

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Motor induksi tiga fasa merupakan salah satu mesin listrik yang paling banyak digunakan dalam aplikasi industri karena memiliki kelebihan berupa konstruksi yang sederhana, biaya perawatan rendah, dan tingkat keandalan tinggi (Kamal and Bandri, 2023). Namun demikian, motor induksi memiliki karakteristik arus awal yang tinggi, faktor daya rendah, serta sensitif terhadap variasi beban sehingga memerlukan sistem kendali yang efektif untuk menjaga stabilitas torsi dan kecepatan rotor pada kondisi operasi dinamis (Muis Prasetya and Sartika, 2024). Oleh karena itu, diperlukan strategi pengendalian yang mampu menjaga torsi dan fluks tetap stabil serta memberikan respons cepat terhadap perubahan beban.

Direct Torque Control (DTC) merupakan metode pengendalian motor induksi yang mengatur torsi elektromagnetik dan fluks secara langsung melalui pemilihan kondisi *switching* inverter. DTC memiliki keunggulan berupa respons torsi yang cepat dan struktur kontrol sederhana tanpa memerlukan transformasi pengendalian yang kompleks. Namun, DTC konvensional masih memiliki beberapa keterbatasan, antara lain tingginya *torque ripple*, frekuensi pensaklaran yang tidak konstan, serta sensitivitas terhadap perubahan parameter motor yang dapat memengaruhi stabilitas sistem (Azze and Hameed, 2023).

Untuk meningkatkan kualitas pengendalian, beberapa penelitian mengusulkan penggunaan *Direct Torque Control* (DTC) berbasis *Pulse Width Modulation* (PWM) yang dikombinasikan dengan kalman filter untuk melakukan estimasi fluks stator dan kecepatan motor induksi. Penerapan Kalman Filter dapat menghaluskan respons transien, mengurangi fluktuasi torsi, serta meningkatkan estimasi fluks stator tanpa menggunakan sensor kecepatan tambahan. Namun, frekuensi pensaklaran PWM yang selalu konstan, sehingga respons sistem terhadap variasi beban belum sepenuhnya optimal (Vo *et al.*, 2021).

Selain itu, teknik pensaklaran inverter memengaruhi kualitas daya pada motor induksi secara signifikan. Perbandingan karakteristik antara *Sinusoidal Pulse*

Width Modulation (SPWM) dan *Hysteresis Band Pulse Width Modulation* (HBPWM) pada motor induksi menunjukkan bahwa SPWM menghasilkan respons kecepatan awal yang mengalami *overshoot* dan osilasi yang lebih besar sebelum mencapai keadaan tunak, sedangkan HBPWM mampu menghasilkan respons kecepatan yang lebih cepat dan lebih halus serta bentuk gelombang tegangan dan arus yang lebih efisien. Hal tersebut menunjukkan bahwa pemilihan teknik pensaklaran inverter sangat memengaruhi kualitas daya dan kinerja motor induksi (Mohammed, 2025).

Selain peningkatan teknik pensaklaran tersebut, konfigurasi inverter juga menjadi fokus pengembangan penelitian terkini. Penerapan *Dual Inverter* pada motor induksi *open-end winding* dikombinasikan dengan *Field-Oriented Control* (FOC) berbasis *backstepping* dan *observer* MVT mampu memperluas ruang level tegangan, menurunkan *common-mode voltage* (CMV), dan memperhalus bentuk gelombang tegangan fasa stator. Meskipun demikian, metode tersebut memiliki kekurangan berupa kebutuhan komputasi tinggi, sensitivitas terhadap parameter motor, proses tuning yang rumit, serta tidak membahas performa torsi, khususnya *torque ripple* (Allag et al., 2025).

Meskipun kombinasi *Direct Torque Control* (DTC), *Hysteresis Band Pulse Width Modulation* (HBPWM), dan *Dual Inverter* mampu meningkatkan performa pengendalian motor induksi melalui pengendalian fluks dan torsi secara langsung, perubahan beban mekanik yang bersifat dinamis masih dapat menyebabkan fluktuasi torsi serta selisih kecepatan rotor terhadap nilai referensi. Oleh karena itu, diperlukan pengendali tambahan pada sistem kendali tertutup (*closed loop control*) untuk menjaga kestabilan dan akurasi sistem ketika terjadi gangguan beban. Pengendali *Proportional Integral* (PI) banyak diterapkan pada sistem DTC karena mampu mengurangi *steady-state error* serta menghasilkan sinyal referensi torsi berdasarkan selisih (*error*) antara kecepatan referensi dan kecepatan aktual rotor. Pada sistem DTC-HBPWM *dual inverter*, pengendali PI berperan dalam mempercepat waktu pemulihan kecepatan (*speed recovery time*), mengurangi *steady-state error*, serta menjaga kestabilan performa motor induksi tanpa memerlukan informasi parameter beban secara langsung (Prayogo, Triwiyatno and Riyadi, 2023). Berdasarkan uraian tersebut, penulis mengajukan judul tugas akhir

"Analisis *Dual Inverter* dengan *Direct Torque Control* (DTC) dan *Hysteresis Band Pulse Width Modulation* (HBPWM) pada Pengendalian Motor Induksi". Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk menganalisis pengaruh kombinasi DTC dan HBPWM dengan *dual inverter* terhadap performa torsi, kecepatan rotor, serta respons transien pada motor induksi tiga fasa.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah yang dibahas dalam penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana perancangan *Direct Torque Control* (DTC) pada pengendalian motor induksi tiga fasa?
- b. Bagaimana penerapan teknik *Hysteresis Band Pulse Width Modulation* (HBPWM) sebagai teknik pensaklaran pada sistem *Single Inverter* dan *Dual Inverter*?
- c. Bagaimana karakteristik torsi elektromagnetik, fluks stator, arus stator, kecepatan rotor, dan respons transien pada konfigurasi *Single Inverter* dan *Dual Inverter* menggunakan metode DTC-HBPWM?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan pada subbab sebelumnya, tujuan penelitian yang dilakukan dapat dinyatakan sebagai berikut:

- a. Merancang dan menganalisis pengendali *Direct Torque Control* (DTC) pada motor induksi tiga fasa.
- b. Mengimplementasikan *Hysteresis Band Pulse Width Modulation* (HBPWM) sebagai metode *switching* pada sistem *Single Inverter* dan *Dual Inverter*.
- c. Menganalisis performa motor induksi pada sistem *Single Inverter* dan *Dual Inverter* menggunakan DTC-HBPWM berdasarkan parameter torsi elektromagnetik, fluks stator, arus stator, kecepatan rotor, dan respons transien.

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah dan tujuan yang telah diuraikan pada subbab sebelumnya, manfaat yang diharapkan dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Memberikan wawasan mengenai perancangan pengendali *Direct Torque Control* (DTC) untuk mengendalikan motor induksi dengan konfigurasi *Dual Inverter*.
- b. Menyajikan analisis pengaruh penggunaan *Hysteresis Band Pulse Width Modulation* (HBPWM) pada sistem *Dual Inverter* terhadap performa pengendalian motor induksi tiga fasa.
- c. Menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya terkait strategi *switching* dengan sistem *Dual Inverter* dan metode kontrol motor induksi dalam meningkatkan performa pengendalian motor induksi.

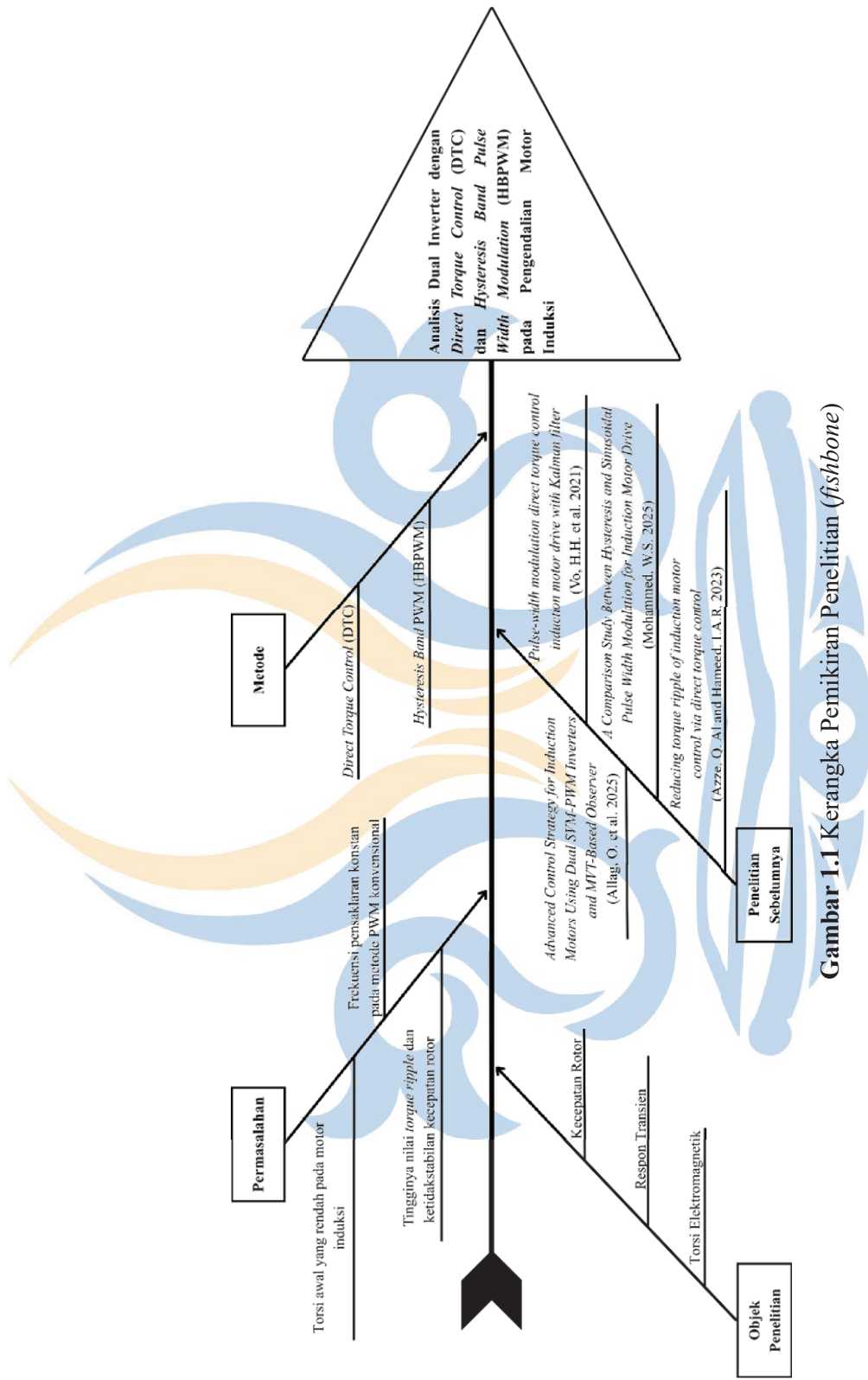
1.5 Batasan Masalah

Dalam penelitian yang dilakukan, terdapat batasan-batasan yang diterapkan untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan, antara lain:

- a. Pengujian pengendalian motor induksi yang digunakan adalah tipe sangkar (*squirrel cage*) dengan metode *Direct Torque Control* (DTC).
- b. Penelitian tugas akhir berfokus pada kemampuan teknik penyaklaran HBPWM yang diimplementasikan pada *Dual Inverter* tiga fasa.
- c. Inverter yang digunakan adalah *Voltage Source Inverter* (VSI) 2 Level, di mana saklar pada inverter menggunakan *Insulated-Gate Bipolar Transistor* (IGBT).
- d. Implementasi sistem *single inverter*, *dual inverter*, DTC dan HBPWM pada motor induksi berupa simulasi menggunakan *software* MATLAB/Simulink.

1.6 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian dirancang untuk memberikan gambaran secara garis besar kepada pembaca. **Gambar 1.1** merupakan *fishbone diagram* penelitian yang dilakukan dengan mencakup empat entitas beserta atribut-atribut yang menyertainya, dan diakhiri dengan judul penelitian, yaitu “Analisis *Dual Inverter* dengan *Direct Torque Control* (DTC) dan *Hysteresis Band Pulse Width Modulation* (HBPWM) pada Pengendalian Motor Induksi”.



Gambar 1.1 Kerangka Pemikiran Penelitian (*fishbone*)