 4 Liter/menit

Berdasarkan data tersebut dapat di analisa pada setpoint 4 Liter/menit hydrogen bahwa delay time = 0 detik, Rise time = 5 detik, peak time = 12 detik, over shoot 4.97 %, setting time = 5 detik, study state eror 23 detik.



Grafik 4.9 Setpoint 4.5 Liter/menit

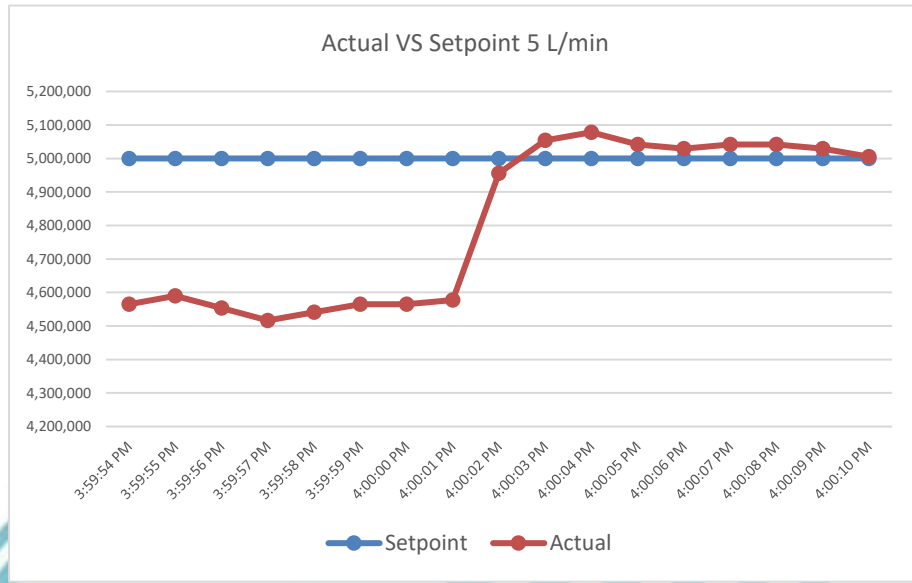
Berdasarkan data tersebut dapat di analisa pada setpoint 4.5 Liter/menit hydrogen bahwa delay time = 0 detik, Rise time = 10 detik, peak time = 11 detik, over shoot 4.68 %, setting time = 10 detik, study state eror 19 detik.





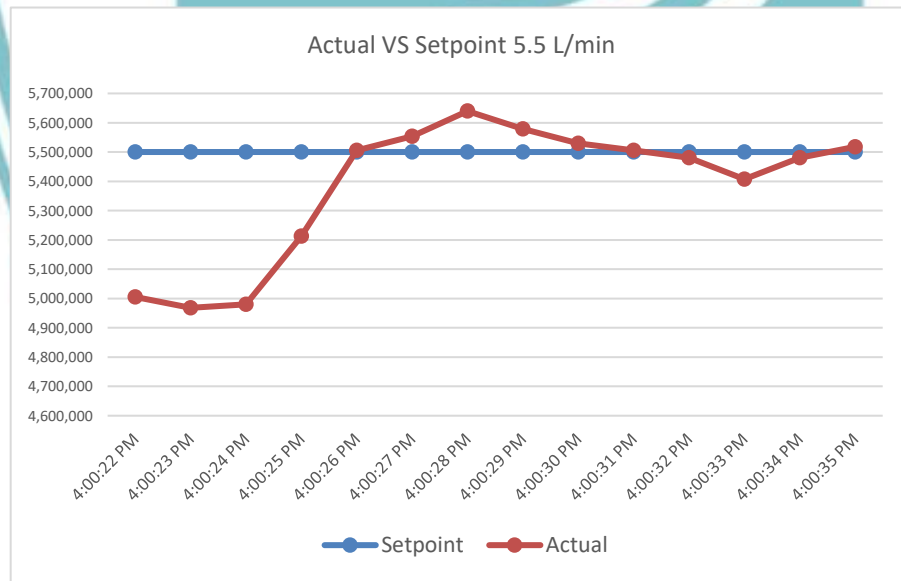
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Grafik 4.10 Setpoint 5 Liter/menit

Berdasarkan data tersebut dapat di analisa pada setpoint 5 Liter/menit hydrogen bahwa delay time = 0 detik, Rise time = 9 detik, peak time = 11 detik, over shoot 1.56 %, setting time = 9 detik, study state eror 16 detik.



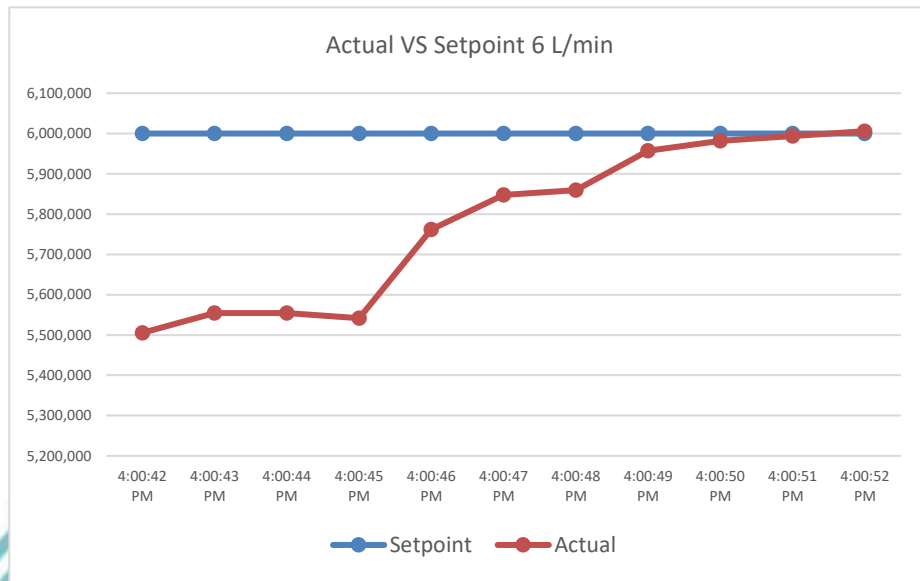
Grafik 4.11 Setpoint 5.5 Liter/menit

Berdasarkan data tersebut dapat di analisa pada setpoint 5.5 Liter/menit hydrogen bahwa delay time = 0 detik, Rise time = 4 detik, peak time = 7 detik, over shoot 2.52 %, setting time = 4 detik, study state eror 13 detik.



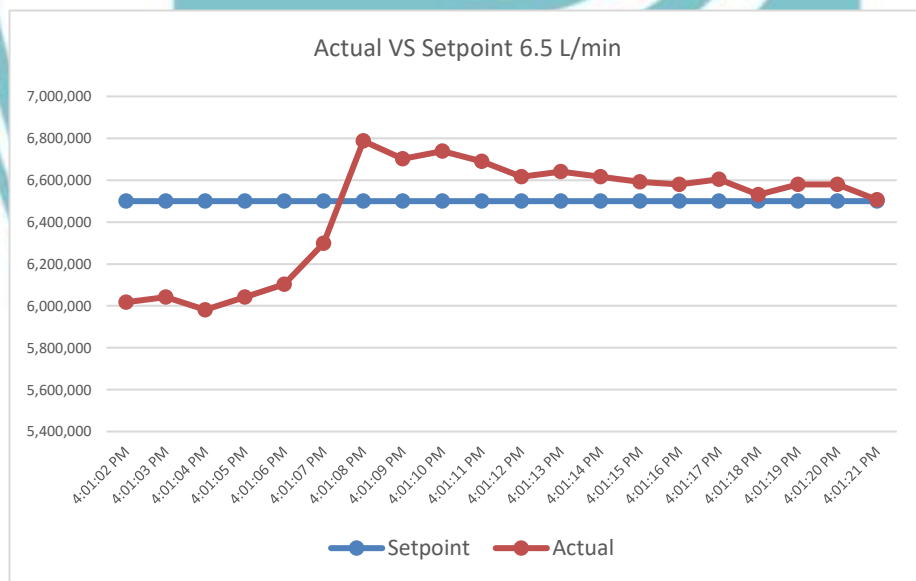
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Grafik 4.12 Setpoint 6 Liter/menit

Berdasarkan data tersebut dapat di analisa pada setpoint 6 Liter/menit hydrogen bahwa delay time = 0 detik, Rise time = 5 detik, peak time = 17 detik, over shoot 0.08 %, setting time = 5 detik, study state eror 17 detik.



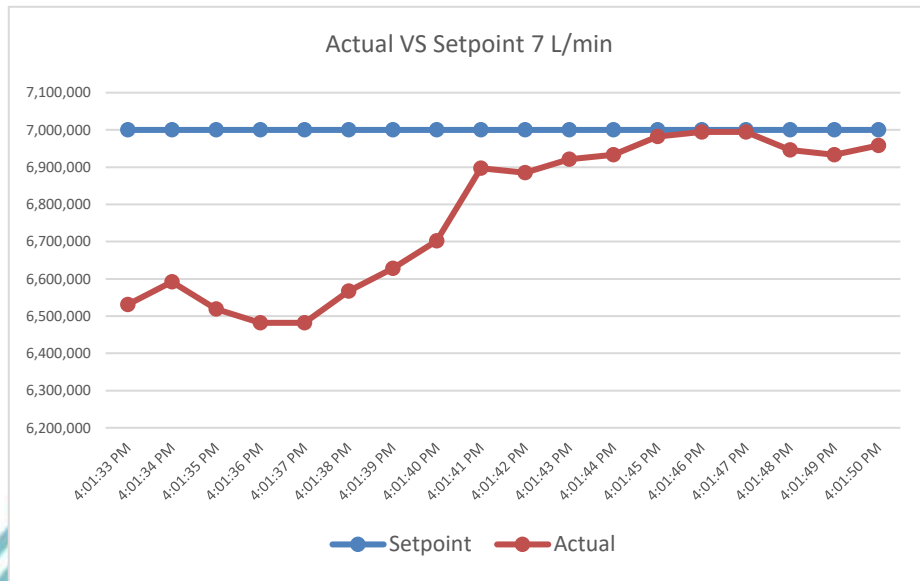
Grafik 4.13 Setpoint 6.5 Liter/menit

Berdasarkan data tersebut dapat di analisa pada setpoint 6.5 Liter/menit hydrogen bahwa delay time = 0 detik, Rise time = 5 detik, peak time = 7 detik, over shoot 1.4 %, setting time = 5 detik, study state eror 19 detik.



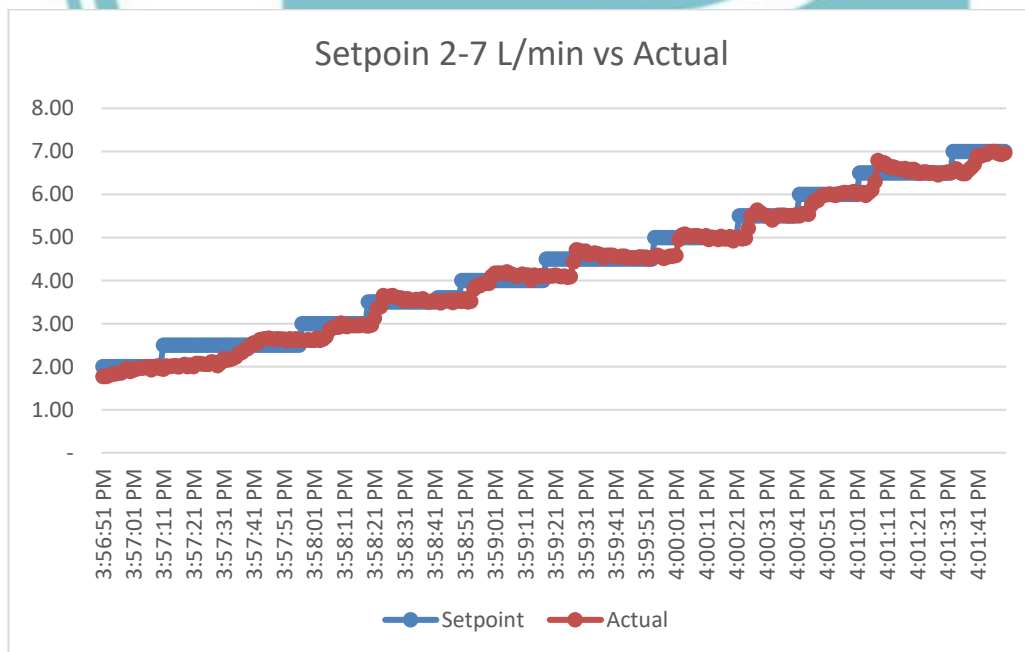
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Grafik 4.14 Setpoint 7 Liter/menit

Berdasarkan data tersebut dapat di analisa pada setpoint 7 Liter/menit hydrogen bahwa delay time = 0 detik, Rise time = 7 detik, peak time = 8 detik, over shoot 1.4 %, setting time = 7 detik, study state eror 14 detik.

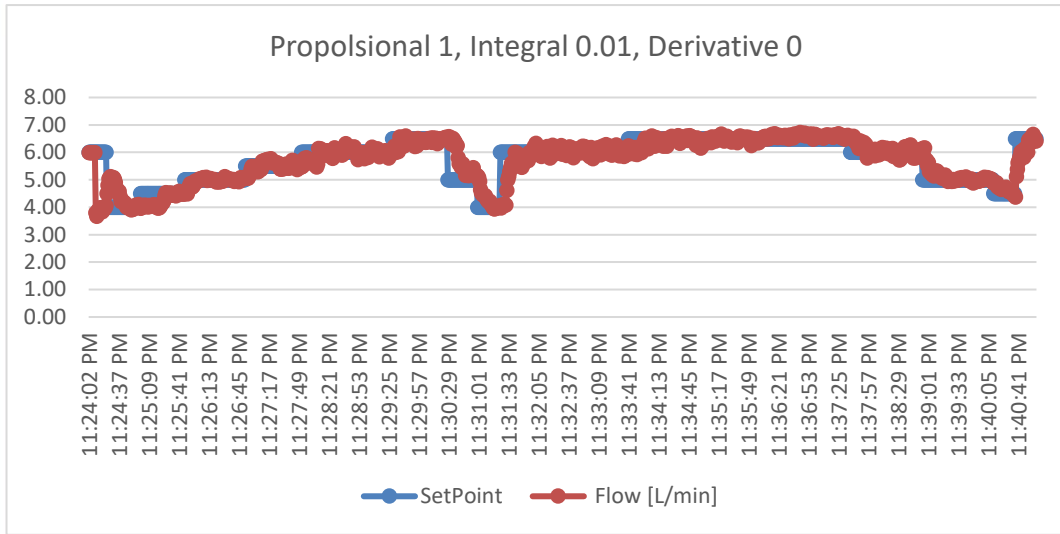


Grafik 4.15 Setpoint 2-7 Liter/menit VS Actual

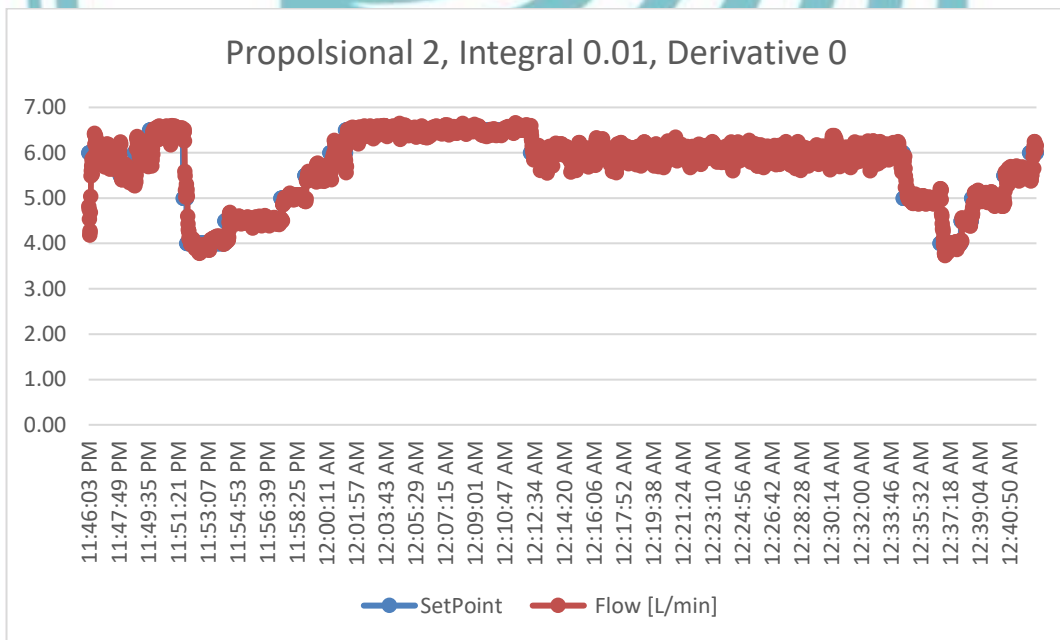
Bisa dilihat pada grafik 4.15 bahwa respon actual terhadap setpoint dari mulai setpoint 2 hingga 7 ada perubahan dan actual flow gas yang mengalir bisa merespon, jadi gas



yang masuk ke fuel cell bisa berubah sesuai dengan kebutuhan.



Grafik 4.16 Tuning PID manual P=1, I=0.01, D=0



Grafik 4.17 Tuning PID manual P=2, I=0.01, D=0

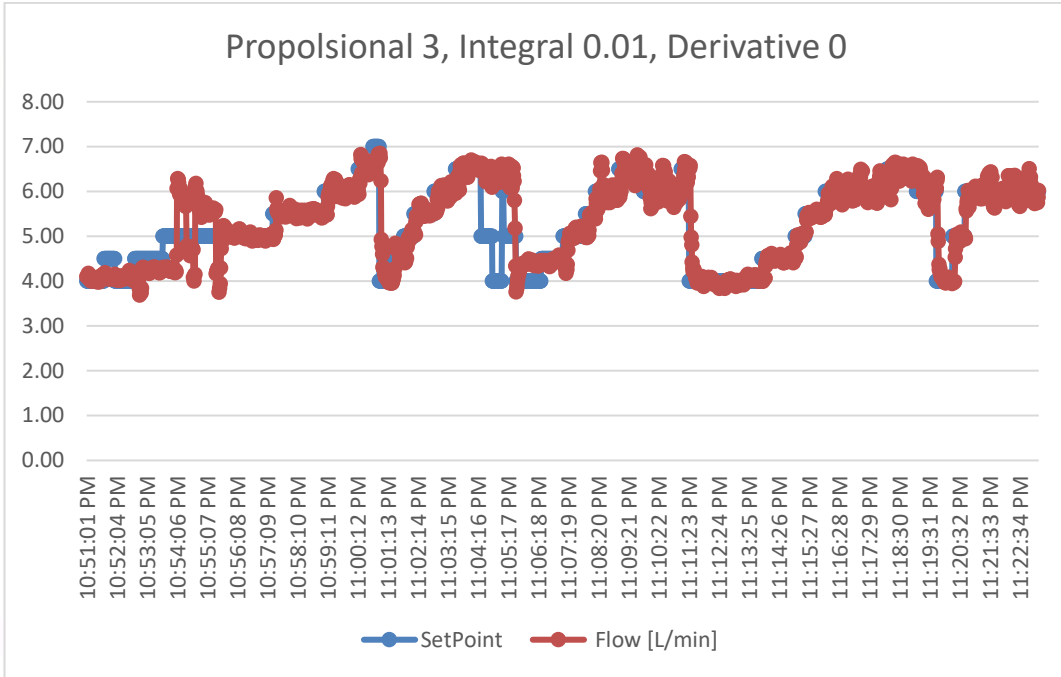
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

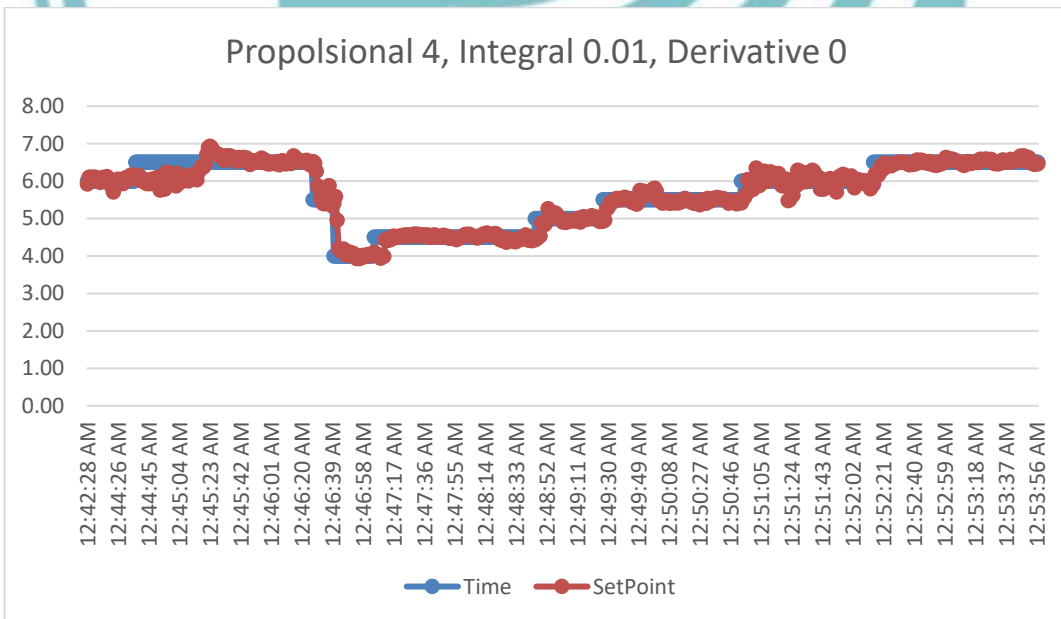


Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Grafik 4.18 Tuning PID manual P=3, I=0.01, D=0

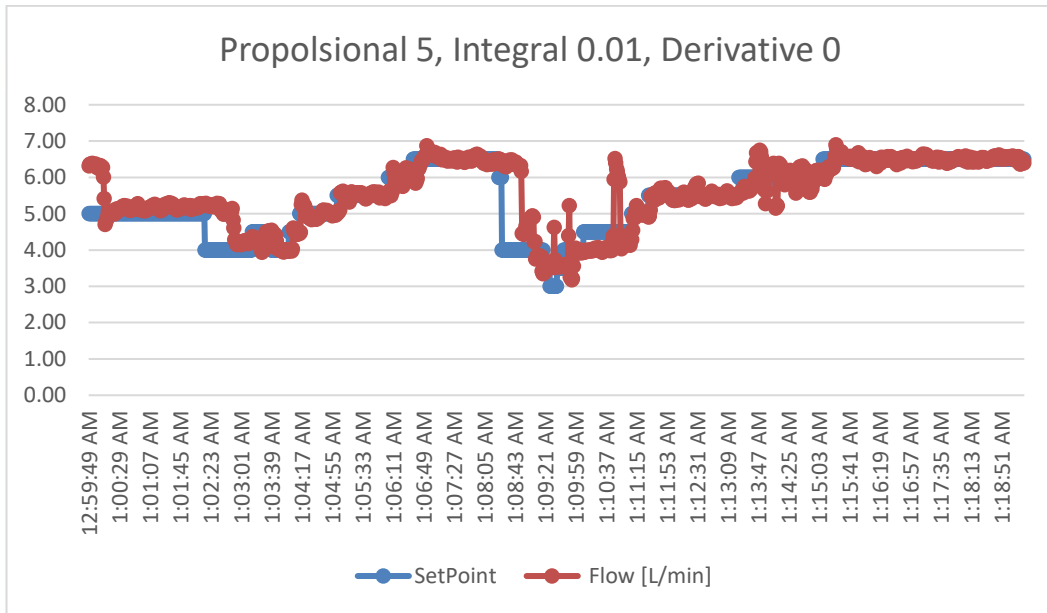


Grafik 4.19 Tuning PID manual P=4, I=0.01, D=0

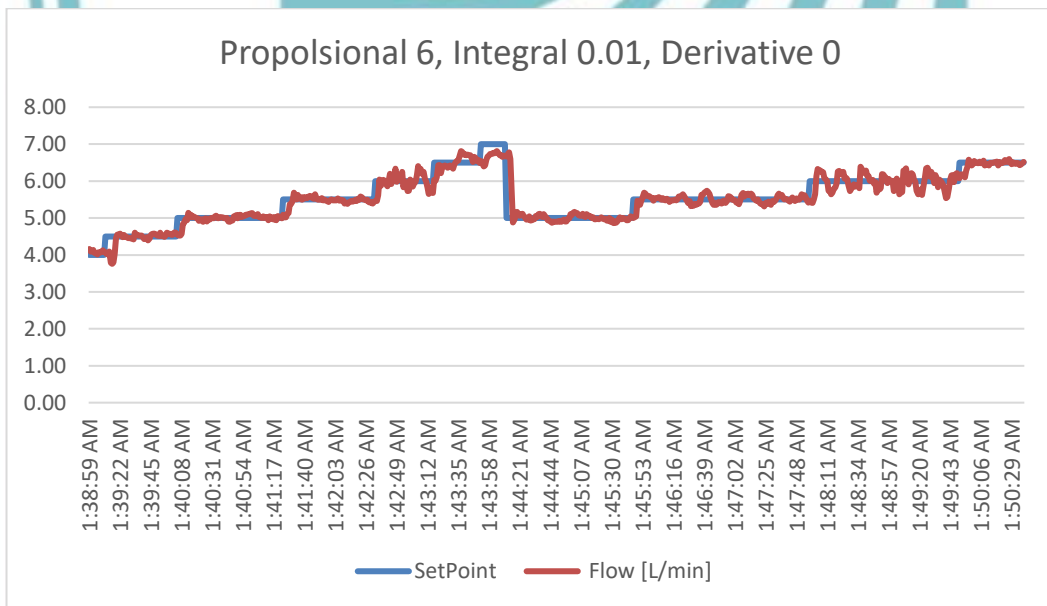


Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Grafik 4.20 Tuning PID manual P=5, I=0.01, D=0



Grafik 4.21 Tuning PID manual P=6, I=0.01, D=0

Dari percobaan ke 6 percobaan tuning PID di pilih 1 tuning manual yang di ambil dengan  $P = 2$ ,  $I = 0.01$ ,  $D = 0$  untuk selanjutnya dibandingkan analisa terhadap auto tuning PID.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Tabel 4.2 Recap Auto Tuning PID

Set Point	Peak time	Overshoot	setting time	study state eror
7	8	1.4%	7	14
6.5	7	1.4%	5	19
6	17	0.08%	5	17
5.5	7	2,36 %	4	13
5	11	1.56%	9	16
4.5	11	4.68%	10	19
4	12	4.97%	5	23
3.5	6	4.2%	4	11
3	7	0.5%	10	13
2.5	21	0.08%	25	29
2	0	5%	8	16
Average				17,6
Min				11
Max				29

Tabel 4.3 Recap Manual Tuning PID

Set Point	Peak time	Overshoot	setting time	study state eror
6	7	0.66 %	12	12
4.5	9	4.22 %	15	22
5	6	0.2 %	6	12
5.5	6	0,54%	7	11

Dari table 4.2 bisa di lihat data dengan respon peak time saat kecil di 6 detik dan overshoot 4.2% seeting rise time di 4 detik dan study state eror di 11 detik mejadi setpoint dengan auto tuning PID terbaik kemudian dilakukan perbandingan dengan respon PID manual dengan nilai  $P = 2$ ,  $I = 0.01$ ,  $D = 0$  bisa di lihat di Tabel 4.3.

Tabel 4.4 Recap Auto & Manual Tuning PID

Tuning PID	Set Point	Peak time	Overshoot	setting time	study state eror
Auto PID	3.5	6	4.2%	4	11
Manual	5	6	0.2 %	6	12



## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Recap metode untuk manual tuning dan auto tuning bisa dilihat di table 4.3 pemilihan metode dari respon tercepat terhadap perubahan dan study state eror yang lebih kecil waktunya yaitu auto PID, dimana respon setting time 4 detik dan study state eror 11 detik walaupun overshoot yang dihasilkan lebih besar 4,2%.



### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta