Mobil listrik berbasis motor induksi: tantangan dan solusi

**Avendi Praditya**

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan

**Abstrak**

Pada artikel ini disajikan hasil studi berkaitan tantangan dan solusi pengembangan mobil listrik berbasis motor induksi. Setiap artikel diekstrak problematika atau tantangan utama dan solusi yang diusulkan. Hasil ringkasan ini diharapkan menjadi pintu pertama dan sumber pustaka bagi insan cendikia yang tertarik pada pengembangan mobil Listrik berbasis motor induksi.

1. **PENDAHULUAN**

Mobil listrik telah menjadi titik fokus utama dalam industri otomotif sebagai respons terhadap kebutuhan akan solusi transportasi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan. Salah satu teknologi yang digunakan dalam mobil listrik adalah motor induksi. Motor induksi memiliki keunggulan dalam efisiensi energi, keandalan, dan kesederhanaan desain, menjadikannya pilihan yang menarik untuk menggerakkan kendaraan listrik. Namun, seperti setiap teknologi, pengembangan mobil listrik berbasis motor induksi juga dihadapkan pada sejumlah tantangan yang perlu diatasi agar dapat memenuhi harapan konsumen dan masyarakat global terkait keberlanjutan.

Tantangan tersebut melibatkan aspek teknis, ekonomi, dan infrastruktur. Dari segi teknis, pengoptimalan kinerja motor induksi, peningkatan kapasitas baterai, dan pengelolaan suhu merupakan beberapa aspek yang perlu diperhatikan. Selain itu, perpanjangan jangkauan dan pengisian daya yang lebih cepat juga menjadi fokus pengembangan untuk meningkatkan daya saing mobil listrik.

Dari segi ekonomi, biaya produksi mobil listrik masih menjadi hambatan utama dalam adopsi massal. Meskipun biaya baterai terus menurun, upaya untuk membuat mobil listrik lebih terjangkau perlu terus dilakukan. Selain itu, kurangnya infrastruktur pengisian daya yang memadai juga menjadi kendala dalam memperluas pasar mobil listrik.

1. **[1] Effect of supply voltage variations on a single phase capacitor clamped by a multilevel inverter fed by an induction motor drive**

Artikel ini menyajikan pengaruh variasi tegangan suplai pada penggerak motor induksi umpan inverter bertingkat yang dijepit kapasitor satu fasa. Penelitian ini dirancang untuk menentukan nilai torsi dan kecepatan terbaik untuk mencapai keadaan stabil pada variasi tegangan masukan dan respons waktu minimum untuk mewujudkan persentase distorsi harmonik yang rendah. Pengaruh gangguan kualitas daya yang konstan merugikan kinerja dan perilaku motor asinkron berdasarkan kandungan harmonik dan integrasi sumber energi lainnya. Inverter bertingkat telah menunjukkan kinerja yang baik dalam penggerak motor. Makalah ini membahas tentang pengaruh variasi tegangan masukan pada inverter penjepit kapasitor bertingkat satu fasa untuk penggerak motor induksi asinkron. Inverter penjepit kapasitor lima tingkat dengan teknik modulasi lebar pulsa disposisi dalam fase diadopsi. Empat sinyal pembawa segitiga frekuensi tinggi dihasilkan dan dibandingkan dengan sinyal sinusoidal referensi. Sebagai hasil dari pendekatan ini, sinyal pengaktifan sakelar inverter dihasilkan. Model loop terbuka dirancang dan disimulasikan menggunakan MATLAB/Simulink dan hasilnya disajikan berdasarkan nilai tegangan suplai yang berbeda. Total distorsi harmonik (THDs) arus dan tegangan yang diperoleh masing-masing sebesar 4,97% dan 4,46% pada tegangan operasi terbaik 400 V dan torsi maksimum 47 Nm.(Diyoke & Eya, 2023)

1. **[2] Investigative study on the properties of magnetic materials for electrical machines**

Makalah ini mencoba untuk menyelidiki sifat-sifat bahan magnetik yang digunakan dalam konstruksi mesin listrik berputar, dengan maksud untuk sampai pada pilihan yang tepat khususnya untuk motor induksi. Pengukuran sifat magnetik untuk mesin listrik yang berputar lebih penting bagi perancang mesin dan operator. Makalah ini membahas pengaruh sifat kemagnetan baja listrik terhadap kinerja mesin listrik. Di sini properti seperti kurva BH, kehilangan inti, permeabilitas, dan parameter penting lainnya diukur menggunakan penguji Epstein 400×400 pada kerapatan fluks rentang lebar dan frekuensi hingga 50 Hz dan 400 Hz. Hasil yang diukur dalam bentuk kehilangan inti, kurva BH dan permeabilitas menunjukkan manfaat dalam menentukan kesesuaian material untuk digunakan dalam praktik.(Reddy et al., 2023)

1. **[3] Induction motor performance improvement using a five-level inverter topology and sliding mode controllers**

Penelitian ini bertujuan untuk membangun pengendalian vektor kuat (VC) motor induksi (IM) 3-ϕ. Inverter 2 tingkat klasik digantikan oleh inverter 5 tingkat titik netral (NPC). Inverter 2 tingkat hanya dapat menyuplai 8 vektor tegangan, sedangkan inverter NPC 5 tingkat dapat menyuplai 125 vektor tegangan. Tujuannya adalah untuk menghasilkan vektor tegangan perintah yang sedekat mungkin dengan vektor tegangan referensi; karenanya, menjamin respons yang cepat di satu sisi dan meningkatkan kinerja dinamis di sisi lain. Struktur pengontrol mode geser (SMC) yang kuat digunakan di semua loop regulasi. Hasil memuaskan diperoleh untuk berbagai zona kecepatan. Kualitas dan ketahanan sistem global diuji dalam gangguan torsi resistif, pembalikan, rentang kecepatan tinggi dan rendah untuk membuktikan stabilitas sistem. Semua simulasi telah dilakukan di bawah MATLAB/Simulink(Fahassa et al., 2023)

1. **[4] Performance analysis of three-phase induction motor for railway propulsion system**

Motor induksi tiga fasa menyerap daya listrik paling banyak diantara beban listrik lainnya. Oleh karena itu, motor induksi tiga fasa merupakan motor listrik utama yang digunakan dalam aplikasi industri karena konstruksinya yang sederhana dan pengoperasian yang mudah, serta biaya yang rendah dan biaya perawatan yang rendah. Efisiensi merupakan parameter penting yang menjadi ciri motor induksi sebagai motor traksi. Motor traksi didefinisikan sebagai efektivitas mesin dalam mengubah tenaga listrik yang dimasukkannya menjadi energi mekanik dengan cara memutar torsi pada porosnya. Salah satu cara untuk menganalisis efisiensi adalah dengan menggunakan data pengujian yang diperoleh dari pengujian laboratorium dalam pengujian case-loaded dan no-load test. Perhitungan dengan menggunakan beberapa rumus efisiensi motor induksi sebagai motor traksi menghasilkan hasil yang sama yaitu efisiensi sebesar 98,6% dengan menerapkan penggerak frekuensi variabel (VFD). Hasil uji laboratorium dan analisanya dapat dijadikan acuan dalam perancangan motor induksi tiga fasa untuk motor traksi kereta api, khususnya motor traksi untuk kereta api kecepatan tinggi.(Kamar et al., 2023)

1. **[5] Analytical assessment of torque and stator currents of an induction motor due to voltage sags**

Sag tegangan merupakan fenomena yang sering dijumpai pada sistem tenaga listrik yang banyak dihubungkan langsung dengan motor induksi tiga fasa. Makalah ini menyajikan metode analisis sederhana untuk perhitungan torsi elektro-magnetik bersih dan arus stator motor induksi yang mengalami penurunan tegangan suplai simetris dan tidak simetris. Karya ini menyajikan jalur inovatif untuk menghitung torsi elektro-magnetik bersih dan peningkatan arus stator untuk ketujuh jenis sags menggunakan teori komponen simetris yang terkenal. Metode sederhana dan ekspresi yang digunakan dalam makalah ini tidak dilaporkan dalam literatur yang dikaji sejauh ini. Perhitungan selanjutnya diperluas untuk kondisi beban yang berbeda sambil memvariasikan besarnya penurunan simetris. Kesederhanaan penilaian analitis efek pembebanan pada torsi elektromagnetik dari kondisi tanpa beban hingga kondisi beban penuh untuk semua jenis sag disajikan. Hasil penelitian diverifikasi dengan meniru lingkungan untuk berbagai jenis sag di MATLAB/Simulink. Pengamatannya menunjukkan bahwa torsi keluaran rata-rata motor menurun dan riak daya meningkat selama penurunan yang tidak simetris.(Huchche & Patne, 2023)

1. **[6] Online detection of interturn short-circuit fault in induction motor based on 5th harmonic current tracking using Vold-Kalman filter**

Dalam makalah ini kami mengusulkan strategi deteksi gangguan hubung singkat antar putaran (ISCF) secara real-time pada motor induksi tiga fasa (IM) dengan menggunakan algoritma Vold-Kalman filter (VKF). ISCF menghasilkan tegangan termal pada belitan stator akibat besarnya arus yang mengalir melalui belitan hubung singkat. Oleh karena itu, deteksi gangguan baru jadi diperlukan untuk menghindari kegagalan besar seperti gangguan fasa ke fasa, atau gangguan fasa ke tanah. Strategi ini didasarkan pada model IM analitik yang mencakup gangguan ISCF pada salah satu belitan fasa dan mempertimbangkan harmonik ke-h pada pasokan tegangan. Berdasarkan rangkaian listrik ekivalen dengan komponen urutan harmonik, kami mengusulkan strategi untuk mendeteksi ISCF pada IM dengan melacak komponen arus harmonik ke-5 menggunakan algoritma VKF. Model yang diusulkan divalidasi secara eksperimental menggunakan IM tiga fase dengan belitan stator yang dimodifikasi untuk menghasilkan ISCF. Selain itu, IM diumpankan oleh sumber tegangan yang dapat diprogram untuk mensintesis pasokan tegangan terdistorsi dengan harmonik ke-5. Hasilnya menunjukkan bahwa besaran urutan positif untuk komponen arus harmonik ke-5 merupakan indikator yang baik mengenai tingkat keparahan gangguan ketika melebihi nilai batas ambang batas, bahkan pada variasi beban dan tegangan tidak seimbang..(Mazzoletti et al., 2023)

1. **[7] Direct torque control and dynamic performance of induction motor using fractional order fuzzy logic controller**

Kontrol torsi langsung (DTC) konvensional adalah salah satu sistem kontrol terbaik untuk mengatur torsi motor induksi (IM). Namun, gelombang fluks dan torsi DTC yang sangat besar menyebabkan kebisingan akustik yang menurunkan kinerja kontrol, terutama pada kecepatan rendah karena frekuensi peralihan DTC yang rendah. Sistem kendali torsi langsung, yang hanya berfokus pada torsi dan fluks, telah diusulkan sebagai solusi terhadap permasalahan ini. Untuk meningkatkan kinerja kontrol DTC, penelitian ini memperkenalkan metode pengontrol logika fuzzy orde pecahan. Tujuannya adalah untuk menganalisis teknik ini secara kritis sehubungan dengan kemanjurannya dalam mengurangi riak, kecepatan pelacakannya, kerugian peralihannya, kompleksitas algoritmanya, dan sensitivitasnya terhadap parameternya. Simulasi di MATLAB/Simulink memverifikasi kinerja pendekatan kontrol yang diantisipasi.(Kamalapur & Aspalli, 2023)

1. **[8] Improving the starting torque and overall efficiency of split single phase induction motor**

Motor induksi split satu fasa terdiri dari kumparan bantu, belitan utama dan saklar sentrifugal yang memisahkan kumparan bantu. Torsi awal motor ini tidak besar, dan harus ditambah hambatan dengan tambahan kumparan untuk meningkatkan torsi awal. Juga, saklar sentrifugal mekanis digunakan untuk melepaskan kumparan bantu. Motor juga memiliki kelemahan lain yaitu memiliki kecepatan yang konstan. Tujuan dari penelitian ini adalah mengganti hambatan tambahan dengan trafo arus yang mempunyai hambatan yang telah ditentukan dan dihubungkan secara seri dengan kumparan bantu sehingga menghasilkan torsi awal yang maksimal. Selain itu juga mengirimkan sinyal ke rangkaian kendali yang memutus/menghubungkan kumparan bantu melalui saklar elektronik yang dihubungkan secara seri dengan kumparan bantu. Penyambungan/pemutusan saklar tergantung pada arus motor bukan kecepatan motor untuk mengatasi masalah false triggering saklar akibat beban berlebih pada motor. Teknik baru ini meningkatkan efisiensi motor secara keseluruhan. MATLAB digunakan untuk mensimulasikan sistem dan memverifikasi model matematika.(Esmaeel Salama & Abdel-Karim, 2023)

1. **[9] DC-link voltage balancing and control of qZ-source inverter fed induction motor drive**

Buruknya kinerja sistem penggerak motor disebabkan ketika tegangan kapasitor penghubung arus searah (DC-link) inverter tidak dihasilkan secara memadai. Hal ini terutama disebabkan oleh berbagai perubahan torsi beban dan fluktuasi tegangan masukan. Inverter sumber qZ beroperasi dengan teknik tembus penuh. Teknik ini menyebabkan ketidaksesuaian antara tegangan kapasitor DC-link atas dan bawah. Tanpa fungsi penyeimbang tegangan kapasitor, tegangan kapasitor DC-link yang diinginkan tidak dapat disediakan atau dipertahankan ketika ada perubahan beban dan kecepatan. Teknik modulasi lebar pulsa (PWM) peningkatan sederhana triple-enam puluh derajat (TSD) berbasis pembawa gigi gergaji digunakan untuk menggerakkan inverter tipe T sumber qZ karena teknik ini dapat memberikan peningkatan tegangan DC-link yang lebih signifikan daripada yang tradisional. teknik peningkatan PWM sederhana. Pengontrol integral proporsional (PI) diterapkan pada pengontrol tegangan DC-link untuk mencapai respons yang cepat dan kesalahan kondisi tunak yang lebih sedikit. Model simulasi dibuat untuk sistem penggerak motor induksi (IM) 4 kW, 400 V, 1, 400 rpm yang digunakan pada rolling mill menggunakan MATLAB/Simulink dengan dan tanpa fungsi penyeimbang tegangan. Hasilnya, tegangan DC-link dari inverter tipe T sumber qZ yang diumpankan ke sistem penggerak motor induksi dapat dikontrol menggunakan fungsi penyeimbang tegangan kapasitor dan daya keluaran motor dari hasil simulasi kira-kira sama dengan 4 kW..(Zar et al., 2023)

1. **[10] Comparative performance of modular with cascaded H-bridge three level inverters**

Inverter dua tingkat konvensional menjadi tidak lagi memiliki kemampuan untuk memenuhi kebutuhan daya yang tinggi, sehingga makalah ini membahas dua topologi inverter bertingkat yang sangat umum seperti modular multilevel converter (MMC) dan cascaded H-bridge (CHB) inverter bertingkat untuk aplikasi penggerak motor induksi. Pekerjaan ini mencoba untuk menyelidiki perbandingan antara MMC dan CHB. Perbandingan dilakukan dari segi konfigurasi, konsep pengoperasian, kelebihan dan kekurangan, perbandingan tersebut juga mempertimbangkan bentuk gelombang tegangan keluaran (line to line), distorsi harmonik total (THD) bentuk gelombang tegangan saluran keluaran dan arus yang ditarik keduanya. inverter. Kinerja inverter dengan teknik modulasi lebar pulsa (PWM) berbasis pembawa dan terutama disposisi dalam fase (IPD), modulasi lebar pulsa yang digeser level dilihat. Makalah ini membahas tentang perbandingan kedua multilevel inverter (MLI) dengan aplikasi penggerak motor khususnya motor induksi. Pengoperasian motor dipelajari pada nilai torsi beban tertentu. Hasil simulasi motor induksi dengan dua inverter (modular multilevel dan Cascaded H-bride) untuk tiga angka level menggunakan MATLAB/Simulink disediakan). Hasil yang diperoleh cukup menggembirakan dan menjanjikan terutama dalam peningkatan hasil THD%..(El-Naggar et al., 2023)

1. **KESIMPULAN**

Pada artikel 1 – 10 menjelaskan tentang macam macam kedali motor dimana dalam penjelasan tersebut terdapat pada setiap artikel artikel diatas…

Hasil Utama dan Interpretasi:

Artikel 1 : Artikel ini menyoroti pengaruh variasi tegangan suplai pada motor induksi, khususnya dengan penggunaan inverter bertingkat dan kapasitor satu fasa. Hasilnya menunjukkan bahwa inverter penjepit kapasitor lima tingkat mampu memberikan kinerja yang baik dengan distorsi harmonik rendah pada tegangan operasi terbaik. Interpretasi: Inverter bertingkat dapat menjadi pilihan efektif untuk mengatasi variasi tegangan masukan pada motor induksi.

Artikel 2 : Penelitian ini fokus pada sifat-sifat bahan magnetik untuk mesin listrik berputar, terutama motor induksi. Dengan menggunakan penguji Epstein, hasil pengukuran sifat magnetik memberikan wawasan tentang pemilihan bahan yang sesuai. Interpretasi: Mengetahui sifat kemagnetan bahan merupakan langkah kunci dalam meningkatkan kinerja mesin listrik, khususnya motor induksi.

Artikel 3 : Studi ini bertujuan meningkatkan kinerja motor induksi dengan menggantikan inverter dua tingkat dengan inverter lima tingkat dan menerapkan pengendali mode geser. Hasilnya menunjukkan peningkatan respons cepat dan kinerja dinamis yang baik. Interpretasi: Inverter lima tingkat dengan pengendali mode geser dapat meningkatkan kinerja motor induksi, terutama dalam hal respons dan kestabilan.

Artikel 4 : Fokus artikel ini adalah pada motor induksi tiga fasa yang digunakan dalam sistem propulsi kereta api. Efisiensi motor dianalisis melalui pengujian laboratorium, dengan menggunakan penggerak frekuensi variabel. Interpretasi: Efisiensi tinggi dan performa stabil membuat motor induksi tiga fasa menjadi pilihan utama dalam aplikasi traksi kereta api.

Artikel 5 : Artikel ini memeriksa dampak penurunan tegangan pada motor induksi tiga fasa. Hasil analisis menunjukkan penurunan torsi dan peningkatan arus stator selama penurunan tegangan. Interpretasi: Penurunan tegangan dapat signifikan mempengaruhi kinerja motor induksi, khususnya dalam hal torsi dan arus stator.

Artikel 6 : Penelitian ini fokus pada deteksi gangguan hubung singkat antar putaran pada motor induksi menggunakan algoritma Vold-Kalman filter. Hasilnya menunjukkan efektivitas dalam mendeteksi gangguan tersebut secara real-time. Interpretasi: Metode deteksi online menggunakan algoritma Vold-Kalman filter dapat menjadi solusi efektif untuk mendeteksi gangguan pada motor induksi.

Artikel 7 : Penelitian ini memperkenalkan metode kontrol torsi langsung menggunakan pengontrol logika fuzzy orde pecahan. Hasil simulasi menunjukkan potensi metode ini dalam meningkatkan kinerja kontrol. Interpretasi: Penggunaan logika fuzzy orde pecahan dapat meningkatkan kinerja kontrol torsi langsung pada motor induksi.

Artikel 8 : Penelitian ini bertujuan meningkatkan torsi awal dan efisiensi motor induksi split satu fasa. Hasil simulasi menunjukkan peningkatan efisiensi dengan menggantikan hambatan tambahan dengan trafo arus dan saklar elektronik. Interpretasi: Teknik baru ini dapat meningkatkan efisiensi motor induksi split satu fasa secara keseluruhan.

Artikel 9 : Artikel ini membahas penyeimbangan tegangan kapasitor DC-link pada inverter sumber qZ untuk meningkatkan kinerja sistem penggerak motor. Interpretasi: Penggunaan inverter sumber qZ dengan teknik penyeimbangan tegangan dapat memberikan kinerja yang stabil pada sistem penggerak motor induksi.

Artikel 10 : Penelitian ini membandingkan kinerja dua inverter bertingkat, yaitu modular multilevel converter (MMC) dan cascaded H-bridge (CHB), pada aplikasi penggerak motor induksi. Interpretasi: Perbandingan tersebut memberikan pandangan tentang kelebihan dan kekurangan kedua inverter, membantu pemilihan inverter yang sesuai dengan aplikasi tertentu.

**DAFTAR PUSTAKA**

[1] Diyoke, G. C., & Eya, C. U. (2023). Effect of supply voltage variations on single-phase capacitor clamped multilevel inverter fed induction motor drive. *International Journal of Applied Power Engineering*, *12*(4), 408–415. https://doi.org/10.11591/ijape.v12.i4.pp408-415

El-Naggar, N. M., Esmaeel, M. A., & Abu-Zaid, S. (2023). Comparative performance of modular with cascaded H-bridge three level inverters. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, *13*(4), 3847–3856. https://doi.org/10.11591/ijece.v13i4.pp3847-3856

Esmaeel Salama, M. A., & Abdel-Karim, W. M. F. (2023). Improving the starting torque and overall efficiency of split single phase induction motor. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, *13*(4), 3829–3837. https://doi.org/10.11591/ijece.v13i4.pp3829-3837

Fahassa, C., Abbou, A., Zahraoui, Y., & Akherraz, M. (2023). Induction motor performance improvement using a five-level inverter topology and sliding mode controllers. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, *12*(5), 2693–2704. https://doi.org/10.11591/eei.v12i5.5014

Huchche, V., & Patne, N. (2023). Analytical assessment of torque and stator currents of an induction motor due to voltage sags. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, *13*(4), 3613–3621. https://doi.org/10.11591/ijece.v13i4.pp3613-3621

Kamalapur, G., & Aspalli, M. S. (2023). Direct torque control and dynamic performance of induction motor using fractional order fuzzy logic controller. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, *13*(4), 3805–3816. https://doi.org/10.11591/ijece.v13i4.pp3805-3816

Kamar, S., Lestari, M., Soewono, R. T., Hidayat, S., Luthfiyah, H., Qowiy, O. A., Setiawan, F. D., & Harjono, M. S. (2023). Performance analysis of three-phase induction motor for railway propulsion system. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, *14*(3), 1433–1441. https://doi.org/10.11591/ijpeds.v14.i3.pp1433-1441

Mazzoletti, M. A., Gentile, F. R., Donolo, P. D., & Bossio, G. R. (2023). Online detection of interturn short-circuit fault in induction motor based on 5th harmonic current tracking using Vold-Kalman filter. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, *13*(4), 3593–3605. https://doi.org/10.11591/ijece.v13i4.pp3593-3605

Reddy, C. S. K., Ramaswamy, M., & Jayaraman, K. (2023). Investigative study on the properties of magnetic materials for electrical machines. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, *32*(1), 71–79. https://doi.org/10.11591/ijeecs.v32.i1.pp71-79

Zar, T., Suan Tial, M. K., & Naing, T. L. (2023). DC-link voltage balancing and control of qZ-source inverter fed induction motor drive. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, *13*(4), 3733–3746. https://doi.org/10.11591/ijece.v13i4.pp3733-3746