

BAB IV PEMBAHASAN DAN HASIL

4.1 Pengujian Simulasi

4.1.1 Pengujian Simulasi Baterai Tanpa Pengaruh Suhu

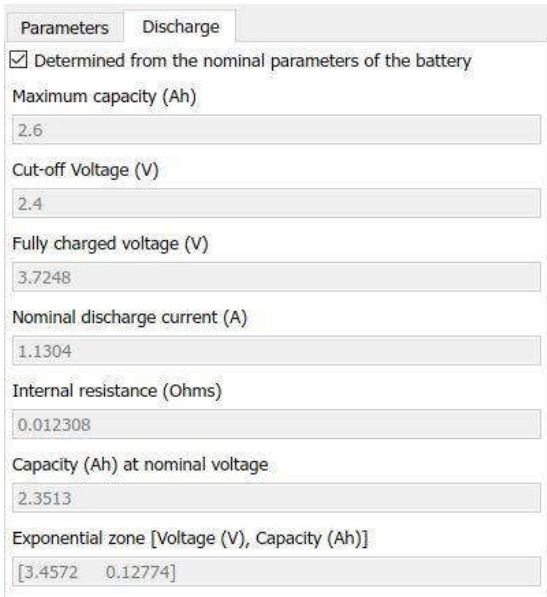
Jenis baterai yang akan digunakan adalah LiFePO₄ tipe IFR32600P300. Parameter awal yang dibutuhkan berupa nilai tegangan nominal dan nilai kapasitas baterai sesuai dengan yang tertera pada *datasheet*, yaitu tegangan nominal 3,2V dan nilai kapasitas baterai 2,6Ah. Untuk simulasi awal yang dilakukan pada Simulink Matlab adalah simulasi tanpa pengaruh suhu. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 dibawah:

Gambar 4.1 Pengaturan pengujian baterai tanpa pengaruh suhu

Pengujian simulasi tanpa pengaruh suhu ini dibedakan menjadi 2, yang pertama parameter *discharge* sesuai dengan *default* Matlab dan yang kedua parameter *discharge* dengan variabel berdasarkan *datasheet*.

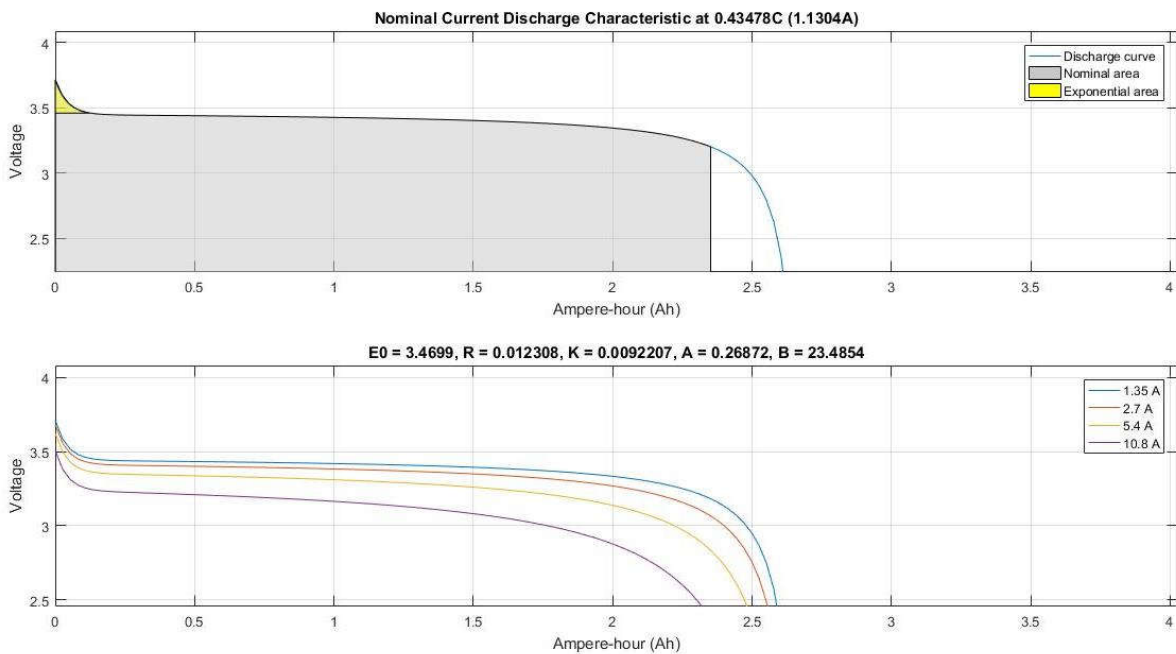
a. Data *Default* Matlab

Pada simulasi ini, inisialisasi *SOC* dan tanggapan waktu baterai disesuaikan dengan parameter nominal yang tercantum pada data *default* Matlab tanpa perlu diubah. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.2.



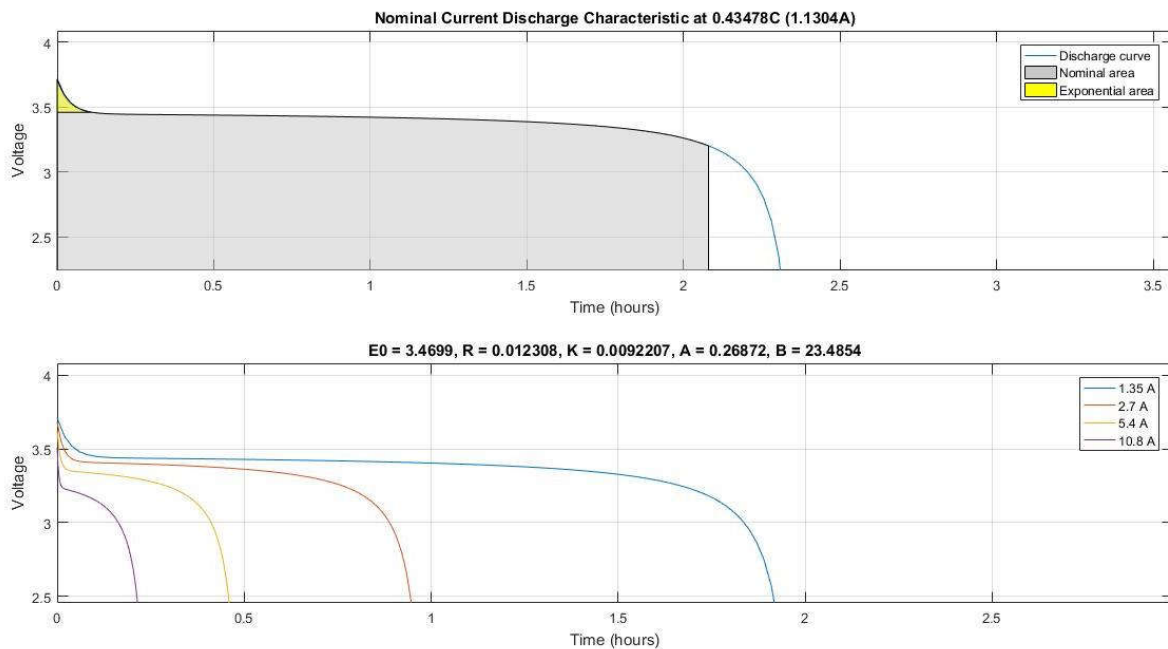
Gambar 4.2 Pengaturan parameter *discharge* data *default* matlab

Gambar 4.2 memperlihatkan nilai parameter *discharge* berupa kapasitas maksimum (Q_{max}) 2,6Ah, tegangan cut-off ($V_{cut-off}$) 2,4V, tegangan *charge* penuh (V_{full}) 3,7248V, arus *discharge* nominal (I_{nom})1,1304A, resistansi dalam (R_{dalam}) 0,012308 Ω , kapasitas pada tegangan nominal (Q pada V_{nom}) 2,3513Ah dan zona eksponensial pada tegangan (V_{exp}) 3,4572V, pada kapasitas (Q_{exp}) 0,12774Ah. Nilai parameter tersebut akan diperlihatkan dalam perbandingan grafik karakteristik arus *discharge* nominal dari tegangan terhadap kapasitas dan tegangan terhadap waktu. Grafik hasil keluaran tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4.



Gambar 4.3 Kurva *discharge* berdasarkan kapasitas pada arus *discharge* nominal (atas) spesifikasi arus *discharge* (bawah)

Gambar 4.3 memperlihatkan kurva nominal *discharge* berupa perbandingan tegangan terhadap kapasitas (*Ampere/hour*). Grafik atas menggambarkan kurva nominal *discharge* pada 1,1304A dengan daerah eksponensial digambarkan dengan warna kuning berupa V_{exp} sebagai batas bawah dan V_{full} sebagai batas atas, dengan nilai 3,4572 dan 3,7248V sedangkan Q_{exp} mulai dari 0 – 0,1277Ah. Daerah nominal digambarkan dengan warna abu-abu dengan tegangan mulai dari 0 – 3,4572 sebagai batas V_{exp} sedangkan kapasitasnya mulai dari 0 – 2,3513Ah yang merupakan Q pada V_{nom} . Serta garis biru yang merupakan kurva *discharge* dengan Q_{max} 2,6Ah dan V_{full} 3,7248V. Hal ini sesuai dengan hasil parameter nominal yang terdapat pada parameter *discharge*. Sementara grafik bawah menggambarkan beberapa kurva *discharge* sesuai dengan spesifikasi arus *discharge* yang telah ditentukan, yaitu pada 1,35A, 2,7A, 5,4A dan 10,8A. Dapat dilihat pada nilai arus 1,35A digambarkan dengan tegangan yang berada pada titik 3,6472V dan kapasitas yang berada pada titik 2,5855Ah. Sedangkan pada nilai arus 2,7A digambarkan dengan tegangan yang berada pada titik 3,6092V dan kapasitas 2,5495Ah. Sementara pada nilai arus 5,4A didapatkan kurva *discharge* dengan tegangan 3,5520V dengan kapasitas 2,4758Ah. Serta pada nilai arus yang terakhir 10,8A didapatkan kurva *discharge* dengan tegangan 3,4135V dan kapasitas 2,3062Ah. Pada spesifikasi arus *discharge* ini semakin mendekati nilai arus nominal (1,1304A) maka nilai hasil akan semakin mendekati nilai V_{full} dan Q_{max} yang telah ditetapkan.



Gambar 4.4 Kurva *discharge* berdasarkan waktu pada arus *discharge* nominal (atas) spesifikasi arus *discharge* (bawah)

Diperlihatkan pada Gambar 4.4 berupa perbandingan tegangan terhadap waktu (*Time*). Grafik atas menggambarkan nominal kurva *discharge* pada 1,1304A yang merupakan arus nominal *discharge* yang telah ditetapkan, dengan daerah eksponensial digambarkan dengan warna kuning berupa V_{exp} sebagai batas bawah dan V_{full} sebagai batas atas yaitu 3,4572V dan 3,7248V dan dengan rentang waktu mulai dari 0 – 0,113h. Sedangkan daerah nominal digambarkan dengan warna abu-abu dengan tegangan mulai dari 0 – 3,4572V sesuai dengan batas V_{exp} dan rentang waktu mulai dari 0 – 2,08h. Serta garis biru yang merupakan kurva *discharge* dengan V_{full} 3,7248V dan rentang waktu 2,3523h. Grafik bawah menggambarkan beberapa kurva *discharge* sesuai dengan spesifikasi arus *discharge* yang telah ditentukan, yaitu pada 1,35A, 2,7A, 5,4A dan 10,8A. Dapat dilihat pada nilai arus 1,35A digambarkan dengan tegangan yang berada pada titik 3,6405V dan rentang waktu yang berada pada titik 1,9139h. Sedangkan pada nilai arus 2,7A digambarkan dengan tegangan yang berada pada titik 3,5852V dan rentang waktu 0,9452h. Sementara pada nilai arus 5,4A didapatkan kurva *discharge* dengan tegangan 3,4948V dengan rentang waktu 0,4579h. Serta pada nilai arus yang terakhir 10,8A didapatkan kurva *discharge* dengan tegangan 3,2708V dan rentang waktu 0,2138h. Pada spesifikasi arus *discharge* ini semakin tinggi nilai arus yang diberikan akan berpengaruh terhadap rentang waktu yang dibutuhkan dalam proses *discharge*.

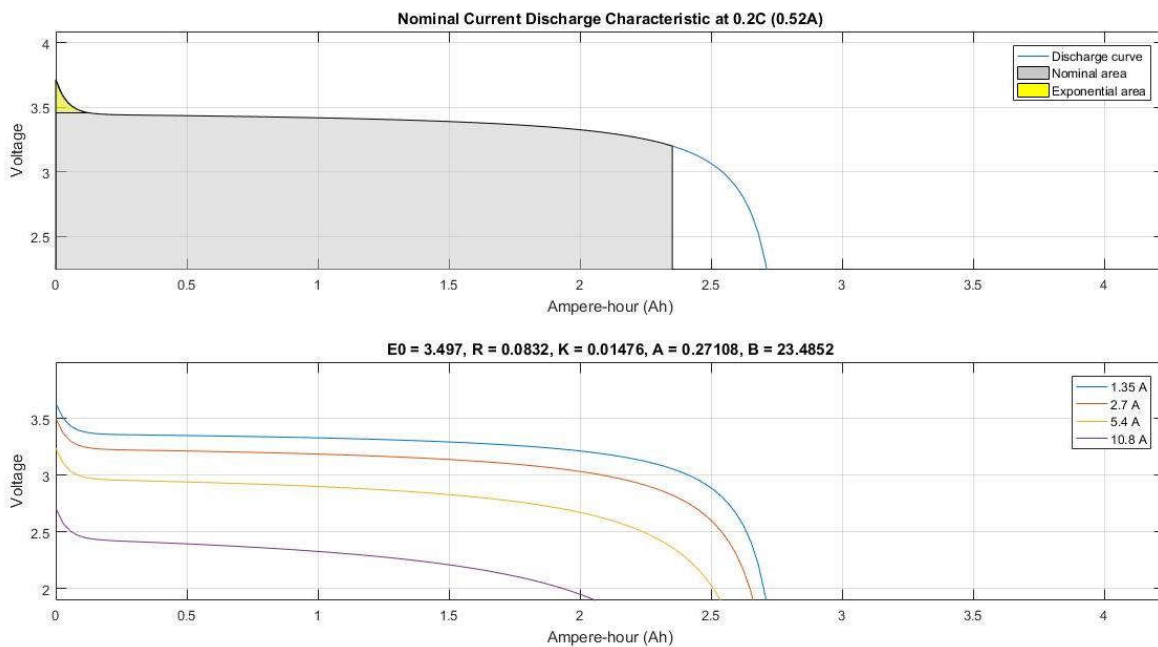
b. Variabel berdasarkan *Datasheet*

Inisialisasi *SOC* dan tanggapan waktu baterai pada simulasi ini disesuaikan dengan parameter nominal yang tercantum pada *default* Matlab dengan perubahan yang disesuaikan dengan perhitungan maupun nilai yang sudah tercantum pada *datasheet*. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.5.

Parameter	Value
Maximum capacity (Ah)	2.73
Cut-off Voltage (V)	2
Fully charged voltage (V)	3.7248
Nominal discharge current (A)	0.52
Internal resistance (Ohms)	0.0832
Capacity (Ah) at nominal voltage	2.3513
Exponential zone [Voltage (V), Capacity (Ah)]	[3.4572 0.12774]

Gambar 4.5 Pengaturan parameter *discharge* variabel berdasarkan *datasheet*

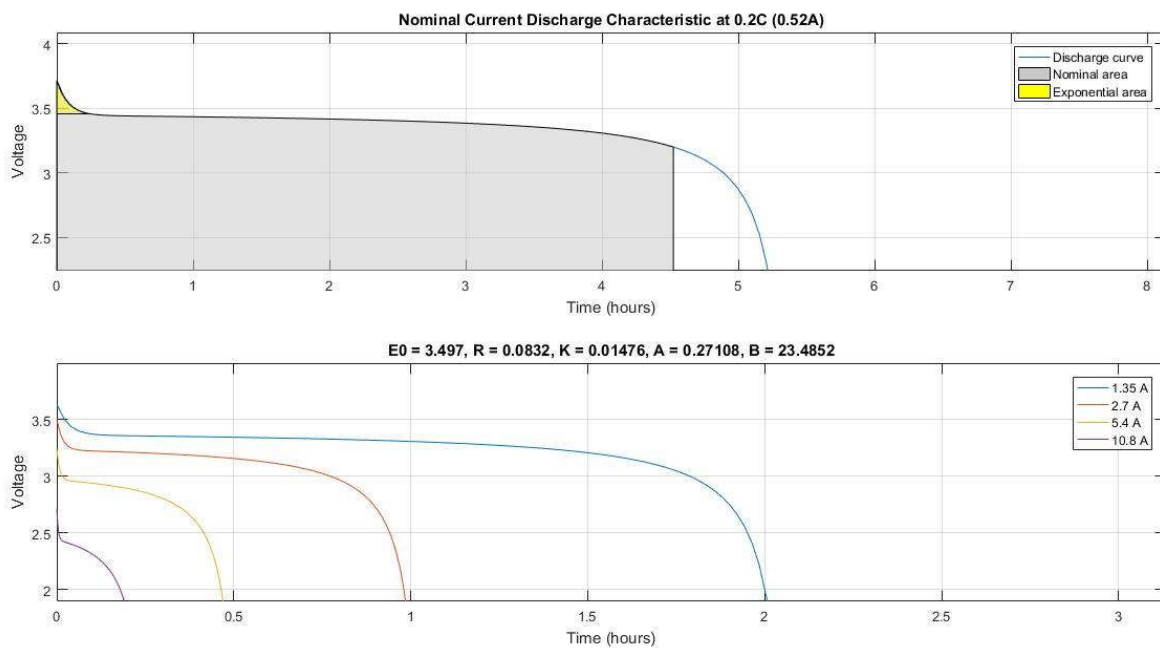
Didapatkan nilai parameter *discharge* berupa Q_{\max} 2,73Ah yang merupakan hasil perhitungan setara dengan 105% dari nilai kapasitasnya. Sementara nilai $V_{\text{cut-off}}$ didapatkan berdasarkan nilai yang tercantum pada *datasheet* yaitu 2V. Sedangkan V_{full} bernilai 3,7248V yang masih sama dengan data *default* matlab. I_{nom} didapatkan dari hasil perhitungan yang dapat dilihat pada Persamaan 2-7 (Bab 2 hal 10) yaitu 0,52A. Nilai R_{dalam} didapatkan dari hasil perhitungan yang dapat dilihat pada Persamaan 2-8 (Bab 2 hal 12) yaitu 0,0832 Ω . Serta nilai Q pada V_{nom} 2,3513Ah, V_{exp} 3,4572V dan Q_{exp} 0,12774Ah yang masih sama dengan data *default* matlab. Nilai parameter tersebut akan diperlihatkan dalam perbandingan grafik karakteristik arus nominal *discharge* dari tegangan terhadap kapasitas dan tegangan terhadap waktu. Grafik hasil keluaran tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.7.



Gambar 4.6 Kurva *discharge* variabel *datasheet* berdasarkan kapasitas pada arus *discharge* nominal (atas) spesifikasi arus *discharge* (bawah)

Gambar 4.6 memperlihatkan kurva nominal *discharge* berupa perbandingan tegangan terhadap kapasitas (*Ampere/hour*). Grafik atas menggambarkan kurva nominal *discharge* pada 0,52A dengan daerah eksponensial digambarkan dengan warna kuning berupa V_{exp} sebagai batas bawah dan V_{full} sebagai batas atas, dengan nilai 3,4572V dan 3,7248V sedangkan Q_{exp} mulai dari 0 – 0,1277Ah. Daerah nominal digambarkan dengan warna abu-abu dengan tegangan mulai dari 0 – 3,4572 sebagai batas V_{exp} sedangkan kapasitasnya mulai dari 0 – 2,3513Ah yang merupakan Q pada V_{nom} . Serta garis biru yang merupakan kurva *discharge* dengan Q_{\max} 2,6Ah dan V_{full} 3,7248V. Hal ini sesuai dengan hasil parameter nominal yang terdapat pada parameter *discharge*. Sementara grafik bawah menggambarkan beberapa kurva

discharge sesuai dengan spesifikasi arus *discharge* yang telah ditentukan, yaitu pada 1,35A, 2,7A, 5,4A dan 10,8A. Dapat dilihat pada nilai arus 1,35A digambarkan dengan tegangan yang berada pada titik 3,5205V dan kapasitas yang berada pada titik 2,7065Ah. Sedangkan pada nilai arus 2,7A digambarkan dengan tegangan yang berada pada titik 3,4485V dan kapasitas 2,6529Ah. Sementara pada nilai arus 5,4A didapatkan kurva *discharge* dengan tegangan 3,1619V dengan kapasitas 2,5216Ah. Serta pada nilai arus yang terakhir 10,8A didapatkan kurva *discharge* dengan tegangan 2,6456V dan kapasitas 2,0139Ah. Pada spesifikasi arus *discharge* ini semakin mendekati nilai arus nominal (0,52A) maka nilai hasil akan semakin mendekati nilai V_{full} dan Q_{max} yang telah ditetapkan.



Gambar 4.7 Kurva *discharge* variabel *datasheet* berdasarkan waktu pada arus *discharge* nominal (atas) spesifikasi arus *discharge* (bawah)

Diperlihatkan pada Gambar 4.7 berupa perbandingan tegangan terhadap waktu (*Time*). Grafik atas menggambarkan nominal kurva *discharge* pada 0,52A yang merupakan arus nominal *discharge* yang telah ditetapkan, dengan daerah eksponensial digambarkan dengan warna kuning berupa V_{exp} sebagai batas bawah dan V_{full} sebagai batas atas yaitu 3,4572V dan 3,7248V dan dengan rentang waktu mulai dari 0 – 0,113h. Sedangkan daerah nominal digambarkan dengan warna abu-abu dengan tegangan mulai dari 0 – 3,4572V sesuai dengan batas V_{exp} dan rentang waktu mulai dari 0 – 2,08h. Serta garis biru yang merupakan kurva *discharge* dengan V_{full} 3,7248V dan rentang waktu 2,3523h. Grafik bawah menggambarkan beberapa kurva *discharge* sesuai dengan spesifikasi arus *discharge* yang telah ditentukan, yaitu pada 1,35A, 2,7A, 5,4A dan 10,8A. Dapat dilihat pada nilai arus 1,35A digambarkan dengan

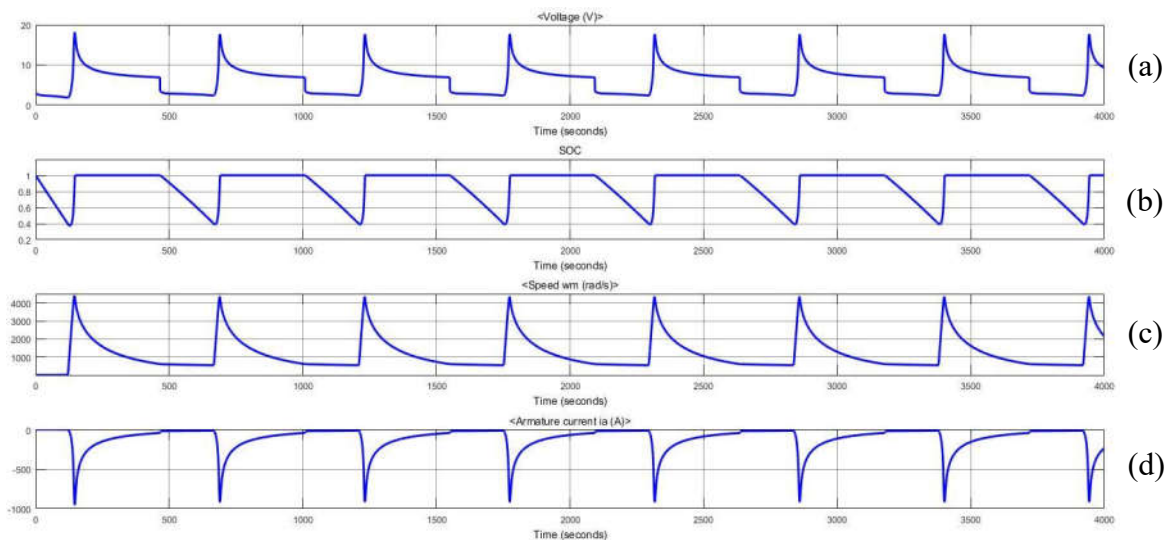
tegangan yang berada pada titik 3,5392V dan rentang waktu yang berada pada titik 2,0020h. Sedangkan pada nilai arus 2,7A digambarkan dengan tegangan yang berada pada titik 3,3575V dan rentang waktu 0,9832h. Sementara pada nilai arus 5,4A didapatkan kurva *discharge* dengan tegangan 3,1144V dengan rentang waktu 0,4673h. Serta pada nilai arus yang terakhir 10,8A didapatkan kurva *discharge* dengan tegangan 2,4826V dan rentang waktu 0,1853h. Pada spesifikasi arus *discharge* ini semakin tinggi nilai arus yang diberikan akan berpengaruh terhadap rentang waktu yang dibutuhkan dalam proses *discharge*.

4.1.1.1 Pengujian Sistem Simulasi Baterai

Hal pertama yang dilakukan adalah mengatur *setting* yang ada pada keseluruhan rangkaian lalu jalankan simulasi, maka *scope* akan menampilkan grafik keluaran. Variabel yang akan diamati pada pengujian ini adalah variasi tegangan baterai dan variasi arus.

a. Variasi Tegangan

Variasi tegangan yang diamati disesuaikan dengan data yang tercantum pada *datasheet*. Mulai dari 3,2V, 3,3V, 3,4V, 3,5V dan 3,65V dengan arus 43,2A untuk memudahkan dalam pengamatan grafik hasil seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.8 sementara hasil persentase nilai keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 4.9.

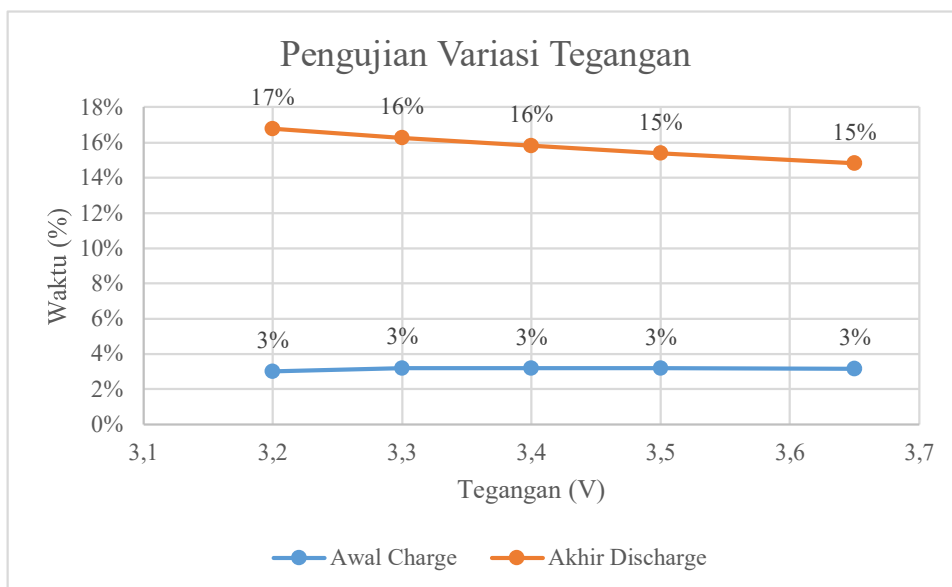


Gambar 4.8 Grafik variasi tegangan 3,2V pada (a) kurva tegangan (b) kurva *SOC* (c) kurva kecepatan beban (d) kurva arus beban

Gambar 4.8 memperlihatkan jika kurva tegangan yang dihasilkan bermula pada nilai 2,6V dan melakukan siklus *charge* hingga mencapai nilai 18,15V, selanjutnya proses *discharge* terjadi dan tegangan akan turun menjadi 7V untuk kemudian turun secara perlahan kembali ke nilai awal 2,6V. Sedangkan pada saat proses *charge* terjadi maka kurva *SOC* dalam keadaan turun dari nilai awal 1 yang menunjukkan 100% akibat digunakan dan menuju nilai 0,375 dan

pada saat proses *discharge* terjadi maka kurva *SOC* akan berada pada nilai 100%. Hal ini disesuaikan dengan kondisi baterai sendiri yang jika berada dibawah 40% akan menunjukkan kondisi perlu adanya pengisian daya. Begitupula dengan kurva kecepatan beban yang berbanding terbalik dengan kurva arus beban yang dihasilkan. Saat proses *charge* terjadi maka kurva kecepatan beban akan naik dari nilai semula 8,5 rad/s menjadi 4416 rad/s dan pada saat proses *discharge* terjadi maka kurva kecepatan beban akan turun kembali ke nilai semula. Sementara pada kurva arus beban saat proses *charge* terjadi akan turun dari nilai semula 4A menjadi -954A dan pada saat proses *discharge* terjadi akan perlahan kembali menuju nilai semula.

Secara keseluruhan, nilai tegangan yang diuji menunjukkan jika semakin besar tegangan yang diberikan maka nilai awal tegangan akan terus meningkat secara perlahan baik tegangan awal maupun tegangan maksimalnya, pada nilai tegangan 3,2V bermula pada nilai 2,6V dan V_{max} 18,15V sedangkan pada tegangan uji konstan 3,65V bermula pada nilai 3V dan V_{max} 18,86V. Nilai *SOC* akan tetap ketika proses *charge* akan bernilai 0,375 dan ketika proses *discharge* bernilai 1. Sementara pada kecepatan beban dan arus beban juga terjadi perubahan nilai secara perlahan. Gambar kurva variasi tegangan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran.



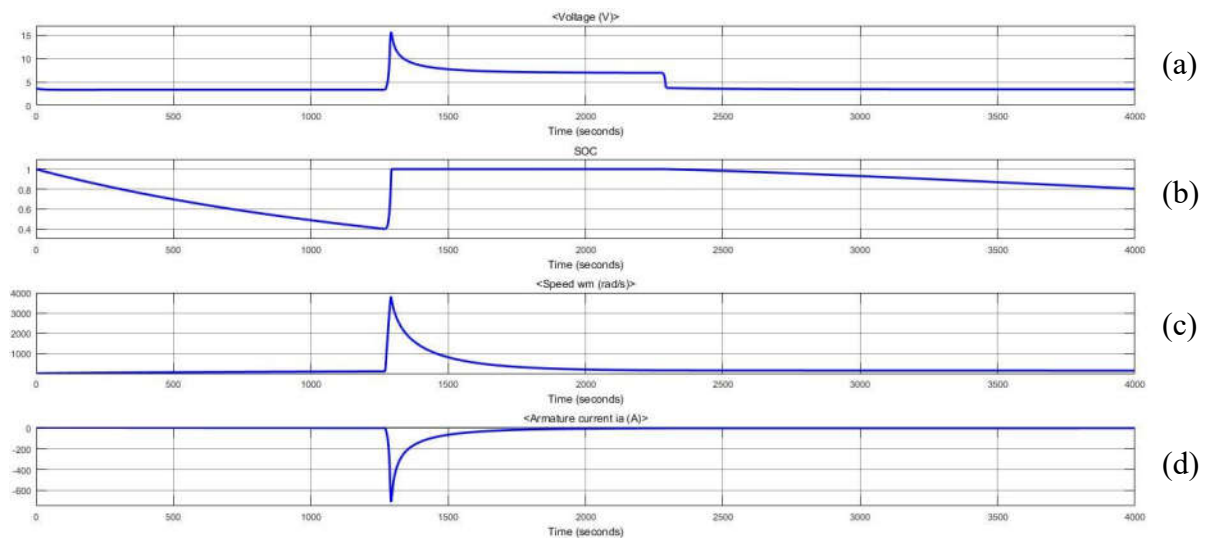
Gambar 4.9 Pengujian keseluruhan variasi tegangan

Pengujian variasi tegangan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.9, memperlihatkan jika seiring pertambahan tegangan yang diberikan akan berpengaruh pada rentang waktu siklus *charge* dan *discharge* yang dihasilkan. Semakin tinggi tegangan maka rentang waktu awal siklus *charge* yang terjadi cenderung sama dengan rata-rata nilai 3%. Sedangkan pada akhir

siklus *discharge* mengalami penurunan dengan rata-rata nilai 16% dan menjadikan proses tersebut terjadi lebih cepat.

b. Variasi Arus

Variasi arus yang diamati disesuaikan dengan data yang tercantum pada *datasheet* dan pemilihan nilai arus di luar *datasheet* bertujuan untuk mengetahui efek yang diperoleh apabila arus yang digunakan lebih dari arus maksimumnya. Menggunakan tegangan nominal 3,2V seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.10 sampai dengan 4.12 sementara hasil persentase nilai keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 4.13.

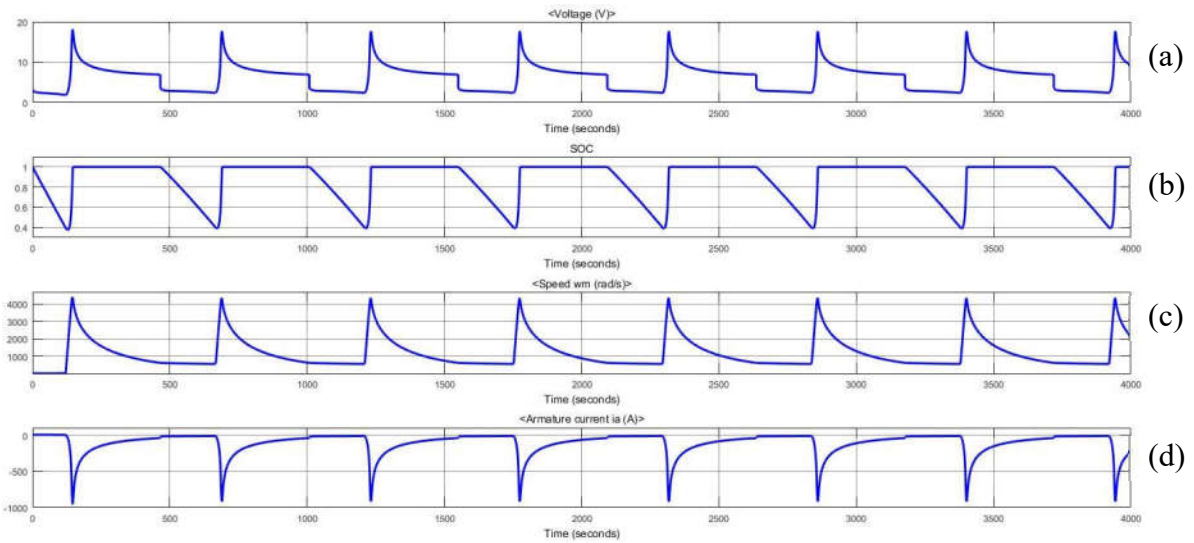


Gambar 4.10 Grafik variasi arus 1,35A pada (a) kurva tegangan (b) kurva *SOC* (c) kurva kecepatan beban (d) kurva arus beban

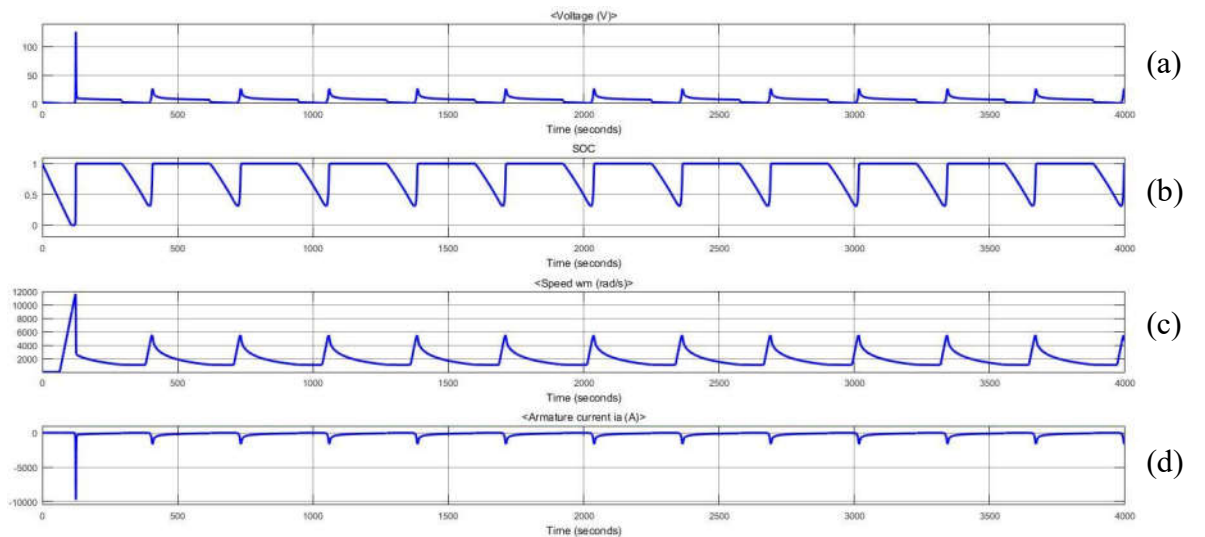
Gambar 4.10 memperlihatkan jika hanya terdapat satu siklus saja dimana pada saat proses *charge* terjadi maka kurva tegangan akan berada pada kondisi datar untuk kemudian naik secara perlahan. Sementara pada kurva *SOC* akan mengalami penurunan dari 100% menuju ke 38% untuk kemudian naik kembali begitupun dengan kurva kecepatan beban maupun kurva arus beban keduanya akan berada kondisi yang sama hampir mendekati nilai 0 untuk kemudian kurva kecepatan beban akan naik sementara kurva arus beban akan turun sehingga berbanding terbalik.

Gambar 4.11 memperlihatkan jika terdapat lebih dari satu siklus yang terjadi. Saat proses *charge* terjadi maka kurva tegangan yang dihasilkan bermula pada nilai 2,55V dan melakukan siklus *charge-discharge* hingga mencapai nilai 18,15V. Saat proses *charge* terjadi maka kurva *SOC* dalam keadaan turun dari nilai awal 1 yang menunjukkan 100% akibat digunakan dan menuju nilai 38% dan pada saat proses *discharge* terjadi maka kurva *SOC* akan berada pada nilai 100%. Hal ini disesuaikan dengan kondisi baterai sendiri yang jika berada dibawah 40%

akan menunjukkan kondisi perlu adanya pengisian daya. Begitupula dengan kurva kecepatan beban yang berbanding terbalik dengan kurva arus beban yang dihasilkan. Saat proses *charge* terjadi maka kurva kecepatan beban akan naik dari nilai semula 2 rad/s menjadi 4416 rad/s dan pada saat proses *discharge* terjadi maka kurva kecepatan beban akan turun kembali ke nilai semula. Sementara pada kurva arus beban saat proses *charge* terjadi akan turun dari nilai semula 4,32A menjadi -954A dan pada saat proses *discharge* terjadi akan perlahan kembali menuju nilai semula.



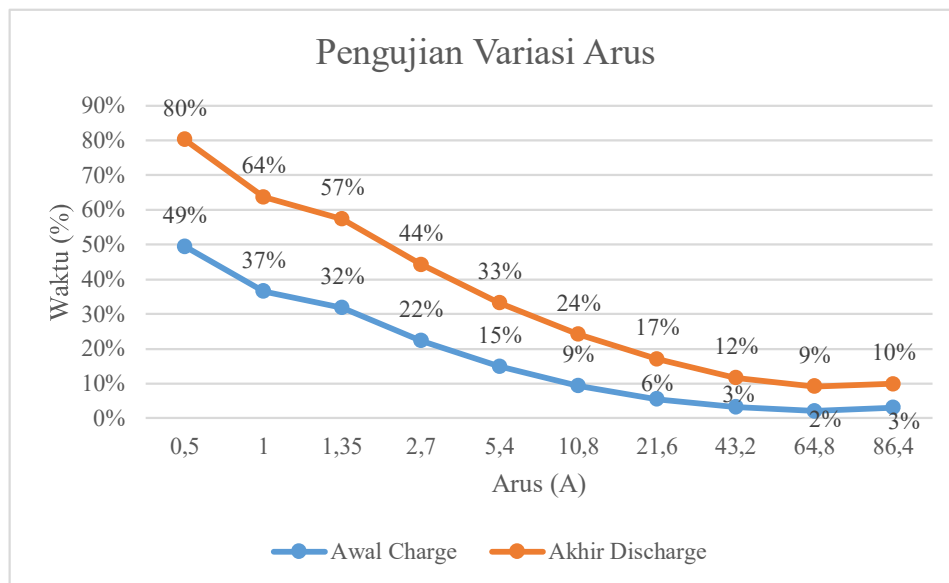
Gambar 4.11 Grafik variasi arus 43,2A pada (a) kurva tegangan (b) kurva SOC (c) kurva kecepatan beban (d) kurva arus beban



Gambar 4.12 Grafik variasi arus 86,4A pada (a) kurva tegangan (b) kurva SOC (c) kurva kecepatan beban (d) kurva arus beban

Gambar 4.12 memperlihatkan jika terdapat lebih dari satu siklus yang terjadi dan terdapat perbedaan kurva pada siklus *charge-discharge*, hal ini terjadi akibat arus yang diberikan lebih

dari batas arus standar *charge-discharge* yang diperbolehkan dan menyebabkan terjadi lonjakan di awal siklus. Saat proses *charge* terjadi maka kurva tegangan yang dihasilkan bermula pada nilai 1,776V dan melakukan siklus *charge-discharge* hingga mencapai nilai 125,76V pada siklus pertama dan 26,2V pada siklus yang kedua. Saat proses *charge* terjadi pada kurva *SOC*, nilai awal 100% akan menuju nilai 0% pada siklus pertama dan menjadi 38% pada siklus kedua, saat proses *discharge* terjadi kurva *SOC* akan kembali berada pada nilai 100%. Begitupula dengan kurva kecepatan beban yang berbanding terbalik dengan kurva arus beban. Saat proses *charge* terjadi maka kurva kecepatan beban akan naik dari nilai semula 1,3 rad/s menjadi 11600 rad/s di siklus pertama dan 5480 rad/s di siklus kedua, saat proses *discharge* terjadi maka kurva kecepatan beban akan turun kembali ke nilai semula. Sementara pada kurva arus beban saat proses *charge* terjadi akan turun dari nilai semula 3,4A menjadi -9740A pada siklus pertama dan -1662,8A pada siklus kedua, saat proses *discharge* terjadi akan perlahan kembali menuju nilai semula. Gambar kurva variasi arus selengkapnya dapat dilihat pada lampiran.

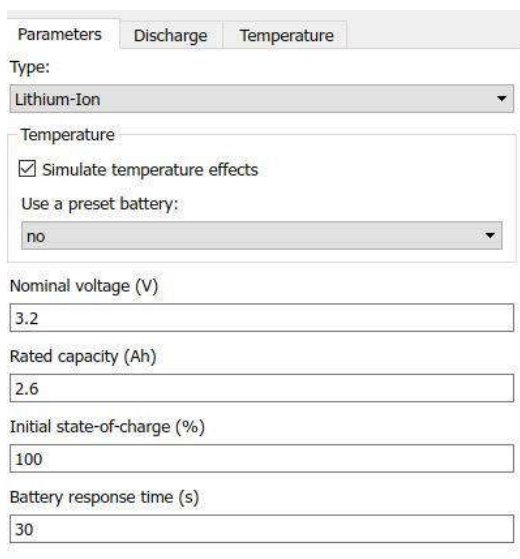


Gambar 4.13 Pengujian keseluruhan variasi arus

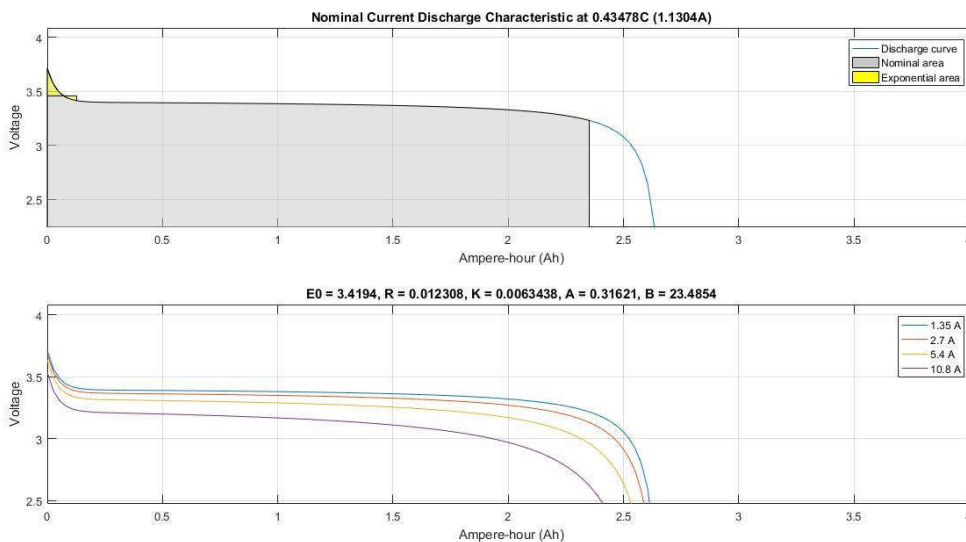
Pengujian variasi arus seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.13, memperlihatkan jika seiring pertambahan arus yang diberikan akan berpengaruh pada rentang waktu siklus *charge* dan *discharge* yang dihasilkan. Semakin tinggi arus maka rentang waktu awal siklus *charge* yang terjadi akan semakin cepat dengan rata-rata nilai 18%, sedangkan pada siklus *discharge* juga terjadi lebih cepat dengan rata-rata nilai 35%. Pengujian ini juga mendapatkan hasil jika pertambahan arus yang melebihi standar *charge-discharge* yang terdapat pada *datasheet* menyebabkan adanya gangguan pada grafik kurva yang dihasilkan.

4.1.2 Pengujian Simulasi Baterai Dengan Pengaruh Suhu

Parameter awal yang akan digunakan pada pengujian simulasi ini sama dengan pengujian sebelumnya yaitu tegangan nominal 3,2V dan kapasitas baterai 2,6Ah. Nilai parameter *discharge* yang digunakan berasal dari *default* matlab yaitu Q_{max} 2,6Ah, $V_{cut-off}$ 2,4V, V_{full} 3,7248V, I_{nom} 1,1304A, R_{dalam} 0,012308 Ω , Q pada V_{nom} 2,3513Ah, V_{exp} 3,4572V, dan Q_{exp} 0,12774Ah. Perbedaannya terdapat pada *Simulate Temperature Effect* yang akan dicentang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.14 sehingga muncul kolom tab baru berupa *Temperature*. Grafik hasil keluaran nilai parameter *discharge* akan diperlihatkan dalam perbandingan grafik karakteristik arus *discharge* nominal dari tegangan terhadap kapasitas dan tegangan terhadap waktu yang ditunjukkan pada Gambar 4.15 dan Gambar 4.16.



Gambar 4.14 Pengaturan pengujian baterai dengan pengaruh suhu

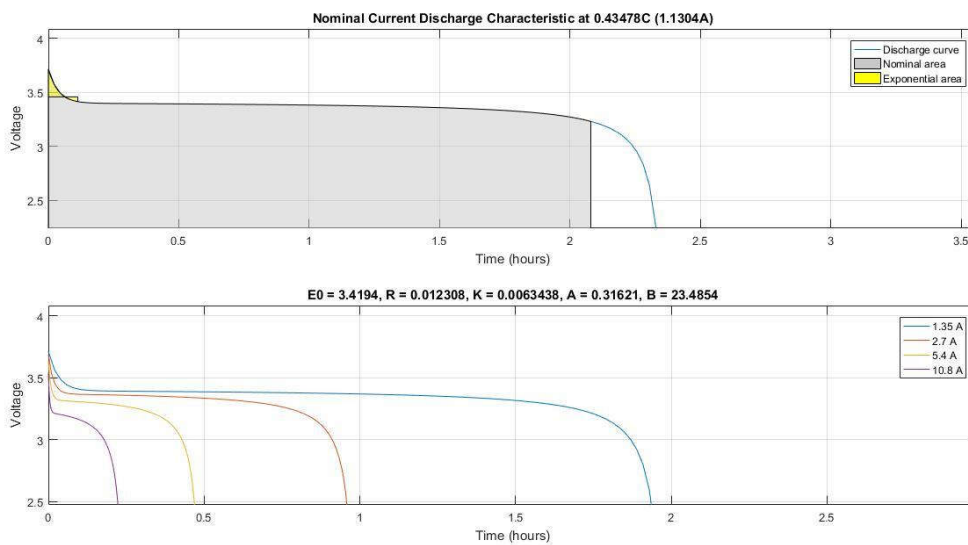


Gambar 4.15 Kurva *discharge* berdasarkan kapasitas dengan pengaruh suhu pada arus *discharge* nominal (atas) spesifikasi arus *discharge* (bawah)

Gambar 4.15 memperlihatkan kurva nominal *discharge* berupa perbandingan tegangan terhadap kapasitas (*Ampere/hour*). Grafik atas menggambarkan kurva nominal *discharge* pada 1,1304A dengan daerah eksponensial digambarkan dengan warna kuning, pada pengujian dengan pengaruh suhu ini daerah eksponensial terdapat lipatan ke atas yang menyebabkan daerah eksponensial terbagi menjadi dua. Nilai V_{exp} pada daerah sebelah kiri masih sama dengan hasil uji tanpa pengaruh suhu yaitu 3,4572V dan V_{full} 3,7248V sementara daerah sebelah kanan V_{exp} juga bernilai 3,4572V dan 3,4128V sebagai batas bawah, sedangkan Q_{exp} pada daerah sebelah kiri mulai dari 0 – 0,0711Ah dan pada daerah sebelah kanan mulai dari 0,0711 – 0,1277Ah. Daerah nominal digambarkan dengan warna abu-abu dengan tegangan mulai dari 0 – 3,4572 sebagai batas V_{exp} sedangkan kapasitasnya mulai dari 0 – 2,3513Ah yang merupakan Q pada V_{nom} . Serta garis biru yang merupakan kurva *discharge* dengan Q_{max} 2,6Ah dan V_{full} 3,7248V. Hal ini sesuai dengan hasil parameter nominal yang terdapat pada parameter *discharge*. Sementara grafik bawah menggambarkan beberapa kurva *discharge* sesuai dengan spesifikasi arus *discharge* yang telah ditentukan, yaitu pada 1,35A, 2,7A, 5,4A dan 10,8A. Dapat dilihat pada nilai arus 1,35A digambarkan dengan tegangan yang berada pada titik 3,6472V dan kapasitas yang berada pada titik 2,5855Ah. Sedangkan pada nilai arus 2,7A digambarkan dengan tegangan yang berada pada titik 3,6092V dan kapasitas 2,5495Ah. Sementara pada nilai arus 5,4A didapatkan kurva *discharge* dengan tegangan 3,5520V dengan kapasitas 2,4758Ah. Serta pada nilai arus yang terakhir 10,8A didapatkan kurva *discharge* dengan tegangan 3,4135V dan kapasitas 2,3062Ah. Pada spesifikasi arus *discharge* ini semakin mendekati nilai arus nominal (1,1304A) maka nilai hasil akan semakin mendekati nilai V_{full} dan Q_{max} yang telah ditetapkan.

Diperlihatkan pada Gambar 4.16 berupa perbandingan tegangan terhadap waktu (*Time*). Grafik atas menggambarkan nominal kurva *discharge* pada 1,1304A yang merupakan arus nominal *discharge* yang telah ditetapkan, dengan daerah eksponensial digambarkan dengan warna kuning, pada pengujian dengan pengaruh suhu ini daerah eksponensial terdapat lipatan ke atas yang menyebabkan daerah eksponensial terbagi menjadi dua. Nilai V_{exp} pada daerah sebelah kiri masih sama dengan hasil uji tanpa pengaruh suhu yaitu 3,4572V dan V_{full} 3,7248V, sementara daerah sebelah kanan V_{exp} juga bernilai 3,4572V dan 3,4128V sebagai batas bawah, dan dengan rentang waktu mulai dari 0 – 0,0629h dan pada daerah sebelah kanan mulai dari 0,0629 – 0,113h. Sedangkan daerah nominal digambarkan dengan warna abu-abu dengan tegangan mulai dari 0 – 3,4572V sesuai dengan batas V_{exp} dan rentang waktu mulai dari 0 – 2,08h. Serta garis biru yang merupakan kurva *discharge* dengan V_{full} 3,7248V dan rentang waktu 2,3523h. Grafik bawah menggambarkan beberapa kurva *discharge* sesuai dengan

spesifikasi arus *discharge* yang telah ditentukan, yaitu pada 1,35A, 2,7A, 5,4A dan 10,8A. Dapat dilihat pada nilai arus 1,35A digambarkan dengan tegangan yang berada pada titik 3,6405V dan rentang waktu yang berada pada titik 1,9139h. Sedangkan pada nilai arus 2,7A digambarkan dengan tegangan yang berada pada titik 3,5852V dan rentang waktu 0,9452h. Sementara pada nilai arus 5,4A didapatkan kurva *discharge* dengan tegangan 3,4948V dengan rentang waktu 0,4579h. Serta pada nilai arus yang terakhir 10,8A didapatkan kurva *discharge* dengan tegangan 3,2708V dan rentang waktu 0,2138h. Pada spesifikasi arus *discharge* ini semakin tinggi nilai arus yang diberikan akan berpengaruh terhadap rentang waktu yang dibutuhkan dalam proses *discharge*.



Gambar 4.16 Kurva *discharge* berdasarkan waktu dengan pengaruh suhu pada arus *discharge* nominal (atas) spesifikasi arus *discharge* (bawah)

4.1.2.1 Pengujian Sistem Simulasi Baterai

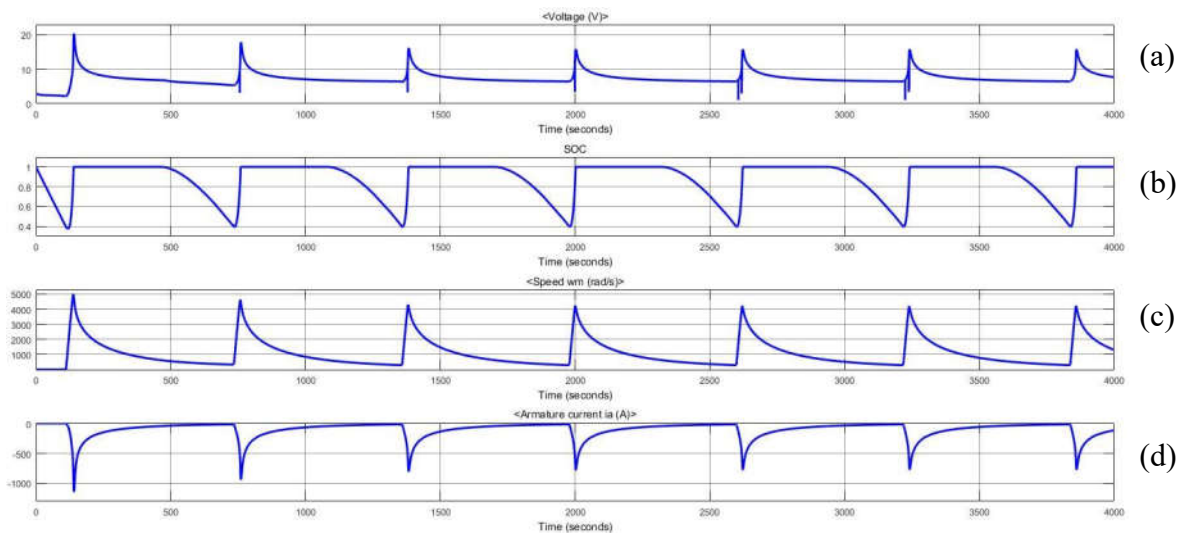
Variabel yang akan diamati pada pengujian ini adalah variasi suhu dalam (T_d) dan suhu luar (T_a) baterai dengan parameter tegangan nominal 3,2V dan arus 43,2A.

a. Variasi Suhu Dalam (T_d)

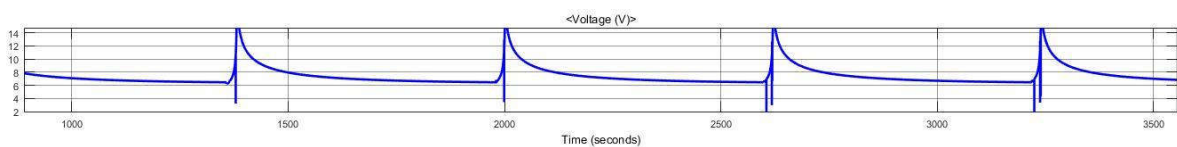
Variasi T_d yang diamati disesuaikan dengan data yang tercantum pada *datasheet* . Mulai dari -10°C, 10°C, 25°C, 30°C, 40°C dan 50°C seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.17, sementara hasil persentase nilai keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 4.19 dan Gambar 4.20.

Gambar 4.17 tersebut memperlihatkan jika keseluruhan kurva yang dihasilkan memiliki puncak maksimal *charge* yang berbeda pada siklus pertama dengan siklus kedua dan siklus-siklus selanjutnya. Kurva tegangan yang dihasilkan bermula pada nilai 2,66V dan melakukan siklus *charge-discharge* hingga mencapai nilai 20,4V. Kurva tegangan pada suhu T_d 30°C ini memiliki sedikit gangguan berupa peningkatan kurva dalam ukuran kecil pada proses siklus

charge yang terjadi di siklus kedua dengan rentang waktu 756,1s hingga siklus keenam dengan rentang waktu 3224,5s seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.18. Saat proses *charge* terjadi kurva *SOC* dalam keadaan turun dari nilai awal 100% menuju nilai 38% dan pada saat proses *discharge* terjadi maka kurva *SOC* akan kembali berada pada nilai 100%. Sementara kurva kecepatan beban berbanding terbalik dengan kurva arus beban yang dihasilkan. Saat proses *charge* terjadi maka kurva kecepatan beban akan naik dari nilai awal 1,5 rad/s menjadi 5011,4 rad/s untuk puncak siklus pertama dan 4630 rad/s untuk puncak siklus kedua dan seterusnya, saat proses *discharge* terjadi maka kurva kecepatan beban akan turun secara perlahan kembali menuju nilai awal. Demikian pula yang terjadi pada kurva arus beban, kurva arus beban akan turun perlahan dari nilai awal 4,45A menjadi -1142A untuk puncak siklus pertama dan -940A untuk puncak siklus kedua dan seterusnya. Gambar kurva variasi suhu T_d selengkapnya dapat dilihat pada lampiran



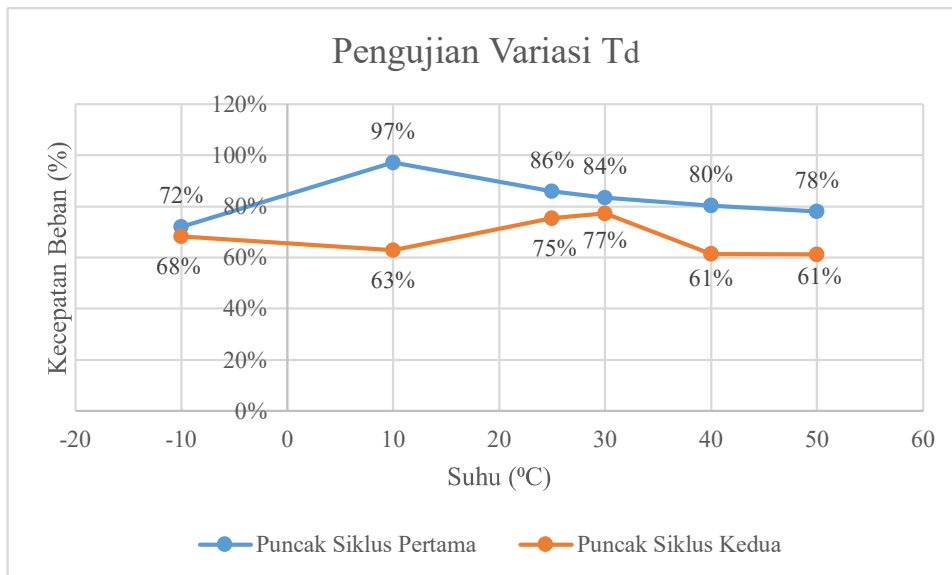
Gambar 4.17 Grafik variasi T_d 30°C pada (a) kurva tegangan (b) kurva *SOC* (c) kurva kecepatan beban (d) kurva arus beban



Gambar 4.18 Gangguan pada T_d 30°C

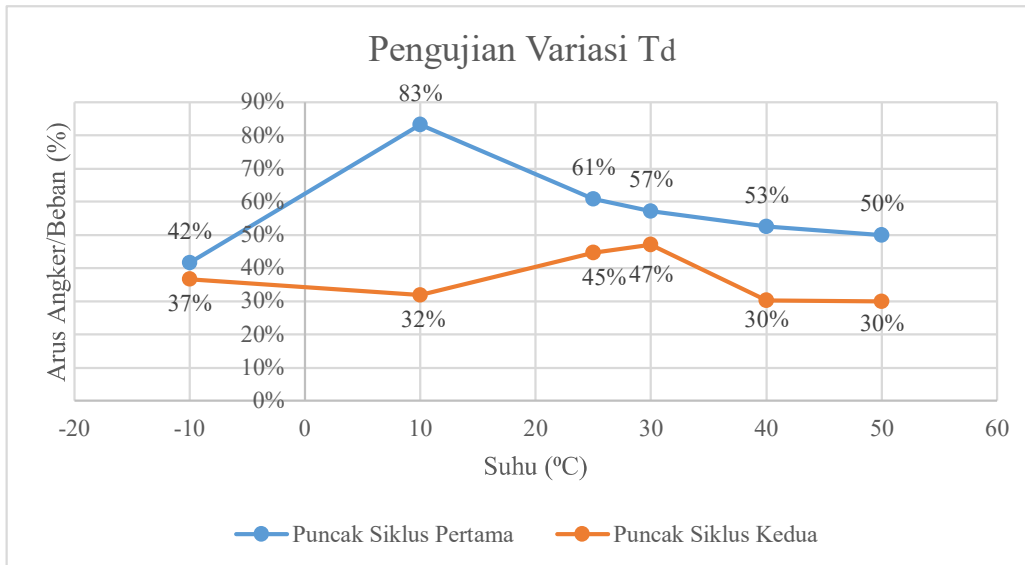
Pengujian variasi suhu T_d seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.19, memperlihatkan jika seiring pertambahan suhu yang diberikan akan berpengaruh pada kurva kecepatan beban. Semakin tinggi suhu T_d maka grafik kurva kecepatan beban pada siklus pertama akan cenderung meningkat dengan rata-rata nilai 83%, sementara pada kurva siklus kedua mengalami penurunan dengan rata-rata nilai 68%.

Semakin tinggi suhu T_d maka grafik kurva kecepatan beban motor pada siklus pertama akan mengalami dua proses, pada suhu -10°C menuju suhu 10°C akan mengalami peningkatan, sedangkan pada suhu 10°C menuju suhu 50°C mengalami penurunan. Sementara pada kurva siklus kedua mengalami tiga proses, pada suhu -10°C menuju suhu 10°C akan mengalami penurunan, pada suhu 25°C menuju suhu 30°C mengalami peningkatan dikarenakan adanya gangguan, dan pada suhu 40°C menuju suhu 50°C akan mengalami penurunan. Sedangkan semakin tinggi suhu T_d maka grafik kurva arus angker pada siklus pertama akan mengalami dua proses, pada suhu -10°C menuju suhu 10°C akan mengalami peningkatan, sedangkan pada suhu 10°C menuju suhu 50°C mengalami penurunan. Sementara pada kurva siklus kedua mengalami tiga proses, pada suhu -10°C menuju suhu 10°C akan mengalami penurunan, pada suhu 25°C menuju suhu 30°C mengalami peningkatan dikarenakan adanya gangguan dan pada suhu 40°C menuju suhu 50°C akan mengalami penurunan.



Gambar 4.19 Pengujian variasi T_d terhadap kecepatan beban

Variasi suhu T_d juga berpengaruh terhadap grafik arus beban seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.20, memperlihatkan jika seiring pertambahan suhu T_d yang diberikan akan berpengaruh pada kurva arus beban. Semakin tinggi suhu T_d maka grafik kurva arus beban pada siklus pertama akan cenderung mengalami peningkatan dengan rata-rata nilai 58%, sementara pada kurva siklus kedua juga mengalami penurunan dengan rata-rata nilai 37%.

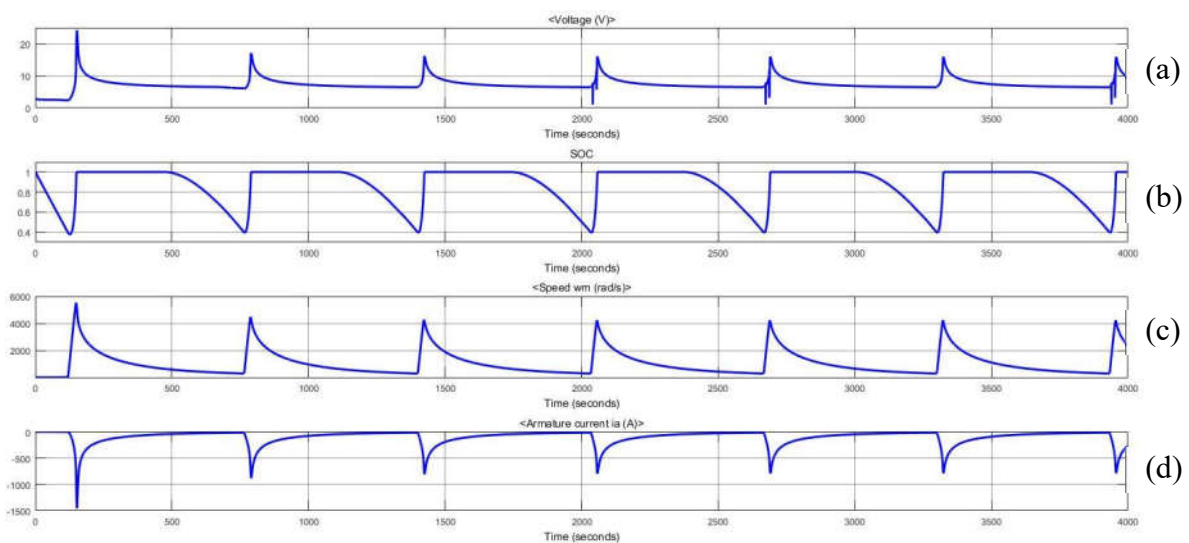


Gambar 4.20 Pengujian variasi T_d terhadap arus angker/beban

Pengujian ini juga mendapatkan hasil jika suhu T_d standar yang telah ditetapkan pada *default* matlab tidak bisa menjadi acuan sebagai suhu T_d yang bebas dari gangguan, seperti yang terjadi pada kurva suhu T_d 25 $^{\circ}\text{C}$ dan 30 $^{\circ}\text{C}$. Meskipun gangguan yang terdapat pada suhu T_d 25 $^{\circ}\text{C}$ lebih sedikit bila dibandingkan dengan suhu 30 $^{\circ}\text{C}$.

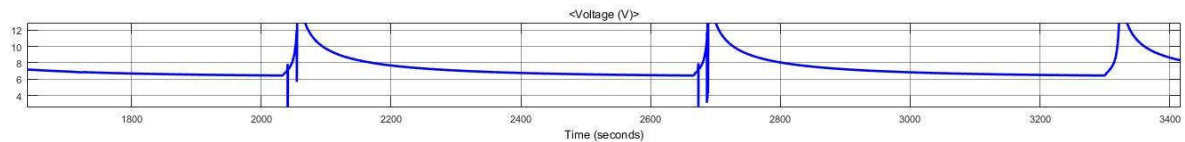
c. Variasi Suhu Luar (T_a)

Variasi T_a yang diamati disesuaikan dengan suhu lingkungan yang biasa digunakan pada pengoperasian baterai. Mulai dari 15 $^{\circ}\text{C}$, 25 $^{\circ}\text{C}$, 35 $^{\circ}\text{C}$, 45 $^{\circ}\text{C}$, 55 $^{\circ}\text{C}$, dan 65 $^{\circ}\text{C}$ dengan T_d *default* Simulink Matlab 25 $^{\circ}\text{C}$ seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.21 dan 4.23, sementara hasil persentase nilai keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 4.25 dan Gambar 4.26.

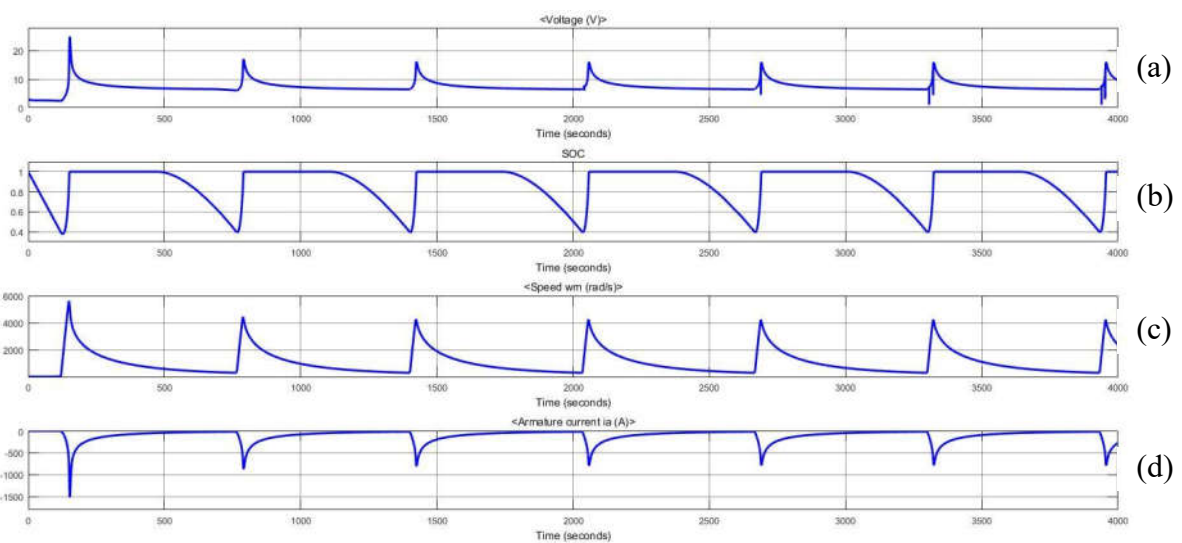


Gambar 4.21 Grafik variasi T_a 45 $^{\circ}\text{C}$ pada (a) kurva tegangan (b) kurva SOC (c) kurva kecepatan beban (d) kurva arus beban

Gambar 4.21 memperlihatkan jika keseluruhan kurva yang dihasilkan memiliki puncak maksimal *charge* yang berbeda pada siklus pertama dengan siklus kedua dan siklus-siklus selanjutnya. Kurva tegangan yang dihasilkan bermula pada nilai 2,8V dan melakukan siklus *charge-discharge* hingga mencapai nilai 24,2V. Kurva tegangan pada suhu T_a 45°C ini memiliki sedikit gangguan berupa peningkatan kurva dalam ukuran kecil pada proses siklus *charge* yang terjadi di siklus keempat dengan rentang waktu 2040,5s, siklus kelima dengan rentang waktu 2673,5s dan siklus ketujuh dengan rentang waktu 3939,75s seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.22. Saat proses *charge* terjadi kurva SOC dalam keadaan turun dari nilai awal 100% menuju nilai 38% dan pada saat proses *discharge* terjadi maka kurva SOC akan kembali berada pada nilai 100%. Sementara kurva kecepatan beban berbanding terbalik dengan kurva arus beban yang dihasilkan. Saat proses *charge* terjadi maka kurva kecepatan beban akan naik dari nilai awal 1,57 rad/s menjadi 5530 rad/s untuk puncak siklus pertama dan 4480 rad/s untuk puncak siklus kedua dan seterusnya, saat proses *discharge* terjadi maka kurva kecepatan beban akan turun secara perlahan kembali menuju nilai awal. Demikian juga yang terjadi pada kurva arus beban, kurva arus beban akan turun perlahan dari nilai awal 4,43A menjadi -1453,5A untuk puncak siklus pertama dan -880A untuk puncak siklus kedua dan seterusnya.

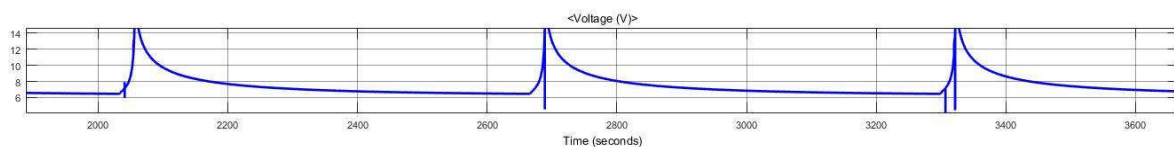


Gambar 4.22 Gangguan pada T_a 45°C

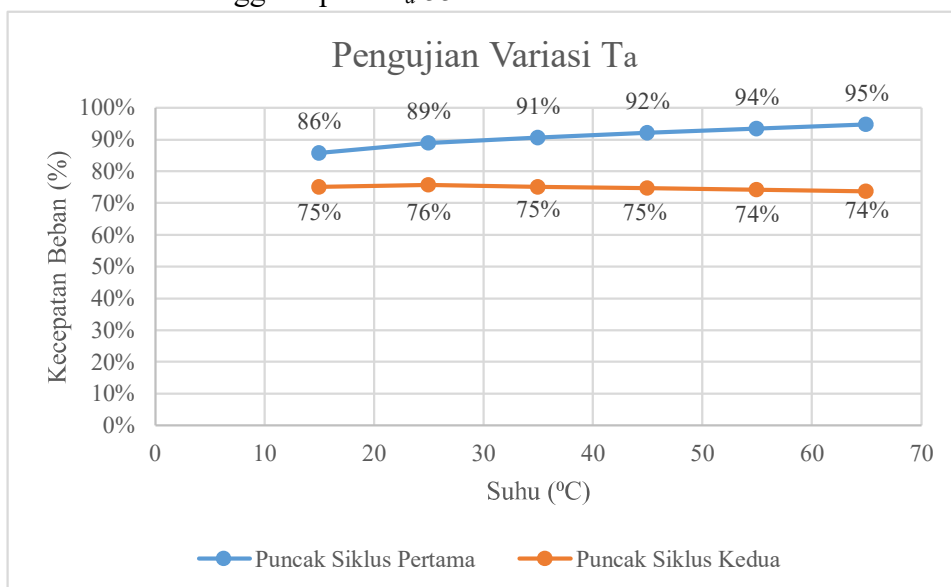


Gambar 4.23 Grafik variasi T_a 55°C pada (a) kurva tegangan (b) kurva SOC (c) kurva kecepatan beban (d) kurva arus beban

Gambar 4.23 memperlihatkan jika keseluruhan kurva yang dihasilkan memiliki puncak maksimal *charge* yang berbeda pada siklus pertama dengan siklus kedua dan siklus-siklus selanjutnya. Kurva tegangan yang dihasilkan bermula pada nilai 2,7V dan melakukan siklus *charge-discharge* hingga mencapai nilai 24,9V. Kurva tegangan pada suhu T_a 55°C ini memiliki gangguan yang lebih banyak bila dibandingkan dengan Gambar 4.22, berupa peningkatan kurva dalam ukuran kecil pada proses siklus *charge* yang terjadi di siklus keempat hingga ketujuh dengan rentang waktu masing-masing 2041s, 2688,8s, 3306,75s dan 3939,5s seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.24. Saat proses *charge* terjadi kurva *SOC* dalam keadaan turun dari nilai awal 100% menuju nilai 38% dan pada saat proses *discharge* terjadi maka kurva *SOC* akan kembali berada pada nilai 100%. Sementara kurva kecepatan beban berbanding terbalik dengan kurva arus beban yang dihasilkan. Saat proses *charge* terjadi maka kurva kecepatan beban akan naik dari nilai awal 1,5 rad/s menjadi 5612 rad/s untuk puncak siklus pertama dan 4450 rad/s untuk puncak siklus kedua dan seterusnya, saat proses *discharge* terjadi maka kurva kecepatan beban akan turun secara perlahan kembali menuju nilai awal. Demikian juga yang terjadi pada kurva arus beban, kurva arus beban akan turun perlahan dari nilai awal 4,4A menjadi -1510A untuk puncak siklus pertama dan -870A untuk puncak siklus kedua dan selanjutnya. Gambar kurva variasi suhu T_a selengkapnya dapat dilihat pada lampiran.



Gambar 4.24 Gangguan pada T_a 55°C

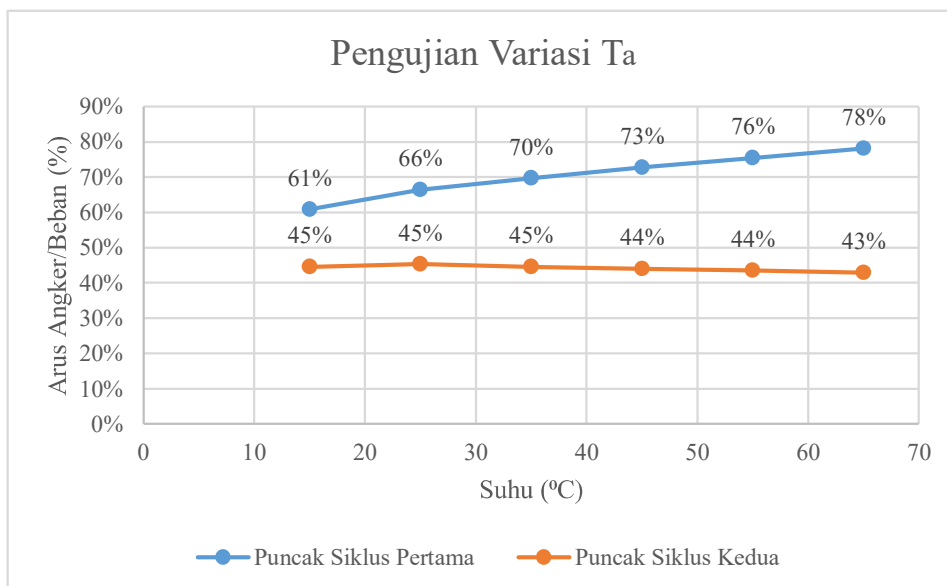


Gambar 4.25 Pengujian variasi T_a terhadap kecepatan beban

Pengujian variasi suhu T_a seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.25, memperlihatkan jika seiring pertambahan suhu yang diberikan tidak terlalu berpengaruh pada kurva kecepatan beban. Semakin tinggi suhu T_a maka grafik kurva kecepatan beban pada siklus pertama akan cenderung meningkat dengan rata-rata nilai 91%, sementara pada kurva siklus kedua juga cenderung tetap dengan rata-rata nilai 75%.

Variasi suhu T_a tidak memperlihatkan pengaruh yang signifikan terhadap grafik arus beban seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.26, dapat dilihat jika seiring pertambahan suhu T_a yang diberikan tidak terlalu berdampak pada kurva arus beban. Semakin tinggi suhu T_a maka grafik kurva arus beban pada siklus pertama akan mengalami peningkatan dengan rata-rata nilai 71%, sementara pada kurva siklus kedua cenderung tetap dengan rata-rata nilai 44%.

Semakin tinggi suhu T_a maka grafik kurva kecepatan beban motor pada siklus pertama akan mengalami peningkatan, sedangkan pada siklus kedua akan mengalami dua proses, pada suhu 15°C menuju 25°C akan mengalami peningkatan dan pada suhu 35°C menuju suhu 65°C mengalami penurunan. Sementara semakin tinggi suhu T_a pada arus angker maka siklus pertama akan meningkat, sementara pada siklus kedua akan mengalami dua proses, pada suhu 15°C menuju 25°C akan mengalami peningkatan dan pada suhu 35°C menuju suhu 65°C mengalami penurunan. Pengujian ini juga mendapatkan hasil jika suhu T_a standar yang telah ditetapkan 15°C tidak bisa menjadi acuan sebagai suhu T_a yang bebas dari gangguan, begitupula yang terjadi pada kurva suhu T_a 45°C dan 55°C. Hal ini menunjukkan jika suhu T_a yang pada rentang kurang dari 25°C dan lebih dari 35°C bukan merupakan suhu T_a yang aman bagi baterai.



Gambar 4.26 Pengujian variasi T_a terhadap arus beban