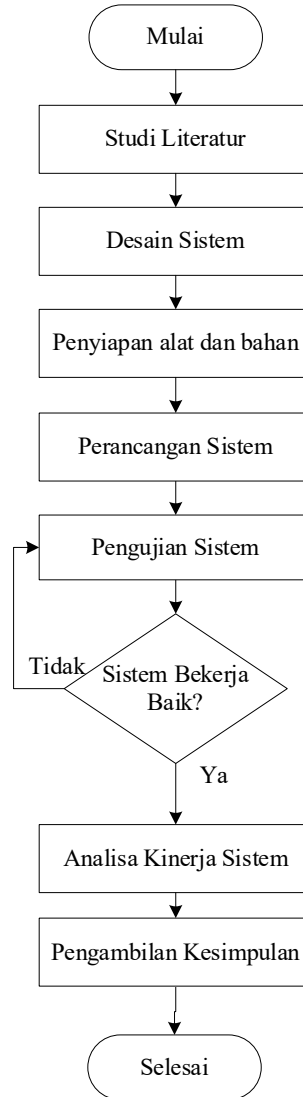


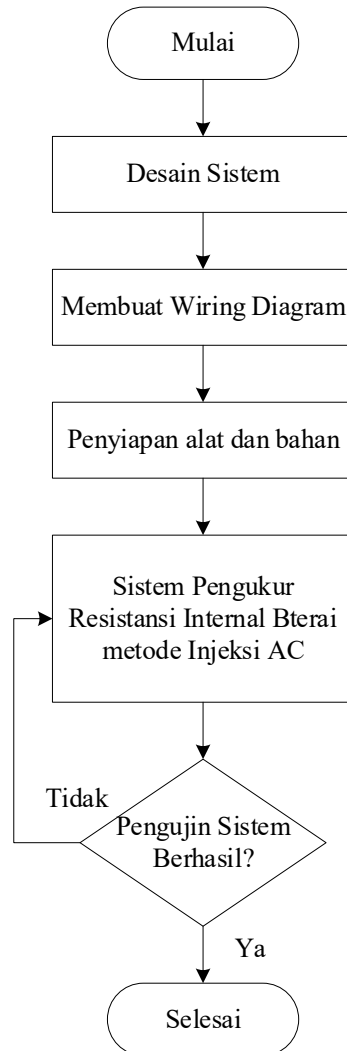
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. *Flowchart* Penelitian



Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian

Gambar 3.1 menunjukkan *flowchart* penelitian yang digunakan pada penelitian. Perancangan sistem dibuat dan digambarkan dengan *flowchart* yang menunjukkan setiap proses yang dilakukan dengan perancangan sistem pengukur resistansi internal baterai *Lithium-Ion* menggunakan metode injeksi AC.



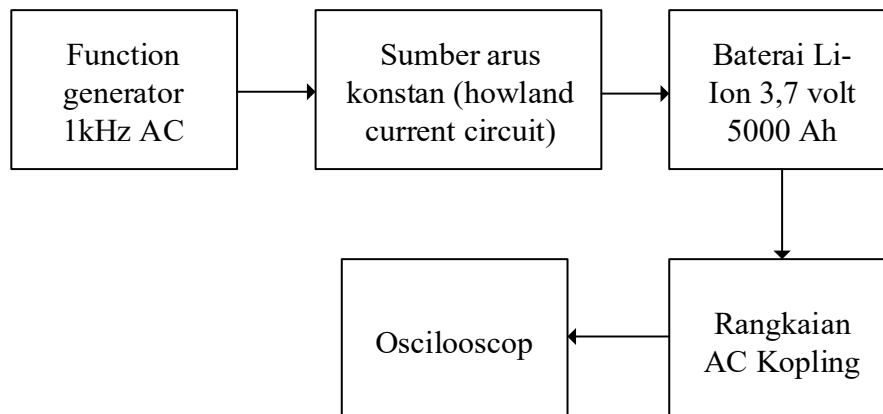
Gambar 3. 2 *Flowchart Rancang Bangun*

Penjelasan mengenai setiap tahapan yang dikerjakan dalam penelitian tugas akhir ini dijelaskan sebagai berikut:

3.2. Desain Sistem

Perancangan sistem dirancang berdasarkan beberapa literatur yang ada, seperti jurnal dan buku. Perancangan ini dilakukan agar dapat melakukan proses perhitungan resistansi internal baterai.

3.2.1. Blok Diagram Pengukuran Resistansi Internal Baterai

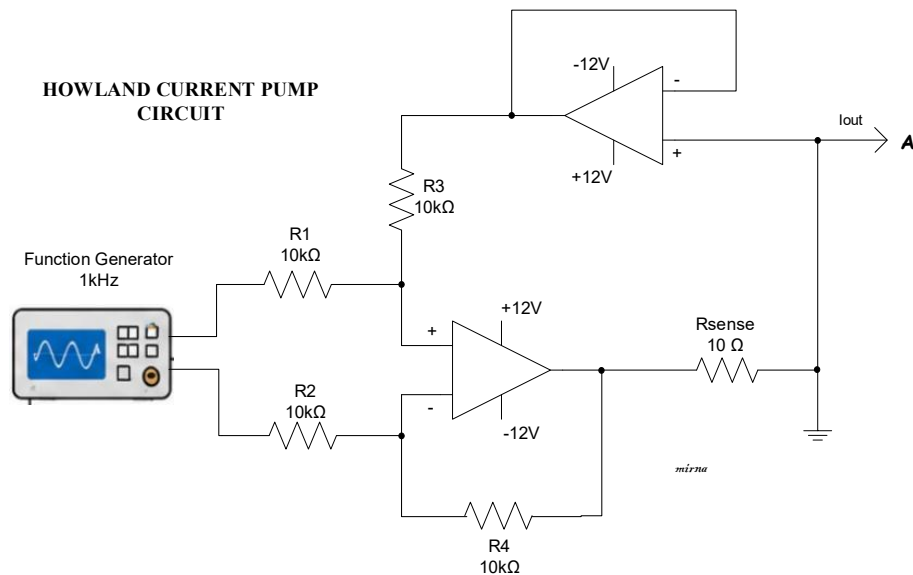


Gambar 3. 3 Diagram Sistem Pengukuran Resistansi Internal

Gambar 3.3 menunjukkan diagram sistem pengukuran resistansi internal baterai. Generator sinyal menghasilkan frekuensi 1 kHz gelombang sinusoidal yang kemudian diteruskan kepada rangkaian sumber arus konstan atau *Howland current circuit*. Nilai tegangan yang diinjeksikan kepada baterai harus kecil agar kinerja baterai tidak terganggu dan tidak berubah menjadi kondisi *charging*. Pengukuran resistansi internal metode injeksi AC pada penelitian ini menggunakan frekuensi 1 kHz karena dianggap mampu mengukur nilai resistansi internal baterai dengan pengaruh reaktansi baterai yang minimum (Kuntinugunetanon et al., 2021b).

Kemudian arus dari generator sinyal mengalir melalui *Howland current circuit*. Rangkaian *Howland Current* digunakan sebagai sumber arus konstan dengan nilai arus yang diinginkan adalah 30mA. Kemudian arus mengalir menuju baterai *Lithium Ion* yang akan diukur resistansi internalnya.

3.2.2. Wiring Rangkaian Sumber Arus AC (*Howland Current Source*)



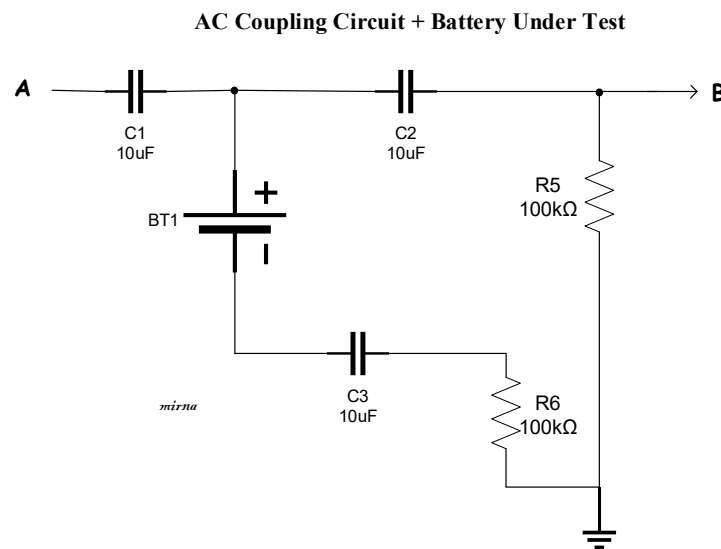
Gambar 3. 4 Rangkaian sumber arus *Howland*

Gambar 3.4 merupakan *wiring* diagram dari rangkaian sumber arus *Howland*. Rangkaian ini digunakan sebagai sumber arus AC konstan yang berfungsi untuk menginjeksikan sinyal arus ke baterai *Lithium-Ion*. Sinyal masukan diperoleh dari *function generator* dengan frekuensi 1kHz.

Rangkaian sumber arus *Howland* termodifikasi terdiri dari empat buah resistor yang berfungsi sebagai jaringan pembagi tegangan untuk menciptakan umpan balik negatif dan positif. Gabungan resistor dan op-amp ini mengubah tegangan input menjadi arus konstan ke beban. Resistor *sense* digunakan sebagai alat sensor untuk mengendalikan arus yang mengalir ke baterai.

IC op-amp yang digunakan adalah NE5532P. Menurut database IC op-amp NE5532P merupakan op-amp independen dalam satu paket 8 pin, yang terkenal karena distorsinya yang rendah, *bandwidth* penguatan satuan yang tinggi dan memiliki akurasi tinggi tanpa kebocoran arus pada *loop* umpan balik, yang sangat krusial untuk menjaga stabilitas arus keluaran berskala mili maupun mikroampere.

3.2.3. Wiring rangkaian AC Coupling dan baterai

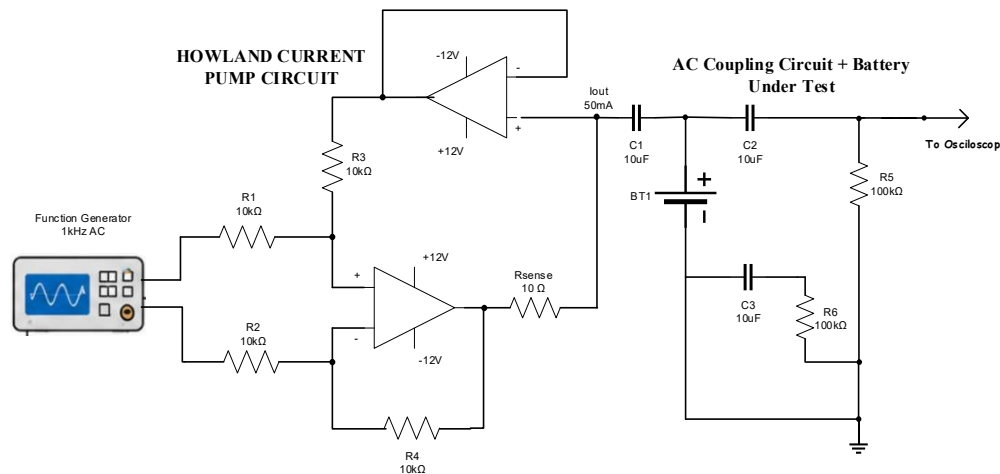


Gambar 3. 5 Wiring rangkaian AC Coupling

Gambar 3.5 menunjukkan sebuah rangkaian kopling AC dan baterai yang diuji. Rangkaian ini dirancang untuk melewatkan sinyal AC dari titik A ke titik B sambil memblokir tegangan DC dari baterai agar tidak mengganggu instrumen pengukur.

C1 dan C2 merupakan kapasitor kopling AC yang berfungsi untuk memblokir tegangan DC dari baterai agar tidak mengalir kembali ke sumber sinyal input di titik A. C3 merupakan kapasitor isolasi yang mengisolasi jalur negatif baterai dan jalur output di titik B dari tegangan DC, sehingga di titik B hanya menerima sinyal AC murni. R5 dan R6 berfungsi untuk menghubungkan jalur sinyal ke *ground* guna membuang muatan statis sisa pada kapasitor dan menstabilkan titik kerja DC rangkaian ke level 0V (*ground*).

3.2.4. Wiring Sistem Keseluruhan



Gambar 3. 6 *Wiring* Sistem Keseluruhan

Gambar 3.6 merupakan *wiring* sistem secara keseluruhan, pengukuran dilakukan dengan menginjeksikan sinyal AC berfrekuensi 1kHz ke baterai untuk memicu respon tegangan AC tanpa membebani atau menguras kapasitas dari baterai. Sinyal input kemudian diproses melalui rangkaian *Howland* menuju rangkaian AC kopling dan baterai yang diuji.

Pengukuran dilakukan dengan urutan pertama mengetahui berapa nilai arus konstan yang keluar dari rangkaian *Howland*, kemudian mengukur nilai respon tegangan AC pada baterai. Pada pengukuran ini karena nilai arus yang keluar dari rangkaian *howland* nilainya kecil dan multimeter tidak mampu membaca pada skala kecil, maka pengukuran dilakukan dengan mengukur nilai tegangan pada *Rsense* kemudian dihitung menggunakan hukum Ohm:

$$I = \frac{V}{R} \quad (3.1)$$

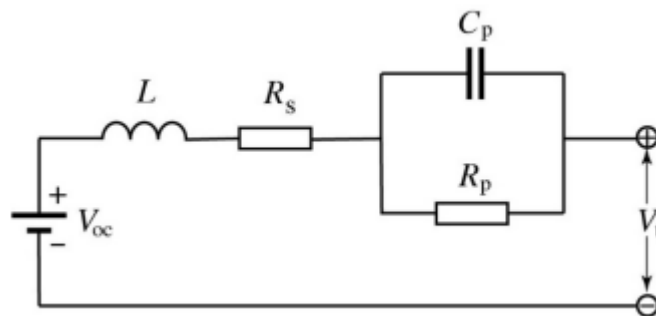
Setelah nilai tegangan pada *Rsense* diketahui kemudian nilai arus dihitung dengan membagi tegangan dan resistansi *Rsense*, dimana nilai resistansi *Rsense* adalah 10 Ohm.

Setelah nilai arus diketahui, kemudian dilakukan pengukuran respon tegangan AC pada baterai yang diuji. Karena nilai respon tegangan AC pada baterai pada skala mili volt jadi pengukuran tegangan ini dilakukan menggunakan osiloskop. Setelah nilai arus AC dan tegangan AC diketahui maka nilai resistansi internalnya adalah:

$$R_{in} = \frac{V_{ac}}{I_{ac}} \quad (3.2)$$

Setelah dilakukan pengukuran dan dilakukan perhitungan maka nilai resistansi internal baterai diketahui.

3.3. Karakteristik Frekuensi AC 1 kHz pada Pemodelan Rangkaian Ekuivalen Baterai



Gambar 3. 7 Rangkaian Ekuivalen RLC (Kuntinugunetanon et al., 2021b)

Berdasarkan gambar 3.7 model rangkaian ekuivalen baterai yang digunakan, total impedansi internal baterai secara keseluruhan dibentuk oleh kombinasi dari hambatan induktif (L), resistansi ohmik (R_s), serta kombinasi paralel antara resistansi polarisasi (R_p) dan kapasitansi (C_p). Persamaan untuk impedansi total tersebut dalam dirumuskan sebagai berikut:

$$|z| = \left(\left(R_s + \frac{R_p}{\omega^2 C_p^2 R_p^2 + 1} \right)^2 + \left(\frac{\omega^2 C_p R_p^2}{\omega^2 C_p^2 R_p^2 + 1} - \omega L \right)^2 \right)^{1/2} \quad (3.3)$$

Dimana $\omega = 2\pi f$ merupakan frekuensi sudut sinyal eksitasi, sedangkan C_p merupakan reaktansi kapasitif dari kapasitor. Penelitian ini dilakukan menggunakan metode injeksi arus AC pada frekuensi spesifik 1 khz. Pada frekuensi ini terjadi fenomena fisis dan matematis yang mengeliminasi pengaruh reaktansi kapasitif dan reaktansi induktif, dengan penjabaran sebagai berikut:

1. Analisis eliminasi reaktansi induktif (L)

Induktansi (L) pada baterai bukan merupakan komponen induktor buatan, melainkan induktansi kecil yang muncul akibat gulungan lempengan elektroda pada sel baterai. Nilai induktansi pada baterai lithium-ion sangat kecil, umumnya berada di kisaran 100 nH hingga 500 nH.

Jika diambil nilai induktansi sebesar $L = 200 \text{ nH}$, maka nilai reaktansi induktif pada frekuensi 1 kHz dapat dihitung sebagai berikut:

$$X_L = 2\pi fL \quad (3.4)$$

$$X_L = 2 \times 3,14 \times 1000 \times (200 \times 10^{-9}H) \quad (3.5)$$

$$X_L = 0,001256 \Omega \approx 1,256 \text{ m}\Omega \quad (3.6)$$

Berdasarkan hasil perhitungan, nilai reaktansi induktif pada baterai lithium-ion bernilai 1,256 m Ω , sedangkan nilai resistansi internal baterai berada pada rentang 50 m Ω hingga 120 m Ω , jauh lebih kecil dan tidak signifikan terhadap total hambatan murni baterai. Oleh karena itu, komponen reaktansi induktif secara matematis dapat diabaikan dalam perhitungan dan dianggap bernilai nol.

2. Analisis Eliminasi Blok Paralel ($C_p \parallel R_p$) Akibat Efek *Bypass*

Reaktansi kapasitif pada baterai muncul akibat efek penyimpanan muatan listrik statis di permukaan batas antara elektroda dan elektrolit.

Baterai lithium-ion memiliki kapasitas (C_p) alami yang sangat besar pada batas permukaan elektroda-elektrolit, umumnya berada pada rentang 0,5 F hingga 2 F. Jika diambil nilai sebesar $C_p = 1 \text{ F}$, maka nilai reaktansi kapasitif (X_c) pada frekuensi 1 kHz adalah:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C_p} \quad (3.7)$$

$$X_c = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 1000 \times 1} \quad (3.8)$$

$$X_c = 0,000159 \Omega \approx 0,159 \text{ m}\Omega \quad (3.9)$$

Nilai reaktansi kapasitif menurut perhitungan yaitu sebesar 0,159 m Ω , sangat amat kecil jika dibandingkan dengan nilai resistansi transfer kimia baterai (R_p) yang umumnya bernilai puluhan hingga ratusan milliohm ($R_p > X_c$). Karena X_c mendekati nol, maka hal ini membuktikan bahwa pada frekuensi 1 kHz, kapasitor C_p bertindak sebagai jalur hubung singkat yang mem-*bypass* seluruh AC eksitasi, sehingga hambatan R_p terlewati dan tidak terukur oleh instrument pengukuran.

3. Kesimpulan Penyederhanaan Impedansi

Dengan mensubstitusikan hasil pendekatan nilai $Z_p \approx 0$ dan $X_L \approx 0$ maka dapat disimpulkan bahwa pada frekuensi AC 1 kHz, seluruh komponen reaktansi kapasitif dan reaktansi induktif pada baterai lithium-ion berhasil dieliminasi. Induktor (L) dan kapasitor (C_p) runtuh menjadi kabel lurus atau hubung singkat, jadi resistansi polarisasi (R_p) ikut mati fungsi karena terlewati oleh jalur *bypass* sehingga menyisakan resistansi murni yaitu R_s . Pengukuran resistansi internal baterai menggunakan metode

injeksi AC frekuensi 1 kHz mempresentasikan nilai Resistansi Internal Ohmik (R_s) baterai tanpa distorsi komponen impedansi lainnya.

3.4. Penyiapan Alat dan Bahan

Dilakukan untuk mendata dan mengadakan semua kebutuhan komponen yang dapat menunjang dalam pembuatan sistem sehingga dapat merancang sistem pengukuran resistansi internal baterai menggunakan metode injeksi AC. Berikut adaah tabel daftar komponen yang dibutuhkan untuk pembuatan sistem pengukur resistansi internal baterai menggunakan metode injeksi AC.

Tabel 3. 1 Kebutuhan Komponen Untuk Pembuatan Sistem

No	Nama Komponen	Spesifikasi	Jumlah
1	Baterai Sony ICR 18650 Li-Ion	3,7 V 5000 mAh	2
2	DOS Function Generator	0,05 Hz – 5MHz	1
3	Resistor	10 kOhm $\frac{1}{4}$ W 1%	4
4	Resistor	100 kOhm $\frac{1}{2}$ W 2%	2
5	Resistor	10 Ohm 2W 5%	1
6	Kapasitor	10 uF	3
7	Op-Amp NE5532P	5 V - 15 V, arus output hingga 38 mA	1
8	DC Supply	0-120 V/0-3 A	3
9	Osiloskop Rigol MSO5104		1

3.8. Perancangan Sistem

Perancangan sistem adalah proses perakitan komponen sehingga menjadi satu kesatuansistem yang utuh. Perancangan perangkat dilakukan sesuai dengan desain dari *wiring* komponen sebelumnya.

3.9. Pengujian Sistem

Pengujian ini dilakukan untuk memastikan setiap komponen yang dirancang sudah berjalan dengan baik. Pengujian dilakukan pada baterai dengan kondisi statis, proses *charging*, dan *overcharging*. Beberapa tahapan dalam pengujian sistem diuraikan sebagai berikut:

1. Pengujian tegangan baterai untuk mengetahui tegangan minimal dan tegangan maksimal baterai.
2. Pengujian rangkaian sumber arus AC untuk mengetahui berapa arus konstan yang mengalir ke baterai yang sedang diuji.
3. Pengujian sistem pengukuran resistansi internal pada baterai kondisi awal.
4. Pengujian resistansi internal baterai pada kondisi *charging* dengan tegangan nominal sesuai dengan standarnya yaitu 4,2 Volt. Kemudian pengujian pada kondisi *overcharging* dengan tegangan 4,4 Volt guna mengetahui perubahan resistansi internal baterai pada kondisi *overcharging*.
5. Setelah data diketahui, dilakukan analisis perbedaan perubahan resistansi internal baterai pada kondisi *charging* dengan kondisi *overcharging*.

3.10. Analisa Kinerja Sistem

Analisa kinerja sistem meliputi proses pengolahan data yang telah didapat dari pengujian sistem yaitu menganalisa perbedaan perubahan resistansi internal baterai pada kondisi *charging* dengan kondisi *overcharging*.

3.11. Penarikan Kesimpulan

Setelah melihat beberapa kondisi yang ada, maka ditarik beberapa kesimpulan. Kesimpulan ini juga di akhiri dengan pemberian saran dan rekomendasi untuk penelitian selanjutnya.