



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR – TM141585

**ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR TERHADAP
KETAHANAN KONTAINER BATERAI UNTUK
MENINGKATKAN *SERVICE LIFE* PADA *FREE
MAINTENANCE BATTERY***

CHAIRIL RIZKYANTO
NRP. 02111240000163

Dosen Pembimbing:
Ir. Witantyo, M.Eng.Sc.

**PROGRAM SARJANA
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018**



FINAL PROJECT – TM141585

**ANALYSIS OF ISOLATOR ADDITION EFFECT IN
FREE MAINTENANCE BATTERY TEMPERATURE
DECREASING TO EXTEND WORK TIME**

CHAIRIL RIZKYANTO
NRP. 02111240000163

Research Supervisor
Ir. Witantyo, M.Eng.Sc.

BACHELOR PROGRAM
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018

**ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR TERHADAP
KETAHANAN KONTAINER BATERAI UNTUK
MENINGKATKAN *SERVICE LIFE* PADA *FREE
MAINTENANCE BATTERY*
(STUDI KASUS PT. INDOBATT INDUSTRI PERMAI)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

CHAIRIL RIZKYANTO

NRP. 2112 100 163

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Witantyo, M.Eng.Sc (Rembimbing)
NIP. 196303141988031002
2. Ari Kurniawan Saputra, ST, MT (Penguji I)
NIP. 198604012015041001
3. Dinny Harnany, ST, MSc (Penguji II)
NIP. 2100201405001
4. Wahyu Wijanarko, ST, MSc (Penguji III)
NIP. 198202092012121001

SURABAYA

JULI, 2017

**ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR TERHADAP
KETAHANAN KONTAINER BATERAI UNTUK
MENINGKATKAN *SERVICE LIFE* PADA *FREE
MAINTENANCE BATTERY***

Nama Mahasiswa : Chairil Rizkyanto
NRP : 02111240000163
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Witantyo, M.Eng.Sc

Abstrak

Salah satu penyebab kerusakan pada aki adalah kehabisan elektrolit. Pada kendaraan, umumnya aki diletakkan dalam ruang mesin sehingga berada pada lingkungan bersuhu tinggi. Hal ini menyebabkan kecepatan reaksi kimia pada aki meningkat dan elektrolit lebih cepat habis sebelum waktunya. Saat mobil berjalan, aki akan terus menerus dalam kondisi charging sehingga terjadi reaksi elektrolisis dimana senyawa air (H_2O) diuraikan menjadi gas hidrogen (H_2) dan oksigen (O_2). Pada aki tipe Free Maintenance, jumlah evolusi gas dikurangi dengan menambahkan calcium pada grid aki. Gas-gas yang diproduksi saat charging tidak dibuang ke lingkungan tetapi diusahakan kembali menjadi air sehingga tidak banyak gas yang hilang. Untuk mengatur temperatur di dalam aki dan mensirkulasikan gas menjadi air kembali, dibutuhkan desain kontainer aki yang baik.

Dalam penelitian ini, dilakukan studi perbandingan kontainer aki jenis Maintenance Free tipe NX100-S6 antara merk A dengan merk B. Perbandingan tersebut dilakukan untuk mendapatkan kontainer aki dengan heat transfer terbaik. Hal-hal yang akan dibandingkan antara lain; penyebaran temperatur, temperatur terendah yang dapat dicapai kontainer, dan temperatur pada dinding kontainer. Metoda yang digunakan adalah analisa heat transfer menggunakan FEM yang mengondisikan aki pada temperatur lingkungan yaitu $75^{\circ}C$ dan

suhu yang diasumsikan sama di setiap titik. Setelah analisa dilakukan, kontainer aki dengan heat transfer terbaik akan di redesign agar menjadi lebih baik.

Dari hasil penelitian yang dilakukan, kontainer aki merk A memiliki selisih antara temperatur maksimum dan minimum sebesar $44,97^{\circ}\text{C}$ dan pada kontainer aki merk B adalah sebesar 45°C Perbedaan antara kedua kontainer tidak signifikan yaitu $0,03^{\circ}\text{C}$ sehingga dapat dikatakan bahwa performa dari kedua kontainer adalah sama. Hasil dari simulasi kontainer aki merk B menunjukkan temperatur pada dinding kontainer aki adalah 75°C Proses redesign kontainer aki merk B dilakukan dengan menambahkan busa dan kotak sebagai pelapis kontainer. Penambahan kotak tersebut dapat menurunkan temperatur pada dinding kontainer aki sebesar 45°C sehingga temperatur pada dinding kontainer aki menjadi 30°C

Kata kunci: Maintenance Free Battery, Kontainer aki, Service Life

ANALYSIS OF ISOLATOR ADDITION EFFECT IN FREE MAINTENANCE BATTERY TEMPERATURE DECREASING TO EXTEND WORK TIME

Name : Chairil Rizkyanto
NRP : 02111240000163
Department : Teknik Mesin FTI-ITS
Advisor : Ir. Witantyo, M.Eng.Sc

Abstract

One of the main cause of battery damage is electrolytes run out. In vehicles, generally the battery is placed in the engine room so it's placed in high-temperature environment. This condition makes the rate of chemical reaction in the battery rise and the electrolyte fades out prematurely. When the car runs, the battery will continue in charging conditions so that electrolysis reaction occurs where the water compound (H_2O) is decomposed into hydrogen gas (H_2) and oxygen (O_2). In Free Maintenance type batteries, the amount of gas evolution is reduced by adding calcium to the battery grid. The gas produced at charging is not discharged into the environment but re-cultivated into water so that gas losses can be minimized. To regulate the temperature inside the battery and to circulate the gas to water again, a good battery container design is needed.

In this research, comparative study is done between Maintenance Free containers MX NX100-S6 type brand A and brand B. The comparison is done to get the best battery heat transfer container. Things to be compared include; temperature deployment, the lowest temperature that the container can reach, and the temperature on the container wall. The method used is heat transfer analysis using FEM which conditioning battery at ambient temperature at $75^\circ C$ and temperature assumed same at every point. After the analysis is done, the battery container with the best heat transfer will be redesigned to be better.

From the results of research conducted, battery container with A brand has a difference between the maximum and minimum temperature of 44.97°C and battery container with B brand is 45°C. The difference between the two containers is not significant, i.e. 0.03°C, so it can be said that the performance of both containers are the same. The results of the simulation of the brand container B shows the temperature on the battery container wall is 75°C. The process of redesigning the brand container of B brand can be done by adding the box as a container coating. The addition of the box can lower the temperature on the battery container wall by 45°C so that the temperature on the battery container wall becomes 30°C.

Keywords: Maintenance Free Battery, Battery Container, Service Life

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT, karena dengan karuniaNya penulisan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Sholawat serta salam senantiasa juga kami curahkan kepada Nabi besar Muhammad SAW.

Tugas akhir ini merupakan persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin FTI ITS. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ayah dan Ibu tercinta, Rahmat Untung dan Sophia Budirahayu yang selalu memberikan doa dan dukungan yang begitu besar.
2. Bapak Ir. Witantyo, M.Eng.Sc selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, yang membimbing penulis dengan penuh kesabaran.
3. Bapak Ari Kurniawan, ST., MT., Bapak Wahyu Wijanarko, ST., M.Sc., dan Ibu Dinny Harnany, ST., M.Sc., selaku dosen penguji.
4. Bapak Bahtiar selaku pihak Laboratorium PT. Indobatt yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk mengambil topik Tugas Akhir di PT. Indobatt.
5. Segenap dosen dan karyawan Jurusan Teknik mesin yang telah membantu penulis atas pengetahuan dan pembelajaran yang telah diberikan.
6. Sarah Ega Agustin yang selalu memberikan dukungan dan membantu penulis selama masa perkuliahan di jurusan Teknik Mesin ITS.
7. Muhammad Ihsan, Imaduddin Azis, Adrian Bayu, Bagus Widoto Aji, Gilas Kurnia Taufik, Faiz Imawan, Rian Septian Sidiq dan Moses Hamonangan Parapat yang berjuang bersama di Laboratorium Rekayasa Sistem Industri.
8. Seluruh Syarekat Merah Rakyat Mesin yang telah berbagi pengalaman selama di bangku perkuliahan.

Tugas Akhir ini masih memiliki banyak kekurangan maka penulis bersedia menerima kritik dan saran untuk penelitian yang lebih baik.

Surabaya 19 Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Baterai	7
2.1.1 Teori Mengenai Baterai.....	7
2.1.2 Komponen-komponen Baterai.....	8
2.1.3 Reaksi Kimia pada Baterai	12
2.1.4 Jenis-jenis Aki	17
2.1.5 Sistem Pembuangan Gas pada Baterai	18
2.1.6 Perpindahan Panas Secara Konveksi.....	21
2.2 Penelitian Terdahulu	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	25

3.1	Diagram Alir Penelitian	25
3.2	Metodologi Penelitian.....	27
3.2.1	Studi Lapangan dan Identifikasi Permasalahan yang Ada	27
3.2.2	Studi Literatur.....	27
3.2.3	Analisis.....	27
3.2.4	Pembahasan	31
3.2.5	Kesimpulan dan Saran.....	31
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN		33
4.1	Permodelan Kotainer Aki dalam Bentuk 3D	33
4.1.1	Kontainer.....	34
4.1.2	Tutup Kontainer (<i>Cover</i>).....	35
4.1.3	<i>Indicator</i> dan <i>Vent Plug</i>	36
4.1.4	Penyatuan Kontainer, Tutup Kontainer, <i>Indicator</i> dan <i>Vent Plug</i>	38
4.2	Simulasi Model Kontainer dengan Menggunakan <i>Finite Element Method</i>	39
4.2.1	<i>Meshing</i>	39
4.2.2	Menentukan Waktu Simulasi	40
4.2.3	Menentukan Perlakuan dari Lingkungan yang Memengaruhi Kontainer Aki.....	41
4.2.4	Menghitung Koefisien Konveksi Udara.....	42
4.2.5	Simulasi Model Kontainer	43
4.3	<i>Redesign</i> Kontainer Aki.....	47

4.4 Simulasi Model Kontainer <i>Redesign</i> dengan Menggunakan <i>Finite Element Method</i>	48
4.5 Validasi Hasil dari Simulasi.....	54
4.6 Perbandingan Hasil Sebelum dan Setelah <i>Redesign</i>	54
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	57
5.1 Kesimpulan.....	57
5.2 Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	59

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Jumlah Kendaraan Bermotor di Indonesia	2
Gambar 2.1 Komponen Utama Sel [2]	8
Gambar 2.2 Bagian-Bagian dari Baterai [3]	9
Gambar 2.3 Sel baterai [4]	11
Gambar 2.4 Tutup ventilasi [4]	12
Gambar 2.5 Diagram Kondisi saat <i>Discharging</i> Aki [6]	14
Gambar 2.6 Diagram Perpindahan Ion dan Elektron saat <i>Discharging</i> Aki [5]	14
Gambar 2.7 Tampak Atas dari Massa Aktif Negatif (a) Tingkat <i>Discharge</i> Rendah (b) Tingkat <i>Discharge</i> Tinggi [5]	15
Gambar 2.8 Diagram <i>Cell</i> Aki dalam Kondisi <i>Charge</i> [6]	17
Gambar 2.9 Sistem Pembuangan Gas dan Rekombinasi pada <i>Flooded Battery</i> dan <i>VRLA Battery</i> [9]	20
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	26
Gambar 3.2 (a) Kontainer Aki Merk A (b) Kontainer Aki Merk B	28
Gambar 3.3 (a) Kontainer Aki Dilapisi Dengan Isolator (b) Isolator untuk Lapisan Kedua Aki Merk B	30
Gambar 3.4 Skema Alat untuk Validasi Kontainer Aki	30
Gambar 4.1 Dimensi dari Kontainer Merk A dan Merk B	34
Gambar 4.2 Kontainer Aki Merk A (a) Asli (b) Model 3D	34
Gambar 4.3 Kontainer Aki Merk B (a) Asli (b) Model 3D	35
Gambar 4.4 Tutup Kontainer Merk A (a) Asli (b) Model 3D	35
Gambar 4.5 Tutup Kontainer Merk B (a) Asli (b) Model 3D	36

Gambar 4.6 (a) <i>Indicator</i> dan (b) <i>Vent Plug</i> pada <i>Free Maintenance Battery</i>	37
Gambar 4.7 (a) <i>Indicator</i> dan (b) <i>Vent Plug</i> untuk Kontainer Merk A	37
Gambar 4.8 (a) <i>Indicator</i> dan (b) <i>Vent Plug</i> untuk Kontainer Merk B.....	38
Gambar 4.9 Model Kontainer Merk A Setelah Proses <i>Assembly</i>	38
Gambar 4.10 Model Kontainer Merk B Setelah Proses <i>Assembly</i>	38
Gambar 4.11 Model Kontainer Merk A Setelah Proses <i>Meshing</i>	39
Gambar 4.12 Model Kontainer Merk B Setelah Proses <i>Meshing</i>	40
Gambar 4.13 Posisi Temperatur Maksimum dan Minimum saat Waktu Simulasi (a) 1500 dan (b) 2400 detik.....	41
Gambar 4.14 Posisi Temperatur Maksimum dan Minimum saat Waktu Simulasi (a) 3600 dan (b) 4500 detik.....	41
Gambar 4.15 Posisi Aki pada Mesin Mobil	42
Gambar 4.16 Hasil Simulasi Model Kontainer Merk A.....	44
Gambar 4.17 Hasil Simulasi Merk A dengan Potongan.....	44
Gambar 4.18 Tampak Atas Hasil Simulasi Merk A dengan Potongan.....	45
Gambar 4.19 Hasil Simulasi Model Kontainer Merk B	45
Gambar 4.20 Hasil Simulasi Merk B dengan Potongan.....	46
Gambar 4.21 Tampak Atas Hasil Simulasi Merk B dengan Potongan.....	46

Gambar 4.22 Model Busa Sebagai Pelapis Pertama Kontainer Aki	47
Gambar 4.23 Model Kotak Sebagai pelapis kedua Kontainer Aki	48
Gambar 4.24 Model Gabungan Kotak, Busa dan Kontainer	48
Gambar 4.25 Hasil Simulasi Model Kontainer yang Dilapisi Busa	49
Gambar 4.26 Hasil Simulasi Kontainer yang Dilapisi Busa dengan Potongan	49
Gambar 4.27 Tampak Atas Hasil Simulasi Kontainer yang Dilapisi Busa dengan Potongan.....	50
Gambar 4.28 Hasil Simulasi Kontainer yang Dilapisi Busa dengan Potongan Depan.....	50
Gambar 4.29 Tampak Depan Hasil Simulasi Kontainer yang Dilapisi Busa dengan Potongan Depan	51
Gambar 4.30 Hasil Simulasi Model Kontainer yang Ditambahkan Kotak	51
Gambar 4.31 Hasil Simulasi Kontainer yang Ditambahkan Kotak dengan Potongan	52
Gambar 4.32 Tampak Atas Hasil Simulasi Kontainer yang Ditambahkan Kotak dengan Potongan	52
Gambar 4.33 Hasil Simulasi Kontainer yang Ditambahkan Kotak dengan Potongan Depan.....	53
Gambar 4.34 Tampak Depan Hasil Simulasi Kontainer yang Ditambahkan Kotak dengan Potongan Depan.....	53

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat Termofisik Gas pada Tekanan Atmosfer [11]	23
Tabel 4.1 Hasil Validasi Kontainer Aki	51
Tabel 4.2 Perbandingan Hasil Simulasi Sebelum dan Sesudah <i>Redesign</i>	52

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Aki atau baterai merupakan salah satu sumber energi yang banyak digunakan oleh masyarakat saat perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi sudah tidak bisa dibendung. Sesuai dengan perjalanan zaman dan perkembangan dari sumber energi baterai itu sendiri, pada saat ini aki atau baterai dapat ditemukan dalam bentuk yang bervariasi dan dimanapun yang memiliki banyak kegunaan di beberapa jenis barang yang dikonsumsi oleh manusia dewasa ini, khususnya di media elektronik. Dilihat dari efisiensinya, aki atau baterai saat ini juga sangat mengalami perkembangan. Dan saat ini baterai dikemas dari bentuk yang paling besar bahkan sampai ukuran baterai yang digunakan sebagai teknologi mikro. Aki pertama kali ditemukan di dunia pada tahun 1800 oleh Alessandro Volta, pria asal Italia. Lalu pada 1859 aki dikembangkan oleh Raymond Gason Plante, seorang ahli fisika Prancis yang lahir pada tahun 1834. Ia menemukan aki yang dapat di *charge* berulang-ulang (*recharge*).

Aplikasi aki atau baterai sangat banyak, antara lain: baterai untuk lampu darurat, baterai untuk alarm dan sistem keamanan, sumber tegangan DC, dan untuk sistem kontrol otomatis. Aki juga merupakan salah satu komponen pendukung dalam kendaraan bermotor. Aki berguna sebagai penyuplai listrik untuk penggerak awal saat menghidupkan kendaraan bermotor. Selain itu aki pada kendaraan bermotor juga sebagai tempat menyimpan energi listrik. Dan fungsi lain dari aki pada kendaraan bermotor adalah sebagai stabilisator, karena listrik yang dihasilkan oleh alternator jumlahnya tidak konstan. Besar kecilnya arus listrik dapat merusak komponen kelistrikan yang ada pada kendaraan bermotor, sehingga aki harus dapat menyeimbangkan listrik yang dihasilkan alternator. Tidak heran jika aki merupakan salah satu komponen penting pada kendaraan bermotor.



Gambar 1.1 Jumlah Kendaraan Bermotor di Indonesia

Dewasa ini pertumbuhan pengguna kendaraan bermotor di Indonesia semakin meningkat dari tahun ke tahun. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.1, baik itu kendaraan bermotor jenis mobil berpenumpang maupun sepeda motor mengalami peningkatan dari tahun 2001 sampai tahun 2015. Hal ini juga akan membuat permintaan akan aki semakin meningkat. Peningkatan permintaan akan aki ini menuntut produsen-produsen aki di Indonesia berlomba-lomba untuk menghasilkan aki yang paling berkualitas. Mereka akan melakukan penelitian-penelitian terhadap komponen-komponen aki yang dapat meningkatkan kualitas aki itu sendiri. Inovasi-inovasi akan teknologi terbaru sangat dibutuhkan agar dapat mengungguli kompetitor yang lain. Serta mempertahankan harga agar tetap dapat bersaing di dunia industri.

Ketika digunakan terus menerus, aki dapat mengalami kerusakan. Kerusakan pada aki banyak macam penyebabnya, antara lain: elektrolit habis sebelum waktunya, degradasi plat positif, strap yang rusak, rusaknya terminal, dan lain-lain. Kerusakan ini sungguh merugikan baik untuk pihak konsumen, maupun untuk produsen, sehingga kemungkinan-kemungkinan kerusakan ini sangat dihindari oleh produsen aki supaya kualitas aki tetap terjaga dan produknya selalu dapat bersaing di pasaran.

Aki pada kendaraan umumnya diletakkan berdekatan dengan mesin kendaraan, sehingga mengakibatkan temperatur di

sekitar aki menjadi tinggi. Hal tersebut menyebabkan kecepatan reaksi meningkat dan elektrolit lebih mudah menguap dan habis sebelum waktunya. Jika cairan elektrolit menguap lebih cepat maka umur dari baterai juga menjadi singkat. Saat mobil berjalan, aki akan terus menerus dalam kondisi *charging* sehingga terjadi reaksi elektrolisis dimana senyawa air (H_2O) diuraikan menjadi gas hidrogen (H_2) dan oksigen (O_2). Pada aki tipe *Free Maintenance* gas hidrogen, oksigen ataupun uap air tidak dibuang ke lingkungan tetapi diusahakan kembali menjadi air sehingga tidak banyak gas yang hilang.

Aki atau baterai terdiri dari beberapa komponen penting, salah satunya adalah kontainer. Kontainer merupakan komponen dari aki yang berfungsi sebagai pelindung dari komponen-komponen aki yang lain. Maka dari itu kontainer harus memiliki kekuatan yang memadai agar komponen-komponen yang berada di dalam kontainer tidak cepat rusak akibat adanya beban atau getaran dari luar. Kontainer juga harus tahan akan panas. Saat digunakan pada kendaraan, aki akan terkena temperatur yang tinggi dari mesin kendaraan sehingga apabila kontainer memiliki ketahanan terhadap panas yang rendah maka kontainer akan mudah meleleh dan juga dapat menyebabkan jumlah gas hidrogen dan oksigen yang menguap menjadi lebih banyak apabila temperatur di sekitarnya tinggi. Selain itu, kontainer juga harus dilengkapi dengan katup yang berguna sebagai tempat keluar gas hidrogen dan oksigen ke atmosfer. Pada aki tipe *Maintenance Free* katup berfungsi untuk menahan gas hidrogen dan oksigen tetap di dalam aki. Tetapi jika gas-gas di dalam kontainer terlalu banyak, kemudian menyebabkan tekanan di dalam kontainer meningkat sampai melewati batas katup bisa menahan maka gas-gas tersebut akan dibebaskan. Semakin banyak gas yang dibebaskan maka cairan elektrolit akan semakin cepat habis, menyebabkan *service life* dari aki menjadi lebih singkat. Maka dari itu dibutuhkanlah penelitian untuk mengetahui pengaruh penambahan isolator terhadap ketahanan temperatur di dalam kontainer baterai.

Pada penelitian ini akan difokuskan dalam mencari pengaruh temperatur terhadap ketahanan kontainer baterai produk merk A dan merk B, kemudian membandingkannya untuk mendapatkan kontainer dengan heat transfer terbaik. Metoda yang digunakan adalah analisa heat transfer menggunakan FEM. Setelah itu akan dilakukan evaluasi dan *redesign* kontainer baterai yang memiliki *heat transfer* terbaik untuk mendapatkan kontainer yang memiliki ketahanan terhadap temperatur yang lebih baik.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- Bagaimana ketahanan kontainer baterai produk merk A dan merk B terhadap temperatur?
- Bagaimana pengaruh penambahan isolator terhadap penurunan temperatur kerja baterai?

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini dilaksanakan dengan batasan masalah sebagai berikut:

- Aki yang diteliti adalah jenis *Maintenance Free* Tipe NX100-S6.
- Kontainer aki yang diteliti adalah kontainer yang dipasok dari merk A dan merk B.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan-tujuan sebagai berikut:

- Membandingkan ketahanan kontainer aki terhadap temperatur antara produk merk A dengan produk merk B.
- Mengetahui pengaruh penambahan isolator terhadap penurunan temperatur kerja baterai.

1.5 Manfaat Penelitian

Berikut adalah manfaat yang diperoleh dari penelitian ini:

- Dapat mengetahui perbandingan ketahanan kontainer aki terhadap temperatur antara produk merk A dan produk merk B.
- Dapat mengevaluasi dan mendesain ulang kontainer aki agar memiliki ketahanan terhadap temperatur yang lebih baik.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

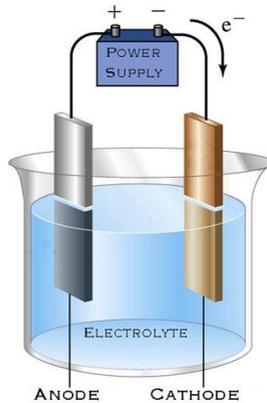
Pada bab ini akan dibahas mengenai dasar teori dan tinjauan pustaka yang digunakan sebagai acuan dan langkah-langkah dalam melakukan penelitian sehingga permasalahan yang dibahas dapat terselesaikan dengan baik. Adapun dasar teori dan tinjauan pustaka yang digunakan adalah berdasarkan permasalahan pada desain aki PT Indobatt Industri Permai.

2.1 Baterai

2.1.1 Teori Mengenai Baterai

Baterai adalah sebuah alat yang dapat merubah energi kimia menjadi energi listrik dan sebaliknya[1]. Baterai terdiri dari satu sel atau lebih yang dihubungkan secara seri, parallel atau keduanya, tergantung dari keluaran tegangan dan kapasitas yang diinginkan. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1, di dalam sel terdapat tiga komponen utama, yaitu:

1. Anoda (elektroda negatif) adalah merupakan elektroda yang melepas elektron ke sirkuit eksternal. Elektroda ini mengalami oksidasi selama terjadinya reaksi elektrokimia.
2. Katoda (elektroda positif) adalah merupakan elektroda pengoksidasi yang menerima elektron dari sirkuit eksternal. Elektroda ini mengalami reduksi selama reaksi elektrokimia.
3. Elektrolit adalah konduktor ionik yang memberikan ion untuk proses *charging* di dalam sel di antara anoda dan katoda. Elektrolit pada umumnya adalah berupa cairan, contohnya air atau larutan lainnya yang mengandung asam, basa atau garam untuk meningkatkan konduktivitas ionik. Namun ada juga elektrolit dalam fasa padat yang merupakan konduktor ionik pada temperatur operasi dari sel, juga biasanya digunakan dalam beberapa baterai [2].



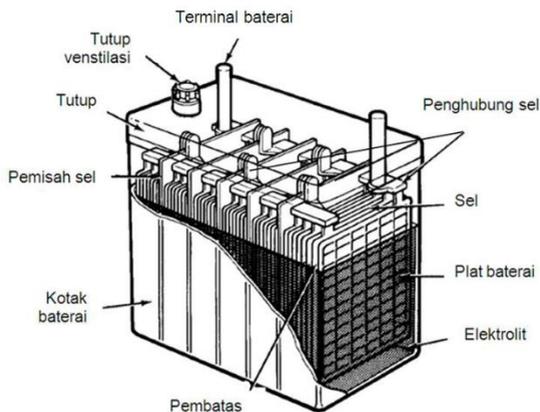
Gambar 2.1 Komponen Utama Sel [2]

Anoda dan katoda sebaiknya memiliki beban yang ringan dan dapat memberikan tegangan sel serta kapasitas yang tinggi. Kombinasi tersebut mungkin saja tidak selalu praktis, tetapi juga bergantung pada reaktivitas dengan komponen sel lainnya, polarisasi, harga yang mahal, dan kekurangan lainnya. Sedangkan elektrolit harus memiliki konduktivitas ionik yang baik, tetapi tidak elektronik konduktif, karena hal ini akan menyebabkan hubungan arus pendek internal. Karakteristik penting lainnya adalah sifat non-reaktif dengan bahan elektroda, tidak mudah berubah sifat diakibatkan perubahan suhu, keamanan dalam penanganan, dan biaya yang rendah. Dalam desain sel yang sederhana, material pemisah digunakan untuk memisahkan anoda dan katoda. Bagaimana pun pemisah ini harus dapat ditembus oleh elektrolit untuk menjaga konduktivitas ionik yang diinginkan.

2.1.2 Komponen-komponen Baterai

Baterai yang dirancang untuk kendaraan umumnya 6 Volt dan 12 Volt. Tetapi sekarang rata-rata baterai dibuat 12 Volt. Baterai yang 6 volt terdiri atas 3 sel, sedangkan yang 12 volt mempunyai 6 sel yang dirangkai secara seri. Sel-sel tersebut tersimpan dalam sebuah kotak dan masing-masing sel diberikan lubang untuk mengisi elektrolit baterai seperti yang dapat dilihat

pada gambar 2.2. Setiap lubang ditutup dengan tutup baterai, dimana pada tutup baterai tersebut terdapat lubang ventilasi yang digunakan untuk penguapan elektrolit baterai.



Gambar 2.2 Bagian-Bagian dari Baterai [3]

Komponen-komponen baterai yang didesain untuk kendaraan terdiri atas :

1. *Kotak baterai* dibuat dari bahan isolasi dan tahan terhadap asam yang terbuat dari bahan karet atau plastic. Kotak baterai terbagi menjadi enam ruangan sesuai dengan jumlah sel baterai. Dibagian samping luar kotak baterai diberikan garis atas dan bawah (*upper level dan lower level*) sebagai indikator jumlah elektrolit. Plat-plat tersebut posisinya ditinggikan dari dasar dan diberi penyekat, tujuannya agar tidak terjadi hubungan singkat apabila ada bahan aktif terjatuh dari plat.
2. *Sel/eleman baterai* terdiri dari gabungan plat positif dan plat negatif yang disekatkan oleh separator antara plat yang satu dengan plat yang lainnya. Jumlah dan ukuran plat adalah dua faktor yang menentukan besar kecilnya kapasitas sebuah baterai. Pada setiap sel, jumlah plat negatif lebih banyak satu dari pada plat positif sehingga sisi luar plat setiap sel adalah plat negatif. Plat positif maupun plat negatif terdiri atas rangka dan bahan aktif.

Bahan yang digunakan sebagai rangka adalah timah dan antimony. Bahan aktif plat positif adalah timah peroksida (PbO_2), sedangkan plat negatif adalah timah murni (Pb) berwarna abu-abu (*metallic gray*). Kedua bahan aktif tersebut diikatkan pada rangka sehingga terbentuk plat positif dan negatif. Plat-plat positif dan negatif masing-masing dihubungkan dengan plat strap (pengikat plat) yang terpisah. Ikatan plat-plat positif dan negatif ini dipasang secara berselang-seling yang dibatasi oleh separator dan *fiberglass* disebut elemen baterai. Penyusunan plat-plat dengan tujuan memperbesar luas singgungan antara bahan aktif dengan elektrolit, agar listrik yang dihasilkan besar. Dengan kata lain kapasitas baterai menjadi besar.

3. *Tutup baterai* mempunyai lubang pada setiap selnya yang digunakan untuk mengisi elektrolit. Lubang ini ditutup dengan penyumbat yang berbentuk seperti skrup atau baut. Setiap tutup mempunyai lubang kecil yang berfungsi sebagai ventilasi dan untuk memisahkan gas hidrogen yang terbentuk saat pengisian dan uap yang dihasilkan dari asam sulfat (H_2SO_4).
4. *Separator* adalah bahan lembaran tipis yang memisahkan antara plat positif dan negatif untuk mencegah terjadinya kehilangan energi yang tersimpan di dalam baterai. *Separator* terbuat dari bahan diantaranya :
 - a. Kayu
 - b. Karet
 - c. Pelastik
 - d. Lembaran berlubang dari *silica*
 - e. *Fiberglass*

Pada sisi permukaan plat positif, *separator* dibuat rusuk-rusuk. Hal ini bertujuan agar volume asam sulfat lebih banyak beredar pada daerah permukaan plat positif sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan fasilitas sirkulasi asam sulfat dalam sel.

5. *Sel*. Satu unit plat positif dan plat negatif yang dibatasi oleh penyekat di antara kedua plat positif dan negatif disebut dengan sel atau elemen. Sel-sel baterai dihubungkan secara seri satu dengan lainnya, sehingga jumlah sel baterai akan menentukan besarnya tegangan baterai yang dihasilkan, seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.3. Satu buah sel di dalam baterai menghasilkan tegangan kira-kira sebesar 2,1 volt, sehingga untuk baterai yang jumlah selnya 6 menghasilkan total teganya sekitar 12,6 Volt.

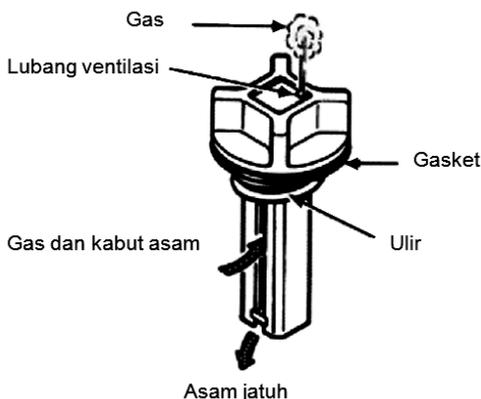


Gambar 2.3 Sel baterai [4]

6. *Penghubung sel* berfungsi untuk menghubungkan sel-sel di dalam baterai secara seri. Selain itu, penghubung sel-sel tersebut juga untuk mengurangi tahanan dan berat di dalam, serta mengurangi bahaya hubungan singkat dari pengaruh luar. Penghubung sel harus kuat dalam mengalirkan arus tinggi yang dibutuhkan untuk menghidupkan awal putaran mesin tanpa panas berlebihan.
7. *Pemisah sel (cell partition)*. Bagian ini merupakan bagian dari kotak baterai yang memisahkan tiap sel.
8. *Pos terminal*. Penyangga plat positif pada sel pertama dihubungkan dengan pos terminal baterai. Sedangkan penyangga plat negatif pada sel terakhir dihubungkan dengan pos terminal negatif baterai. Pos terminal positif

biasanya dibuat sedikit lebih besar dari pada pos terminal negatif. Hal ini bertujuan untuk mengurangi bahaya pemasangan kabel yang terbalik. Kabel diikat oleh terminal kabel khusus. Ada dua jenis terminal kabel, yaitu terminal kabel dengan memakai sekrup dan terminal kabel pengikat kabel dengan cara disolder.

9. *Tutup ventilasi*. Komponen ini terdapat pada baterai jenis basah yang berfungsi sebagai tutup lubang yang digunakan untuk menambah atau memeriksa air baterai. Pada tutup ini terdapat lubang seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.4, ventilasi berfungsi untuk membuang gas hidrogen yang dihasilkan saat terjadi proses pengisian.



Gambar 2.4 Tutup ventilasi [4]

10. *Elektrolit Baterai* mempunyai peranan yang sangat penting sebagai penghantar listrik dalam proses pengisian baterai. Elektrolit menggunakan campuran asam sulfat (SO_4) sebanyak 36 % dengan air (H_2O) sebanyak 64 %. Berat jenis yang dihasilkan dari campuran tersebut adalah 1,270 kg/l temperature 27°C .

2.1.3 Reaksi Kimia pada Baterai

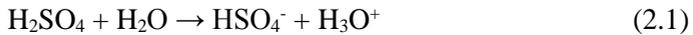
Jika anoda dan katoda disambungkan dengan sirkuit eksternal, maka elektron akan berpindah dari massa aktif yang satu

ke massa aktif yang lain, dengan itu komposisi kimianya pun akan berubah. Pada saat yang sama, elektrolit juga berpartisipasi dalam reaksi ini, dengan pergerakan ionnya antar massa aktif. Reaksi elektrokimia ini membuat aki dapat menghasilkan energi listrik untuk beban yang sudah disambungkan selama *discharge*, atau menerima energi listrik dari sumber listrik pada saat *charge*.

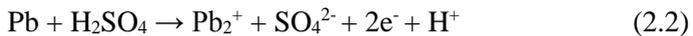
- *Discharge*

Reaksi kimia yang terjadi saat *discharge* adalah sebagai berikut [5] :

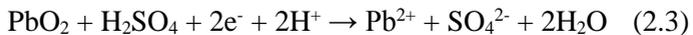
Reaksi pada elektrolit :



Reaksi pada elektroda negatif :



Reaksi pada elektroda positif :

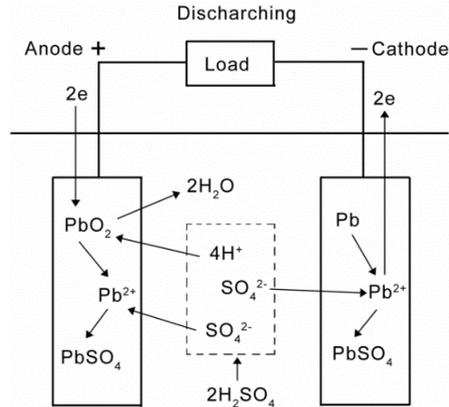


Reaksi keseluruhan :



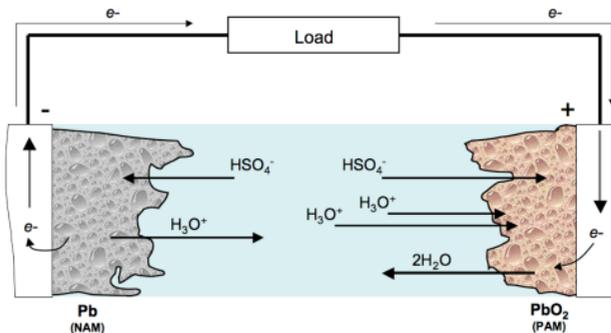
Reaksi pada persamaan (2.1) menunjukkan reaksi yang terjadi pada elektrolit cairan asam sulfat dan air selama aki dipakai. Air mampu memecah ion H^+ pada elektrolit, yang kemudian berubah menjadi H_3O^+ atau hidronium. Hidronium ini akan berfungsi sebagai pembawa ion H^+ , dimana terbentuk pada reaksi saat *charge* maupun *discharge* aki. Reaksi ini juga muncul pada reaksi yang terjadi di elektroda negatif (persamaan 2.2). Timbal murni bereaksi dengan ion asam sulfat yang kemudian membentuk timbal sulfat (PbSO_4). Massa aktif negatif melepaskan elektron, dan bergerak melalui elektroda negatif, sambungan eksternal, lalu tiba di elektroda positif dimana elektron ini akan bereaksi dengan massa aktif positif dan elektrolit. Pada persamaan 2.3, massa aktif positif kombinasi dengan ion sulfat membentuk HSO_4^- , dan ion hidrogen yang berasal dari H_3O^+ dan elektron yang kemudian membentuk PbSO_4 dan air. Diagram perpindahan ion dan elektron saat *discharging* aki dapat dilihat pada gambar 2.6. Seluruh proses

ini berawal dari reaksi oksidasi dan reduksi pada elektroda, dimana reaksi tersebut memicu perpindahan elektron, yang kemudian akan menghasilkan pengendapan timbal sulfat (PbSO_4).



Gambar 2.5 Diagram Kondisi saat *Discharging* Aki [6]

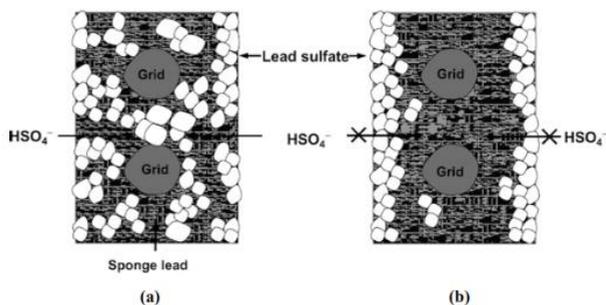
Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5, secara keseluruhan, reaksi *discharge* aki membentuk PbSO_4 yang memiliki sifat tidak dapat menghantarkan listrik. PbSO_4 ini terbentuk pada kedua elektroda, membuat cairan elektrolit lebih encer daripada sebelumnya (terutama disekitar elektroda positif).



Gambar 2.6 Diagram Perpindahan Ion dan Elektron saat *Discharging* Aki [5]

Reaksi dan pereaksi harus ada pada masing-masing permukaan massa aktif agar arus listrik dapat mengalir, hal ini sangat penting untuk diperhatikan dalam memahami sistem kerja dari aki. Dimana, kehadiran dari struktur morfologi dan kelekatan masa aktif kepada plat elektroda juga memiliki peran yang besar dalam perilaku elektrik aki. Massa aktif tidak hanya lapisan tipis yang melapisi plat elektroda, namun memiliki struktur yang lebih kompleks. Strukturnya memiliki poro dan ketebalan yang didesain oleh perusahaan manufaktur dengan komposisi yang tepat untuk produksi aki. Menambah ketebalan pada massa aktif ini akan menambah kapasitas dan *cycle-life* dari aki itu sendiri.

Seperti yang dibahas sebelumnya, kapasitas dan daya tahan aki sangat dipengaruhi oleh cara *discharge* aki. Misalnya, semakin tinggi temperatur menyebabkan meningkatnya pergerakan dan perpindahan ion, dimana akan menimbulkan bertambah luasnya area permukaan yang bereaksi dan menyebabkan menurunnya daya tahan dari aki itu sendiri. Tingkat arus listrik dari *discharge* aki pun mempengaruhi perilaku massa aktif. Tingginya arus *discharge* dapat menurunkan laju difusi dari HSO_4^- . Hal ini menyebabkan meningkatnya reaksi yang terjadi pada permukaan, dimana massa aktif kontak secara langsung dengan sejumlah besar elektrolit seperti yang ditunjukkan gambar 2.7.

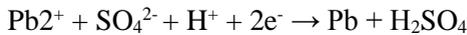


Gambar 2.7 Tampak Atas dari Massa Aktif Negatif (a) Tingkat *Discharge* Rendah (b) Tingkat *Discharge* Tinggi [5]

- *Charge*

Tidak seperti pada kondisi *discharge*, pada kondisi *charge* aki terdapat reaksi primer dan reaksi sekunder. Reaksi sekunder ini menggunakan sebagian besar arus yang didapatkan dari sumber, sementara tidak banyak berkontribusi dalam mengembalikan timbal sulfat menjadi timbal murni, hal ini mengurangi efisiensi dari *charge* aki. Reaksi kimia pada saat *charge* aki dapat dilihat pada persamaan dibawah ini. [5]

Reaksi pada elektroda negatif :



Reaksi pada elektroda positif :



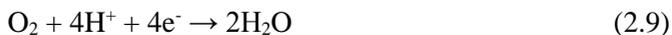
Reaksi keseluruhan :



Evolusi oksigen pada elektroda positif :



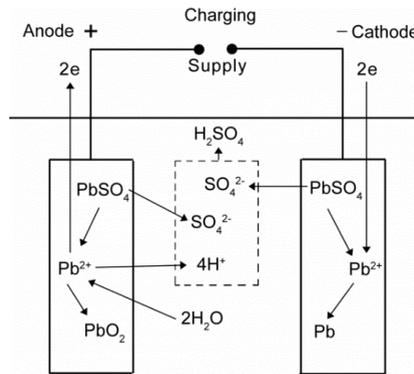
Kombinasi oksigen pada elektroda negatif :



Evolusi hidrogen pada elektroda negatif :



Reaksi *charge* ini terjadi pada masa aktif positif dan negatif. Persamaan 2.5 dan 2.6 merupakan kebalikan dari persamaan reaksi yang terjadi pada saat *discharge* aki (persamaan 2.3 dan 2.2). Seperi yang ditunjukkan pada gambar 2.8, dimulai dari penguraian timbal sulfat menjafi ion-ion timbal dan sulfat. Pada massa aktif positif, ion ini bereaksi dengan molekul dari air untuk membentuk timbal oksida dan asam sulfat. Pada saat proses ini terjadi, terbentuk dua elektron yang berpindah menuju massa aktif negatif timbal sulfat, melalui eksternal sirkuit.



Gambar 2.8 Diagram *Cell* Aki dalam Kondisi *Charge* [6]

Kombinasi oksigen pada elektroda negatif yang membuat aki jenis VRLA menjadi “*maintenance free*” tidak seperti *flooded battery* dimana ventilasi membuang gas oksigen dan hidrogen pada saat *charge*, dan membuat aki jenis ini memerlukan penambahan air secara periodik. [7]

2.1.4 Jenis-jenis Aki

Aki banyak sekali jenisnya seiring banyaknya penemuan-penemuan baru baik dari jenis bahan kimianya maupun konstruksinya, sehingga penggunaannya pun berbeda-beda. Berdasarkan besar arus yang dihasilkan, ada dua macam jenis aki, yaitu:

- a. Aki *starting*, merupakan jenis aki yang dirancang mampu menghasilkan energi (arus listrik) yang tinggi dalam waktu singkat sehingga dapat menyalakan mesin seperti mesin kendaraan. Dengan kata lain untuk menghidupkan mesin dibutuhkan arus listrik yang tinggi. Setelah mesin hidup, aki istirahat dan diisi kembali oleh *alternator*.
- b. Aki *deep cycle*, aki ini dirancang untuk menghasilkan energi (arus listrik) yang stabil (tidak sebesar aki *starting*) namun dalam waktu yang lama. Aki jenis ini tahan terhadap siklus *charge-discharge* aki yang berulang-ulang, karenanya konstruksinya menggunakan plat yang lebih

tebal. Aki ini digunakan pada peralatan yang menggunakan motor listrik seperti kursi roda, *forklift*, mobil golf dan pada proyek energi alternatif seperti pembangkit listrik tenaga surya.

Berdasarkan volume elektrolitnya, aki dibagi menjadi dua jenis, yaitu :

- a. *Flooded Battery*, jenis ini disebut juga *wet cell*. Aki ini dikenal dengan aki basah, maksudnya sel-sel didalam aki harus terendam cairan elektrolit dan jika level cairannya kurang, harus ditambah. Ciri-cirinya setiap sel ada katup *charge* cairan elektrolitnya. Aki ini memiliki ventilasi yang berfungsi untuk membuang gas hidrogen dan oksigen dari dalam aki ke atmosfer.
- b. *Valve-regulated lead-acid* (VRLA), aki ini disebut juga aki *maintenance free*. Didesain agar cairan elektrolit tidak berkurang karena bocor atau penguapan. Aki jenis ini memiliki katup ventilasi yang hanya terbuka saat tekanan tinggi untuk pembuangan gas hasil reaksi kimianya. Tidak memiliki katup untuk isi ulang cairan elektrolitnya maka dari itu dikenal dengan bebas perawatan. Aki jenis VRLA dibagi menjadi dua berdasarkan konstruksi internalnya. Yang pertama adalah jenis *Gel Cells* dimana cairan elektrolitnya dicampur dengan pasir silica sehingga cairan menjadi kental seperti agar-agar. Yang kedua adalah *Absorbent Glass Mat* (AGM) yang memiliki *separator* dari *fiberglass* yang diletakan diantara plat-plat selnya yang bertujuan untuk menyerap cairan elektrolit agar tersimpan di pori-pori *fiberglass*. [8]

2.1.5 Sistem Pembuangan Gas pada Baterai

- **Sistem Pembuangan Gas pada *Flooded Battery***

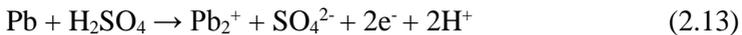
Salah satu ciri dari *Flooded Battery* adalah kehilangan air. Karena proses elektrolisis, oksigen akan terbentuk pada plat positif dan hidrogen pada plat negatif dengan perbandingan 1:2. Baik oksigen dan hidrogen akan lepas sebagai gelembung gas melalui

ventilasi pembuangan gas karena kelarutan rendah dari kedua gas dalam elektrolit. Seperti yang sudah dibahas sebelumnya, bahwa pada baterai akan terjadi reaksi sebagai berikut [9]:

Pada elektroda positif:



Pada elektroda negatif:



Ini berarti secara keseluruhan, air akan terurai dengan reaksi:



Kehilangan air ini bisa diatasi dengan mengisi ulang air pada *Flooded Battery*. Kehilangan air yang disebabkan penguraian air ini tergantung pada mode *charging*, desain sel, paduan dari grid yang digunakan dan kemurnian dari material [9].

- **Sistem Pembuangan Gas pada *Valve Regulated Battery***

Keistimewaan dari *Valve-regulated lead-acid (VRLA Battery)* adalah rekombinasi oksigen saat pengisian baterai. Selama proses pengisian baterai, sirkulasi berjalan kontinyu dimulai dari elektroda positif:



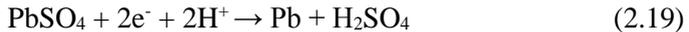
Air (H_2O) akan terurai dan gas oksigen (O_2) akan terbentuk. Ion hidrogen (H^+) akan tetap terlarut dalam elektrolit dan tidak bisa dikeluarkan dalam bentuk gas. Elektron (2e^-) mengalir melalui rangkaian listrik eksternal menuju elektroda negatif. Berkebalikan dengan *Flooded Battery*, oksigen tidak terbuang dari sel dalam VRLA. Sel-sel pada VRLA ditutup oleh katup, sehingga oksigen berdifusi ke plat negatif, dimana oksigen diubah oleh timbal (Pb) menjadi timbal-oksida (PbO) [9]:



Timbal-oksida yang dihasilkan tidak stabil di dalam asam sulfat (H_2SO_4) dan akan dikonversi menjadi timbal-sulfat. Dan air yang dihasilkan dari reaksi:

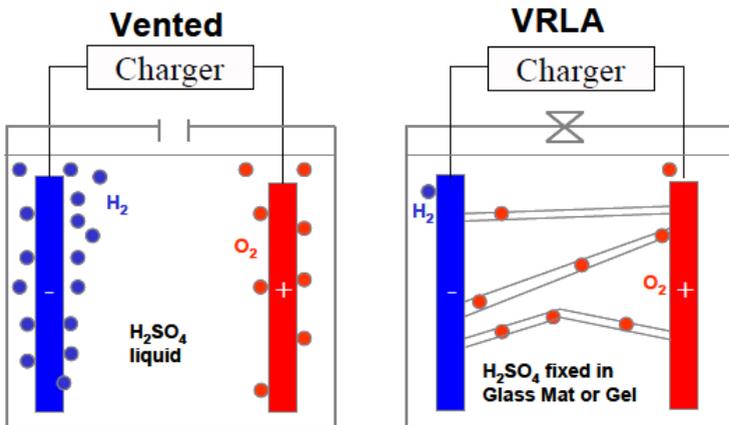


Ini berarti dalam baterai VRLA sebagian dari elektroda negatif mengalami *discharge* selama saat proses pengisian. Hal ini dibutuhkan untuk menekan pembentukan hidrogen. Oleh arus yang mengalir, timbal-sulfat akan diubah kembali menjadi Pb[9]:



Persamaan (2.16) hingga (2.19) lebih baik dibandingkan dengan pembentukan hidrogen pada elektroda negatif, sehingga dengan rekombinasi pembentukan hidrogen dapat ditekan [9].

Efektivitas dari rekombinasi baterai VRLA biasanya 98% untuk *Gel Battery* dan 99% untuk *AGM Battery*. Sisa oksigen sebanyak 1 - 2% dapat menyebabkan pembentukan hidrogen pada plat negatif. Jika tekanan pembukaan tercapai, katup akan membuka untuk waktu yang singkat dan gas yang terkumpul dapat keluar [9].



Gambar 2.9 Sistem Pembuangan Gas dan Rekombinasi pada *Flooded Battery* dan *VRLA Battery* [9]

Gambar 2.9 merupakan diagram sistem pembuangan gas pada *flooded battery* dan *VRLA battery*. Dengan menggunakan baterai VRLA kehilangan air dapat mengalami penurunan hingga 75% dibandingkan dengan *Flooded Battery*. Dengan rekombinasi, kehilangan air bisa berkurang hingga 98 – 99%, sehingga kurang dari 2% dari kehilangan air dapat dicapai dengan *valve regulated system*. Ini adalah alasan mengapa isi ulang air tidak diperlukan pada baterai VRLA [9].

2.1.6 Perpindahan Panas Secara Konveksi

Konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi antara cairan bergerak dan sebuah permukaan dimana keduanya berada pada temperatur yang berbeda. Akibat dari interaksi permukaan cairan adalah timbulnya daerah di dalam fluida tersebut dimana variasi kecepatan dari nol di permukaan hingga ke sebuah nilai u_{∞} yang besarnya bergantung pada alirannya. Daerah ini disebut dengan *boundary layer*. Apabila temperatur permukaan dan aliran berbeda, maka akan timbul daerah pada fluida dimana suhunya bervariasi pada aliran hingga ke aliran luar. Daerah ini disebut *thermal boundary layer*, bisa jadi lebih kecil, besar atau sama besarnya dengan kecepatan yang bervariasi. Dalam banyak permasalahan, jika perpindahan panas konveksi akan timbul dari permukaan ke aliran luar.[11]

Perpindahan panas konveksi dapat diklasifikasikan sesuai dengan sifat alirannya. Apabila aliran diinduksi oleh *bouyancy forces*, yang disebabkan oleh perbedaan kepadatan yang disebabkan oleh variasi pada suhu fluida, maka perpindahan panas ini disebut *free convection*. Kemudian apabila aliran disebabkan oleh adanya faktor dari eksternal, seperti oleh kipas angin, pompa, atau atmosfer, maka perpindahan panas ini disebut *forced convection*. [11]

Besar perpindahan panas secara konveksi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

$$q_{conv} = h \times A \times (T_s - T_{\infty}) \quad (2.20)$$

dimana, h : koefisien perpindahan panas konveksi ($W/m^2 K$)

- A : luas permukaan perpindahan panas (m^2)
 T_{∞} : temperatur fluida (K)
 T_s : temperatur permukaan (K)

Koefisien perpindahan panas konveksi (h) dipengaruhi oleh *Nusselt Number* (Nu_x), konduktivitas panas dari fluida (k) juga panjang benda yang dilewati oleh fluida (L), dan dapat ditunjukkan oleh persamaan

$$h = \frac{Nu_x \times k}{L} \quad (2.21)$$

Besar dari *Nusselt Number* dipengaruhi banyak faktor, salah satunya adalah jenis aliran fluida. Apabila jenis aliran fluida adalah *laminar flow*, maka besar *Nusselt Number* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

$$Nu_x = 0.332 Re_x^{1/2} Pr^{1/3} \quad (2.22)$$

sedangkan untuk *turbulent flow*, untuk menghitung besar *Nusselt Number* dapat menggunakan persamaan

$$Nu_x = 0.0296 Re_x^{1/2} Pr^{1/3} \quad (2.23)$$

dimana *Prandtl number* (Pr) didapatkan dengan menggunakan tabel 2.1 dan Re_x dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

$$Re_x = \frac{u_{\infty} \times L}{\nu} \quad (2.24)$$

- dimana, L : panjang benda yang dilewati udara (m)
 u_{∞} : kecepatan aliran udara (m/s)
 ν : viskositas kinematis (m^2/s)[11]

Tabel 2.1 Sifat Termofisik Gas pada Tekanan Atmosfer [11]

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
Air							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	238	0.719
1400	0.2488	1.207	530	213	91	303	0.703
1500	0.2322	1.230	557	240	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688
1700	0.2049	1.267	611	298	113	435	0.685
1800	0.1935	1.286	637	329	120	482	0.683
1900	0.1833	1.307	663	362	128	534	0.677
2000	0.1741	1.337	689	396	137	589	0.672
2100	0.1658	1.372	715	431	147	646	0.667
2200	0.1582	1.417	740	468	160	714	0.655
2300	0.1513	1.478	766	506	175	783	0.647
2400	0.1448	1.558	792	547	196	869	0.630
2500	0.1389	1.665	818	589	222	960	0.613
3000	0.1135	2.726	955	841	486	1570	0.536

2.2 Penelitian Terdahulu

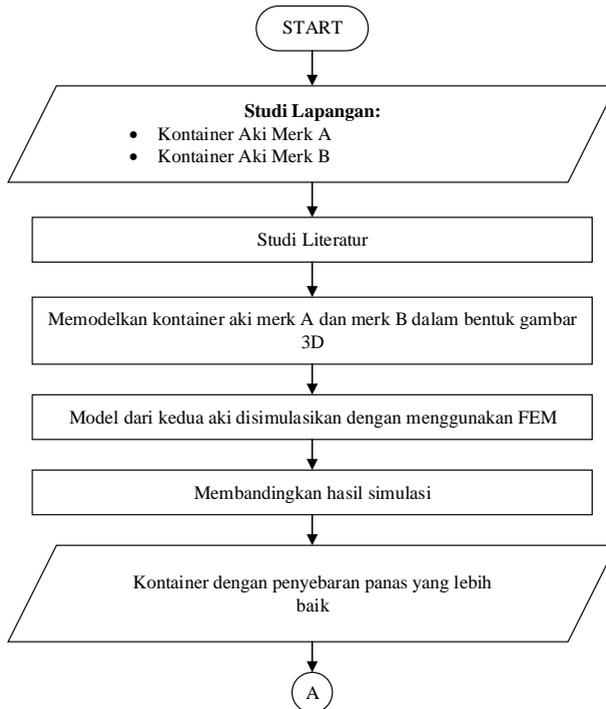
Sebelumnya, penelitian mengenai *heat transfer* pada aki pernah dilakukan oleh Donald Berndt pada tahun 2001. Penelitian tersebut berjudul *Valve-regulated Lead-acid Batteries*. Dalam penelitiannya, Donald Berndt membahas tentang bagaimana pengaruh temperatur terhadap *service life* aki. Ia menjelaskan

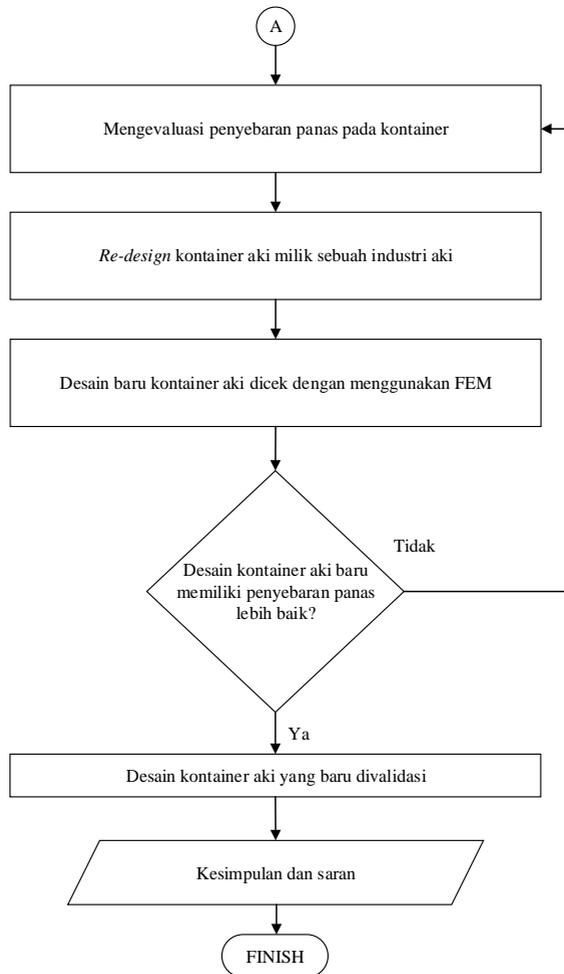
bahwa laju reaksi elektrokimia akan menjadi dua kali lipat setiap kenaikan temperatur 10°C . Hal ini juga berlaku pada perkembangan hidrogen dan oksigen. Kenaikan dari perkembangan hidrogen dan korosi pada grid yang diakibatkan oleh kenaikan temperatur dapat menimbulkan akibat yang sangat serius. Kedua hal tersebut menentukan *water loss* dari aki. Jadi, *water loss* mungkin menjadi faktor yang menentukan *service life* dari aki. Hasilnya, *service life* dari aki yang diberi tegangan sama namun temperatur dinaikkan 10°C dari temperatur normal akan berkurang menjadi setengah kali nilai normalnya. Dan jika temperatur dinaikkan hingga 20°C akan mengurangi *service life* hingga seperempatnya[10].

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian tugas akhir ini melalui tahapan-tahapan yang diawali dari melakukan studi literatur tentang kontainer aki, kemudian melakukan permodelan kontainer aki merk A dan merk B dalam bentuk gambar 3D. Setelah itu model dari kedua kontainer disimulasikan dengan menggunakan *Finite Element Method* (FEM). Lalu hasil dari simulasi akan dibandingkan dan dievaluasi. Kemudian melakukan *redesign* kontainer aki untuk mendapat kontainer dengan kualitas yang lebih baik, setelah itu hasil dari *redesign* akan disimulasikan kembali dengan menggunakan FEM. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1.





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Metodologi Penelitian

3.2.1 Studi Lapangan dan Identifikasi Permasalahan yang Ada

Tahap ini dilakukan penulis untuk mengetahui kondisi aktual yang ada di lapangan dan mencari permasalahan yang ada, sehingga dijadikan topik untuk Tugas Akhir. Tahap ini menyangkut ketahanan kontainer aki terhadap temperatur dari produk aki di sebuah industri aki yang digunakan sebagai objek penelitian. Permasalahan yang diidentifikasi pada penelitian ini adalah membandingkan ketahanan kontainer aki terhadap temperatur produk merk A dan merk B.

3.2.2 Studi Literatur

Setelah melakukan studi lapangan dan pengumpulan data tahap selanjutnya adalah tahap studi literatur. Tahap ini dilakukan dengan mempelajari literatur terkait baik dari buku, jurnal ilmiah, media sosial internet dan sebagainya. Penyebab dan proses permasalahan yang telah dirumuskan. Hal ini dilakukan untuk menambah wawasan dalam usaha penyelesaian permasalahan yang telah dirumuskan. Hal ini penting untuk dilakukan mengingat diperlukan landasan pemikiran yang baik untuk menganalisa dan mengatasi permasalahan yang ada.

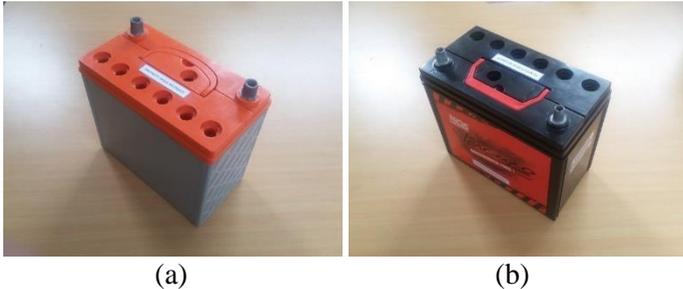
3.2.3 Analisis

Penulis melakukan tahap analisis yaitu identifikasi pengaruh temperatur terhadap ketahanan kontainer aki dan menganalisa hipotesa awal. Tahapan yang dilakukan adalah:

- **Permodelan Kontainer Aki**

Gambar 3.2 adalah kontainer aki merk A dan B yang kemudian akan dimodelkan dalam gambar 3D menggunakan *software*. Permodelan kontainer ini dibagi menjadi 4 tahap, tahap pertama adalah memodelkan kontainer aki, lalu tahap kedua adalah memodelkan tutup atau bagian atas kontainer aki, yang ketiga adalah memodelkan *vent plug* dan *indicator*, dan yang terakhir

adalah menggabungkan kontainer, tutup kontainer, *vent plug* dan *indicator*.



Gambar 3.2 (a) Kontainer Aki Merk A (b) Kontainer Aki Merk B

- **Simulasi Model Menggunakan *Finite Element Method* (FEM)**

Setelah kontainer aki dimodelkan dengan *software solidwork*, kemudian gambar 3D akan disimulasikan dengan menggunakan *Finite Element Method Transcient Thermal Analysis*. Pada simulasi ini, permodelan aki dikondisikan dalam temperatur lingkungan 75°C dan suhu diasumsikan sama di setiap titik. Ketika simulasi telah selesai dilakukan, hasil dari simulasi akan menunjukkan persebaran temperatur dari sumber panas hingga ke dalam aki. Dari hasil tersebut dapat diketahui ketahanan kontainer aki terhadap temperatur.

- **Membandingkan Hasil Simulasi dan Evaluasi**

Jika kedua model aki telah disimulasikan, langkah selanjutnya adalah membandingkan hasil simulasi dari kedua kontainer aki tersebut. Hal-hal yang akan dibandingkan antara lain; penyebaran temperatur, temperatur terendah setelah kontainer disimulasikan, dan temperatur pada dinding permukaan kontainer. Kontainer harus dapat menurunkan temperatur yang mengalir dari lingkungan ke bagian dalam kontainer, semakin kecil temperatur ketika di dalam kontainer maka kontainer semakin baik. Temperatur pada kontainer juga harus sekecil mungkin, karena

dengan temperatur yang rendah pada dinding dan bagian dalam kontainer, maka bagian dalam dari kontainer akan lebih terlindung dari suhu yang tinggi dan dapat mencegah kerusakan dini. Kemudian akan dilakukan evaluasi untuk mengetahui pengaruh temperatur terhadap ketahanan kontainer aki.

- ***Redesign Kontainer Aki Milik Sebuah Industri Aki***

Redesign dilakukan untuk mendapatkan desain kontainer aki yang baru, dimana desain tersebut memiliki ketahanan terhadap temperatur lebih baik dengan mengacu pada evaluasi yang sudah dilakukan sebelumnya. Parameter yang akan didesain ulang adalah jenis material, ketebalan dan kerangka kontainer. Sambungan pada kontainer aki tidak boleh terdapat celah karena dapat membuat gas yang dihasilkan saat proses *charging* menguap lebih banyak sehingga elektrolit lebih cepat habis. Kontainer juga harus bersifat isolator terhadap panas, tujuannya adalah supaya panas yang berasal dari mesin tidak mudah melewati kontainer, sehingga dapat menjaga temperatur di dalam ruang kontainer tetap rendah. Selain kuat dan bersifat isolator, kontainer juga harus dapat mensirkulasi gas menjadi air kembali. Jika kontainer aki dapat mensirkulasi gas menjadi air dengan cepat, maka akan semakin kecil jumlah gas oksigen dan hidrogen yang keluar dari kontainer aki dan elektrolit tidak cepat habis.

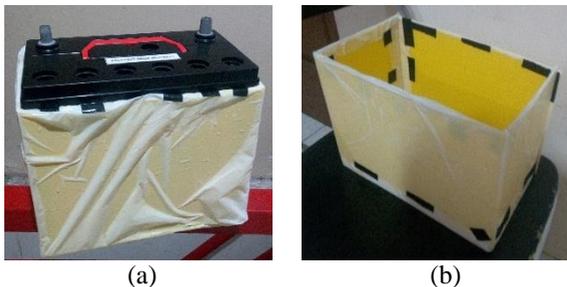
- ***Simulasi Desain Baru dengan Menggunakan Finite Element Method (FEM)***

Desain kontainer aki yang baru disimulasikan dengan menggunakan FEM untuk membuktikan bahwa desain yang baru sudah memiliki ketahanan terhadap temperatur yang lebih baik dari desain yang sebelumnya. Jika hasil belum sesuai dengan model yang diinginkan, maka akan dilakukan desain ulang hingga didapatkan desain yang sesuai dengan model yang diinginkan.

- ***Validasi Desain Baru***

Desain kontainer aki yang baru kemudian divalidasi dengan sebuah eksperimen. Tujuan eksperimen ini adalah untuk

mengetahui apakah hasil dari simulasi sudah sesuai dengan keadaan yang sebenarnya. Eksperimen dilakukan dengan cara melapisi permukaan-permukaan kontainer aki dengan isolator sebanyak dua lapis, kemudian dilapisi juga dengan plastik dengan tujuan agar air tidak masuk ke dalam kontainer aki dan rongga-rongga isolator seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.3. Setelah itu kontainer dimasukkan ke dalam ember berisi air yang sudah dipanaskan dengan menggunakan pemanas air hingga temperaturnya 75°C . Kemudian setiap 10 menit bagian dalam kontainer aki diukur suhunya dengan menggunakan termometer. Eksperimen ini dilakukan selama satu jam. Skema Alat untuk eksperimen ini dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.3 (a) Kontainer Aki Dilapisi Dengan Isolator (b) Isolator untuk Lapisan Kedua Aki Merk B



Gambar 3.4 Skema Alat untuk Validasi Kontainer Aki

3.2.4 Pembahasan

Pembahasan yang akan dilakukan adalah untuk menjawab rumusan masalah yang telah dibuat sebelumnya, yaitu mendapatkan desain kontainer aki untuk produk sebuah industri aki yang memiliki ketahanan terhadap temperatur yang lebih baik.

3.2.5 Kesimpulan dan Saran

Tahap ini merupakan tahap akhir dari pengerjaan Tugas Akhir. Berdasarkan tahapan sebelumnya akan diperoleh hasil yang bisa diajukan pada sebuah industri aki terkait desain kontainer aki yang memiliki ketahanan terhadap temperatur lebih baik, sehingga dapat menjadi pertimbangan untuk peningkatan kualitas produk aki sebuah industri aki selanjutnya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

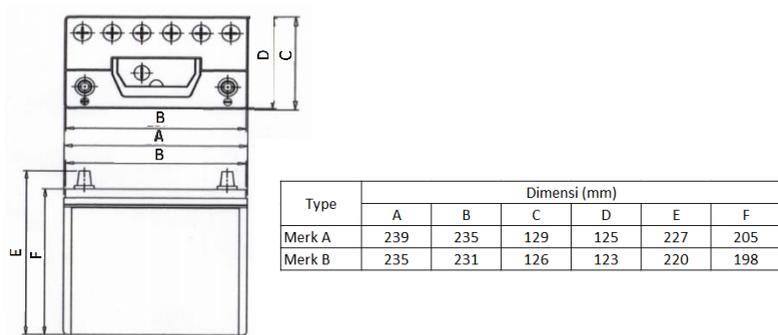
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai distribusi dari panas pada desain kontainer aki produk merk A dan merk B serta melakukan evaluasi terhadap penyebaran panas pada masing-masing kontainer, evaluasi mengacu pada hasil dari simulasi yang dilakukan dengan menggunakan software *Finite Element Method*. Setelah itu melakukan *redesign* sehingga didapatkan desain kontainer aki yang memiliki suhu yang rendah pada dinding dan bagian dalamnya.

Pada simulasi yang dilakukan, diasumsikan bahwa terdapat temperatur yang mengelilingi kontainer aki, yaitu sebesar 75°C, karena pada sebuah industri aki terdapat metode pengujian kontainer aki dengan cara merendam kontainer aki ke dalam bak berisi air yang memiliki temperatur 75°C. Kemudian, temperatur awal dari kontainer aki adalah 30°C. Siklus waktu yang digunakan dalam simulasi ini adalah 3600 detik, karena pada kondisi tersebut perpindahan panas pada kontainer aki sudah mulai stabil.

4.1 Permodelan Kotainer Aki dalam Bentuk 3D

Permodelan Kontainer Aki dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *software Solidworks*. Proses permodelan diawali dengan mencari besar dimensi masing-masing kontainer. Untuk mendapatkan besar dimensi dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan menggunakan katalog dan mengukur langsung dengan jangka sorong. Katalog digunakan sebagai referensi untuk menemukan besar dimensi dari kontainer aki sedangkan untuk metode pengukuran langsung, pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali kemudian diambil nilai rata-ratanya. Kedua cara tersebut dilakukan untuk memperkecil kemungkinan kesalahan dari dimensi kotainer aki.

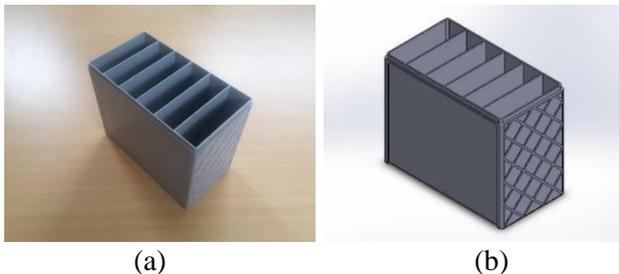


Gambar 4.1 Dimensi dari Kontainer Merk A dan Merk B

Gambar 4.1 menunjukkan hasil pengukuran dimensi dari kedua jenis kontainer aki dalam milimeter. Setelah dimensi didapatkan, maka model kontainer aki digambar pada *software*. Dalam permodelan kontainer aki, gambar dibagi menjadi 4 bagian, yaitu kontainer, tutup kontainer (*cover*), *vent plug*, dan *indicator*.

4.1.1 Kontainer

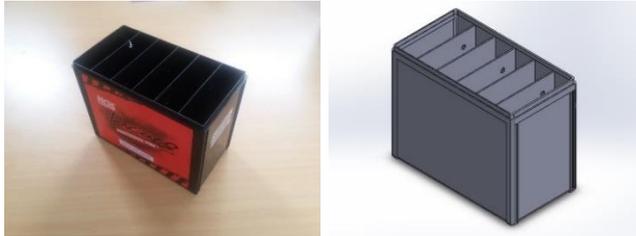
Kontainer dari merk A dan merk B terbuat dari material *polypropylene*, dimana material ini memiliki konduktivitas termal $0,1 - 0,22 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ pada suhu 75°C .



Gambar 4.2 Kontainer Aki Merk A (a) Asli (b) Model 3D

Gambar 4.2(a) menunjukkan kontainer aki merk A sedangkan gambar 4.2(b) menunjukkan hasil permodelan dengan menggunakan *software*. Kontainer aki merk A mempunyai ukuran panjang 239 mm, lebar 129 mm dan tinggi 190,75 mm. Kontainer

ini memiliki 6 ruang yang merupakan tempat untuk meletakkan grid-grid aki. Pada sisi kiri dan kanan kontainer terdapat pola belah ketupat, serta pada bagian bawah aki terdapat pola persegi kecil berukuran $9 \text{ mm} \times 9 \text{ mm}$.



(a)

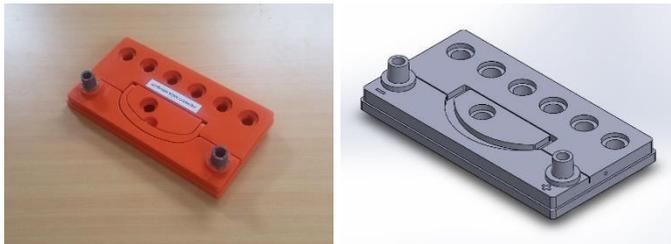
(b)

Gambar 4.3 Kontainer Aki Merk B (a) Asli (b) Model 3D

Gambar 4.3(a) menunjukkan kontainer aki merk B sedangkan gambar 4.3(b) menunjukkan hasil permodelan dengan menggunakan *software*. Kontainer ini mempunyai ukuran panjang 235 mm, lebar 126 mm, dan tinggi 184,75 mm. Kontainer ini memiliki 6 ruang yang menjadi tempat untuk meletakkan susunan plat-plat aki dan terdapat lubang berdiameter 8 mm disetiap sekat ruangnya. Berbeda dengan kontainer merk A, kontainer ini tidak memiliki pola di sisi-sisinya.

4.1.2 Tutup Kontainer (Cover)

Tutup kontainer terbuat dari material yang sama dengan kontainer yaitu *polypropylene*, sehingga memiliki properti yang sama dengan kontainer juga.



(a)

(b)

Gambar 4.4 Tutup Kontainer Merk A (a) Asli (b) Model 3D

Gambar 4.4(a) menunjukkan tutup kontainer aki merk A dan gambar 4.4(b) adalah hasil permodelan dengan menggunakan *software*. Tutup kontainer aki merk A mempunyai ukuran panjang 239 mm, lebar 129 mm dan tinggi 43,4 mm. Tutup kontainer ini memiliki tujuh buah lubang antara lain satu lubang di tengah sebagai tempat *indicator* dengan diameter luar 23 mm dan diameter dalam 16 mm, dan enam lubang sebagai tempat *vent plug* dengan diameter luar 24,6 mm dan diameter dalam 16,75 mm. Dan juga terdapat dua terminal yang merupakan tempat menyambungkan aki dengan klem aki mobil.



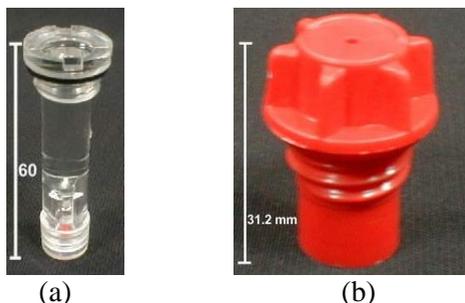
Gambar 4.5 Tutup Kontainer Merk B (a) Asli (b) Model 3D

Gambar 4.5(a) menunjukkan tutup kontainer aki merk B dan gambar 4.5(b) adalah hasil permodelan dengan menggunakan *software*. Tutup kontainer aki merk B mempunyai ukuran panjang 235 mm, lebar 126 mm dan tinggi 41,5 mm. Tutup kontainer ini memiliki tujuh buah lubang antara lain satu lubang di tengah sebagai tempat *indicator* dengan diameter luar 19,5 mm dan diameter dalam 15,6 mm, dan enam lubang sebagai tempat *vent plug* dengan diameter luar 22,5 mm dan diameter dalam 17,8 mm. Dan juga terdapat dua terminal yang merupakan tempat menyambungkan aki dengan klem aki mobil.

4.1.3 *Indicator dan Vent Plug*

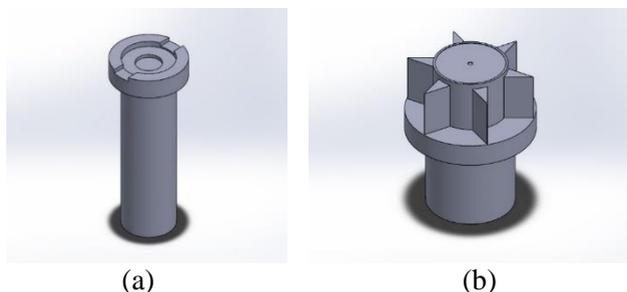
Indicator adalah bagian pada aki *free maintenance* yang memudahkan pengguna aki untuk mengetahui kondisi di dalam kontainer aki. *Indicator* terbuat dari material *polypropylene*

bening. *Vent plug* adalah bagian dari aki yang berfungsi untuk menahan gas oksigen dan hidrogen yang akan keluar dari kontainer aki agar tetap berada di dalam. *Vent plug* terbuat dari material *polypropylene*.

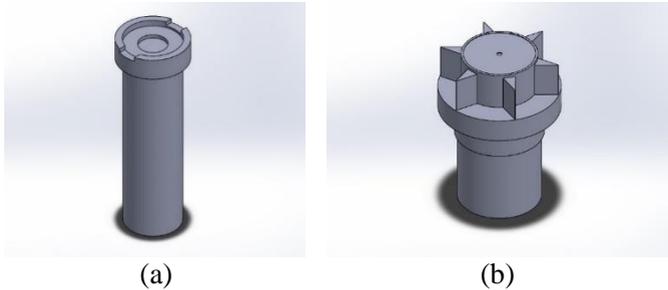


Gambar 4.6 (a) *Indicator* dan (b) *Vent Plug* pada *Free Maintenance Battery*

Gambar 4.6 menunjukkan *indicator* dan *vent plug* dari kontainer aki. Setelah dimodelkan dengan menggunakan *software* dan diameter *indicator* serta *vent plug* disesuaikan dengan ukuran diameter lubang pada masing-masing tutup kontainer seperti yang sudah dibahas pada subbab sebelumnya, maka didapatkan model 3D dari *indicator* dan *vent plug* untuk masing-masing kontainer seperti yang bisa dilihat pada gambar 4.7 dan 4.8.



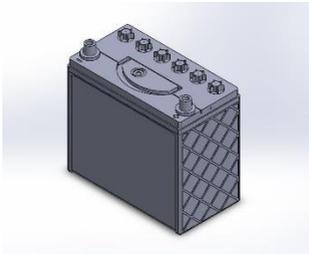
Gambar 4.7 (a) *Indicator* dan (b) *Vent Plug* untuk kontainer Merk A



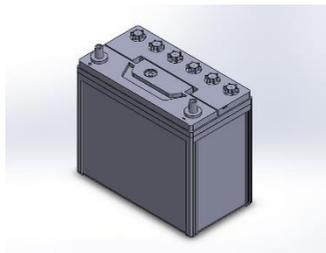
Gambar 4.8 (a) *Indicator* dan (b) *Vent Plug* untuk Kontainer Merk B

4.1.4 Penyatuan Kontainer, Tutup Kontainer, *Indicator* dan *Vent Plug*

Setelah seluruh bagian dari kontainer dimodelkan, kemudian model-model tersebut disatukan dalam satu model dengan cara *di-Assembly*, sehingga didapatkan model-model kontainer seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.9 dan 4.10.



Gambar 4.9 Model Kontainer Merk A Setelah Proses *Assembly*



Gambar 4.10 Model Kontainer Merk B Setelah Proses *Assembly*

4.2 Simulasi Model Kontainer dengan Menggunakan *Finite Element Method*

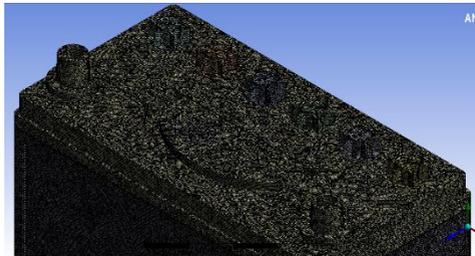
Setelah permodelan kontainer selesai digambar, kemudian model 3D dari kontainer disimulasikan dengan menggunakan *Finite Element Method Transcient Thermal Analysis*. *Transcient Thermal Analysis* digunakan karena *properties* yang dimiliki udara berubah-ubah menurut fungsi waktu. Beberapa tahap yang dilakukan dalam melakukan simulasi antara lain;

- Meshing,
- Penentuan waktu simulasi,
- Penentuan perlakuan dari lingkungan yang memengaruhi kontainer aki,
- Perhitungan koefisien konveksi udara.

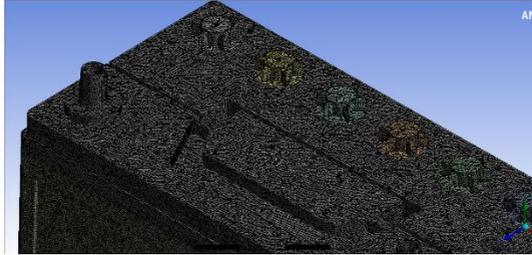
Penjelasan mengenai tahap-tahap di atas akan dijelaskan pada subbab-subbab berikutnya.

4.2.1 *Meshing*

Meshing adalah proses pembagian membagi suatu benda yang akan dianalisa, menjadi beberapa bagian dengan jumlah hingga (*finite*) dimana bagian-bagian ini disebut elemen yang tiap elemen satu dan elemen lainnya dihubungkan dengan menggunakan nodal.



Gambar 4.11 Model Kontainer Merk A Setelah Proses *Meshing*

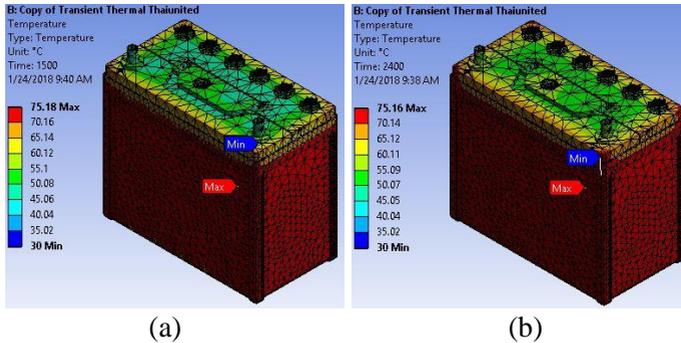


Gambar 4.12 Model Kontainer Merk B Setelah Proses *Meshing*

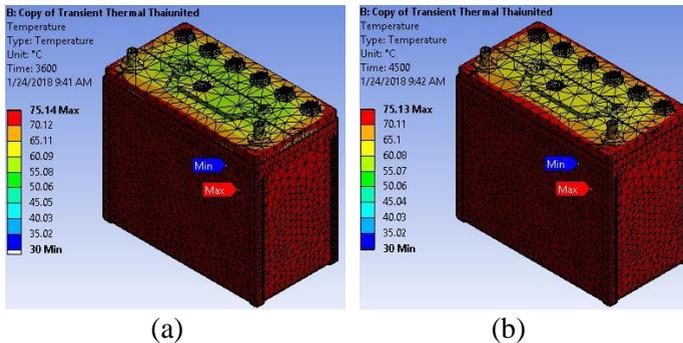
Meshing untuk kontainer merk A dan merk B yang sudah dimodelkan, ditunjukkan pada gambar 4.11 dan gambar 4.12. *Meshing* menghasilkan jumlah *nodes* 24.196.973 dan jumlah *elements* 16.970.911 pada kontainer merk A, serta jumlah *nodes* 15.808.224 dan jumlah *elements* 10.669.941 pada kontainer merk B.

4.2.2 Menentukan Waktu Simulasi

Waktu simulasi adalah waktu dimana penyebaran panas pada kontainer sudah merata. Pada simulasi ini waktu simulasi yang digunakan adalah 3600 detik karena setelah dilakukan uji coba, pada saat waktu simulasi adalah 1500 dan 2400 detik posisi dari titik temperatur maksimum dan minimum masih berpindah-pindah. Akan tetapi, pada saat waktu simulasi adalah 3600 dan 4500 detik posisi dari titik temperatur maksimum dan minimum sudah tetap, seperti yang ditunjukkan oleh gambar 4.13 dan 4.14.



Gambar 4.13 Posisi Temperatur Maksimum dan Minimum saat Waktu Simulasi (a) 1500 dan (b) 2400 detik



Gambar 4.14 Posisi Temperatur Maksimum dan Minimum saat Waktu Simulasi (a) 3600 dan (b) 4500 detik

4.2.3 Menentukan Perlakuan dari Lingkungan yang Memengaruhi Kontainer Aki

Pada mobil, aki biasanya ditempatkan berdekatan dengan mesin mobil, seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.15, dan ketika mobil sedang berjalan, maka mesin mobil akan menghasilkan panas. Panas yang dihasilkan oleh mesin mobil ini akan memengaruhi aki dan membuat suhu kontainer aki menjadi lebih tinggi dari sebelumnya.



Gambar 4.15 Posisi Aki pada Mesin Mobil

Dalam kondisi ini aki mengalami perpindahan panas secara konveksi dari mesin ke kontainer aki. Tetapi pada bagian bawah aki terdapat isolator sebagai tempat menaruh aki pada mobil, sehingga penulis mengasumsikan bahwa kontainer aki mengalami konveksi pada bagian atas dan samping, sedangkan bagian bawah kontainer terisolasi. Ketika posisi kap mobil tertutup, akan terdapat ruang di antara bagian atas aki dan kap mobil. Karena ruang di antara aki dan kap mobil ini lebih sempit dibandingkan ruang di samping kontainer, maka penulis mengasumsikan bahwa koefisien konveksi di bagian atas aki adalah sepertiga dari konveksi bagian samping aki.

4.2.4 Menghitung Koefisien Konveksi Udara

Seperti yang sudah dijelaskan pada subbab sebelumnya, ketika mobil berjalan akan terjadi perpindahan panas dari udara yang dihasilkan oleh mesin mobil ke kontainer aki secara konveksi dan juga akan terdapat aliran udara di dalam kap mobil, sehingga konveksi yang terjadi termasuk ke dalam *forced convection*. Untuk dapat melakukan simulasi, penulis perlu untuk menghitung koefisien konveksi dari udara yang mengelilingi kontainer aki.

Pada penelitian ini diasumsikan bahwa udara di sekitar kontainer aki memiliki kecepatan aliran 5 m/s dan suhu 75°C atau 348 K. Dari tabel 2.1, pada $T = 348$ K didapatkan hasil interpolasi $\nu = 20,718 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, $k = 29,852 \times 10^{-3} \text{ W/m K}$ dan $Pr = 0,7003$. Koefisien konveksi didapatkan dari perhitungan dengan menggunakan persamaan 2.21, 2.23, dan 2.24 sebagai berikut;

- Koefisien konveksi untuk kontainer aki merk A ($L = 0,205 \text{ m}$)

$$Re = \frac{5 \text{ m/s} \times 0,205 \text{ m}}{20,718 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 49473,89$$

$$Nu_x = 0,0296 \times (49473,89)^{4/5} \times 0,7003^{1/3} = 149,69$$

$$h = \frac{149,69 \times 29,852 \times 10^{-3}}{0,205} = 21,799 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

$$h_{\text{bagian atas}} = \frac{h}{3} = \frac{21,799}{3} = 7,266 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

- Koefisien konveksi untuk kontainer aki merk B ($L = 0,198 \text{ m}$)

$$Re = \frac{5 \text{ m/s} \times 0,198 \text{ m}}{20,718 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 47784,53$$

$$Nu_x = 0,0296 \times (47784,53)^{4/5} \times 0,7003^{1/3} = 145,59$$

$$h = \frac{145,59 \times 29,852 \times 10^{-3}}{0,198} = 21,951 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

$$h_{\text{bagian atas}} = \frac{h}{3} = \frac{21,799}{3} = 7,317 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

4.2.5 Simulasi Model Kontainer

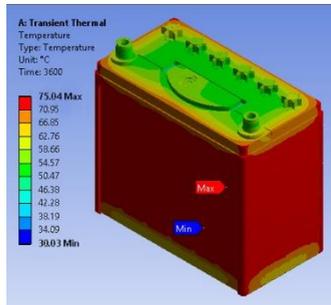
Untuk melakukan simulasi diperlukan data-data yang akan digunakan pada saat simulasi, antara lain ;

- Material kontainer adalah *polypropylene*,
- Konduktivitas termal material adalah $0,1 - 0,22 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$,
- Waktu simulasi yang digunakan 3600 detik.

Adapun asumsi yang akan digunakan pada saat simulasi adalah sebagai berikut :

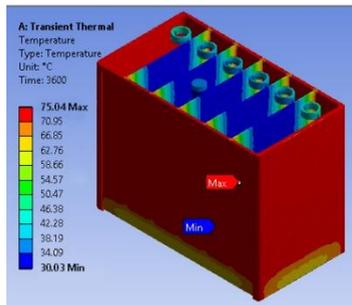
- Temperatur yang mengelilingi kontainer adalah 75°C ,
- Kecepatan udara di sekitar kontainer 5 m/s
- Koefisien konveksi pada bagian atas aki adalah $\frac{1}{3}$ dari koefisien konveksi pada bagian samping kontainer.

Dengan menggunakan data-data dan asumsi yang sudah dijelaskan, simulasi dapat dilakukan dan hasil dari simulasi ditunjukkan pada gambar 4.16 sampai 4.21.



Gambar 4.16 Hasil Simulasi Model Kontainer Merk A

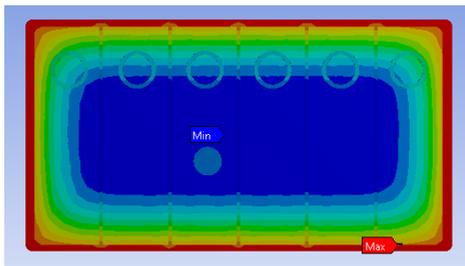
Dapat dilihat dari gambar 4.16 bahwa kontainer merk A memiliki temperatur minimal $30,03^{\circ}\text{C}$. Dalam hasil simulasi ini ditunjukkan pada permukaan bagian depan dan belakang memiliki warna merah yang berarti suhunya sama dengan suhu di sekitarnya yaitu 75°C , sedangkan pada bagian tutup kontainer (*cover*) terjadi degradasi warna dari hijau hingga merah pada permukaannya, hal tersebut menunjukkan suhu dari bagian luar hingga ke bagian tengah semakin menurun.



Gambar 4.17 Hasil Simulasi Merk A dengan Potongan

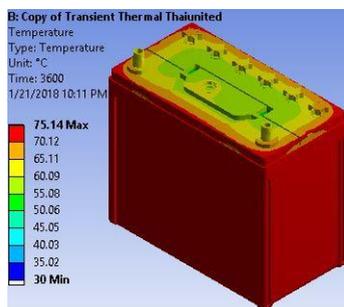
Gambar 4.17 menunjukkan hasil simulasi yang dipotong pada bagian tutup kontainernya, sehingga dapat terlihat tampak bagian dalam dari kontainer. Terlihat pada bagian sekat kontainer mengalami degradasi warna dari kuning menjadi biru, hal tersebut menunjukkan pada bagian dalam dan tengah kontainer memiliki

suhu yang lebih rendah dibandingkan dengan bagian luar kontainer.



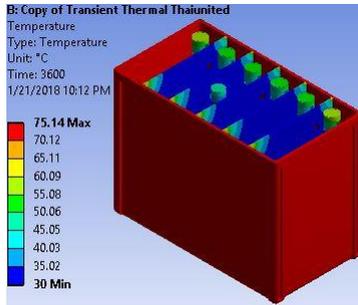
Gambar 4.18 Tampak Atas Hasil Simulasi Merk A dengan Potongan

Gambar 4.18 menunjukkan tampak atas dari hasil simulasi yang dipotong pada bagian tutup kontainernya sehingga dapat terlihat jelas penurunan suhu mulai dari bagian paling luar aki hingga ke bagian tengah aki. Terlihat bahwa bagian dari aki yang memiliki suhu terendah berada di dekat bagian dalam dan tengah aki.



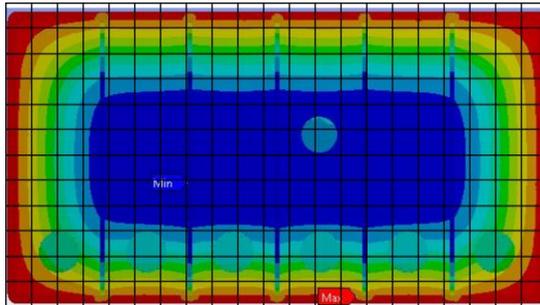
Gambar 4.19 Hasil Simulasi Model Kontainer Merk B

Dapat dilihat dari gambar 4.19, kontainer merk B memiliki temperatur minimal 30°C. Sama halnya seperti pada kontainer merk A, dalam hasil simulasi ini juga menunjukkan pada permukaan bagian depan dan belakang memiliki warna merah, sedangkan pada bagian tutup kontainer (*cover*) terjadi degradasi warna dari hijau hingga merah pada permukaannya.



Gambar 4.20 Hasil Simulasi Merk B dengan Potongan

Gambar 4.20 menunjukkan hasil simulasi yang dipotong pada bagian tutup kontainernya. Terlihat pada bagian sekat kontainer memiliki warna dominan biru, namun terdapat sedikit degradasi warna kuning pada ujung atas sekat kontainer.



Gambar 4.21 Tampak Atas Hasil Simulasi Merk B dengan Potongan

Gambar 4.21 menunjukkan tampak atas dari hasil simulasi yang dipotong pada bagian tutup kontainernya. Jika dilihat dari tampak atas, bagian aki yang memiliki temperatur terendah terletak di dekat sekat terluar dan mendekati bagian atas kontainer apabila dilihat dari Gambar 4.20.

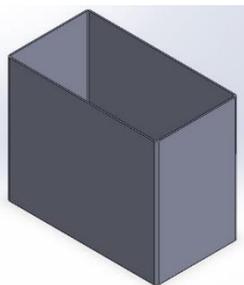
Dari hasil simulasi terlihat bahwa kontainer aki merk A memiliki selisih antara temperatur maksimum dan minimum sebesar 44,97°C. Pada kontainer aki merk B, selisih antara temperatur maksimum dan minimum adalah sebesar 45°C. Karena,

perbedaan antara kedua kontainer tidak signifikan yaitu $0,03\text{ }^{\circ}\text{C}$, sehingga penulis dapat menyimpulkan bahwa performa dari kedua kontainer adalah sama.

4.3 Redesign Kontainer Aki

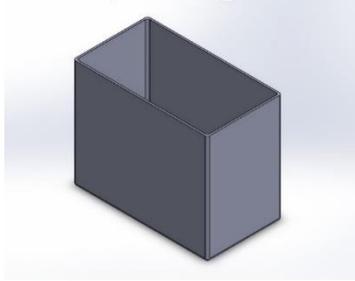
Setelah didapatkan bahwa selisih antara temperatur maksimum dan minimum kontainer merk B lebih besar dari merk A, selanjutnya penulis melakukan evaluasi terhadap hasil simulasi penyebaran panas pada kontainer aki merk B. Berdasarkan hasil simulasi yang sudah dilakukan, temperatur pada dinding kontainer merk B adalah 75°C . Kondisi ini dapat mengakibatkan aki lebih mudah rusak karena komponen-komponen dari aki terkena temperatur yang tinggi. Sebaiknya pada permukaan kontainer aki memiliki temperatur yang lebih rendah dari temperatur di sekitarnya, karena jika temperatur permukaan kontainer lebih rendah dari temperatur sekitarnya, maka *service life* dari aki akan meningkat dari sebelumnya dan kontainer juga bisa mensirkulasi gas menjadi cair dengan lebih baik.

Berdasarkan evaluasi dari hasil simulasi kontainer aki, penulis melakukan *redesign* dengan dua cara, yang pertama adalah dengan menambahkan sebuah busa tanpa alas dan tutup sebagai pelapis aki, seperti yang ditunjukkan oleh gambar 4.22. Busa tersebut memiliki material yang sama dengan kontainer aki yaitu *polypropylene* dan dimensi panjang 239 mm, lebar 130 mm, dan tinggi 198mm.

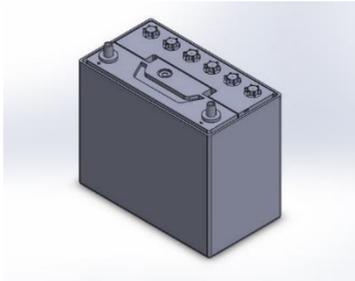


Gambar 4.22 Model Busa Sebagai Pelapis Pertama Kontainer Aki

Cara yang kedua adalah dengan menambahkan kotak tanpa tutup sebagai pelapis kedua dari aki. Kotak tersebut memiliki material yang sama dengan kontainer aki yaitu *polypropylene* dan dimensi panjang 246 mm, lebar 136 mm, dan tinggi 198 mm.



Gambar 4.23 Model Kotak Sebagai pelapis kedua Kontainer Aki



Gambar 4.24 Model Gabungan Kotak, Busa dan Kontainer

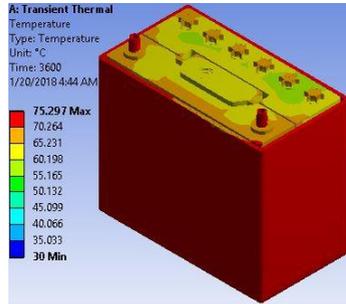
Gambar 4.23 adalah hasil permodelan kotak untuk pelapis kedua kontainer aki merk B dengan menggunakan *software* dan gambar 4.24 adalah model gabungan dari kontainer, busa dan kotak.

4.4 Simulasi Model Kontainer Redesign dengan Menggunakan Finite Element Method

Setelah permodelan kontainer baru digambar, kemudian disimulasikan kembali dengan menggunakan *Finite Element Method Transcient Thermal Analysis*. Dalam *redesign* ini, mula-mula kontainer aki merk B dilapisi dengan busa sebagai pelapis pertama, kemudian disimulasikan dengan menggunakan FEM.

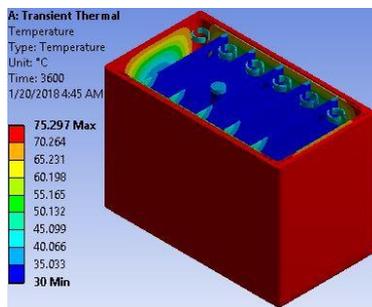
Setelah itu, ditambahkan kotak sebagai pelapis kedua dari kontainer aki merk B, kemudian disimulasikan kembali dengan menggunakan FEM.

Dengan melakukan tahap-tahap yang sudah dibahas pada subbab sebelumnya, maka didapatkan hasil simulasi seperti pada gambar 4.25 sampai 4.34.

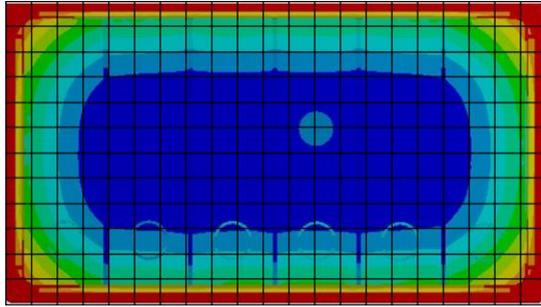


Gambar 4.25 Hasil Simulasi Model Kontainer yang Dilapisi Busa

Dapat dilihat dari gambar 4.25, kontainer merk B setelah dilapisi busa memiliki temperatur minimal 30°C. Dalam hasil simulasi ini ditunjukkan pada bagian tutup kontainer (*cover*) didominasi warna dari kuning dengan sedikit warna hijau pada permukaannya.

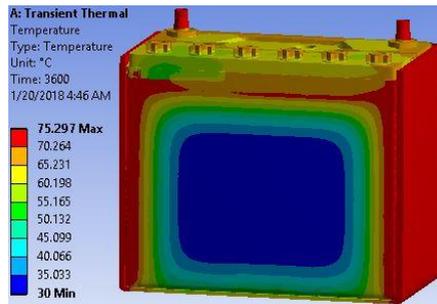


Gambar 4.26 Hasil Simulasi Kontainer yang Dilapisi Busa dengan Potongan

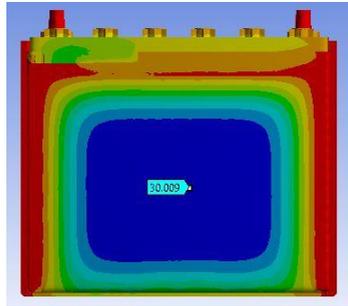


Gambar 4.27 Tampak Atas Hasil Simulasi Kontainer yang Dilapisi Busa dengan Potongan

Gambar 4.26 dan 4.27 menunjukkan hasil simulasi yang dipotong pada bagian tutup kontainernya, sehingga dapat terlihat tampak bagian dalam dari kontainer. Terlihat pada bagian sekat kontainer didominasi dengan warna biru dengan sedikit warna hijau di bagian ujung atas kontainer. Hal ini menunjukkan hasil simulasi kontainer aki merk B setelah dilapisi busa memiliki temperatur di bagian dalam kontainer yang lebih dingin dibandingkan dengan ketika kontainer aki tidak diberi busa.

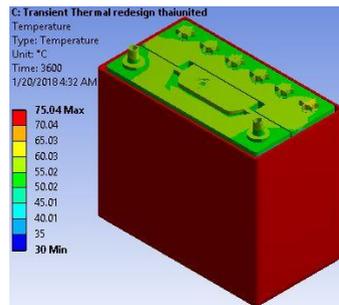


Gambar 4.28 Hasil Simulasi Kontainer yang Dilapisi Busa dengan Potongan Depan



Gambar 4.29 Tampak Depan Hasil Simulasi Kontainer yang Dilapisi Busa dengan Potongan Depan

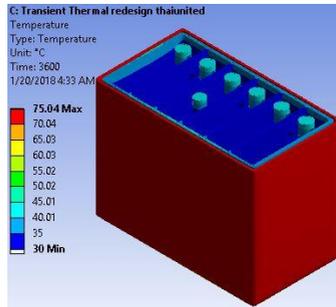
Gambar 4.28 dan 4.29 menunjukkan hasil simulasi yang dipotong pada bagian depan permukaan kontainer, sehingga dapat terlihat temperatur pada permukaan kontainer. Terlihat bahwa pada permukaan kontainer terdapat gradasi dari merah hingga biru. Hal ini menunjukkan hasil simulasi kontainer merk B setelah dilapisi busa memiliki temperatur di permukaan kontainer yang lebih dingin dibandingkan dengan ketika kontainer aki tidak diberi busa yaitu mencapai 30°C.



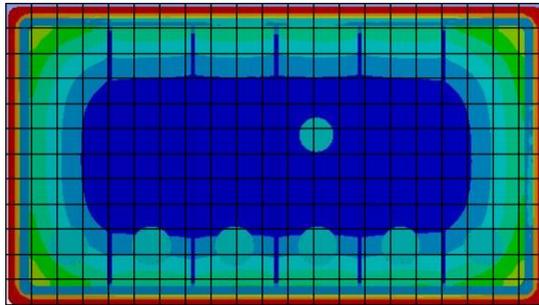
Gambar 4.30 Hasil Simulasi Model Kontainer yang Ditambahkan Kotak

Dapat dilihat dari gambar 4.30, kontainer merk B setelah dilapisi busa kemudian ditambahkan kotak memiliki temperatur minimal 30°C. Dalam hasil simulasi ini ditunjukkan pada bagian tutup kontainer (*cover*) didominasi warna hijau dengan sedikit

warna kuning pada permukaannya. Hal ini menunjukkan hasil simulasi kontainer merk B setelah dilapisi busa dan kotak memiliki tutup kontainer yang lebih dingin dibandingkan dengan ketika kontainer aki hanya diberi busa, sehingga kontainer dapat mensirkulasi gas menjadi cair dengan lebih baik.



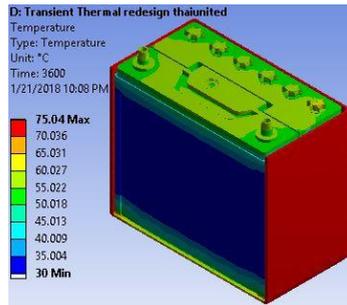
Gambar 4.31 Hasil Simulasi Kontainer yang Ditambahkan Kotak dengan Potongan



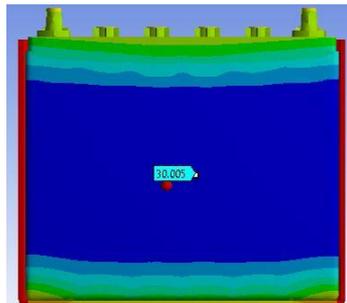
Gambar 4.32 Tampak Atas Hasil Simulasi Kontainer yang Ditambahkan Kotak dengan Potongan

Gambar 4.31 dan 4.32 menunjukkan hasil simulasi yang dipotong pada bagian tutup kontainernya, sehingga dapat terlihat tampak bagian dalam dari kontainer. Terlihat pada bagian sekat kontainer didominasi dengan warna biru dengan sedikit warna hijau di bagian ujung bawah kontainer. Hal ini menunjukkan hasil simulasi kontainer aki merk B setelah ditambahkan kotak memiliki

temperatur di dalam kontainer yang lebih dingin dibandingkan dengan ketika kontainer aki hanya diberi busa.



Gambar 4.33 Hasil Simulasi Kontainer yang Ditambahkan Kotak dengan Potongan Depan



Gambar 4.34 Tampak Depan Hasil Simulasi Kontainer yang Ditambahkan Kotak dengan Potongan Depan

Gambar 4.33 dan 4.34 menunjukkan hasil simulasi yang dipotong pada bagian depan permukaan kontainer, sehingga dapat terlihat temperatur pada permukaan kontainer. Terlihat bahwa pada permukaan kontainer didominasi dengan warna biru dengan sedikit warna hijau di bagian atas dan bawah kontainer. Hal ini menunjukkan hasil simulasi kontainer merk B setelah dilapisi busa dan ditambahkan kotak memiliki temperatur di permukaan kontainer yang dingin dan lebih merata dibandingkan dengan ketika kontainer aki hanya diberi busa yaitu mencapai 30°C.

4.5 Validasi Hasil dari Simulasi

Setelah melakukan simulasi, perlu dilakukan sebuah validasi untuk mengetahui kebenaran dari hasil simulasi tersebut. Dalam melakukan validasi ini, penulis membuat *prototype* yang mengacu kepada model kontainer aki merk B setelah di *redesign*. Berdasarkan hasil dari validasi, didapatkan data-data sebagai berikut.

Tabel 4.1 Hasil Validasi Kontainer Aki

Waktu (menit)	Temperatur di dalam kontainer aki (°C)		
	Sebelum <i>Redesign</i>	Setelah <i>Redesign</i> Dilapis Busa	Setelah <i>Redesign</i> Ditambah Kotak
0	30,0	30,0	30,0
10	31,6	31,2	30,8
20	33,0	32,2	31,4
30	34,2	33,0	31,8
40	35,2	33,6	32,0
50	36,0	34,0	32,1
60	36,5	34,2	32,1

Dari hasil validasi, dapat dilihat bahwa temperatur di dalam kontainer aki akan semakin rendah ketika diberikan isolator tambahan. Pada hasil simulasi ketika kontainer ditambahkan kotak didapatkan bahwa temperatur di dalam kontainer aki mencapai 30°C dan pada keadaan aktualnya mencapai 32,1°C.

4.6 Perbandingan Hasil Sebelum dan Setelah *Redesign*

Berdasarkan simulasi dan validasi yang telah dilakukan, maka dapat diketahui perbandingan antara desain yang ada saat ini dengan desain baru. Hasil perbandingan tersebut dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Perbandingan Hasil Simulasi Sebelum dan Sesudah *Redesign*

Pembanding	Sebelum <i>Redesign</i>	Setelah <i>Redesign</i> dilapis Busa	Setelah <i>Redesign</i> ditambah Kotak
Temperatur Minimum (°C)	30 (pada bagian dalam kontainer)	30 (pada bagian dalam kontainer)	30 (pada bagian dalam kontainer)
Temperatur Maksimum (°C)	75 (pada permukaan kontainer aki)	75 (pada permukaan kontainer aki)	75 (pada permukaan kontainer aki)
Temperatur permukaan kontainer (°C)	75	30	30
Luasan Daerah Berwarna Biru di Bagian Dalam Kontainer	44 kotak (dilihat dari gambar 4.19)	80 kotak (dilihat dari gambar 4.25)	82 kotak (dilihat dari gambar 4.30)

Dapat dilihat dari tabel 4.2, pada hasil simulasi ketika kontainer ditambahkan kotak didapatkan bahwa temperatur di dalam kontainer aki mencapai 30°C dan jika dilihat dari tabel 4.1, pada keadaan aktualnya ketika kontainer ditambahkan kotak didapatkan bahwa temperatur di dalam kontainer aki mencapai 32,1°C.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisis pengaruh penambahan isolator terhadap penurunan temperatur kerja baterai *free maintenance* yang digunakan sebuah industri aki, yang berdasarkan studi literatur analisis data, dan simulasi kontainer aki merk A dan merk B, *redesign* kontainer aki dengan menggunakan FEM serta validasi adalah sebagai berikut :

1. Dari hasil simulasi yang dilakukan, didapatkan perbedaan antara kedua kontainer tidak signifikan yaitu 0,03 °C sehingga dapat dikatakan bahwa performa dari kedua kontainer adalah sama.
2. Penambahan isolator pada aki dapat menyebabkan temperatur pada dinding kontainer menjadi lebih rendah.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan kepada pihak sebuah industri aki adalah sebagai berikut :

1. Dalam melakukan validasi, sebaiknya pengujian dilakukan di sebuah perusahaan aki, agar hasil yang didapatkan lebih akurat.
2. Perlu dilakukan penelitian tentang desain labirin dan *vent plug* dari masing-masing kontainer untuk lebih mengetahui kualitas dari kontainer dalam mensirkulasi gas menjadi cair.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Smith, Jarrod. 2008. *A guide to understanding battery specification. Massachusetts: MIT Electric Vehicle Team*
- [2] Halici, Safak. “*Development of Lead Alloy for Valve-Regulated Lead-Acid (VRLA) Batteries*” , *Middle East Technical University*, 2010
- [3] Sullivan, Kevin R., *12-volt Lead Acid BATTERY BASICS*. California : Skyline College
- [4] T.B. Reddy, D.Linden, “Linden’s handbook of batteries” 2011
- [5] Suozzo, Christopher, 2008. *Lead-Acid Battery And State of Health Diagnosis*. Ohio : The Ohio State University
- [6] ITACA, 2016. *A Guide To Lead-Acid Batteries*, <<http://www.itacanet.org/a-guide-to-lead-acid-batteries>>
- [7] ECEE, 2016. *Lead-Acid Batteries*, <<http://ecee.colorado.edu/>>
- [8] Database PT. Indobatt Industri Permai Krian, Jawa Timur
- [9] GNB Industrial Power. *Handbook for Stationary Lead-Acid Batteries* , *GNB Industrial Power*, 2012
- [10] Berndt, Donald, 2001. *Valve-regulated Lead-acid Batteries*. VARTA Battery, Germany
- [11] Incropera, Frank P. et al., 2011. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 7th Ed*. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Chairil Rizkyanto, dilahirkan di Serang 4 Juni 1994. Merupakan anak ketiga dari pasangan Rahmat Untung dan Sophia Budirahayu. Penulis mengenyam pendidikan di Sekolah Dasar Yayasan Pendidikan Warga Krakatau Steel 4, SMP Negeri 1 Cilegon, dan SMA Negeri 1 Serang.

Pada tahun 2012 penulis melanjutkan pendidikan tingginya di Jurusan Teknik Mesin FTI ITS, dengan bidang studi Sistem Rekayasa Industri. Selama menjadi mahasiswa, penulis memiliki pengalaman kerja praktek di CV. Karya Hidup Sentosa, sebelum akhirnya melakukan penelitian tugas akhir di PT. Indobatt Industri Permai.

Penulis aktif dalam kegiatan kemahasiswaan dengan menjadi Staf Divisi *Human Resource Development* Mesin Music Club periode 2013-2014, dan Staf Divisi *Event* Mesin Music Club periode 2014-2015. Penulis dapat dihubungi melalui email chairizkyanto@gmail.com.

