

Analisis Posisi Support pada Busbar Connection dengan Metode Computer Aided Engineering

**Feliks Sindhu Pratama¹, Pandu Dian Nugraha², Abram Pangeling³, Paulinus Cherlyndo Peterias⁴,
Deslana Avinda Krisna Putra⁵ and Cyrillia Chyntia Kusuma Pramesti⁶**

¹Perancangan Manufaktur, Politeknik ATMI Surakarta,
Jl. Adisucipto (Mojo) No. 01 Karangasem Laweyan Surakarta 57145 1

*E-mail: kusuma.pramesti@atmi.ac.id (+6281225937625)

Abstrak

Proses manufaktur untuk panel listrik menempatkan penekanan besar pada keselamatan dan kesejahteraan operator. Akibatnya, sangat penting untuk melakukan pengujian pada panel, dengan evaluasi tersebut dikategorikan sebagai type test. Banyak komplikasi muncul dari prosedur pengujian ini, terutama karena biaya yang tinggi dan durasi yang panjang. Mengingat tantangan yang terkait dengan pengujian, pendekatan alternatif yang menggunakan perangkat lunak Computer Aided Engineering (CAE) dapat digunakan. Penelitian ini merupakan penelitian posisi support yang ideal pada busbar connection dari Air Circuit Breaker menuju Mainbar dengan metode yang digunakan adalah CAE. Kerangka analisis yang diterapkan dalam penelitian ini adalah analisis transien, diklasifikasikan sebagai analisis dinamis. Dalam konteks ini, gaya elektromagnetik yang dihasilkan selama proses short circuit diwakili kurva bentuk gelombang yang dipengaruhi oleh faktor temporal. Berdasarkan hasil penelitian, gaya elektromagnetik yang ditimbulkan sebesar 99062.754 (fase R), 94005.149 (fase S), 96338.882 (fase T), dan 93201.014 (fase N).

Keywords: Busbar; Busbar Connection; CAE; Defleksi; Support Busbar

Abstrak

The manufacturing process for electrical panels places a great emphasis on the safety and well-being of the operators. As a result, it is very important to conduct tests on the panels, with the evaluations categorized as type tests. Many complications arise from this testing procedure, especially due to the high costs and long duration. Considering the challenges associated with testing, an alternative approach using Computer Aided Engineering (CAE) software can be employed. This research is a support position study on the busbar connection from the Air Circuit Breaker to the Mainbar using the CAE method. The analytical framework applied in this study is transient analysis, classified as dynamic analysis. In this context, the electromagnetic force generated during the short circuit process is represented thru a waveform curve influenced by temporal factors. Based on the research results, the electromagnetic force generated is 99062.754 (phase R), 94005.149 (phase S), 96338.882 (phase T), and 93201.014 (phase N).

Keywords: Busbar; Busbar Connection; CAE; Defleksi; Support Busbar

1. Pendahuluan

Proses produksi panel listrik sangat memperhatikan keselamatan kerja. Keselamatan kerja merupakan aspek krusial untuk menjamin keutuhan dan kesempurnaan para pekerja dan lingkungannya. Hal ini diharapkan dapat mengoptimalkan proses pekerjaan sehingga para pekerja dapat bekerja dengan aman dan nyaman[1], [2]. Panel distribusi memainkan peran penting dalam sistem distribusi listrik dengan memastikan manajemen arus listrik yang aman, efisien, dan andal. Selain itu memiliki beberapa fungsi utama, termasuk mengamankan sistem kelistrikan, menguras arus berlebih, dan memutuskan daya bila diperlukan untuk menjaga keselamatan dan integritas operasional[3], [4]. Sebelum proses produksi panel distribusi, panel harus melalui tahap pengujian *short circuit test*. Permasalahan yang timbul pada saat pengujian *short circuit test* adalah harus membuat *prototype* yang menyebabkan biaya yang besar serta waktu yang lama[5].

Optimalisasi biaya dan waktu dalam pengujian *short circuit test* sangat penting untuk memastikan desain sistem kelistrikan yang efisien dan andal. Perangkat lunak *Computer-Aided Engineering*

(CAE) memainkan peran penting dalam proses pengoptimalan ini dengan menyediakan sarana untuk mensimulasikan dan menganalisis kinerja komponen listrik dalam pengujian *short circuit test*[6], [7]. Panel distribusi yang diproduksi pada umumnya menggunakan sistem *busbar* sebagai penghantar listriknya. *Busbar* merupakan komponen penting dalam sistem kelistrikan, terutama dalam aplikasi berkapasitas tinggi, karena kemampuannya untuk menghantarkan arus dan tegangan secara efisien. Sistem *busbar* dirancang untuk menangani arus beban nominal dan gaya elektromagnetik signifikan yang dihasilkan selama kondisi hubungan singkat[8], [9].

Penempatan *support busbar* pada panel sebelumnya hanya berdasarkan tempat yang kosong tanpa memiliki dasar teori secara teknis serta tanpa memperhitungkan posisi kritis *busbar*[10]. Maka perlu dilakukan proses analisis baik secara analitik maupun simulasi dengan *software* supaya posisi kritis pada *busbar* teridentifikasi dan pemasangan *support busbar* yang optimal[11]. Perancangan sebuah panel harus memperhitungkan bentuk konstruksi, sifat material, dan penataan sistem *busbar*[12]. Perhitungan ini dilakukan untuk meminimalkan kerusakan pada konduktor *busbar* dan aksesoris kelistrikan lainnya ketika terjadi arus hubungan singkat. Penggunaan *prototype* dalam perhitungan gaya yang ditimbulkan saat dikenai hubungan arus pendek merupakan metode konvensional, tetapi kemajuan dalam *software analysis* telah memperkenalkan alternatif yang lebih efisien dan tepat dalam menganalisa sebuah produk[13].

Berdasarkan hal ini, tinjauan komprehensif dilakukan mengenai perhitungan teknis, perancangan konstruksi, analisa titik pembebanan kritis dan analisa data yang tepat pada panel. Titik pembebanan kritis dapat dilihat dari analisa kekuatan yang diterima oleh *busbar* dan komponen-komponen pendukung, akibat gaya elektromagnetik yang terjadi. Analisa titik pembebanan kritis pada *busbar* ini dilakukan dengan menggunakan *software Computer Aided Engineering (CAE)*[14], [15].

2. Metode dan Bahan

2.1. Langkah Penelitian

Pada penelitian ini terdapat beberapa tahap yang menunjang penelitian agar memperoleh hasil yang sesuai dengan tujuan penelitian diantaranya adalah

2.1.1. Perhitungan Analitik

Perhitungan analitik digunakan untuk melakukan perhitungan pada sistem *busbar* dan sebagai penunjang analisa, diantaranya:

a. Pemilihan Komponen Distribusi

Komponen distribusi yang digunakan adalah ACB (*Air Circuit Breaker*) untuk menunjang proses analisa karena memiliki spesifikasi teknis; *breaking capacity*, frekuensi, besar arus yang bekerja, dan besar tegangan maksimal yang bekerja.

b. Perhitungan Sistem *Busbar*

Digunakan untuk mensinkronkan antara seluruh rumus perhitungan kelistrikan dengan seluruh komponen sistem *busbar* (dimensi *busbar*, jumlah lapisan *busbar* dan pemilihan jenis *support busbar*).

c. Konsep *Busbar Connection*

Posisi pemasangan *Busbar Connection* adalah vertikal, rawan terjadi defleksi ketika terjadi *short circuit*.

d. Perhitungan Elektromagnetik

Perhitungan nilai gaya elektromagnetik yang terjadi pada rangkaian *busbar* ketika terjadi *short circuit* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut

$$Fm_3 = \frac{\mu_0 \sqrt{3}}{2\pi} (lp^3)^2 \frac{1}{am} \quad (1)$$

Keterangan:

- I_p^3 : Arus puncak yang timbul ketika terjadi *short circuit* (A). Didapatkan dari perkalian antara angka keamanan dengan ip_k (*breaking capacity*) dari ACB.
 I : Jarak garis tengah *support busbar* tiap fasa (mm).
 am : Jarak garis tengah main tiap fasa (mm)
 μ_0 : Permeabilitas ruang hampa ($4\pi \times 10^{-7} \times \text{WbA}^{-1}\text{m}^{-1}$)

e. Perhitungan Frekuensi

Dalam penentuan frekuensi natural yang diizinkan dalam sistem *busbar*, wajib memilih nilai frekuensi yang berada di luar interval berikut:

$$f_0 = (1,7 - 2,4) \cdot f \quad (2)$$

Dalam menentukan frekuensi alami dari tata letak main bar yang diuji, dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$n = 3.67 \cdot \frac{b}{t^2} \cdot 10^5 \quad (3)$$

2.1.2. Perancangan Panel Listrik

Proses perancangan panel menggunakan *software solidworks*, diawali dengan pembuatan desain 3D dilanjutkan dengan penggambaran 2D yang akan sesuai dengan standar IEC (*International Electrotechincal Commission*) serta *requirement list* dari PT. XYZ.

2.1.3. Analisa Desain Panel Listrik

Proses Analisa Desain menggunakan *software* dengan metode CAE. Beberapa analisa yang dilakukan pada *busbar*, antara lain: Pengujian besar tegangan (*stress*) serta defleksi yang terjadi pada *busbar* ketika terjadi *short circuit*, dan Pengujian letak titik kritis pada *busbar connection* untuk penentuan lokasi *support busbar* yang ideal.

2.2. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Laboratorium *Mold Design Advance*, PUTP Program Studi Perancangan Manufaktur Politeknik ATMI Surakarta.

2.3. Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Kalkulator *Scientific* untuk membantu perhitungan analitik, Laptop sebagai alat pendukung dalam proses penelitian, dan *Software Solidworks* untuk proses perancangan dan analisa panel listrik.

2.4. Metode



Gambar 1. Diagram Alir

Metode yang digunakan adalah metode perhitungan analitik dan perancangan seperti ditunjukkan pada diagram alir Gambar 1. Penelitian diawali dengan identifikasi permasalahan dan studi literatur untuk memperoleh dasar teori yang mendukung penelitian. Selanjutnya dilakukan pengumpulan data yang meliputi data panel distribusi, spesifikasi *busbar*, serta parameter pendukung yang diperlukan dalam analisis. Data yang telah diperoleh kemudian dianalisis melalui perhitungan teoritis dan simulasi menggunakan *software Computer Aided Engineering* (CAE) untuk mengetahui distribusi gaya elektromagnetik, tegangan, deformasi, serta titik pembebanan kritis pada *busbar* akibat arus hubung singkat. Hasil simulasi digunakan untuk mengevaluasi berbagai alternatif penempatan *support busbar* sehingga diperoleh konfigurasi yang paling optimal. Tahap akhir penelitian adalah melakukan evaluasi terhadap hasil analisis dan simulasi untuk menghasilkan kesimpulan mengenai posisi *support busbar* yang mampu meminimalkan deformasi dan meningkatkan ketahanan sistem *busbar* pada kondisi hubung singkat.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Perhitungan analitik

Tabel 1. Komponen distribusi

Komponen	Nilai
<i>Breaking Capacity</i>	100 kA
Tegangan yang bekerja	380 Volt
Frekuensi	50 Hz

Tabel 1. Menyajikan spesifikasi dari komponen distribusi yang digunakan, terdiri dari kapasitas pemutusan arus pendek sebesar 100 kA, tegangan operasional 380 Volt, dan frekuensi standar 50 Hz. Hasil perhitungan gaya elektromagnet (N) tiap fasa dari *busbar*:

Tabel 2. Gaya Elektromagnet

Phase	I_p^3	I	am	μ_0	Fm_3
N	220.000	1,026	0,13	$4\pi \times 10^{-7} \times \text{WbA}^{-1}\text{m}^{-1}$	66.224,76
R	220.000	0,948	0,13	$4\pi \times 10^{-7} \times \text{WbA}^{-1}\text{m}^{-1}$	61.167,155
S	220.000	0,984	0,13	$4\pi \times 10^{-7} \times \text{WbA}^{-1}\text{m}^{-1}$	63.500,889
T	220.000	0,952	0,13	$4\pi \times 10^{-7} \times \text{WbA}^{-1}\text{m}^{-1}$	61.375,444

Berdasarkan **Tabel 2.** Gaya elektromagnet berbanding lurus dengan besarnya nilai arus yang mengalir. Dari tabel diatas, dapat disimpulkan Phase yang memiliki nilai I besar, akan menghasilkan gaya elektromagnet yang tinggi begitu pula sebaliknya. Gaya elektromagnet muncul ketika terjadi kondisi *short circuit*.

Hasil perhitungan frekuensi alami (Hz) tiap fasa dari *busbar*:

Tabel 3. Frekuensi Alami

Phase	b	I	n
N	10	1026	3,48
R	10	948	4,08
S	10	984	3,79
T	10	952	4,05

Berdasarkan **Tabel 3.** frekuensi alami dari seluruh fasa *busbar* berkisar antara 3,48 Hz hingga 4,08 Hz. Angka ini berada jauh di bawah frekuensi operasional listrik jala-jala standar (50 Hz). Hal ini menandakan bahwa struktur fisik *busbar* ini sangat aman dari risiko resonansi mekanis yang dapat memicu getaran hebat atau kerusakan fisik saat sistem dialiri arus bolak-balik.

3.2. Analisa CAE

Proses yang dilakukan dalam proses analisa CAE pada penelitian ini yaitu analisa *busbar connection to mainbar*. Jenis analisis pada penelitian ini yaitu *transient structural*. *Transient structural* yaitu analisis yang menggunakan parameter berupa gaya yang berubah – ubah dan berlangsung dalam jangka waktu tertentu. Material yang digunakan pada 3D Model antara lain *busbar connection* menggunakan *Copper Alloy* dan *support busbar connection* menggunakan FB 2040.

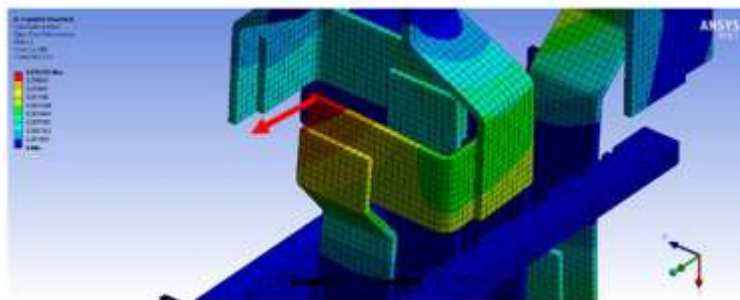


Gambar 2. 3D Model *assembly busbar connection*

Gambar 2 menunjukkan 3D Model *assembly busbar connection* yang digunakan sebagai objek analisi pada penelitian ini. Pembuatan model 3D bertujuan untuk merepresentasikan kondisi nyata sistem busbar sehingga hasil simulasi yang diperoleh dapat menggambarkan perilaku struktur secara lebih akurat. Setelah seluruh parameter diketahui dan dimasukkan ke dalam *software* analisis, maka proses analisis akan dilakukan secara otomatis. Hasil yang diperoleh adalah deformasi dan *stress* dari rangkaian *busbar connection*.

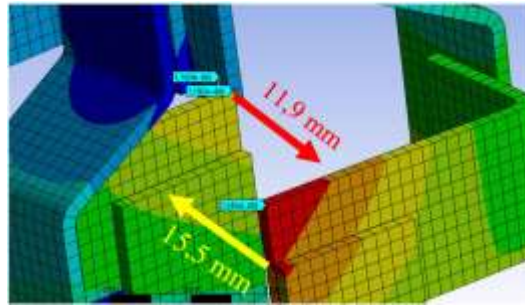


Gambar 3. Grafik *Deformation Analysis*



Gambar 4. Hasil Deformasi maksimal

Gambar 3. Menunjukkan grafik *deformation analysis* yang terjadi pada *busbar* dalam rentan waktu tertentu. Berdasarkan grafik tersebut, deformasi mengalami peningkatan secara bertahap hingga mencapai nilai maksimum pada interval waktu tertentu, kemudian mengalami penurunan dan fluktuasi seiring berkurangnya pengaruh gaya elektromagnetik yang bekerja pada struktur *busbar*. Pada **Gambar 4.** Menunjukkan deformasi maksimal berada di bagian *busbar* phase T yang menghasilkan nilai 16,8 mm dan titik kritisnya berada pada sambungan *busbar* phase N yang diberi *support* dengan *busbar* phase T. Hal ini menunjukkan adanya konsentrasi pembebanan akibat gaya elektromagnetik yang menyebabkan perpindahan struktur paling besar pada lokasi tersebut. Semakin besar deformasi yang terjadi, semakin tinggi risiko terjadinya perubahan bentuk permanen, penurunan jarak isolasi antar konduktor, maupun kerusakan pada sistem penyangga *busbar*.

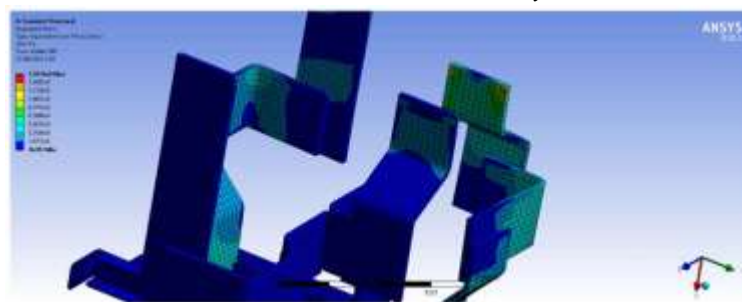


Gambar 5. Jarak aman antar phase

Dapat disimpulkan bahwa arah gaya dari phase S dan phase T menghasilkan deformasi yang saling mendekati, serta menunjukkan dominasi gaya tarik antar konduktor. **Gambar 5.** Menunjukkan phase S menghasilkan nilai deformasi sebesar 11,9 mm dan phase T sebesar 15,5 mm yang bertujuan untuk memastikan jarak aman antar phase. Kondisi ini menunjukkan bahwa struktur *busbar* masih mengalami perpindahan yang signifikan selama periode gangguan. Jarak aman antar phase yang ditetapkan adalah 20 mm.



Gambar 6. Grafik *stress analysis*



Gambar 7. Hasil *stress* maksimal

Gambar 6. Menunjukan grafik *stress analysis* yang terjadi pada *busbar* dalam rentan waktu tertentu. Berdasarkan grafik tersebut, nilai tegangan mengalami peningkatan secara signifikan pada awal pembebanan hingga mencapai nilai puncak, kemudian berfluktuasi mengikuti perubahan gaya elektromagnetik yang bekerja pada *busbar* selama kondisi hubung singkat. **Gambar 7.** Menunjukkan stress maksimal dari *busbar connection* berada di bagian *busbar* phase T yang akan bersentuhan langsung pada *minibar* dan menghasilkan nilai *stress* sebesar $1,51\text{E}+09$ Pa (1510 N/mm^2). Dan titik kritisnya berada di samping kanan atas dari *busbar* menunjukkan lokasi dengan kemungkinan terbesar mengalami kegagalan struktur apabila tegangan yang terjadi melebihi batas luluh (*yield strength*) material. Oleh karena itu, area sambungan *busbar* perlu mendapatkan perhatian khusus dalam proses perancangan, baik melalui penambahan support, optimasi bentuk geometris sambungan, maupun peningkatan spesifikasi material yang digunakan.

4. Kesimpulan

Posisi *support* yang ideal diletakkan dengan jarak 200 mm. Dasar dari pemilihan jarak tersebut adalah jarak terdekat *support* dengan koneksi *busbar* yang mengarah ke *mainbar* karena pada saat analisa sebelumnya (tanpa *support*) deformasi paling besar terjadi pada *busbar* yang mengarah ke *mainbar*, pemasangan lubang *support* disesuaikan dengan lubang pada panel *enclosure* dan tersedianya ruang untuk dilakukan *maintenance* pada *support busbar*. Berdasarkan hasil perbandingan perhitungan analitik dan analisa menggunakan *software* CAE, ketika menahan gaya elektromagnetik dipastikan *busbar* mengalami defleksi. Hal ini diperkuat dengan hasil analisa menggunakan *software* CAE yang membuktikan bahwa *busbar* mengalami deformasi berupa defleksi sebesar 16,7 mm dan tegangan (*stress*) maksimal yang terjadi sebesar 1,51E+09 Pa (1510 N/mm²). Desain dari panel distribusi aman, dikarenakan batas minimal sebesar 20 mm dan pengujian penelitian ini menghasilkan nilai defleksi pada phase S sebesar 11,9 mm ke arah phase T dan defleksi pada phase T sebesar 15,5 mm ke arah phase S.

Daftar Pustaka

- [1] R. Maisyaroh dan H. Irawan, "PENGARUH ERGONOMI LINGKUNGAN KERJA TERHADAP KESELAMATAN OPERATOR MESIN DI PERUSAHAAN ELEKTRONIK XYZ". *Jurnal Teknik Industri*, vol. 21, no. 1, pp. 66-75, 2026.
- [2] R. Firmansyah, H. Kurnia, I. Nugroho, J. Kennedy, dan A. Safi'i, "Perancangan Ergonomi Dalam Keselamatan Dan Kesehatan Kerja: Kajian Literature Review," *JUTIN*, vol. 4, no. 01, hlm. 87–96, Mei 2023, doi: 10.37366/jutin.v4i01.1529.
- [3] Johan Hidayat dan Muhammad Fatkhurrokhman, "Pemeliharaan Kubikel 20 KV di PT.Haleyora Powerindo," *Venus*, vol. 2, no. 6, hlm. 130–149, Des 2024, doi: 10.61132/venus.v2i6.635.
- [4] H. Widiarto dan Y. Suprihartini, "ANALISIS KUALITAS JALUR DISTRIBUSI MENGGUNAKAN ETAP POWER STATION 12.6.0 PADA GARDU POLITEKNIK PENERBANGAN INDONESIA," *Cendekia: Jurnal Ilmu Pengetahuan*, vol. 2, no. 1, hlm. 82–90, Feb 2022, doi: 10.51878/cendekia.v2i1.930.
- [5] D. F. Al Fiqri, A. Situmeang, dan D. Saptono, "ANALISIS SIMULASI PEMASANGAN CIRCUIT BREAKER DAN SHORT CIRCUIT PADA TRANSFORMATOR DENGAN MENGGUNAKAN APLIKASI ETAP," *JUKIM*, vol. 2, no. 03, hlm. 26–34, Mei 2023, doi: 10.56127/jukim.v2i03.821.
- [6] Y. G. Chol, K. Nam Il, dan O. H. Gun, "Research on the Method of Calculating Short-circuit Voltage for High-voltage Rectifier Transformer for Electrostatic Precipitation by Using the ANSYS Maxwell," *JEPES*, vol. 7, no. 2, hlm. 116–126, Jan 2024, doi: 10.26855/jepes.2023.12.009.
- [7] M. Zubeic dan M. Krcum, "Power frequency withstand voltage type testing and FEM analysis of the medium-voltage switchgear busbar compartment," dalam *2018 17th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH)*, East Sarajevo: IEEE, Mar 2018, hlm. 1–5. doi: 10.1109/INFOTEH.2018.8345514.
- [8] F. M. Yusop, S. Masri, D. Ishak, dan M. Kamarol, "Investigation of Electromagnetic Force in 3P5W Busbar System under Peak Short-Circuit Current," *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 8, no. 1, 2014.
- [9] Y. Cai, W. Guo, W. Sang, F. Guo, C. Tian, dan S. Yu, "An Improved Multiphysics Analysis Model for the Short-Circuit Fault Ride-Through Capability Evaluation of the MMC Submodule Busbar," *IEEE Access*, vol. 9, hlm. 119090–119099, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3108048.
- [10] G. Kadkhodaei, K. Sheshyekani, M. Hamzeh, dan S. Dadjo Tavakoli, "Multiphysics analysis of busbars with various arrangements under short-circuit condition," *IET Electrical Syst in Trans*, vol. 6, no. 4, hlm. 237–245, Des 2016, doi: 10.1049/iet-est.2016.0043.
- [11] PEM Akamigas, P. Pujiyanto, A. K. Dewi, dan A. Mulyono, "Analisis aliran Beban pada Sistem Tenaga Listrik di PT XYZ," *mz*, vol. 3, no. 1, Jun 2021, doi: 10.37525/mz/2021-1/262.
- [12] Y. Wu, J. Ruan, P. Li, Y. Gong, dan M. Long, "Numerical analysis on the short-circuit withstanding performance of busbar system in LV switchgear," *IET Science Measure & Tech*, vol. 14, no. 7, hlm. 739–

-
- 744, Sep 2020, doi: 10.1049/iet-smt.2019.0169.
- [13] Wahid Julianto dan Denny Irawan, "Analisis Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa Pada Sistem Kelistrikan PT. Petrokimia Gresik Pabrik Utilitas 1A," *JURRITEK*, vol. 2, no. 2, hlm. 107–117, Sep 2023, doi: 10.55606/jurritek.v2i2.1828.
- [14] G. Kadhodaei, K. Sheshyekani, dan M. Hamzeh, "Coupled electric–magnetic–thermal–mechanical modelling of busbars under short-circuit conditions," *IET Generation Trans & Dist*, vol. 10, no. 4, hlm. 955–963, Mar 2016, doi: 10.1049/iet-gtd.2015.0706.
- [15] C.-E. Sălceanu, D. Cazacu, D. Iovan, D. Ocoleanu, dan M. Boncea, "Electromagnetic Forces in U-Shaped Rectangular Busbars Used in Power Systems Under Two-Phase Short-Circuit Faults: Experiments and Coupled FEM Validation," *Applied Sciences*, vol. 16, no. 8, hlm. 3672, Apr 2026, doi: 10.3390/app16083672.