

ANALISIS ALIRAN DAYA MENGGUNAKAN METODE COMPLEX-ARRAY-OPERATION NEWTON SOLVER(CAN)

Anggun Pebrilia Putri¹, Novalio Daratha,ST,M.Sc,Ph.D.², Afriyastuti Herawati, S.T., M.T³

¹ Teknik Elektro Universitas Bengkulu, *E-mail: anggun.24.app@gmail.com

ABSTRAK

The Complex-Array Operation Newton Solver (CAN) method relies on a vector-based formulation of the power balance equation combined with the operation of the Newton Solver complex array to perform power flow calculations on the network. Where the calculation is carried out using a system of 9 buses and 14 buses with the necessary data, namely bus data, channel data, and data generators. Based on the results by doing 4 iterations with a fairly short time of 0.000302 seconds for a 9 bus system with a mismatch value of 3.11-9 and 0.000101 seconds for a 14 bus system with a mismatch value of 3.23-8 where the voltage value obtained has met the set standards. From the number of iterations and data processing time, it can be stated that the CAN method outperforms Matpower in data processing speed by a small number of iterations

Keywords:Powerflow,Array-Complex-Operatio Newton Solver (CAN), Newton Rapshon.

1. Pendahuluan

Untuk membantu meningkatnya minat terhadap energi listrik, perlu diimbangi dengan perluasan sifat energi listrik yang akan disalurkan kepada pembeli. Dengan melakukan analisa pada sistem tenaga merupakan metode dalam perluasan sifat energi listrik, karena pengujian pada sistem tenaga mencakup berbagai masalah dalam sistem tenaga, seperti aliran beban tertentu, hubung singkat, dan stabilitas.

Aliran daya adalah tinjauan yang dilakukan untuk mendapatkan data tentang aliran daya dan tegangan sistem dalam keadaan kerja yang khas. Data ini diharapkan untuk menilai eksekusi sistem tenaga dan menyelidiki kondisi pembangkitan dan pembebanan. Penyelesaian studi aliran daya juga telah dibuat dengan menggunakan teknik yang berbeda sesuai dengan peningkatan desain jaringan sistem tenaga dalam hal perencanaan, pengembangan dan pengoperasian. Sampai saat ini ada beberapa teknik yang sering digunakan, khususnya metode Gauss-Seidel, metode Newton Raphson metode Decoupled dan metode fast- Decoupled. Setiap salah satu dari teknik tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan [1].

Dalam referensi [8] metode Newton-Raphson membutuhkan waktu yang lebih lama untuk setiap iterasinya, akan tetapi jumlah iterasi yang diperlukan lebih sedikit dan tidak bergantung pada ukuran jaringan yang digunakan. Teknik ini menjadi lebih baik dengan perbaikan teknik eliminasi yang sangat produktif oleh Tinney dkk. Dengan demikian, masalah aliran daya yang tidak dapat diatasi menggunakan teknik Gauss-Seidel dapat ditangani secara efektif dengan teknik ini. Ini juga sangat meningkatkan efektivitas dari metode Newton-Raphson, terutama dalam hal kecepatan pengolahan data dan penggunaan memori komputer yang efisien, sehingga memungkinkan penerapannya ke sistem daya yang lebih besar. Kelebihan-kelebihan dari metode Newton-Raphson dibandingkan dengan beberapa metode lain menyebabkan teknik ini sering digunakan untuk mengatasi masalah aliran daya dalam sistem tenaga listrik.

Namun operasi yang relatif rumit dari pembentukan elemen-elemen jacobian pada metode Newton Raphson serta pengembangannya di bilangan real yang tidak memungkinkan implementasi secara langsung dalam Bahasa pemrograman yang mendukung operasi *array*. Sehingga diperlukan metode yang cocok dan dapat menerapkan algoritma NR melalui operasi array dasar yang dikembangkan dibidang bilangan kompleks. Metode ini disebut sebagai *Complex-Array Operation Newton solver* (CAN), yang bekerja berdasarkan representasi berbasis vektor dari persamaan aliran daya dan untuk mengimplementasikan perkalian bilangan kompleks.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Studi aliran daya

Kerangka tenaga listrik pada umumnya terdiri dari berbagai generator, transformator, komponen beban aktif dan pasif serta peralatan yang saling berhubungan dalam jaringan transmisi antara beberapa bus. untuk memasok kapasitas listrik yang aktif dan reaktif kepada pelanggan di sepanjang jaringan secara andal, finansial, dan terus-menerus pada tingkat tegangan dan frekuensi tertentu. Hal ini juga harus dicapai dengan tiadanya unit produksi yang bekerja di bawah kondisi *over-burden* yang terus-menerus dan adanya jaringan transmisi yang memiliki masalah rugi-rugi daya yang besar. Studi aliran daya diarahkan untuk mendapatkan data tentang aliran

daya dan tegangan sistem dalam kondisi kerja yang konsisten. Data ini terutama diharapkan untuk menilai peranan sistem tenaga listrik dan membedah keadaan pembangkitan dan pembebanan baik dalam kondisi biasa maupun krisis. Penjelasan lain adalah bahwa studi aliran daya diperlukan, ketika sistem tenaga listrik diperluas dengan menambahkan jaringan transmisi dan beban untuk memenuhi kebutuhan daya yang berkembang di suatu daerah. Melakukan studi aliran daya akan menjamin bahwa sistem tenaga baru dapat memenuhi kebutuhan daya secara finansial, efektif dan aman.

Model sistem tenaga listrik yang digunakan dalam konsentrasi aliran daya terdiri dari unit-unit produksi, komponen beban dan saluran transmisi, yang masing-masing terkait dengan bus dalam sistem tersebut. Dalam setiap bus ada empat besaran, yaitu daya aktif (P), daya reaktif (Q), tegangan (V) dan sudut (θ). Juga, dalam studi aliran daya ini ada tiga jenis bus yang meliputi bus beban (PQ), bus generator (PV) dan bus slack. Untuk setiap bus, tidak kurang dari dua dari empat jumlah yang diketahui. Untuk setiap perhitungan, salah satu bus harus dipilih sebagai bus referensi atau *slack bus*.

2.2 Representasi Sistem Tenaga Listrik

Dalam penguraian sistem tenaga listrik, dibuat gambaran tampilan dari bagian-bagian kerangka tenaga, misalnya generator, trafo, gardu induk, saluran transmisi, kapasitor shunt, induktor dan beban. menganggap bahwa sistem tiga fase seimbang, adalah mungkin untuk menangani sirkuit menggunakan sirkuit tunggal. Grafik satu garis ini diharapkan dapat memberikan gambaran singkat tentang kerangka tenaga listrik yang akan ditentukan.

2.3 Aliran Daya Berdasarkan CAN solver

Dalam referensi [13] Metode *CAN Solver* mengandalkan representasi koordinat kartesian dari besaran listrik dan persamaan keseimbangan daya yang diselesaikan melalui Metode Newton-Raphson yang diimplementasikan melalui operasi bilangan *array*.

Dalam referensi juga disebutkan bahwa perhitungan elemen *off-diagonal* dari Matrik Jacobian dapat dihitung melalui perkalian fasor tegangan dan admitansi dalam domain kompleks diikuti oleh beberapa penyusunan ulang elemen vektor, begitupun perhitungan untuk elemen diagonal dari Matrik juga bergantung pada perkalian fasor oleh admitansi tegangan yang sama seperti perhitungan untuk elemen *off-diagonal*, diikuti dengan penambahan arus noda dan penyusunan ulang elemen vektor selanjutnya.

1. Simpul PQ

Dimana pada simpul PQ daya aktif dan reaktifnya dijadikan sebagai masukan untuk melakukan perhitungan.

$$\bar{f}_k = \begin{bmatrix} V_K^R & V_K^I \\ -V_K^I & V_K^R \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_K^R \\ I_K^I \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -P_K \\ Q_K \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Dan

$$\begin{bmatrix} I_K^R \\ I_K^I \end{bmatrix} = \sum_{n=1}^N \begin{bmatrix} G_{kn} & -B_{kn} \\ B_{kn} & G_{kn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_N^R \\ V_N^I \end{bmatrix} \quad (2)$$

Untuk elemen *off-diagonal* dari matrik jacobian. Turunan parsial dari fungsi vektor F_k sehubungan dengan bagian nyata dan imajiner tegangan pada simpul $n \neq k$ menghasilkan:

$$\frac{\partial \bar{f}_k}{\partial V_n^R} = \text{vect} (V_k^* Y_{kn}) \quad (3)$$

$$\frac{\partial \bar{f}_k}{\partial V_n^I} = \text{vect} (V_k^* j Y_{kn}) \quad (4)$$

Sedangkan untuk elemen diagonal Jacobian persamaan akan di sederhanakan seperti berikut

$$\frac{\partial \bar{f}_k}{\partial V_n^R} = \text{vect} (I_K + V_k^* Y_{kk}) \quad (5)$$

Dan

$$\frac{\partial \bar{f}_k}{\partial V_n^I} = \text{vect} (-j I_K + V_k^* j Y_{kk}) \quad (6)$$

2. Simpul PV

Pada simpul PV nilai daya aktif dan modul tegangan diberikan sebagai masukan untuk melakukan perhitungan. Untuk simpul ke-k tipe PV, maka persamaan aliran daya untuk simpul PV

$$\begin{aligned} \text{Re}(V_k^* I_K) - P_K &= 0 \\ |V_K|^2 - V_m^2 &= 0 \end{aligned} \quad (7)$$

Persamaan untuk elemen *Off-diagonal* dari Jacobian adalah

$$\frac{\partial \bar{f}_k}{\partial V_n^R} = \begin{bmatrix} \text{Re}(V_k^* Y_{kn}) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\frac{\partial \bar{f}_k}{\partial V_n^I} = \begin{bmatrix} \text{Re}(V_k^* j Y_{kn}) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Selanjutnya untuk suku-suku diagonal dari matriks Jacobian

$$\frac{\partial \bar{f}_k}{\partial V_K^R} = \begin{bmatrix} \text{Re}(I_K + V_k^* Y_{kk}) \\ 2V_K^R \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\frac{\partial \bar{f}_k}{\partial V_K^I} = \begin{bmatrix} \text{Re}(-j I_K + V_k^* j Y_{kk}) \\ 2V_K^I \end{bmatrix} \quad (11)$$

2.4 Pembaruan Vn

Perhitungan pembaruan variabel untuk ΔV_n dilakukan jika nilai hasil perhitungan *mismatch* belum mencapai nilai yang telah ditetapkan. Perhitungan dilakukan menggunakan Persamaan

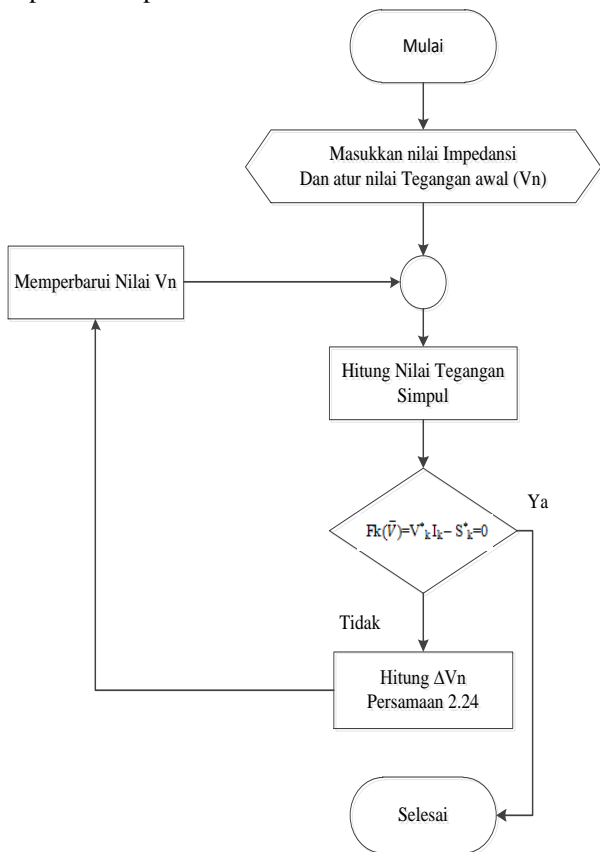
$$V_N^n = V_N^{n-1} + \Delta V_N \quad (12)$$

3. Metodologi

Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk mengimplementasikan bahasa pemrograman JULIA untuk melakukan perhitungan aliran daya pada jaringan listrik menggunakan metode *Compleks-Array-Operation Newton Solver* (CAN). Penelitian dilakukan melalui tiga tahapan yaitu pembuatan program, pengujian program dan evaluasi hasil.

3.1 Perencanaan Pembuatan Program

Pada penelitian ini akan dilakukan perhitungan studi aliran beban berulang dengan menggunakan metode Newton-Raphson yang diimplementasikan melalui operasi *array*-kompleks. Yang mana metode tersebut bergantung pada representasi vektor dari persamaan aliran daya dan cara untuk mengimplementasikan perkalian bilangan kompleks. Perhitungan dilakukan sesuai data yang telah diperoleh sebelumnya. Perhitungan nantinya akan menggunakan perangkat lunak JULIA yang *dcompile* dengan aplikasi *Jupyter*. Diagram alir program dapat dilihat pada Gambar 1



Gambar 1 Diagram alir program

4. Hasil Dan Pembahasan

4.1 Data Pendukung

Data yang digunakan pada penelitian ini yaitu data pada Matpower yang bersumber dari IEEE, yaitu data sistem 9 bus dan data *test* 14 bus dimana data yang diperlukan untuk melakukan perhitungan yaitu data bus, data saluran, data generator. Selanjutnya data yang telah didapat akan dilakukan analisa menggunakan program yang dirancang untuk melakukan perhitungannya dengan data yang di masukkan pada perhitungan sudah dalam satuan per-unit.

4.2 Hasil perhitungan aliran daya

A. Sistem 9 bus

Hasil perhitungan aliran daya untuk sistem 9 bus

menggunakan Julia disajikan pada Tabel 1

Tabel 1. Perhitungan Aliran daya untuk sistem 9 bus

bus	PU volt	Angle (deg)	Daya aktif (MW)	Daya reaktif (MVar)
1	1.04	0.0	72.3	27.03
2	1.025	9.69	162.9	-53.41
3	1.025	4.88	85.0	-38.554
4	0.995	-2.30	0	0
5	0.966	-3.73	-90.0	29.9
6	1.004	2.10	0	0
7	0.979	0.83	-99.99	34.99
8	0.997	3.97	0	0
9	0.950	-4.13	-124.9	49.9

B. Sistem 14 bus

Hasil perhitungan aliran daya untuk sistem 14 bus menggunakan Julia disajikan pada Tabel 2

Tabel 2. Perhitungan Aliran daya untuk sistem 14 bus

bus	PU volt	Angle (deg)	generator		Beban	
			MW	MVar	MW	MVar
1	1.06	0.0	232.4	-16.9	0	0
2	1.045	-4.995	40	-68.9	18.3	-68.9
3	1.01	-12.72	0	-4.40	-94.1	-4.40
4	1.022	-10.41	0	0	-47.8	-3.9
5	1.029	-8.955	0	0	-9.20	0
6	1.07	-14.51	0	-36.0	-11.1	-36.0
7	1.038	-13.71	0	0	0	0
8	1.09	-13.71	0	-32.1	0	-32.1
9	1.015	-15.46	0	0	-29.2	16.59
10	1.008	-15.91	0	0	-9.00	5.79
11	1.063	-14.78	0	0	-3.50	1.79
12	1.052	-15.39	0	0	-6.10	1.59
13	1.044	-15.41	0	0	-13.5	5.79
14	1.008	-16.23	0	0	-14.9	4.99

Berdasarkan pengolahan data yang telah dilakukan pada sistem jaringan listrik 9 bus dan 14 Bus maka dapat dinyatakan bahwa nilai hasil perhitungan aliran daya dengan Metode Complex-Array-Operation Newton Solver(CAN) yang direpresentasikan dalam koordinat Chartesian konvergen dengan jumlah iterasi yang dilakukan yaitu berjumlah 4 iterasi baik untuk sistem 9 bus maupun sistem 14 bus *test* sedangkan untuk nilai ketidakcocokan daya maksimumnya pada sistem 14 bus sebesar $3.23 \cdot 10^{-8}$ dan nilai ketidakcocokan daya maksimum untuk sistem 9 bus bernilai $3.11 \cdot 10^{-9}$. Dari data dapat dilihat bahwa jumlah iterasi yang cukup sedikit dan pengolahan data yang cepat, hal ini membuktikan bahwa Metode CAN dapat melakukan perhitungan aliran daya dengan

cukup akurat dan waktu yang digunakan untuk melakukan iterasi cukup singkat.

4.3 Perbandingan Tegangan dengan Data pada Matpower

Setelah nilai hasil perhitungan pada Julia menggunakan metode CAN yang dirumuskan dalam koordinat Cartesius diperoleh maka untuk membuktikan bahwa perhitungan yang telah dilakukan benar maka nilai tersebut akan dibandingkan dengan nilai hasil perhitungan dari alat Matpower yang mana perhitungan pada Matpower dirumuskan dalam koordinat kutub menggunakan metode Newton Rapshon.

Berdasarkan data hasil perbandingan pada Julia dan Matpower pada Tabel 3 dan Tabel 4 maka dapat dinyatakan bahwa nilai hasil tegangan yang diperoleh masing-masing memiliki selisih walaupun kecil, Perbedaan nilai yang terjadi bisa disebabkan ketidakteelitian penulis dalam hal penginputan data atau hal lainnya, karena jika dibandingkan Matpower baik dalam penginputan data mau pun proses *running* dilakukan oleh komputer dengan metode yang telah tertanam pada software, sedangkan pada penelitian menggunakan Julia penulis masih melakukan penginputan data secara manual serta perbedaan representasi koordinat dalam melakukan perhitungan. Dimana waktu komputasi yang diperlukan Julia dengan Metode CAN untuk mencapai konvergensi pada sistem bus 9 yaitu 0.000302 detik dan jumlah iterasi sebanyak 4 iterasi sedangkan Matpower membutuhkan waktu sebanyak 0.43 detik untuk 4 iterasi. Dari jumlah iterasi yang tidak terlalu jauh berbeda serta waktu pengolahan data maka dapat dinyatakan bahwa Julia dengan metode CAN yang direpresentasikan dalam koordinat kartesian menghasilkan waktu yang jauh lebih cepat dibandingkan Matpower dengan metode Newton Rapshon yang direpresentasikan dalam koordinat polar pada Octave.

Tabel 3 Perbandingan Julia dan Matpower Sistem 9 bus

N	Tegangan			Sudut		
	Julia (V)	MatP (V)	ralat (%)	Angle (deg)	Angle (deg)	ralat (%)
1	1.04	1.04	0	0.0	0.0	0
2	1.025	1.025	0	9.692	9.28	4.25
3	1.025	1.025	0	4.881	4.66	4.42
4	0.995	1.026	2.92	-2.306	-2.21	3.85
5	0.966	1.013	4.13	-3.737	-3.68	1.33
6	1.004	1.032	2.78	2.107	1.96	6.64
7	0.979	1.016	3.76	0.836	0.72	12.91
8	0.997	1.026	2.87	3.973	3.72	6.36
9	0.950	0.996	4.77	-4.138	-3.98	3.60

Tabel 4 Perbandingan Julia dan Matpower Sistem 14Bus

N	Tegangan			Sudut		
	Julia (V)	MatP (V)	ralat (%)	Angle (deg)	Angle (deg)	ralat (%)
1	1.06	1.06	0	0.0	0.0	0
2	1.045	1.045	0.005	-4.9953	-4.983	0.20
3	1.01	1.010	0	-12.7229	-12.725	0.15
4	1.0222	1.018	1.17	-10.410	-10.313	1.05
5	1.0296	1.020	2.81	-8.9558	-8.774	2.50
6	1.07	1.070	0	-14.5198	-14.221	2.13
7	1.0380	1.062	2.11	-13.7133	-13.360	2.99
8	1.09	1.090	0	-13.7133	-13.360	2.99
9	1.0153	1.056	3.44	-15.4623	-14.939	3.62
10	1.0080	1.051	4.16	-15.9195	-15.097	5.71
11	1.0634	1.057	1.22	-14.7842	-14.791	0.54
12	1.0520	1.055	0.19	-15.3904	-15.076	2.53
13	1.0442	1.050	0.57	-15.4188	-15.156	2.01
14	1.0089	1.036	2.18	-16.2356	-16.034	1.41

5. Penutup

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa Julia dapat melakukan perhitungan aliran daya menggunakan metode Complex Array Newton Solver (CAN) dengan baik dengan jumlah iterasi yang sedikit serta waktu pengolahan data yang lebih cepat dibandingkan Matpower menggunakan metode Newton Rapshon pada Octave.
2. Setelah melakukan iterasi sebanyak 4 kali iterasi untuk sistem yang dipakai dengan waktu yang singkat maka diperoleh data tegangan disetiap bus, di mana untuk sistem 9 bus nilai tegangan tertinggi didapat pada hasil perhitungan bus PV, dengan nilai 1.025 p.u. sedangkan nilai hasil perhitungan terkecil diperoleh pada bus 9 dengan nilai 0.956 p.u. Sedangkan untuk sistem 14 tegangan tertinggi diperoleh pada hasil perhitungan Bus 1 yaitu 1.06 p.u sedangkan nilai terkecil diperoleh pada hasil perhitungan pada bus 10 dengan nilai 1.008 p.u. dimana nilai tegangan yang dihasilkan telah memenuhi standar.

B. Saran

1. Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan perhitungan rugi-rugi daya pada saluran.
2. Untuk pengembangan penelitian dapat menganalisa perlunya penambahan kapasitor *shunt* apabila rugi-rugi yang diperoleh terlalu besar

6. Referensi

- [1] H. D. Laksono, "Perbandingan Metoda Newton Raphson Dan Metoda Fast Decouple Pada Studi Aliran Daya (Aplikasi PT. PLN Sumbar-Riau 150 KV)," *Universitas Andalas*, vol. 3, no. 27, pp. 1–10, 2014.
- [2] S. Song, C. Han, S. Jung, M. Yoon, and G. Jang, "Probabilistic power flow analysis of bulk power system for practical grid planning application," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 45494–45503, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2909537.
- [3] N. Amin, "Perbandingan Metode Gauss-Siedel dan Metode Newton-Raphson Dalam Solusi Aliran Daya," *Jurnal SMARTek*, vol. 9, no. 3, pp. 213–222, 2011.
- [4] H. Li, H. Zhou, T. Liu, and Q. Chen, "A Loop-Analysis Theory Based Linear Power Flow Method for Three-Phase Distribution Power System," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 1573891–157400, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2949372.
- [5] J. Liu, M. M. A. Salama, and R. R. Mansour, "An efficient power flow algorithm for distribution systems with polynomial load," *International Journal of Electrical Engineering and Education*, vol. 39, no. 4, pp. 371–386, 2002, doi: 10.7227/IJEEE.39.4.7.
- [6] S. Munikoti, B. Natarajan, K. Jhala, and K. Lai, "Probabilistic Voltage Sensitivity Analysis to Quantify Impact of High PV Penetration on Unbalanced Distribution System," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 36, no. 4, pp. 3080–3092, 2021, doi: 10.1109/TPWRS.2021.3053461.
- [7] P. W. M. P. Sauer, "Power system dynamics and stability," *Urbana*, vol. 51, pp. 34–361, 1997.
- [8] R. Gianto and K. H. Khwee, "Solusi Aliran Daya Untuk Sistem Distribusi Tak Seimbang dengan Menggunakan Metode Trust-Region," *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, vol. 5, no. 1, p. 13, 2016, doi: 10.25077/jnte.v5n1.171. 2016.
- [9] B. A. B. Ii and D. Teori, "Simulasi dan Analisis Aliran Daya..., Yan Budi Haryono, Fakultas Teknik UMP, 2017," no. 2009, pp. 5–47, 2017.
- [10] B. D. Prabowo, E. Syam, R. Alham, I. Nusantara, and M. Ridwan, "Analisis Aliran Daya Sistem Jaringan Listrik 14 BUS Modified Dengan Metode Newton Raphson," vol. 02, no. 02, pp. 46–51, 2021.
- [11] C. Nur, "Analisa Aliran Daya Sistem Tenaga Listrik PT. Indofood CBP Sukses Makmur, Tbk Divisi Food Seasoning Semarang Menggunakan ETAP 12.6," pp. 1–84, 2018, [Online]. Available: <https://repository.usm.ac.id/files/skripsi/C41A/2013/C.431.13.0050/C.431.13.0050-15-File-Komplit-20190628021616.pdf>
- [12] I. Tantowi, "Transient Stability Constrain of Optimal Power Flow Studies Interconnecting System 150 kV Barito- Pulau Baru South Kalimantan in 2021," 2017.
- [13] P. Maffezzoni and G. Gruosso, "Complex-Array-Operation Newton Solver for Power Grids Simulations," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 47984–47992, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2979775.
- [14] M. Isabirye, D. V. N. Raju, M. Kitutu, V. Yemeline, J. Deckers, and J. Poesen Additional, "Power Flow Analysis" *Intech*, p. 13, 2012, [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1039/C7RA00172J%0Ahttps://www.intechopen.com/books/advancedbiometricstechnologies/liveness-detection-in-biometrics%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.colsurfa.2011.12.014>