

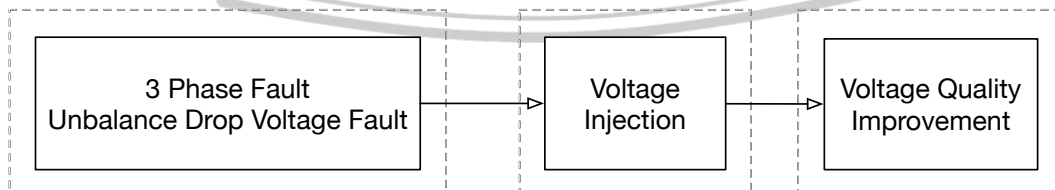
BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Blok Diagram Sistem

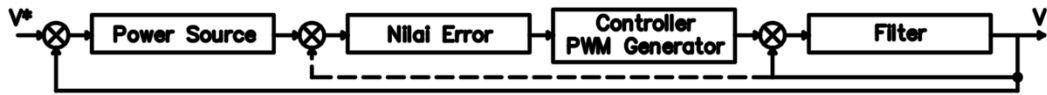
Perancangan keseluruhan sistem pada penelitian ini menggambarkan alur proses kompensasi tegangan menggunakan *Dynamic Voltage Restorer* (DVR). Sistem ini dirancang untuk mengatasi masalah kualitas daya yang diakibatkan oleh gangguan tiga fasa, seperti jatuh tegangan dan ketidakseimbangan tegangan. Secara garis besar, sistem ini menerima input berupa sinyal gangguan tiga fasa dan parameter sistem yang relevan. Sinyal gangguan ini kemudian diproses melalui tahap injeksi daya, di mana DVR akan menyuntikkan daya ke sistem untuk mengkompensasi tegangan yang turun. *Dynamic Voltage Restorer* (DVR) akan mempelajari hubungan antara input (gangguan dan parameter sistem) dengan output yang diinginkan (tegangan yang stabil dan seimbang). Dengan demikian, kualitas daya pada sistem dapat ditingkatkan secara signifikan, terutama dalam hal tegangan yang lebih stabil dan harmonik yang lebih rendah.

Dalam merancang suatu pemodelan harus dipahami karakteristik objek atau sistem yang akan di modelkan, sehingga dapat menentukan pemodelan dari sistem tersebut. Pada Gambar 3.1 Rancang Sistem Kompensasi Unbalance Drop Voltage menggambarkan blok diagram sistem “Pengembangan Kompensasi Ketidakseimbangan Beban dan Jatuh Tegangan pada Kereta Api Diesel Menggunakan *Dynamic Voltage Restorer*”.



Gambar 3.1 Rancang Sistem Kompensasi *Unbalance Drop Voltage*

Perancangan keseluruhan sistem pada gambar 3.1 adalah diagram blok perancangan keseluruhan sistem perbaikan tegangan menggunakan *Dynamic Voltage Restorer*. Beberapa tahapan dalam perancangan keseluruhan sistem dibagi atas 3 bagian, dimulai dari merancang input, process, dan yang terakhir output.



Gambar 3.2 Blok Diagram Sistem *Dynamic Voltage Restorer*.

Sistem ini bekerja berdasarkan prinsip umpan balik untuk menjaga tegangan keluaran agar selalu sesuai dengan nilai yang diinginkan. Pertama, tegangan aktual yang dihasilkan sistem dibandingkan dengan tegangan referensi yang telah ditetapkan. Selisih antara kedua tegangan ini (disebut error) kemudian diumpungkan ke pengontrol tegangan. Pengontrol ini akan menghitung sinyal kontrol yang diperlukan untuk mengurangi error tersebut. Sinyal kontrol ini kemudian diubah menjadi sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*) yang akan mengendalikan saklar daya dalam inverter. Inverter akan menghasilkan tegangan bolak-balik sesuai dengan sinyal PWM yang diterimanya. Tegangan bolak-balik ini kemudian disaring oleh filter untuk menghilangkan komponen frekuensi tinggi dan menghasilkan tegangan keluaran yang lebih halus. Tegangan keluaran yang telah disaring ini kemudian dibandingkan kembali dengan tegangan referensi, dan proses ini akan terus berulang secara terus-menerus. Dengan demikian, sistem ini akan selalu berusaha menjaga agar tegangan keluaran tetap stabil dan sesuai dengan nilai yang diinginkan, terlepas dari adanya gangguan atau perubahan beban.

3.1.1 3 Phase Fault (*Unbalance & Drop Voltage*)

Sistem menerima input berupa gangguan tiga fasa yang berupa ketidakseimbangan tegangan dan tegangan jatuh. Gangguan ini bisa muncul dikarenakan oleh berbagai faktor seperti beban berlebihan, hubung singkat, atau gangguan pada sistem.

Sinyal gangguan tiga fasa ini merujuk pada fluktuasi tegangan yang terjadi pada ketiga fasa (R, S, T) dalam sistem tenaga listrik. Gangguan ini bisa berupa tegangan jatuh, ketidakseimbangan tegangan antar fasa, dan beberapa macam gangguan lainnya. Sinyal ini merupakan informasi awal yang ditangkap oleh sistem untuk mengetahui adanya masalah pada kualitas daya.

Selain sinyal gangguan, sistem juga memerlukan informasi tentang karakteristik sistem tenaga listrik itu sendiri. Parameter ini bisa berupa impedansi sistem, kapasitas beban, jenis beban (linear atau non-linear), dan pengaturan sistem proteksi. Informasi ini penting untuk menentukan besarnya kompensasi yang diperlukan dan untuk menyesuaikan kinerja DVR dengan kondisi sistem.

3.1.2 *Power Injection*

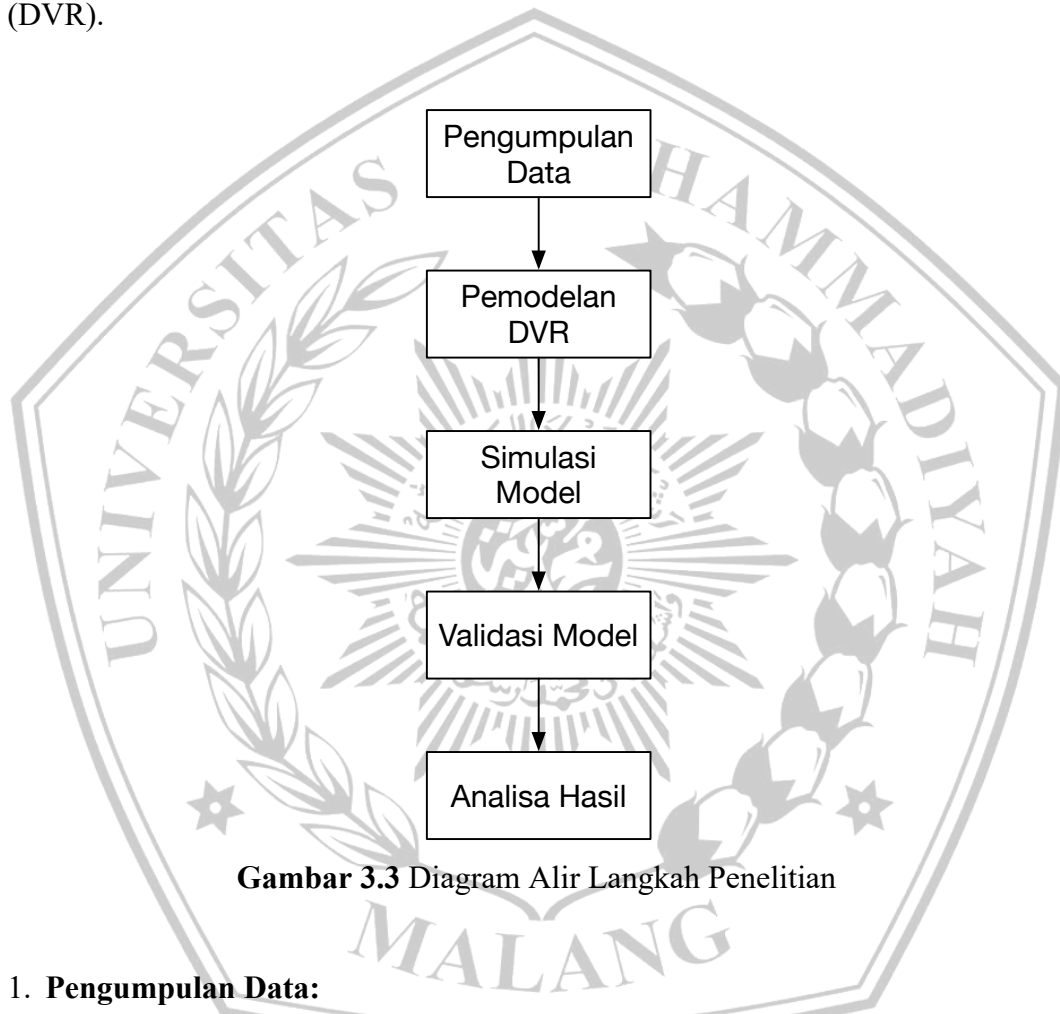
Sinyal gangguan yang terjadi kemudian diproses melalui tahap injeksi daya, di mana DVR akan menyuntikkan daya ke sistem untuk mengkompensasi tegangan yang turun. Tahap injeksi daya dimulai ketika mendeteksi adanya gangguan, DVR akan bekerja dengan cara menyuntikkan daya ke sistem tenaga listrik. Daya yang disuntikkan ini memiliki tujuan untuk menaikkan kembali tegangan yang turun akibat gangguan. Dengan menyuntikkan daya, DVR seolah-olah "mengisi ulang" tegangan yang hilang akibat gangguan. Besarnya daya yang disuntikkan akan disesuaikan dengan tingkat keparahan gangguan.

3.1.3 *Power Quality Improvement*

Dengan demikian, kualitas daya pada sistem dapat ditingkatkan secara signifikan, terutama dalam hal tegangan yang lebih stabil dan harmonik yang lebih rendah. Peningkatan kualitas daya akan menjadi keluaran yang sesuai dengan adanya DVR, kualitas daya pada sistem dapat ditingkatkan secara signifikan. Tegangan akan menjadi lebih stabil, sehingga peralatan listrik yang terhubung akan bekerja lebih optimal dan umur pakainya dapat lebih panjang. Selain itu, DVR juga dapat mengurangi kandungan harmonisa dalam tegangan. Harmonisa dapat menyebabkan panas berlebih pada peralatan listrik dan mengganggu kinerja peralatan elektronik.

3.2 Diagram Alir Langkah Penelitian

Berikut ini digambarkan diagram alir langkah penelitian yang diperlihatkan oleh gambar 3.2. Langkah pemodelan sistem merupakan langkah yang penting untuk analisis stabilitas sistem pada optimasi pengembangan kompensasi tegangan jatuh tak seimbang pada kereta api menggunakan *Dynamic Voltage Restorer* (DVR).



Gambar 3.3 Diagram Alir Langkah Penelitian

1. Pengumpulan Data:

Mengumpulkan data gangguan 3 fasa, parameter sistem, dan data kinerja DVR dari simulasi atau data aktual. Membentuk basis data yang terdiri dari data input (gangguan, parameter sistem) dan data output (sinyal kontrol DVR).

2. Pemodelan DVR:

Membangun model matematis DVR yang mencakup dinamika inverter, transformator, dan filter.

3. Validasi Model:

Menguji kinerja model dengan menggunakan data uji.

4. Simulasi:

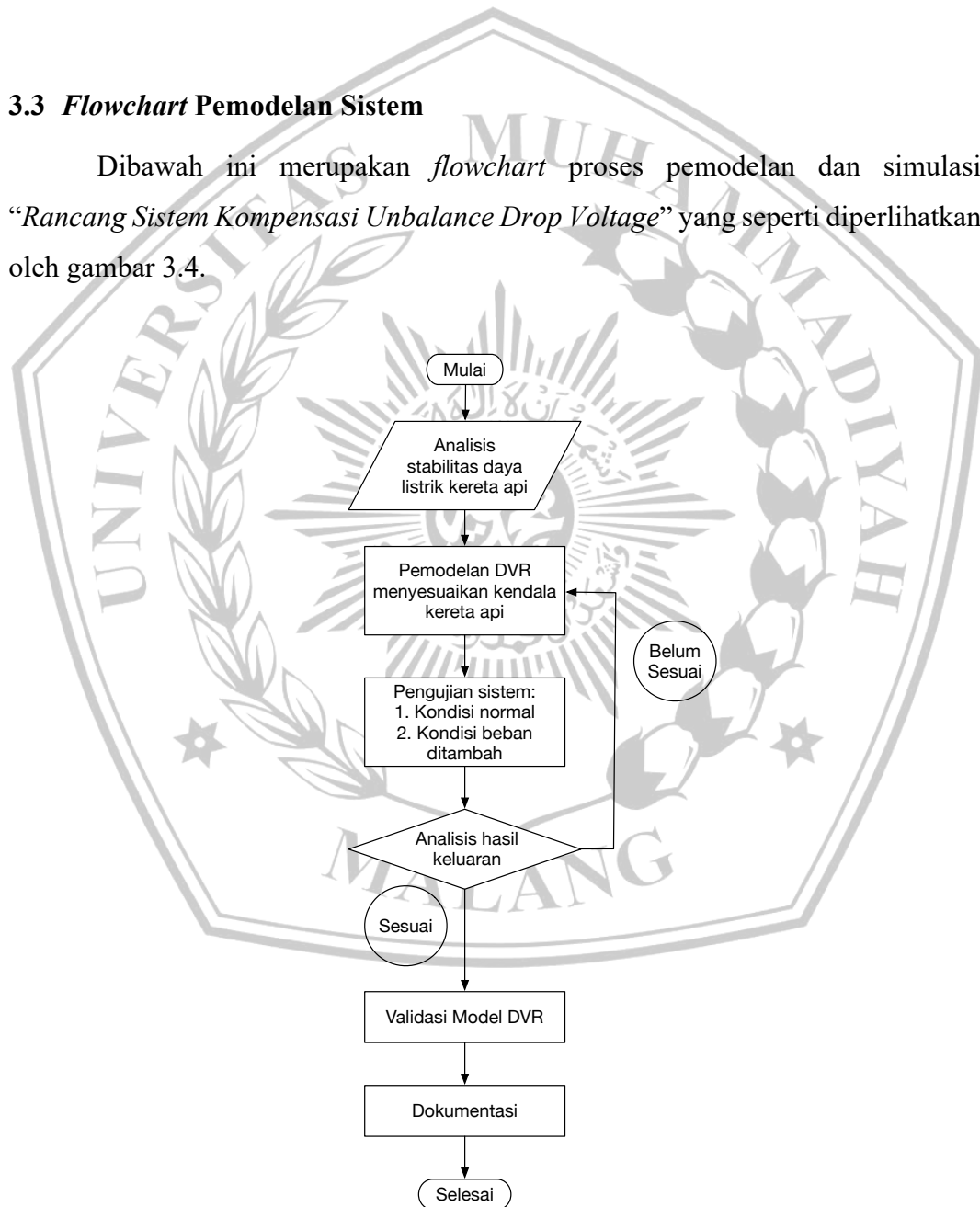
Melakukan simulasi sistem dengan menggunakan model DVR dan controller yang telah dikembangkan untuk berbagai kondisi gangguan.

5. Analisis Hasil:

Menganalisis hasil simulasi untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam memperbaiki kualitas daya.

3.3 Flowchart Pemodelan Sistem

Dibawah ini merupakan *flowchart* proses pemodelan dan simulasi “Rancang Sistem Kompensasi Unbalance Drop Voltage” yang seperti diperlihatkan oleh gambar 3.4.



Gambar 3.4 Flowchart Pemodelan dan Simulasi

Dari gambar diatas menunjukkan bahwa penelitian dilakukan dengan melakukan analisis terlebih dahulu latar belakang kereta api dan permasalahannya. Sebelum menerapkan DVR, perlu dilakukan analisis terhadap stabilitas sistem daya listrik kereta api. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi titik-titik lemah dalam sistem yang rentan terhadap ketidakseimbangan beban dan jatuh tegangan. Dilanjutkan dengan pembuatan model matematis dari *Dynamic Voltage Restorer* (DVR) yang akan digunakan. Model ini harus disesuaikan dengan karakteristik spesifik sistem listrik kereta api, termasuk jenis beban, kapasitas, dan kendala lainnya. Pengujian sistem dilakukan dalam beberapa kondisi. Kondisi normal, sistem diuji dalam kondisi normal untuk mendapatkan data baseline kinerja sistem. Kondisi beban ditambah, sistem diuji dalam kondisi beban yang ditingkatkan untuk mensimulasikan kondisi operasional yang lebih berat dan melihat bagaimana DVR merespons. Dari hasil percobaan dengan variasi kondisi yang dilakukan, analisis hasil keluaran akan menunjukkan apakah DVR sudah layak atau memenuhi kondisi perbaikan yang diinginkan atau tidak. Hasil pengujian dianalisis untuk melihat apakah DVR berhasil memperbaiki ketidakseimbangan beban dan jatuh tegangan. Parameter yang perlu diperhatikan antara lain:

- a. Tingkat harmonik tegangan: Apakah DVR berhasil mengurangi distorsi harmonik?
- b. Besar fluktuasi tegangan: Apakah DVR berhasil menjaga tegangan tetap stabil?
- c. Waktu respons: Seberapa cepat DVR merespons perubahan beban?

Jika hasil analisis menunjukkan bahwa DVR berhasil meningkatkan kinerja sistem, maka model DVR yang telah dibuat dapat dianggap valid dan siap untuk diimplementasikan. Seluruh proses penelitian, mulai dari perancangan model, pengujian, hingga analisis hasil, didokumentasikan secara detail. Dokumentasi ini penting untuk keperluan pelaporan dan referensi di masa mendatang.

3.4 Data Parameter

Parameter sistem yang digunakan pada pemodelan DVR sebagai kompensasi tegangan diperlihatkan oleh tabel berikut ini:

Tabel 3.1 Parameter Nilai Kelistrikan Sistem Kereta Api

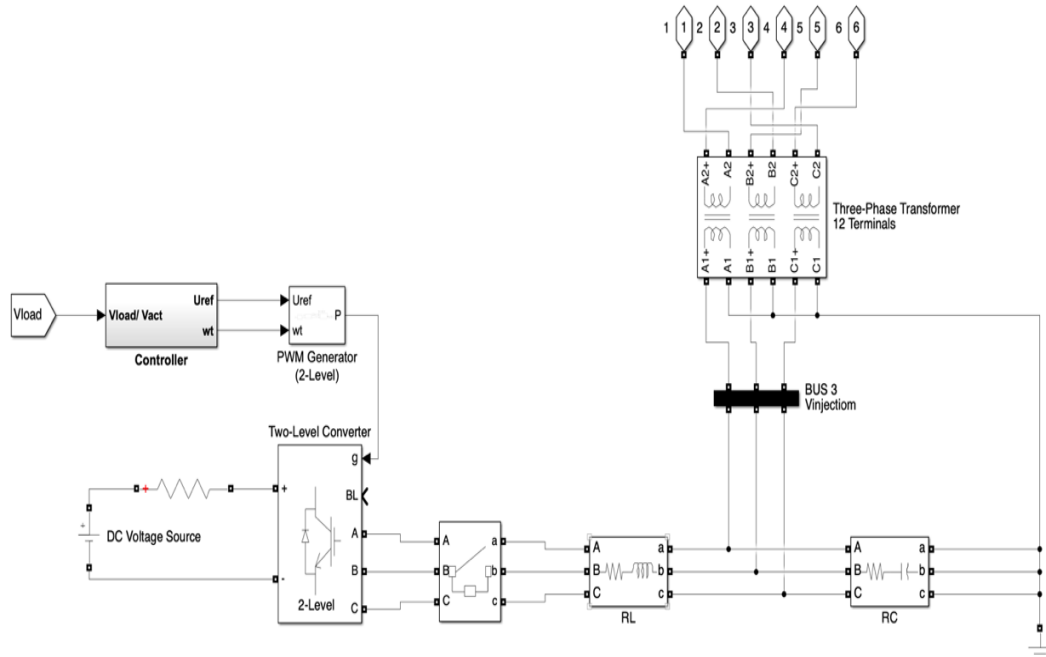
No	Parameter	Nilai
1	Rating Daya Sumber	500 KVA
2	Frekuensi	50 Hz
3	Unbalance Voltage	1.4%
4	Drop Voltage	5%
5	Total Daya Beban	312.382Watt

3.5 Pemodelan DVR

Pemodelan DVR merupakan langkah krusial dalam simulasi dan analisis kinerja sistem tenaga listrik yang dilengkapi dengan perangkat ini. DVR terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu inverter, transformator injeksi, filter, dan kapasitor. Masing-masing komponen memiliki peran spesifik dalam proses kompensasi tegangan.

Untuk membangun model matematis DVR, persamaan tegangan dan arus untuk setiap komponen perlu dirumuskan. Inverter, sebagai jantung dari DVR, merupakan konverter daya elektronik yang mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC sinusoidal dengan frekuensi dan amplitudo yang dapat divariasikan. Model inverter umumnya menggunakan persamaan tegangan dan arus yang didasarkan pada prinsip kerja konversi daya. Transformator injeksi berperan dalam menginjeksikan tegangan kompensasi ke dalam sistem. Model transformator injeksi dapat disederhanakan menjadi sebuah transformator ideal dengan pertimbangan impedansi kebocoran yang kecil. Filter digunakan untuk meredam harmonik yang dihasilkan oleh inverter. Model filter dapat berupa filter pasif (LC) atau filter aktif. Kapasitor berfungsi sebagai penyimpan energi dan membantu dalam proses kompensasi tegangan. Model kapasitor dapat diwakili oleh sebuah kapasitor ideal. Setelah model matematis untuk masing-masing komponen

diperoleh, persamaan-persamaan tersebut kemudian dihubungkan untuk membentuk model lengkap DVR. Berikut adalah model yang digunakan untuk memperbaiki ketidakseimbangan dan jatuh tegangan pada kereta api.

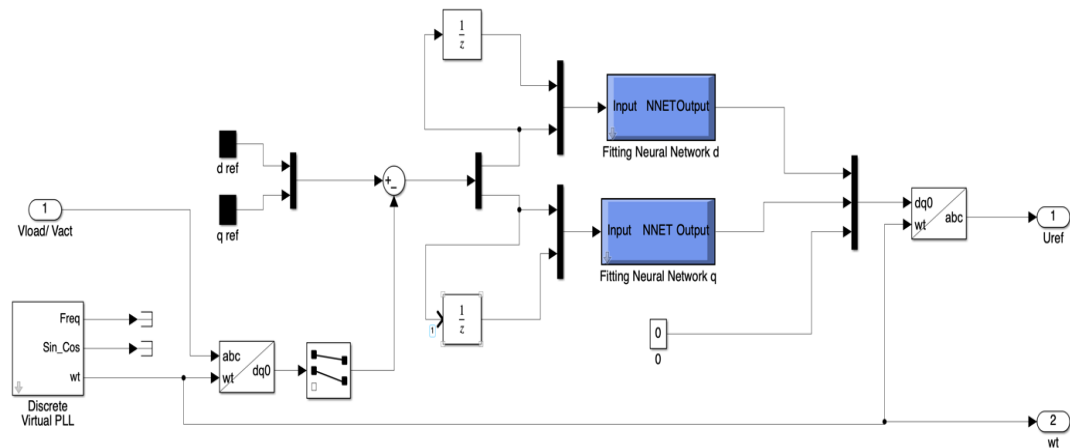


Gambar 3.5 Pemodelan Dynamic Voltage Restorer

3.5.1 Pemodelan Controller

Pemodelan controller pada sistem DVR ini menggunakan jaringan saraf tiruan (ANN) sebagai inti pengendaliannya. Pemilihan ANN didasarkan pada kemampuannya dalam meniru pola kompleks dan non-linear yang sering ditemukan dalam sistem tenaga listrik. Neuron-neuron dalam ANN melakukan perhitungan dengan menggunakan fungsi aktivasi. Fungsi aktivasi ini berperan dalam menentukan output dari neuron berdasarkan input yang diterimanya. Pemilihan fungsi aktivasi sangat berpengaruh terhadap kinerja ANN.

Proses pelatihan ANN dilakukan dengan menggunakan algoritma *backpropagation*. Algoritma ini bekerja dengan cara membandingkan output yang dihasilkan oleh ANN dengan output yang diharapkan (target). Selisih antara output yang dihasilkan dan target disebut sebagai error. Error ini kemudian digunakan untuk memperbarui bobot dan bias pada setiap neuron sehingga output ANN semakin mendekati target.



Gambar 3.6 Pemodelan Controller pada Dynamic Voltage Restorer

3.6 Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan pada penelitian ini dirancang untuk mengoptimalkan kinerja *Dynamic Voltage Restorer* (DVR) dalam memperbaiki kualitas tegangan. Beberapa metrik yang digunakan sebagai fungsi tujuan adalah:

a. Minimisasi Kesalahan:

- *Mean Squared Error* (MSE): Metrik ini menghitung rata-rata kuadrat dari selisih antara nilai aktual dan nilai prediksi model. MSE memberikan bobot yang lebih besar pada kesalahan yang besar, sehingga sangat sensitif terhadap outlier.
- *Mean Absolute Error* (MAE): Metrik ini menghitung rata-rata dari nilai absolut selisih antara nilai aktual dan nilai prediksi. MAE memberikan bobot yang sama pada semua kesalahan, sehingga lebih *robust* terhadap outlier dibandingkan MSE. Tujuan dari minimisasi kesalahan adalah untuk membuat output DVR sedekat mungkin dengan tegangan referensi yang diinginkan.

- b. Minimisasi *Drop Voltage*: *Drop voltage* didefinisikan sebagai penurunan tegangan dari kondisi normal menuju kondisi gangguan. Dengan meminimalkan *drop voltage*, DVR dapat menjaga stabilitas tegangan sistem dan mencegah kerusakan pada peralatan.

c. Minimisasi *Unbalance Factor*: *Unbalance factor* merupakan ukuran ketidakseimbangan antara ketiga fasa tegangan. Ketidakseimbangan tegangan dapat menyebabkan pemanasan yang tidak merata pada peralatan listrik dan mengurangi efisiensi sistem. Dengan meminimalkan *unbalance factor*, DVR dapat meningkatkan kualitas tegangan dan memperpanjang umur peralatan.

Secara keseluruhan, fungsi tujuan pada penelitian ini bertujuan untuk:

- a. Meningkatkan kualitas tegangan: Dengan meminimalkan kesalahan, *drop voltage*, dan *unbalance factor*, DVR dapat menghasilkan tegangan keluaran yang lebih stabil, seimbang, dan sesuai dengan standar kualitas daya.
- b. Mencegah kerusakan peralatan: Dengan menjaga stabilitas tegangan, DVR dapat melindungi peralatan listrik dari kerusakan akibat fluktuasi tegangan yang berlebihan.
- c. Meningkatkan efisiensi sistem: Dengan mengurangi ketidakseimbangan tegangan, DVR dapat meningkatkan efisiensi sistem tenaga listrik.

Dengan demikian, optimasi DVR menggunakan fungsi tujuan yang komprehensif akan menghasilkan kinerja yang optimal dalam memperbaiki kualitas tegangan dan meningkatkan keandalan sistem tenaga listrik.

