



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Adapun jenis penelitian dalam tugas akhir ini akan dikembangkan secara kuantitatif — simulasi dengan melakukan pengujian terhadap simulasi model berdasarkan pemodelan matematisnya.

Penelitian ini akan mensimulasikan sistem dengan nilai masukan dihitung sesuai dengan keadaan nyata. Beberapa data diperlukan untuk mendukung penelitian ini. Data yang mendukung pada penelitian ini diantaranya data intensitas cahaya Kota Pekanbaru, data pemakaian beban yang dibuat penulis berdasarkan keadaan nyata. Pada penelitian ini penentuan jenis *photovoltaic*, *fuel cell* dan tabung hidrogen akan dilakukan guna menentukan nilai parameter dari *photovoltaic*, *fuel cell*, *electrolyzer* dan juga tabung hidrogen yang kemudian akan dijadikan data untuk melakukan proses simulasi.

3.2 Prosedur Penelitian

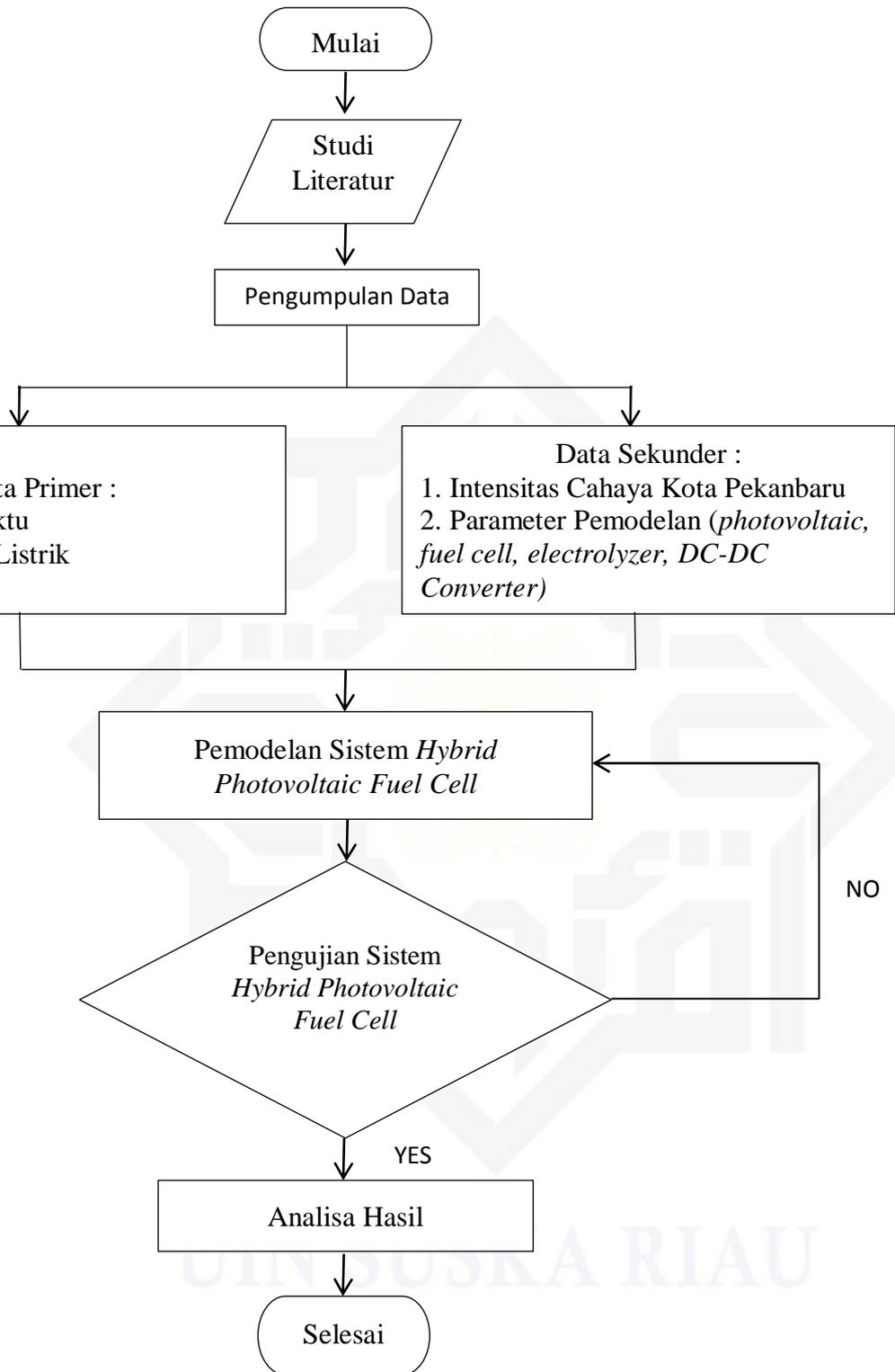
Penelitian ini terbagi menjadi beberapa tahap sebelum mencapai tujuan yang diinginkan. Secara singkat penelitian ini dimulai dengan melakukan studi literatur dari beberapa buku, jurnal dan segala informasi yang berhubungan dengan penelitian seperti teori dasar, pemodelan matematis dan cara pemodelan pada simulasi MATLAB. Kemudian dilanjutkan dengan pengumpulan data sebagai masukan untuk program simulasi diantaranya berupa data intensitas cahaya, pengumpulan data beban, dan parameter pemodelan, lalu dilanjutkan dengan pemodelan bentuk dari sistem kedalam aplikasi Matlab.

Setelah dilakukan pemodelan, akan dilakukan pengujian terhadap program simulasi yang telah dibuat, apabila berhasil maka akan dilanjutkan ke tahap analisa hasil, namun apabila pengujian gagal maka akan dikembalikan ke tahap pemodelan. Selanjutnya setelah di analisa akan didapatkan kesimpulan dan saran untuk penelitian ini, bila semua tahap telah dilalui maka penelitian selesai.

Diagram tahapan penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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



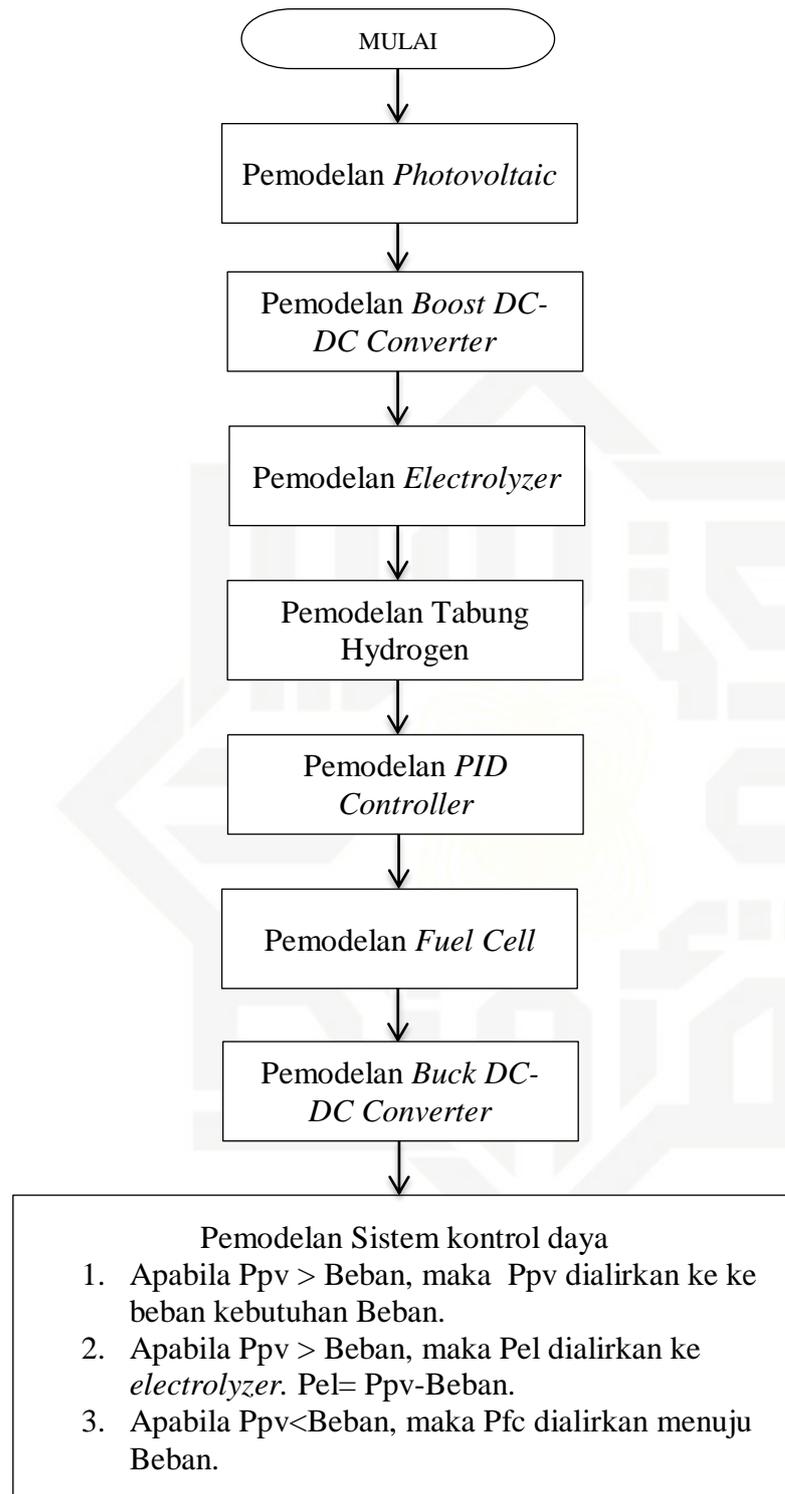
Gambar 3.1 Flowchart Penelitian

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3.2 Flowchart Pemodelan Sistem Pembangkit Listrik Hybrid Photovoltaic dan Fuel Cell



3.3 Studi Literatur

Melakukan pembacaan beberapa sumber seperti jurnal-jurnal yang telah dipublikasikan ataupun buku buku yang berkaitan dengan teori mengenai komponen yang terdapat dalam sistem ini , lalu jurnal yang teori pemodelan matematis *photovoltaic* , *fuel cell*, *electrolyzer* dan segala aspek yang mendukung penelitian ini.

3.4 Pengumpulan Data

Pada penelitian ini dilakukan pengumpulan data sebagai nilai masukan pada simulasi yang akan dilakukan. Beberapa data yang digunakan sebagai berikut :

3.4.1 Data Primer

1. Konversi Waktu

Pada penelitian ini dilakukan pengamatan terhadap waktu 24 jam kondisi nyata. Waktu penelitian ini dimulai dari pukul 07:00 sampai dengan 07:00 keesokan harinya. Agar proses simulasi tidak berlangsung terlalu lama, maka waktu nyata akan dikonversi kedalam bentuk waktu simulasi, sehingga penelitian akan tetap dibuat berdasarkan kondisi nyata.

2. Profil Beban Listrik

Guna memperhitungkan kerja sistem, maka dibutuhkan data beban yang harus dipenuhi oleh sistem selama 1 hari. Data ini yang akan menjadi target pencapaian dari sistem ini, data yang dikalkulasikan akan menjadi acuan nilai daya yang harus dihasilkan atau dipenuhi oleh sistem ini. Nilai ini didasarkan pada profil beban rumah tangga kelas sederhana yang terdiri atas beberapa peralatan-peralatan listrik DC diantaranya lampu penerangan, kipas angin, televisi dan pompa air.

3.4.2 Data Sekunder

1. Intensitas Cahaya Kota Pekanbaru

Besarnya daya yang dihasilkan *photovoltaic* dipengaruhi oleh intensitas cahaya dari suatu wilayah. Data radiasi Kota Pekanbaru akan menjadi masukan dalam penelitian ini. Data yang menjadi masukan memiliki satuan W/m^2 . Pada penelitian ini data intensitas radiasi matahari diambil dari nilai data dari penelitian sebelumnya[7].

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2. Parameter Pemodelan

Dalam mensimulasikan suatu sistem, nilai parameter merupakan nilai yang harus tersedia dengan lengkap sesuai dengan pemodelan matematis yang tersedia, hal ini dikarenakan pemodelan harus didasarkan pada bentuk asli atau kondisi asli suatu sistem. Parameter pada penelitian ini diambil dari penelitian sebelumnya[9] yang menjadi dasar peneliti mengambil pemodelan matematisnya.

Beberapa parameter pemodelan adalah :

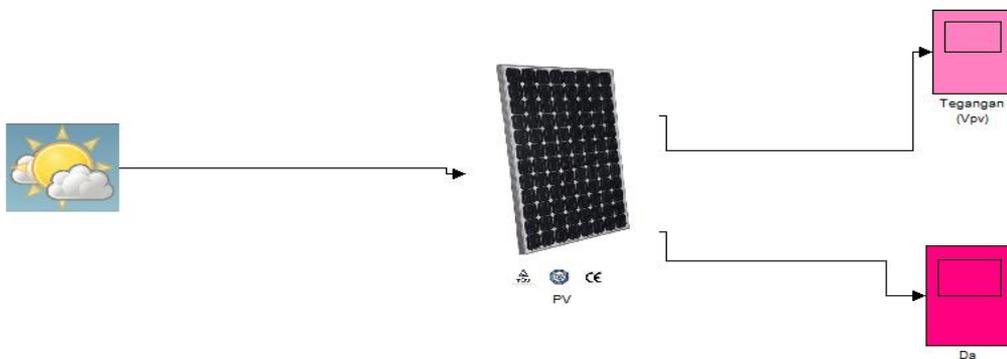
- a. Parameter pemodelan *photovoltaic*
- b. Parameter pemodelan *electrolyzer*
- c. Parameter pemodelan tabung hidrogen
- d. Parameter pemodelan *fuel cell*
- e. Parameter DC-DC Converter

3. 5 Pemodelan Sistem *Hybrid Photovoltaic Dan Fuel Cell*

Setelah mendapatkan semua data , maka dilakukan simulasi pemodelan sistem *hybrid photovoltaic* dan *fuel cell* sebagai penyimpan energi pada simulink MATLAB. Pemodelan ini dilakukan berdasarkan pemodelan matematis yang ada. Dalam hal ini terdapat beberapa tahapan pemodelan yang dijelaskan sebagai berikut :

- a. Pemodelan *Photovoltaic*

Bentuk blok simulink *photovoltaic* ditampilkan pada Gambar 3.3 . Pemodelan ini didasarkan pada pemodelan matematis pada rumus 2.2 hingga rumus 2.4 yang dirujuk pada ECEN 2060[14].



Gambar 3.3 Pemodelan *Photovoltaic*

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

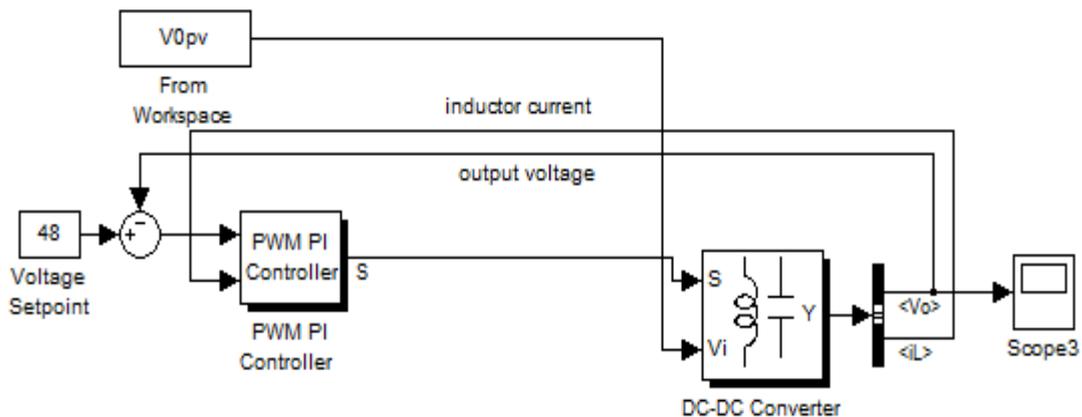
Pada pemodelan ini digunakan modul bertipe *monocrystalline* merk CAYMAX 200-72m. Dengan parameter spesifikasi terlihat pada Tabel 3.1. Untuk spesifikasi keseluruhan modul dapat dilihat pada lampiran A.

Tabel 3.1 Parameter Pemodelan *Photovoltaic*

| | | |
|--|--------|---------------|
| <i>Peak Power (P_{mpp})</i> | 200 | <i>Watt</i> |
| <i>Open Circuit Voltage (V_{oc})</i> | 45,3 | <i>Volt</i> |
| <i>Short circuit current (I_{sc})</i> | 5,72 | <i>Ampere</i> |
| <i>Optimum operating Voltage (V_{mpp})</i> | 37,6 | <i>Volt</i> |
| <i>Optimum operating Current (I_{mpp})</i> | 5,32 | <i>Ampere</i> |
| <i>Modul Efficiency</i> | 15,67% | |

b. Pemodelan *Boost DC-DC Converter*

Bentuk blok simulink *Boost DC-DC Converter* ditampilkan pada Gambar 3.7. Pemodelan ini didasarkan pada pemodelan matematis pada rumus 2.13.



Gambar 3.4 Pemodelan *Boost DC-DC Converter*

Pada pemodelan *Boost DC-DC Converter*, yang menjadi masukan merupakan tegangan mula mula yang telah dihasilkan oleh sistem *photovoltaic*, kemudian akan dilakukan peningkatan tegangan menuju 48V. Parameter pemodelan didasarkan pada penelitian sebelumnya [9] dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Parameter Pemodelan *Boost DC-DC Converter*

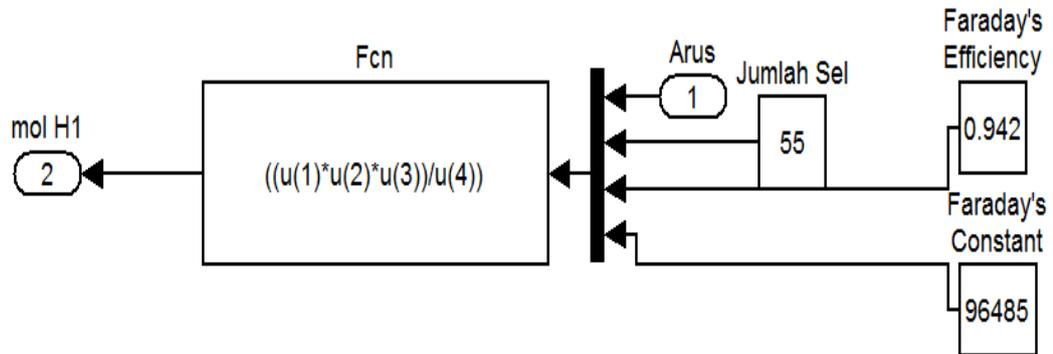
| | | |
|---|-------|--------------|
| <i>Capacitance (C)</i> | 220 | <i>Farad</i> |
| <i>Inductance (L)</i> | 0,8 | <i>Henry</i> |
| <i>Internal resistance of the capacitor (R_C)</i> | 0,002 | <i>Ohm</i> |
| <i>Internal resistance of the inductor (R_L)</i> | 0,001 | <i>Ohm</i> |

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

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

c. Pemodelan *Electrolyzer*

Bentuk blok simulink *Electrolyzer* ditampilkan pada Gambar 3.5 . Pemodelan ini didasarkan pada pemodelan matematis pada rumus 2.9.



Gambar 3.5 Pemodelan *Electrolyzer*

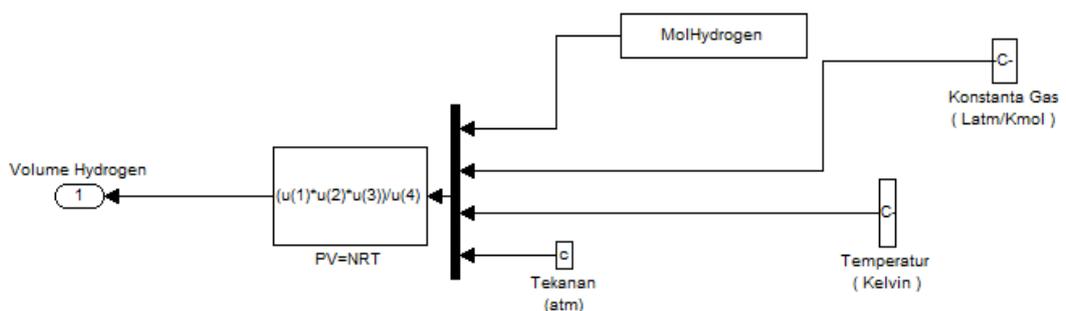
Dalam sistem ini akan merubah daya lebih yang dihasilkan *photovoltaic* akan dirubah menjadi bentuk mol hidrogen. Parameter pemodelan diambil dari penelitian sebelumnya[9] terdapat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Parameter Pemodelan *electrolyzer*

| | | |
|-------------------------|--------|---------------------|
| Jumlah Sel electrolyzer | 55 | Buah |
| Efisiensi Faraday | 0,942 | |
| Konstanta Faraday | 96,485 | C mol ⁻¹ |

d. Pemodelan Tabung Penyimpanan Hidrogen

Bentuk blok simulink tabung penyimpanan hidrogen ditampilkan pada Gambar 3.6 . Pemodelan ini didasarkan pada pemodelan matematis pada rumus 2.11.



Gambar 3.6 Pemodelan Tabung Penyimpanan Hidrogen

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

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

Pada sistem ini akan disimpan mol hidrogen yang telah dihasilkan oleh *electrolyzer*. Tabung yang digunakan merupakan tabung penyimpanan teerkompresi. Ukuran tabung hidrogen akan dihitung berdasarkan total hidrogen yang dihasilkan oleh total daya lebih. Parameter pemodelan diambil dari penelitian sebelumnya[9] terdapat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Parameter Pemodelan Tabung Penyimpanan

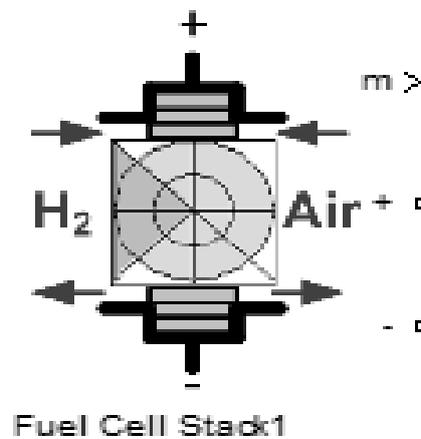
| | | |
|---------------|-------|--|
| Konstanta Gas | 0,082 | L atm K ⁻¹ mol ⁻¹ |
| Suhu | 298 | Kelvin |
| Tekanan | 1 | Atm |

e. Pemodelan *PID Controller*

Pada ujung tabung penyimpanan akan dipasang sebuah *PID Controller* yang berfungsi sebagai pengaturan aliran *fuel flow rate* hidrogen menuju *fuel cell*, hal ini dilakukan guna hidrogen yang terbentuk daat dihemat dan dimanfaatkan sebagaimana kebutuhan sistem. Pada pemodelan ini akan ditentukan nilai dari *Propositional*, *Integral* dan *derivatie* pada *controller* menggunakan metode heuristik.

f. Pemodelan *Fuel Cell*

Blok simulink *fuel cell* sudah tersedia pada *library browser* bagian *simscape* paada MATLAB 2011R. *Fuel cell* yang digunakan merupakan PEMFC (*Proton Exchange Membrane Fuel Cell*) 6kW.



Gambar 3.7 Pemodelan *Fuel Cell*

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

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

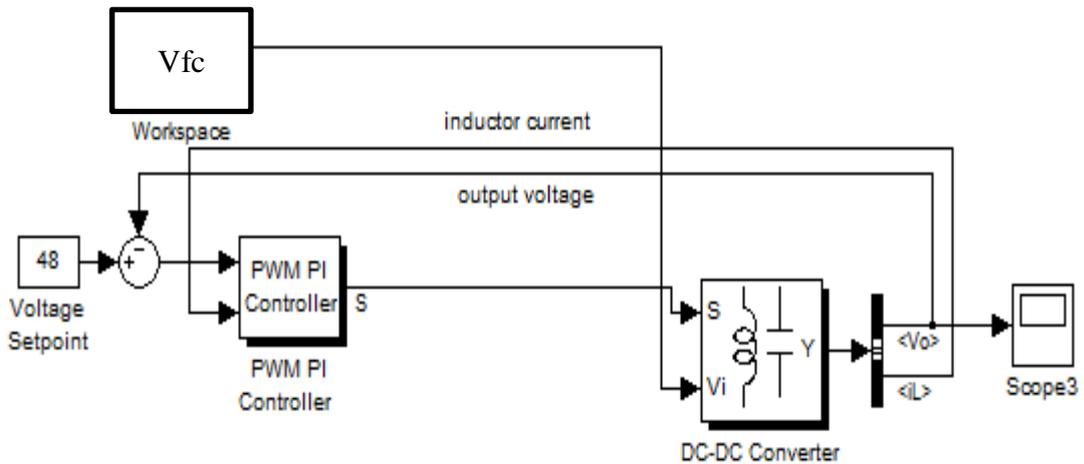
Pada sistem ini, hidrogen akan dialirkan menuju *fuel cell* sesuai dengan permintaan beban, kemudian *fuel cell* akan mengubah hidrogen menjadi daya listrik yang dibutuhkan. Keluaran tegangan dari *fuel cell* selanjutnya akan dialirkan munuju *buck DC-DC Converter* untuk diturunkan tegangannya. Parameter pemodelan *fuel cell* terdapat pada Tabel 3.10.

Tabel 3.5 Parameter Pemodelan *fuel cell*

| | | |
|------------------|-------|--------|
| Arus Nominal | 133,3 | Ampere |
| Tegangan Nominal | 65 | Volt |
| Daya Nominal | 6 | kW |
| Banyak Sel | 65 | Buah |

g. Pemodelan *Buck DC-DC Converter*

Bentuk blok simulink Boost *DC-DC Converter* ditampilkan pada Gambar 3.8. Pemodelan ini didasarkan pada pemodelan matematis pada rumus 2.12



Gambar 3.8 Pemodelan *Buck DC-DC Converter*

Pada sistem ini, tegangan dari *fuel cell* akan diturunkan menjadi 48V agar memiliki keseragaman tegangan. Parameter pemodelan didasarkan pada penelitian sebelumnya [9] dapat dilihat pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Parameter pemodelan *Buck DC-DC Converter*

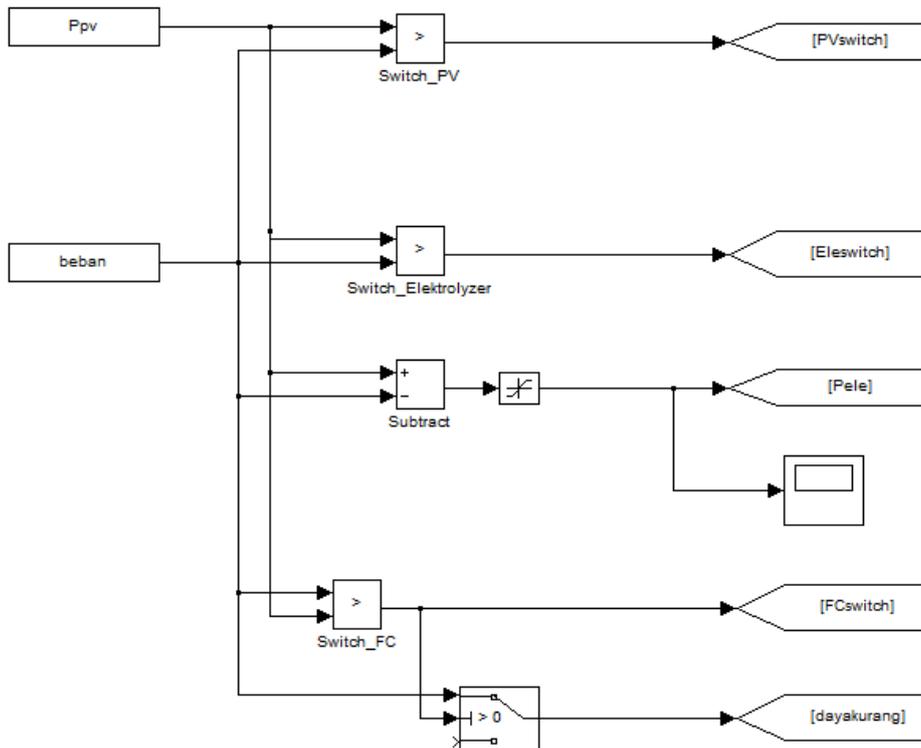
| | | |
|---|-------|-------|
| Capacitance (C) | 2200 | Farad |
| Inductance (L) | 0,8 | Henry |
| Internal resistance of the capacitor (RC) | 0,002 | Ohm |
| Internal resistance of the inductor (RL) | 0,001 | Ohm |

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

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

h. Pemodelan Sistem Kontrol Daya

Untuk memenuhi permintaan beban, maka daya pada sistem harus dikontrol sesuai permintaan. Berikut adalah gambar pemodelan pada sistem pertukaran kontrol daya :



Gambar 3.9 Sistem Kontrol Daya

Sistem kontrol ini bekerja dengan beberapa ketentuan :

1. Sistem *photovoltaic* akan bekerja mengalirkan daya menuju beban apabila memiliki nilai daya yang lebih besar dari pada beban permintaan.
2. Sistem *electrolyzer* akan bekerja apabila terdapat daya lebih yang dihasilkan *photovoltaic*. Daya lebih ini disebut daya *electrolyzer* yang didapat dari selisih daya *photovoltaic* dengan permintaan beban.
3. Sistem *fuel cell* akan bekerja apabila daya *photovoltaic* lebih kecil dari daya permintaan beban. Sehingga akan ada pengaliran hidrogen dari tabung menuju *fuel cell* yang disesuaikan dengan kebutuhan kekurangan daya.



3.6 Pengujian sistem

Setelah melakukan pemodelan, maka dilakukan pengujian simulasi dari sistem yang telah dimodelkan. Dalam pengujian ini akan diperhatikan apakah program memiliki *error* atau kesalahan. Apabila terjadi kesalahan akan dilakukan pengecekan kembali pada pemodelan, namun apabila sistem mampu memenuhi permintaan beban dan berjalan sebagaimana mestinya maka akan dilanjutkan ke tahap berikutnya.

3.7 Analisa Hasil

Dalam penelitian ini, akan dilakukan beberapa analisa diantaranya :

1. Analisa pemodelan sistem *photovoltaic* yang merubah intensitas cahaya matahari menjadi daya listrik dan perbandingan nilai dayanya dengan nilai permintaan beban.
2. Analisa pemodelan sistem *electrolyzer* yang dapat bekerja untuk mengubah daya lebih *photovoltaic* menjadi mol hidrogen yang dapat disimpan sebagai cadangan energi
3. Analisa pemodelan sistem katup yang diatur oleh *PID Controller* sehingga mampu mengalirkan hidrogen menuju *fuel cell* dengan tepat dan mampu membangkitkan daya listrik sesuai permintaan beban.
4. Analisa pemodelan sistem *fuel cell* yang dapat bekerja apabila adanya aliran hidrogen yang masuk sehingga mampu membangkitkan daya listrik yang sesuai dengan permintaan beban yang tidak mampu terpenuhi oleh daya *photovoltaic*.
5. Analisa apakah keseluruhan sistem dapat bekerja dengan baik dan memenuhi permintaan beban dalam waktu 24 jam.

3.8 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan merupakan rangkuman atau inti dari suatu penelitian yang telah dilakukan yang harus sesuai dengan tujuan yang akan dicapai dan saran merupakan suatu masukan yang bertujuan untuk memberikan nasihat–nasihat atau masukan yang bersifat membangun agar dapat menjadi lebih baik dalam penelitian selanjutnya.