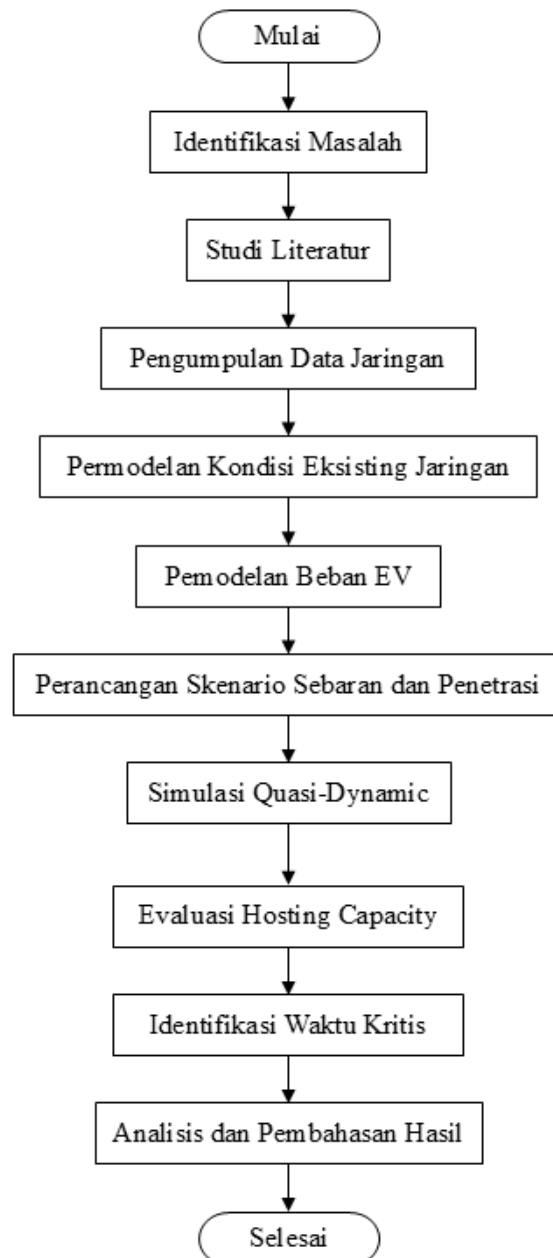


BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Flowchart Penelitian



Gambar 3. 1. Flowchart Penelitian

Flowchart penelitian pada Gambar 3.1 menunjukkan alur metodologis analisis *hosting capacity* kendaraan listrik (EV) pada sistem distribusi 20 kV terisolasi. Penelitian diawali dengan identifikasi masalah, studi literatur, dan pengumpulan data jaringan, kemudian dilanjutkan dengan pemodelan kondisi eksisting, pemodelan beban EV, serta perancangan skenario sebaran dan penetrasi kendaraan listrik. Seluruh skenario dianalisis menggunakan simulasi *quasi-dynamic* untuk mengevaluasi respon sistem distribusi terhadap peningkatan penetrasi kendaraan listrik dari aspek tegangan dan pembebanan jaringan, sedangkan penjelasan rinci setiap tahapan disajikan pada subbab berikutnya.

3.2. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah pada penelitian ini dilakukan melalui analisis awal terhadap kondisi jaringan distribusi eksisting serta kajian literatur terkait integrasi beban EV pada sistem distribusi. Tahap ini bertujuan untuk mengidentifikasi potensi permasalahan yang timbul akibat peningkatan penetrasi beban EV, khususnya terkait pelanggaran batas operasi seperti tegangan dan pembebanan peralatan. Hasil identifikasi ini menjadi dasar dalam perumusan pendekatan metodologi, penentuan skenario sebaran dan penetrasi kendaraan listrik, serta pemilihan metode simulasi *quasi-dynamic* dalam analisis *hosting capacity* jaringan distribusi.

3.3. Studi Literatur

Studi literatur dalam penelitian ini digunakan sebagai dasar konseptual dan metodologis dalam perancangan analisis *hosting capacity* kendaraan listrik pada

sistem distribusi 20 kV yang beroperasi secara terisolasi. Literatur dimanfaatkan sebagai acuan dalam pemilihan metode simulasi, penentuan parameter pemodelan, serta penetapan kriteria evaluasi teknis jaringan distribusi. Kajian difokuskan pada dampak pengisian kendaraan listrik terhadap jaringan distribusi, konsep evaluasi *hosting capacity*, serta penerapan simulasi berbasis waktu, khususnya *quasi-dynamic simulation* (QDS).

3.4. Pengumpulan Data

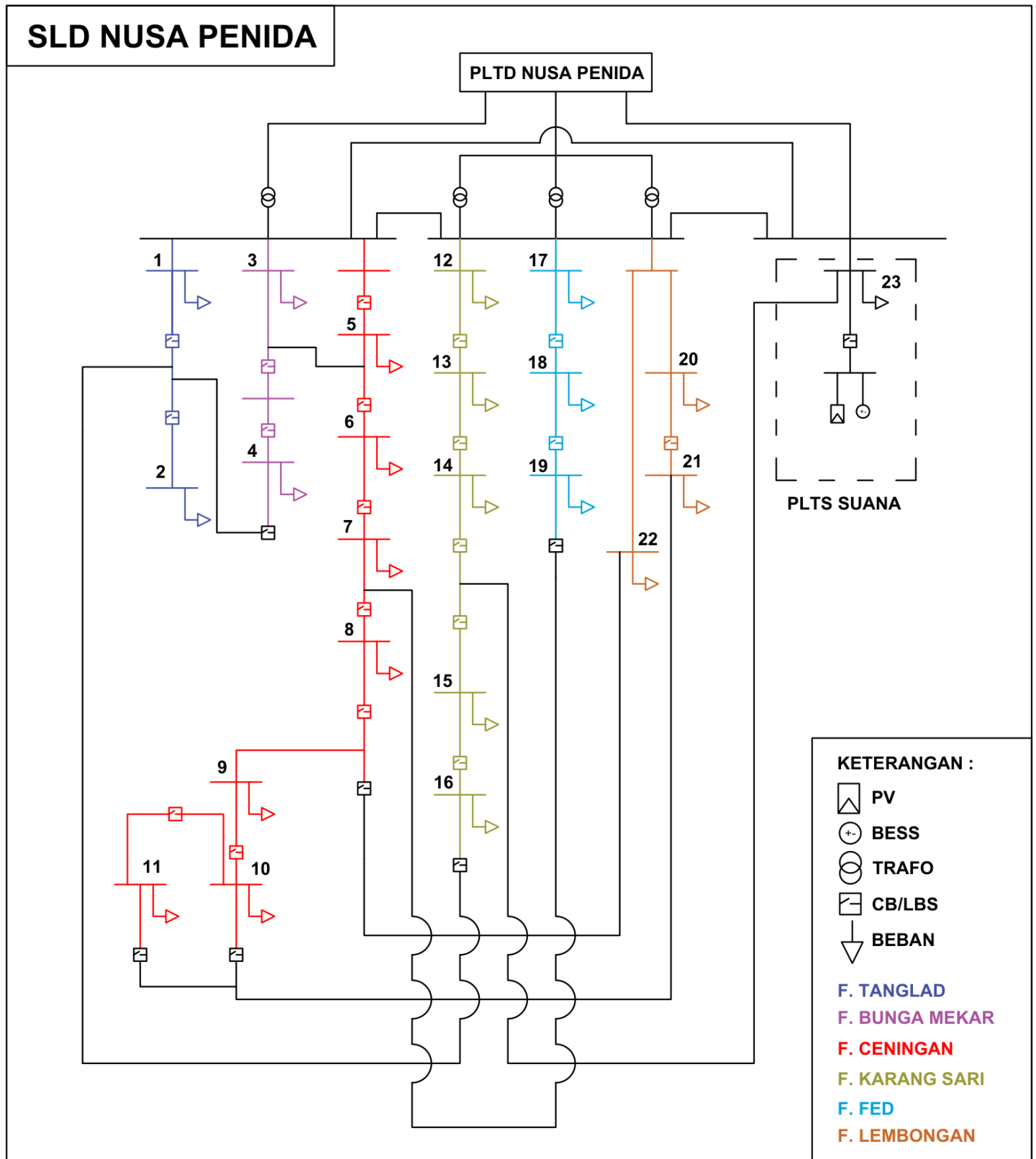
Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari PT PLN (Persero) UID Bali sebagai pengelola sistem kelistrikan Pulau Nusa Penida. Data tersebut digunakan sebagai input utama dalam proses pemodelan dan simulasi sistem distribusi 20 kV, sehingga merepresentasikan kondisi aktual jaringan distribusi yang beroperasi secara terisolasi.

3.5. Pemodelan Kondisi Dasar Jaringan

Pemodelan kondisi dasar jaringan dalam penelitian ini bertujuan untuk merepresentasikan dan mengevaluasi kinerja sistem distribusi pada kondisi eksisting sebelum integrasi beban EV. Tahap ini digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik operasi awal jaringan, khususnya respon tegangan dan pembebanan peralatan, yang selanjutnya menjadi acuan dalam analisis dampak penambahan beban EV serta penentuan *hosting capacity* sistem distribusi. Model jaringan distribusi dibangun menggunakan perangkat lunak DIgSILENT PowerFactory berdasarkan data sistem eksisting yang diperoleh dari PT PLN (Persero). Untuk memastikan model mampu merepresentasikan kondisi operasi aktual sistem

distribusi Nusa Penida, dilakukan validasi kondisi dasar melalui perbandingan hasil simulasi aliran daya terhadap data operasi eksisting sistem, khususnya pada kondisi beban puncak. Parameter yang dibandingkan meliputi profil tegangan, pembebanan penyulang, dan daya sistem sehingga model yang digunakan dalam simulasi *quasi-dynamic* dapat merepresentasikan karakteristik operasi jaringan.

3.5.1. Single Line Diagram (SLD)



Gambar 3. 2. Single Line Diagram Sistem 20 kV Nusa Penida

Dalam penelitian ini *single line diagram* ditunjukkan pada Gambar 3.2 Diagram ini merepresentasikan keterhubungan antara sumber pembangkit, penyulang distribusi, serta titik-titik beban utama pada jaringan. SLD digunakan sebagai dasar pemodelan topologi jaringan dalam simulasi *quasi-dynamic*, sehingga seluruh parameter teknis seperti impedansi saluran, lokasi beban, dan sumber daya dapat direpresentasikan secara konsisten dalam analisis *hosting capacity* kendaraan listrik.

3.5.2. Data Penyulang dan Beban Dasar Sistem

Tabel 3. 1. Data Beban Terpasang Tiap Penyulang

No	Nama Penyulang	Daya Aktif (MW)
1	Tanglad	0,6582645
2	Bunga Mekar	1,609091
3	Ceningan	5,704959
4	Karang Sari	2,413636
5	Ped	3,218182
6	Lembongan	4,095868
Total		17,7000005

Tabel 3.1 menyajikan total daya aktif terpasang pada setiap penyulang yang digunakan sebagai dasar pemodelan jaringan distribusi 20 kV. Nilai total beban terpasang sistem sebesar 17,7 MW diperoleh dari akumulasi daya aktif pada seluruh penyulang yang dimodelkan. Meskipun total beban terpasang sistem sebesar 17,7 MW, nilai tersebut tidak selalu terserap secara bersamaan dalam operasi harian. Oleh karena itu, simulasi *quasi-dynamic* menggunakan profil beban harian selama

24 jam untuk merepresentasikan perubahan tingkat pembebanan sistem terhadap waktu sehingga kondisi operasi aktual dapat dianalisis secara lebih realistis.

Tabel 3. 2. Data Beban Terpasang Tiap Bus

Bus	Penyulang	Daya Aktif (kW)
1	Tanglad	365,702
2	Tanglad	292,562
3	Bunga Mekar	877,686
4	Bunga Mekar	731,405
5	Ceningan	146,281
6	Ceningan	292,562
7	Ceningan	658,264
8	Ceningan	585,124
9	Ceningan	804,545
10	Ceningan	1.462,81
11	Ceningan	1.755,372
12	Karang Sari	585,124
13	Karang Sari	292,562
14	Karang Sari	438,843
15	Karang Sari	219,421
16	Karang Sari	438,843
17	Ped	731,405
18	Ped	1.170,248
19	Ped	1.316,529
20	Lembongan	2.047,934
21	Lembongan	1.462,81
22	Lembongan	585,124
23	Karang Sari	438,843

Data beban pada setiap bus digunakan sebagai dasar pembentukan skenario *Distributed Hosting Capacity*, yaitu dengan mendistribusikan tambahan beban kendaraan listrik secara proporsional terhadap besar beban eksisting pada masing-masing bus. Dengan demikian, distribusi beban EV tetap mengikuti karakteristik pembebanan aktual sistem distribusi.

3.5.3. Data Penghantar Jaringan Distribusi

Pada Tabel 3.3. menyajikan penghantar jaringan distribusi yang dimodelkan berdasarkan jenis penghantar yang digunakan pada masing-masing penyulang. Parameter penghantar yang digunakan dalam simulasi meliputi nilai resistansi (R), reaktansi (X), dan panjang saluran, yang berpengaruh terhadap rugi-rugi daya dan profil tegangan pada jaringan distribusi. Nilai parameter penghantar diperoleh dari spesifikasi teknis jaringan dan digunakan sebagai input utama dalam perhitungan aliran daya. Panjang total setiap jenis konduktor diperoleh dengan menjumlahkan panjang seluruh segmen saluran yang menggunakan jenis konduktor yang sama dan digunakan untuk keperluan penyajian data jaringan.

Tabel 3. 3. Data Penghantar

No	Jenis Konduktor	Tegangan (kV)	R (Ω /km)	X (Ω /km)
1	AAAC-S 150 mm ² (OHL)	20	0,21	0,52229
2	AAAC 70 mm ² (OHL)	20	0,438	0,39306
3	XLPE 3×240 mm ² (CBL)	20	0,161	0,098
4	XLPE 3×150 mm ² (CBL)	20	0,265	0,106
5	MVTIC 150 mm ²	20	0,206	0,035185

3.5.4. Data Pembangkit

Sumber pembangkit yang terhubung pada sistem distribusi Nusa Penida dimodelkan sebagai pembangkit eksisting pada kondisi dasar jaringan. Pembangkit tersebut meliputi pembangkit konvensional berbasis diesel sebagai sumber utama, serta pembangkit energi terbarukan yaitu PLTS.

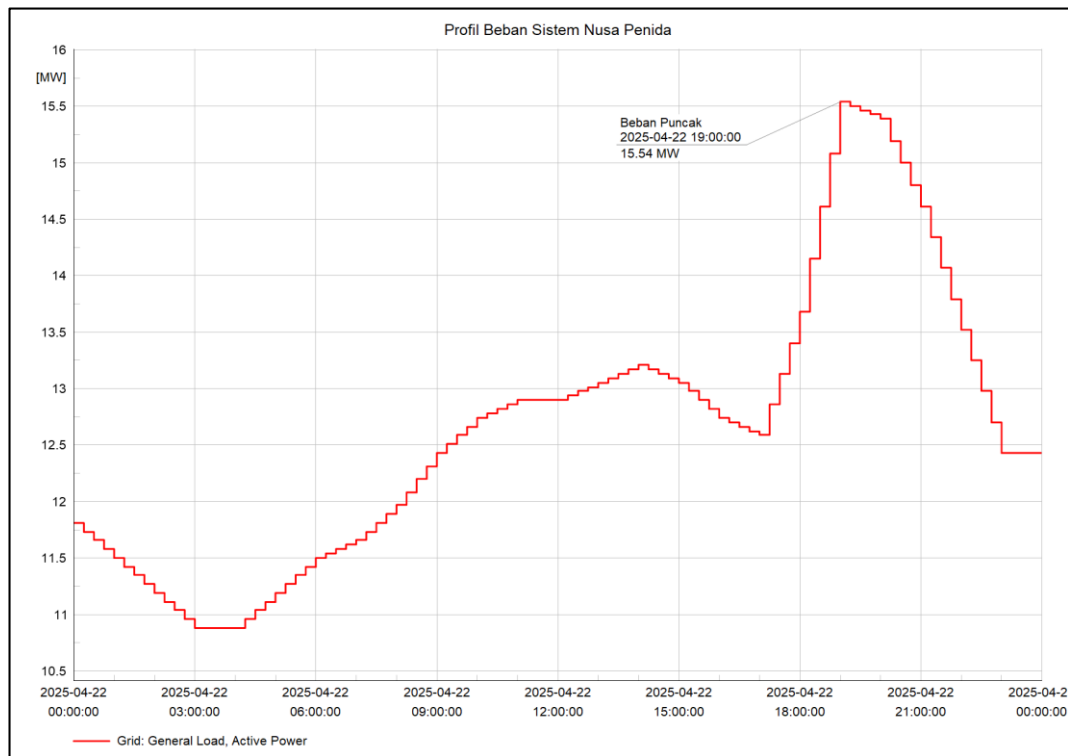
Tabel 3. 4. Data Pembangkit

No	Jenis Pembangkit	Daya Terpasang (MW)
1	PLTD Kutampi	31.65
2	PLTS Suana	3,5
Total		35,15

Tabel 3.4 menyajikan data pembangkit yang terhubung pada sistem distribusi Nusa Penida, yang terdiri atas PLTD sebesar 31,65 MW dan PLTS sebesar 3,5 MW. Dalam pemodelan, PLTD direpresentasikan sebagai pembangkit ekuivalen yang berfungsi sebagai sumber utama sistem, sedangkan PLTS dimodelkan berdasarkan kapasitas terpasang yang terhubung pada jaringan distribusi. Data pembangkit tersebut digunakan untuk merepresentasikan kondisi eksisting sistem kelistrikan Nusa Penida pada saat simulasi dilakukan.

3.5.5. Data Profil Beban

Profil beban harian yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari data operasi sistem kelistrikan Nusa Penida yang merepresentasikan variasi kebutuhan daya selama periode 24 jam. Data tersebut digunakan sebagai dasar pembentukan karakteristik beban sistem dalam simulasi *quasi-dynamic* sehingga perubahan kondisi pembebanan jaringan dapat direpresentasikan secara temporal sesuai kondisi operasi aktual.



Gambar 3. 3. Grafik Profil Beban 24 Jam Sistem Nusa Penida

Gambar 3.3 menunjukkan profil beban harian sistem Nusa Penida yang digunakan dalam penelitian. Berdasarkan profil tersebut, beban sistem mengalami variasi sepanjang hari dengan nilai minimum terjadi pada periode dini hari, yaitu sekitar pukul 03.00–04.00, sedangkan beban puncak terjadi pada pukul 19.00 dengan nilai sebesar 15,54 MW. Setelah mencapai beban puncak, kebutuhan daya sistem menurun secara bertahap hingga kembali ke kondisi beban malam.

Dalam penelitian ini, profil beban harian tersebut diimplementasikan ke dalam perangkat lunak DIgSILENT PowerFactory menggunakan fitur *Time Characteristic* sehingga nilai beban sistem dapat berubah secara otomatis pada setiap interval waktu simulasi. Dengan pendekatan ini, simulasi *quasi-dynamic* mampu merepresentasikan perubahan kondisi operasi jaringan distribusi selama 24

jam serta memungkinkan evaluasi dampak integrasi kendaraan listrik pada berbagai kondisi pembebanan sistem.

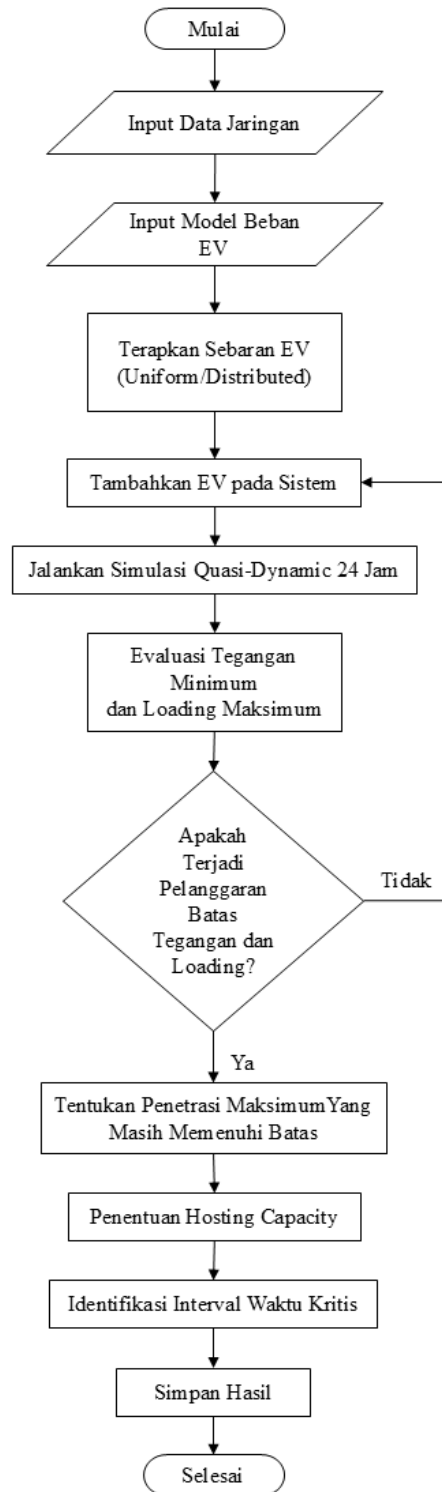
3.6. Pemodelan Beban Kendaraan Listrik

Pemodelan beban kendaraan listrik dilakukan untuk merepresentasikan tambahan beban akibat proses pengisian daya kendaraan listrik. Model beban yang digunakan disusun berdasarkan karakteristik pengisian kendaraan listrik berbasis baterai *Battery Electric Vehicle* (BEV) dengan mempertimbangkan kapasitas baterai, daya pengisian, *state of charge* (SOC), dan pola pengisian daya yang digunakan dalam penelitian.

Penelitian ini menggunakan skenario *uncoordinated charging*, yaitu kendaraan listrik melakukan pengisian daya segera setelah terhubung ke jaringan tanpa pengaturan waktu maupun daya pengisian. Pemodelan dilakukan untuk menghasilkan profil beban kendaraan listrik yang selanjutnya digunakan sebagai beban tambahan pada simulasi *quasi-dynamic* selama periode 24 jam.

Tahapan pembentukan profil beban kendaraan listrik meliputi pemilihan kendaraan representatif, penentuan parameter pengisian, perhitungan kebutuhan energi pengisian, penyusunan profil pengisian, dan pembentukan profil beban agregat. Hasil pemodelan beban kendaraan listrik serta profil pengisian yang diperoleh dibahas lebih lanjut pada Bab IV.

3.7. Skenario Analisis *Hosting Capacity*



Gambar 3. 4. Flowchart Simulasi

Gambar 3.4 menunjukkan tahapan analisis *hosting capacity* kendaraan listrik pada sistem distribusi Nusa Penida. Proses diawali dengan penginputan data jaringan distribusi dan model beban kendaraan listrik yang telah disusun berdasarkan asumsi penelitian. Selanjutnya dilakukan pemilihan skenario sebaran beban kendaraan listrik yang terdiri atas skenario *uniform hosting capacity* dan *distributed hosting capacity*.

Pada masing-masing skenario, jumlah kendaraan listrik ditambahkan secara bertahap ke dalam sistem distribusi sesuai pola sebaran yang telah ditentukan. Setiap tingkat penetrasi kendaraan listrik kemudian disimulasikan menggunakan metode *quasi-dynamic simulation* (QDS) selama periode 24 jam untuk merepresentasikan variasi kondisi pembebanan sistem.

Hasil simulasi dievaluasi berdasarkan dua parameter teknis utama, yaitu tegangan minimum dengan batas *Grid Code* Jamali yaitu 0,90 p.u dan pembebanan maksimum peralatan 100% dari kapasitas peralatan. Apabila belum terjadi pelanggaran batas tegangan maupun pembebanan peralatan, jumlah kendaraan listrik kembali ditingkatkan dan simulasi diulang pada tingkat penetrasi berikutnya.

Proses iterasi dihentikan ketika hasil simulasi menunjukkan terjadinya pelanggaran terhadap salah satu batas operasi sistem. Penetrasi kendaraan listrik terakhir yang masih memenuhi seluruh batas operasi kemudian ditetapkan sebagai penetrasi maksimum yang dapat diterima sistem. Nilai tersebut digunakan untuk menentukan *hosting capacity* kendaraan listrik pada masing-masing skenario sebaran.

Setelah *hosting capacity* diperoleh, dilakukan identifikasi interval waktu kritis berdasarkan kondisi operasi yang menghasilkan tegangan minimum atau pembebanan maksimum selama periode simulasi. Selanjutnya seluruh hasil simulasi disimpan dan digunakan sebagai dasar analisis pada bab berikutnya.