

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jadwal Penelitian

Penelitian dilakukan dengan jadwal sebagai berikut,
Tabel 3.1 Jadwal kegiatan Penelitian

No	Kegiatan	2025												2026		
		Oktober				Nov				Des				Jan		
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3
1	Penulisan proposal															
2	Seminar dan bimbingan proposal															
3	Penelitian dan tindakan															
4	Analisis dan bimbingan hasil penelitian															
5	Ujian skripsi															

3.2 Metode Penelitian

Jenis Penelitian ini menggunakan metode eksperimen (*experimental research*) dengan pendekatan kuantitatif. Metode eksperimen dipilih karena penelitian ini bertujuan untuk menguji secara langsung pengaruh perlakuan berupa perawatan baterai melalui penyeimbangan tegangan sel menggunakan penyeimbangan sel terhadap kapasitas efektif baterai *Lithium-Ion* 72V 20Ah dan jarak tempuh kendaraan dalam satu pengisian baterai.

Pendekatan kuantitatif digunakan untuk memperoleh data numerik yang dapat diukur secara objektif, seperti tegangan tiap sel, kapasitas efektif baterai dalam satuan ampere-hour (Ah) sebelum dan setelah melakukan penyeimbangan tegangan sel baterai dan jarak tempuh kendaraan dalam satu pengisian baterai. Skema pengambilan data penelitian ditunjukkan sebagai berikut,

Tabel 3.2 Skema Pengukuran Data

Tahap	Perlakuan Objek	Kondisi Baterai	Pengukuran
Pengukuran Awal	Sebelum Penyeimbang Tegangan Sel Baterai	Penuh (100%)	Pengisian Kapasitas baterai, Tegangan Tiap Sel, Tegangan Total, Diferensial Tegangan, Energi baterai, Jarak Tempuh
		Kosong (0%)	Pengeluaran Kapasitas baterai, Tegangan Tiap Sel, Tegangan Total, Diferensial Tegangan, Energi baterai, Jarak Tempuh
Pengukuran Akhir	Setelah Penyeimbang Tegangan Sel Baterai	Penuh (100%)	Pengisian Kapasitas baterai, Tegangan Tiap Sel, Tegangan Total, Diferensial Tegangan, Energi baterai, Jarak Tempuh
		Kosong (0%)	Pengeluaran Kapasitas baterai, Tegangan Tiap Sel, Tegangan Total, Diferensial Tegangan, Energi baterai, Jarak Tempuh

Metode penelitian merupakan langkah-langkah sistematis yang digunakan untuk memperoleh data dan informasi dalam rangka menjawab permasalahan penelitian. Pada penelitian ini digunakan metode eksperimen dengan pendekatan kuantitatif, karena penelitian dilakukan melalui proses pengujian langsung terhadap objek penelitian untuk mengetahui pengaruh suatu perlakuan terhadap variabel yang diamati.

Metode eksperimen digunakan untuk mengamati perubahan karakteristik baterai sebelum dan sesudah dilakukan penyeimbangan tegangan sel (*cell balancing*). Pendekatan kuantitatif digunakan karena data yang dihasilkan berupa angka-angka hasil pengukuran seperti tegangan tiap sel (volt), tegangan total (volt), serta kapasitas baterai (ampere-hour) serta jarak tempuh kendaraan (kilometer).

Secara umum, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penerapan sistem penyeimbang tegangan sel (*active balancer*) terhadap peningkatan performa baterai *Lithium-Ion* 72V 20Ah pada kendaraan listrik. Penelitian dilaksanakan melalui beberapa tahapan utama sebagai berikut:

1. Tahap Persiapan
Meliputi penentuan spesifikasi baterai yang digunakan, penyiapan alat ukur, serta pemasangan rangkaian penyeimbangan tegangan sel.
2. Tahap Pengujian Awal (*Pre-Test*)
Pada tahap ini dilakukan pengukuran kapasitas, energi, tegangan setiap sel baterai dan jarak tempuh kendaraan listrik sebelum baterai dilakukan penyeimbang tegangan sel. Data awal digunakan sebagai pembandingan terhadap hasil setelah perlakuan penyeimbang tegangan sel.
3. Tahap Perlakuan (*Treatment*)
Perlakuan berupa melepas baterai dari beban / kendaraan untuk disambungkan dengan pengoperasian sistem penyeimbangan tegangan sel hingga perbedaan / diferensial tegangan (ΔV) antar sel mencapai nilai minimum (mendekati nol).
4. Tahap Pengujian Akhir (*Post-Test*)
Setelah sistem *active balancer* bekerja, dilakukan pengujian ulang terhadap kapasitas, tegangan setiap sel dan jarak tempuh kendaraan untuk mengetahui perubahan yang terjadi.
5. Tahap Analisis Data
Data hasil pengujian awal dan akhir dibandingkan untuk menentukan sejauh mana penyeimbang tegangan sel baterai berpengaruh terhadap performa baterai. Analisis dilakukan

menggunakan metode kuantitatif dengan menghitung perbedaan kapasitas, energi, serta penurunan selisih tegangan antar sel dan jarak tempuh kendaraan listrik.

6. Tahap Kesimpulan

Menarik kesimpulan dari hasil analisis dan membandingkan dengan hipotesis yang telah dirumuskan sebelumnya.

Metode eksperimen ini dianggap paling tepat karena memungkinkan peneliti untuk:

- Mengontrol variabel-variabel yang memengaruhi hasil penelitian,
- Mengukur secara langsung hasil perlakuan terhadap objek penelitian, dan
- Menyajikan data hasil pengukuran yang bersifat objektif dan terukur.

3.3 Bahan dan Peralatan

Objek yang diteliti adalah baterai *Lithium-Ion* 72V 20Ah yang digunakan pada unit kendaraan listrik Gesits. Baterai ini memiliki konfigurasi 20S4P, artinya terdiri atas 20 sel baterai disusun seri dan setiap jalur seri terdiri dari 4 sel paralel sehingga total jumlah sel ada 80 sel setiap rangkaian paralel terdapat 4 sel dan terdapat 20 sel yang disusun seri dan di 4 sel yang disusun paralel dalam tiap rangkaian seri. Tegangan nominal per sel adalah 3,6 V dengan kapasitas per sel 5 Ah, sehingga total kapasitas nominal baterai adalah 20 Ah dan tegangan nominal 72 V. Berikut peralatan pendukung dalam penelitian:

1. *Active Balancer* 20 sel, 4 Ampere
2. *Battery Analyzer* (Aplikasi Neev)
3. Multimeter Digital
4. Alat ukur PZEM-015
5. Kabel
6. Obeng / *screwdriver*
7. *Data Logger*

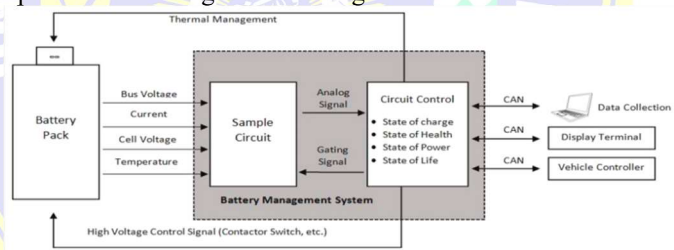
3.3.1 Baterai *Lithium-Ion* 72V 20Ah Dan *Battery Management System* (BMS)

Baterai *Lithium-Ion* 72V 20Ah merupakan baterai pack yang didalamnya terdapat *Battery Management System* (BMS), Beberapa fungsi *Battery Management System* (BMS) adalah : *Overcharge Protection*, *Overdischarge Protection*, *Overcurrent Protection*, *Over temperature*, Komunikasi dengan *Electronic Control Unit* (ECU), *Penyeimbang Sel* (*Cell Balancing*).



Gambar 3.1 Baterai dan *Battery Management System* (BMS) Pada Baterai Kendaraan Gesits

Tetapi fungsi BMS sebagai penyeimbang tegangan tidak bekerja secara efektif dikarenakan termasuk tipe penyeimbang pasif dan beroperasi di arus kecil dengan metode operasi termal dengan membuang arus ke resistor.



Gambar 3. 2 Diagram Blok Baterai dan *Battery Management System* (BMS)

3.3.2 Penyeimbang Tegangan Sel *Active Balancer* “Neev”

Active Balancer “Neev” 2-24S 4A adalah sistem manajemen penyeimbangan tegangan sel baterai untuk mengoptimalkan kinerja (kapasitas) dan umur pakai baterai *lithium-ion*. Proses penyeimbangan tegangan secara otomatis dengan sistem sel dengan nilai tegangan tertinggi akan mengisi sel tegangan yang rendah sampai seluruh sel memiliki tegangan pada rata-rata tegangan seluruh sel dengan sistem

flying capacitor. Metode *flying capacitor* beroperasi dengan memindahkan tegangan sel tertinggi menuju sel baterai dengan tegangan terendah. Untuk proses kontrol perpindahan muatan dilakukan dengan sakelar elektronik (Mosfet) yang dihubungkan dengan kapasitor dan diprogram agar menyalurkan tegangan dari satu sel ke sel lainnya. Tegangan pada baterai dihubungkan dengan sensor tegangan kemudian data dikirimkan ke mikrokontroler yang berperan sebagai pengatur untuk menyalakan atau mematikan penyeimbang (balancer). *Active Balancer* ini mampu menyeimbangkan 2 sel hingga 24 sel baterai yang terhubung secara seri dengan arus konstan 4 ampere, memastikan distribusi pengisian daya yang efisien dan merata di seluruh sel baterai.

Salah satu fitur unggulan dari *active balancer* “Nee” adalah konektivitas Bluetooth terintegrasinya dengan perangkat *smart phone*. Kemampuan nirkabel ini memungkinkan pengguna untuk memantau dan mengontrol proses penyeimbangan dengan mudah menggunakan aplikasi seluler khusus di *smart phone*. Aplikasi ini menyediakan data real-time tentang tegangan sel individual, pembacaan suhu, dan status keseluruhan paket baterai, sehingga dapat menganalisa hasil penyeimbangan tegangan sel baterai untuk perawatan dan penggunaan baterai.



Gambar 3.3 Penyeimbangan Tegangan Sel *Aktive Balancer*

Teknologi penyeimbangan tegangan sel aktif yang digunakan oleh *active balancer* memastikan bahwa setiap sel dalam paket baterai diisi hingga kapasitas maksimumnya, menghilangkan risiko pengisian daya berlebih maupun atau kurang pada sel individual. Hal ini tidak hanya memperpanjang umur pakai paket baterai secara keseluruhan, tetapi juga meningkatkan kinerjanya dengan mempertahankan kondisi pengisian daya yang konsisten dan optimal di semua sel.

3.3.3 Alat Ukur PZEM-015

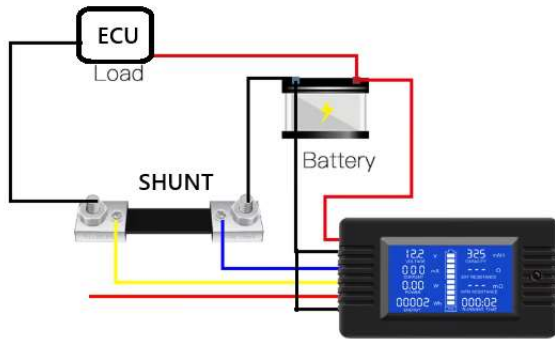
Alat ukur PZEM-015 adalah monitor baterai DC multifungsi yang akurat untuk mengukur tegangan (0-200V), arus (hingga 100A bergantung model *shunt*), daya, energi dan kapasitas saat proses pengisian / charging maupun proses pengurasan / discharging. Alat ini populer untuk PLTS/baterai karena memiliki layar LCD yang jelas, mudah digunakan, dan menyertakan shunt eksternal untuk presisi pengukuran arus. Akurasi pengukuran sangat tinggi (*high precision*) dengan pemantauan *real-time*.



Gambar 3.4 Alat Ukur PZEM-015

Alat ukur PZEM-015 ini dipasang pada kendaraan listrik dengan posisi pemasangan plat shunt di kabel negatif penghubung antara baterai dan *Electronic Control Unit* (ECU). Untuk terminal positif alat ukur terhubung dengan

kutub positif baterai dan terminal negatif alat ukur terhubung dengan kutub negatif baterai, sedangkan kabel kecil warna biru dan warna kuning dipasang ditengah shunt sebagai pembaca arus baik pada saat pengisian / *charging* maupun saat proses pengurasan / *discharging* baterai dengan beban saat berkendara.



Gambar 3.5 Pemasangan Alat Ukur PZEM-015

3.4 Variabel Penelitian

Variabel penelitian adalah segala sesuatu yang menjadi objek pengamatan dalam suatu penelitian dan dapat diukur untuk memperoleh data yang diperlukan. Pada penelitian ini, variabel penelitian diklasifikasikan menjadi variabel bebas, variabel terikat, variabel kontrol, dan variabel pengganggu, agar hasil penelitian lebih terarah dan valid.

3.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang memengaruhi atau menjadi penyebab perubahan pada variabel terikat. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah Perawatan baterai baterai *Lithium-Ion* 72V 20Ah melalui penyeimbangan tegangan sel menggunakan sistem *active balancer*. Variabel ini diwujudkan dalam bentuk:

- Penggunaan modul *active balancer* tipe 20s dengan arus 4 ampere,
- Proses redistribusi energi antar sel hingga perbedaan tegangan (ΔV) berada di bawah batas yang ditentukan,
- Lama waktu proses *balancing*.

3.4.2 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi oleh perubahan variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah Kapasitas efektif baterai *Lithium-Ion* 72V 20Ah. Kapasitas efektif didefinisikan sebagai kemampuan aktual baterai dalam menyimpan dan melepaskan energi listrik selama proses pengosongan (*discharging*), yang dinyatakan dalam satuan *ampere-hour* (Ah). Parameter yang diamati meliputi:

- Kapasitas aktual sebelum dan sesudah *balancing*,
- Lama waktu pengosongan baterai,
- Energi yang dapat digunakan secara nyata oleh sistem kendaraan listrik.

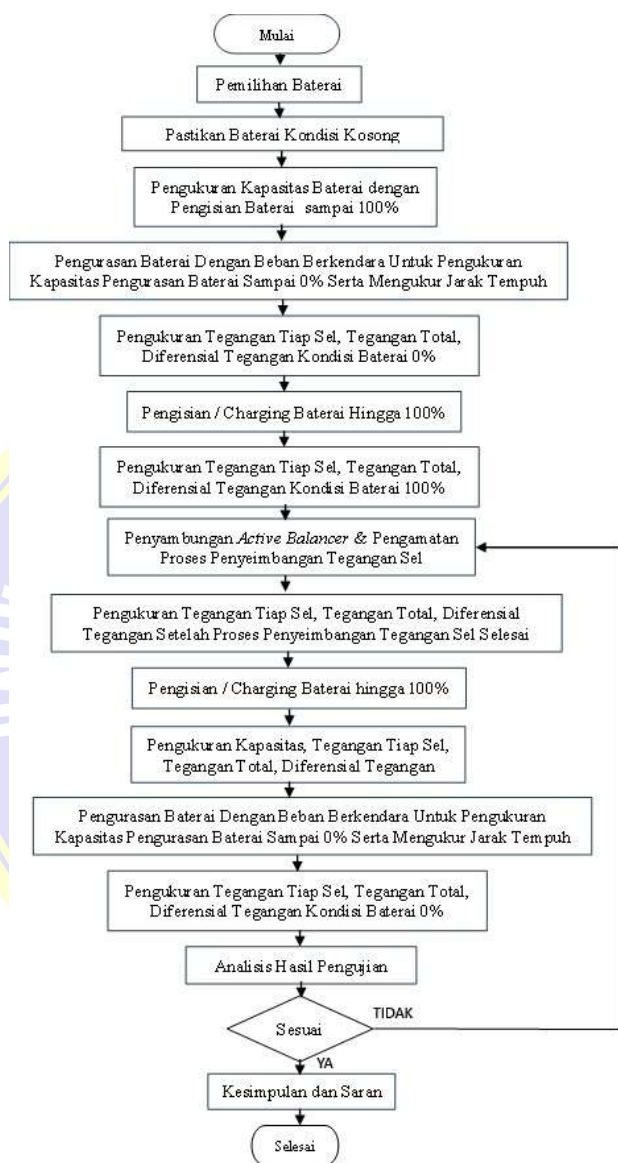
3.4.3 Variabel Kontrol

Variabel kontrol merupakan variabel yang dijaga konstan selama penelitian agar tidak memengaruhi hasil pengujian. Variabel kontrol dalam penelitian ini meliputi:

- a. Spesifikasi baterai
 - Jenis baterai: *Lithium-Ion*
 - Tegangan nominal: 72 V
 - Kapasitas nominal: 20 Ah
 - Konfigurasi sel: 20s4p
- b. Parameter pengujian
 - Tegangan maksimum pengisian baterai
 - Tegangan minimum pengosongan baterai
 - Arus pengisian dan pengosongan
 - Beban pengujian
- c. Kondisi lingkungan
 - Peralatan pengujian
 - Alat ukur yang sama digunakan untuk seluruh pengujian

3.5 Alur Pelaksanaan Penelitian

Dalam penelitian ini dapat dijelaskan melalui diagram sebagai berikut ini:



Gambar 3.6 Diagram Alur Percobaan

Langkah-langkah percobaan sebagai berikut:

1. Menyiapkan baterai *pack*.

Baterai *Lithium-Ion* dengan kapasitas 72V 20 Ah yang digunakan kendaraan listrik Gesits terdiri dari 80 sel dengan konfigurasi 20S4P. Baterai *pack* tersebut harus dibuka dari covernya untuk dapat dilakukan pengecekan dan pengukuran tiap sel

2. Pengukuran Sel Baterai.

Baterai *pack* dibuka dari covernya sehingga dapat dilakukan pengukuran tegangan tiap sel (20S), tegangan total (V_{tot}) dengan persamaan :

$$V_{tot} = V_{s1} + V_{s2} + \dots + V_{s20} \quad (3.1)$$

Dengan pengukuran tersebut akan mendapatkan data awal tegangan diferensial atau selisih tegangan antara tegangan maks dan tegangan min dengan persamaan :

$$\Delta V = V_{maks} - V_{min} \quad (3.2)$$

3. Uji Kapasitas Awal

Untuk melakukan pengujian kapasitas *pre-test* maupun *post-test* agar mendapatkan data kapasitas efektif.

$$Q = I \times t \quad (3.3)$$

Namun dikarenakan beban yang terhubung dengan baterai langsung menggunakan kendaraan Listrik maka pengukuran menggunakan alat ukur PZEM-015 untuk mengetahui kapasitas saat pengurusan baterai / saat berkendara. Serta saat proses pengisian / *charging* baterai untuk mendapatkan hasil pengukuran yang akurat dan *real time* dengan alat ukur PZEM-015.

perbedaan tegangan tiap sel baterai dan jarak tempuh kendaraan sebelum dilakukan penyeimbangan tegangan. Dalam pengujian awal ini dibutuhkan pengukuran tegangan batas minimal saat *cut off* pengosongan baterai, pengukuran tegangan batas maksimal saat *cut off* pengisian baterai dan kapasitas baterai sampai pengisian maksimal. Untuk mendapatkan kapasitas baterai, setelah kondisi baterai penuh, lakukan pengosongan dengan berkendara sekaligus mendapatkan jarak tempuh kendaraan hingga baterai *cut off* pengosongan sehingga mendapatkan nilai kapasitas baterai.

4. Penyambungan *Active Balancer*

Penyeimbangan tegangan baterai dilakukan dengan penyambungan sel tiap baterai (20S) dengan alat *active balancer*

dengan arus 4 Ampere dan mulai lakukan penyeimbangan secara otomatis dengan sistem sel dengan nilai tegangan tertinggi akan mengisi sel tegangan yang rendah sampai seluruh sel memiliki tegangan pada rata-rata tegangan seluruh sel dengan sistem *flying capacitor*. Metode *flying capacitor* beroperasi dengan memindahkan tegangan sel tertinggi menuju sel baterai dengan tegangan terendah. Untuk proses kontrol perpindahan muatan dilakukan dengan sakelar elektronik (Mosfet) yang dihubungkan dengan kapasitor dan diprogram agar menyalurkan tegangan dari satu sel ke sel lainnya. Tegangan pada baterai dihubungkan dengan sensor tegangan kemudian data dikirimkan ke mikrokontroler yang berperan sebagai pengatur untuk menyalakan atau mematikan penyeimbang (*balancer*). Amati proses penyeimbangan tegangan tiap sel dan catat hasil akhir proses penyeimbangan tegangan tiap sel.

5. Uji Kapasitas Baterai Setelah Penyeimbangan Tegangan

Untuk melakukan pengujian kapasitas baterai setelah proses penyeimbangan tegangan sel, dapat dilakukan pengujian seperti langkah pengujian awal, lakukan pengosongan baterai hingga batas *cut off* tegangan minimal, lanjutkan dengan pengisian baterai untuk mendapatkan nilai kapasitas tegangan. Dan proses akhir lakukan pengosongan kembali baterai dengan *load tester* untuk mengetahui kapasitas baterai yang terpakai dengan pelepasan tegangan. Catat seluruh hasil pengukuran dan pengamatan.

6. Analisis Hasil Pengujian

Dengan mendapatkan hasil pengujian kapasitas baterai setelah penyeimbangan tegangan. Lakukan analisis dari hasil pengukuran dengan nilai:

- d. Nilai tegangan tiap sel sebelum dan setelah dilakukan penyeimbangan tegangan sehingga mendapatkan tegangan diferensial.
- e. Nilai kapasitas baterai saat proses pengisian dan pengosongan sehingga mendapatkan nilai efisiensi.

Efisiensi kapasitas =

$$\frac{\text{Kapasitas Pengukuran}}{\text{Kapasitas Pengisian}} \times 100\% \quad (3.4)$$

- f. Nilai efisiensi kapasitas baterai sebelum dan setelah penyeimbangan tegangan sel sehingga mendapatkan perbandingan / peningkatan kapasitas dan nilai efisiensi.

Peningkatan kapasitas =

$$\frac{C_2 - C_1}{C_1} \times 100\% \quad (3.5)$$

- g. Energi baterai untuk mengetahui efisiensi penggunaan energi baterai, dilakukan perhitungan konsumsi energi per satuan jarak dengan persamaan:

$$E_{km} = \frac{E_{tot}}{S} \quad (3.6)$$

dengan:

E_{km} = konsumsi energi per kilometer (Wh/km)

E_{total} = energi listrik yang dikeluarkan baterai (Wh)

S = jarak tempuh kendaraan (km)

Energi total baterai dihitung menggunakan persamaan:

$$E_{total} = V_{rata} \times I_{rata} \times t \quad (3.7)$$

atau:

$$E_{total} = V_{rata} \times Q \quad (3.8)$$

dengan:

V_{rata} = tegangan rata-rata baterai (V)

I_{rata} = arus rata-rata selama pengujian (A)

t = waktu pengosongan (jam)

Q = kapasitas efektif baterai (Ah)

- h. Jarak tempuh kendaraan dalam sekali pengisian baterai penuh hingga kosong untuk mengetahui perbedaan jarak tempuh setelah dilakukan penyeimbangan tegangan sel dengan persamaan :

$$S = S_{akhir} - S_{awal} \quad (3.9)$$

S = jarak tempuh kendaraan (km)

S_{akhir} = pembacaan odometer akhir (km)

S_{awal} = pembacaan odometer awal (km)

Peningkatan Jarak dengan persamaan (%) :

$$= (S_{akhir} - S_{awal}) / S_{awal} \times 100\% \quad (3.10)$$

