

Jurnal Artikel

Rancang Bangun Coilgun Induksi Satu Tingkat Dengan Optimasi Dimensi

Ariyo Nurachman Satiya Permata^{1*}, Raja Akbar², Rando Tungga Dewa³, Aditya Kumara⁴, Nick Holson Silalahi⁵, M. Abdi Maulana Ilyas⁶, Devara Risdho Faresi⁷, Seto Bayu Aji Langlang Jagad⁸

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pertahanan Republik Indonesia

¹ariyo.nurachman@gmail.com, ²rajaakbarpsb@gmail.com, ³randotungga@gmail.com,
⁴aditya_idnavy@yahoo.com, ⁵nickholson88@gmail.com, ⁶abdimaulanailyas@gmail.com,
⁷devararisdho02@gmail.com, ⁸setob482@gmail.com

*Corresponding author – Email : ariyo.nurachman@gmail.com

Abstrak

Senjata api merupakan alat penting untuk mendukung berbagai operasi militer. Namun, suara keras dan residu kotor yang dihasilkan senjata api tradisional dapat menghambat efektivitas personel militer. Senjata modern alternatif, coilgun, salah satu solusi terhadap kelemahan ini. Senjata inovatif ini menggunakan energi listrik dan elektromagnet untuk mendorong proyektil tanpa mengeluarkan suara. Keunggulannya dalam hal pengurangan suara, efektivitas biaya, dan kebersihan menjadikannya ideal untuk operasi tempur perkotaan. Penelitian ini menggunakan simulasi Ansys Maxwell dan eksperimen. Penelitian menunjukkan medan magnet kumparan ditemukan berpusat pada titik tengah induktor kumparan, dengan efektivitas 5-20%. Selain itu, kapasitas kapasitor berpengaruh langsung terhadap gaya kinetik yang dihasilkan oleh coilgun. Panjang induktor yang lebih pendek dengan belitan yang lebih banyak juga menghasilkan energi kinetik yang jauh lebih besar untuk coilgun. Hal ini menjanjikan kemajuan menarik dalam pengembangan teknologi militer inovatif.

Kata kunci: Coilgun, Energi kinetik, Elektromagnet, Kapasitor, Induktor

Abstract

Firearms are an important tool to support various military operations. However, the loud noise and dirty residue produced by traditional firearms can hinder the effectiveness of military personnel. An alternative modern weapon, the coilgun, is one solution to this weakness. This innovative weapon uses electrical and electromagnetic energy to propel projectiles without making any sound. Its advantages in terms of noise reduction, cost-effectiveness, and cleanliness make it ideal for urban combat operations. This study used Ansys Maxwell simulations and experiments. The study showed that the coil's magnetic field was found to be centered at the center point of the coil inductor, with an effectiveness of 5-20%. In addition, the capacitor capacity directly affects the kinetic force produced by the coilgun. Shorter inductor lengths with more turns also produce much greater kinetic energy for the coilgun. This promises interesting progress in the development of innovative military technology.

Keywords: Coilgun, Kinetic energy, Electromagnet, Capacitor, Inductor

I. LATAR BELAKANG

Senjata Api adalah suatu alat yang sebagian atau seluruhnya terbuat dari logam yang mempunyai komponen atau alat mekanik seperti laras, pemukul atau pelatuk, pegas, dan kamar peluru yang dapat melontarkan anak peluru atau gas melalui laras dengan bantuan bahan peledak (Ley 25.632, 2002). Terdapat dua jenis senjata api yang wajib bisa digunakan oleh setiap anggota TNI untuk mendukung kegiatan di berbagai operasi. Kedua jenis senjata api tersebut menggunakan bahan yang berasal dari bubuk mesiu. Berdasarkan data yang dipublikasi (P & Wesson, 2012) suara yang keluar dari ledakan bubuk mesiu senjata api laras panjang dan laras pendek mencapai 150 dB – 170 dB, dengan tingkat kebisingan yang tinggi. Selain suara ledakan yang riskan bagi TNI dalam melaksanakan tugas operasi khususnya pada pertempuran kota, bubuk mesiu yang digunakan senjata api juga masih tergolong mahal. Ini merupakan kelemahan dari senjata api konvensional yang masih menggunakan bahan peledak sebagai penggerak amunisi.

Perkembangan zaman dan ancaman membuat teknologi pada militer berkembang pesat. Para peneliti mulai mengembangkan senjata guna memperkuat pertahanan militer negara masing masing. Senjata konvensional yang masih menggunakan bubuk mesiu mulai dialihkan ke senjata modern. Senjata modern merupakan senjata yang tidak menggunakan bubuk mesiu seperti senjata elektromagnet dan senjata laser dapat menjadi inovasi dan alternatif bagi persenjataan TNI untuk memperkuat pertahanan militer Indonesia. Senjata elektromagnet menggunakan prinsip mengubah energi listrik menjadi energi kinetik (Lee et al., 2016). Salah satu contoh senjata elektromagnet ialah coilgun.

Berdasarkan (Akay et al., 2020) coilgun merupakan senjata coil yang menggunakan prinsip elektromagnetik yaitu perubahan fluks magnet untuk mendorong proyektil. Proyektil yang terbuat dari bahan ferromagnetik membuat coilgun tidak membutuhkan bubuk mesiu dalam

penggunaannya sehingga menghemat biaya pembuatannya. Proyektil ferromagnetik juga membuat selongsong senjata bersih dibanding senjata konvensional yang menyisakan hasil ledakan bubuk mesiu di dalam selongsong. Coilgun yang menggunakan prinsip elektromagnetik juga membuat suara dari hasil tembakan menjadi lebih tenang bahkan saat proyektilnya mencapai kecepatan suara.

Berdasarkan hal tersebut coilgun dapat menggantikan senjata konvensional untuk selanjutnya dilakukan rancang bangun model coilgun yang akan digunakan pada TNI dalam mendukung suksesnya kegiatan operasi khususnya pada pertempuran kota.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Coilgun merupakan senjata modern yang dapat menggantikan senjata api untuk di aplikasikan dilingkup pertahanan. Faktor utama senjata api belum tergantikan adalah energi kinetik yang dihasilkan sangat kecil dibanding senjata api. Salah satu contoh adalah senjata magnet yang dibuat oleh DARPA hanya memiliki nilai efisien 22 % dengan energi kinetik 1,6 Megajoule (Kaye et al., 2007).

Secara struktur coilgun dapat dibagi menjadi dua tipe yaitu single-stage dan multi-stage. Coilgun single-stage yaitu coilgun yang memiliki satu coil, sedangkan coilgun multi-stage yaitu coilgun yang memiliki coil lebih dari satu. Coilgun jenis multi-stage terdiri dari beberapa coil dan lebih unggul dibandingkan dengan jenis single-stage karena kecepatan proyektil dapat diatur secara lebih fleksibel, namun coilgun multi-stage membutuhkan ruang dan komponen yang lebih banyak (Winarno et al., 2015).

Untuk menciptakan coilgun yang dapat bersaing dengan senjata api perlu diteliti unsur utama penghasil energi pada coilgun. Beberapa unsur tersebut seperti kapasitas arus yang dialirkan pada coil, jumlah lilitan, jumlah coil, dan proyektil ferromagnetik.

Persamaan energi output pada coilgun sebagai berikut :

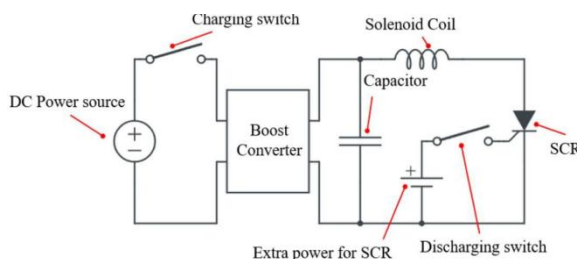
$$E_o = \frac{1}{2} m v^2$$

Persamaan dasar secara teori energi input dari induktor dan kapasitor sebanding lurus dengan energi output pada coilgun (Akay et al., 2020).

Coilgun induksi empat tahap disimulasikan dalam perangkat lunak Ansys Maxwell menggunakan model asimetris 2-D, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 1. Kopling magnetik timbal balik antara kumparan diabaikan dalam analisis kami karena jarak antarkumparan (= 20 cm) jauh lebih besar daripada dimensi kumparan tunggal. Saat membuat jaring di dalam kumparan dan proyektil, panjang jaring maksimum dianggap seperlima belas dari kedalaman kulit. Tidak ada kenaikan suhu yang diamati pada proyektil selongsong untuk tegangan PPS dan level arus kumparan tempat eksperimen coilgun empat tahap dilakukan. Oleh karena itu, model simulasi hanya mempertimbangkan sifat material pada suhu ruangan.

III. METODE PENELITIAN

Coilgun dibuat dengan ukuran senjata laras pendek. Kapasitor dan induktor yang digunakan ialah kapasitor dan induktor dengan nilai gaya terbesar. Terlihat pada gambar 1, menerangkan diagram skematik coilgun yang digunakan.



Gambar 2. Gambar diagram skematik *coilgun*

Pada bagian ini, v_p dari proyektil selongsong yang berbeda, masing-masing memiliki diameter luar dan massa yang sama tetapi panjangnya berbeda, dibandingkan dengan empat proyektil selongsong yang berbeda yang memiliki dimensi yang sama dengan lainnya. Gambar 2, masing-masing, menggambarkan laras menggunakan bahan polyetilene dan lilitan menggunakan tembaga

yang akan digunakan dalam analisis. Hasil yang diperoleh dari simulasi dan analisis eksperimental dengan proyektil selongsong ini akan selanjutnya dibahas pada bab berikutnya.



Gambar 1. Coilgun setelah dirangkai

Pengukuran kecepatan proyektil menggunakan aplikasi Audicity, yaitu aplikasi mendeteksi suara awal penembakan dan suara akhir proyektil menyentuh objek tujuan. Objek tujuan yaitu dinding.

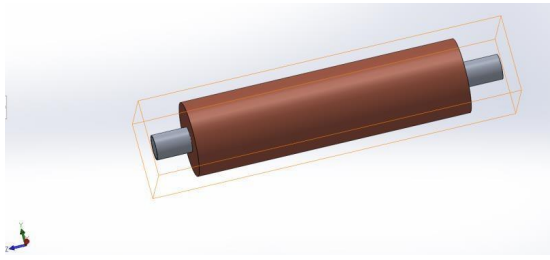


Gambar 3. Pengukuran menggunakan aplikasi.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Simulasi

Penelitian ini menggunakan 2 boundary condition yaitu arus yang melewati coil dan dimensi kumparan copper. Pada proses simulasi digunakan problem steady state karena tidak berpengaruh dengan waktu. Hasil simulasi menunjukkan bahwa lilitan dan gaya berbanding lurus begitu juga dengan kapasitas kapasitor dan gaya. Hasil yang diperoleh sesuai dengan persamaan awal yang diberikan



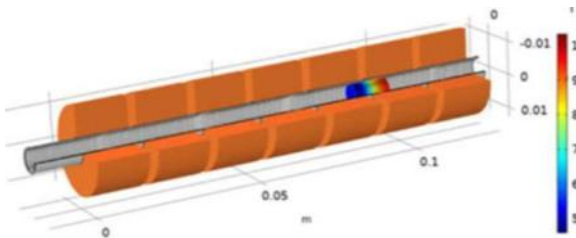
Gambar 4. Penentuan kondisi batas yang digunakan

Dalam menggunakan permodelan matematika, kondisi batas menjadi sesuatu yang sangat krusial dalam berhasil tidaknya suatu simulasi. Dapat terlihat pada gambar 4 arus dialirkan melalui tembaga yang kemudian akan menimbulkan medan magnetik yang dapat menyebabkan terlontarnya munisi atau proyektil melewati selongsong.



Gambar 5. Rangkaian sirkuit yang digunakan.

Pada gambar 5 dapat terlihat bahwa catu daya digunakan sebagai sumber energi pada coilgun. Untuk menyamakan arah arus maka digunakan rangkaian sirkuit, dengan demikian besar arus yang dialirkan pada kapasitor dapat dikontrol dengan baik.



Gambar 6. Hasil simulasi menggunakan FEM

Laju proyektil akibat medan magnet dapat terlihat pada gambar 6. Tampak dengan jelas nilai yang dihasilkan proyektil bagian belakang yang merupakan titik temu medan magnet sehingga digambarkan dengan nilai tertinggi. Sebaliknya pada proyektil bagian depan tidak tampak. Hal tersebutlah yang

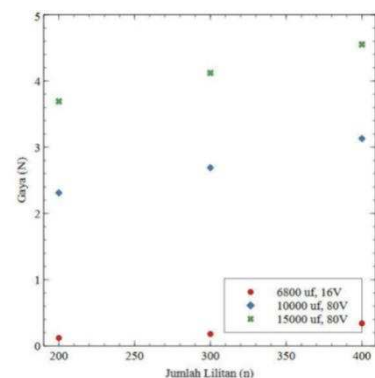
menyebabkan proyektil dapat melaju saat medan magnet instan dialirkan oleh kapasitor.

Setelah dilakukan beberapa percobaan menggunakan permodelan matematika didapatkan hasil simulasi coilgun memperoleh nilai total gaya (F) dari coil seperti pada tabel berikut

Tabel 1. Jumlah lilitan dan besar kapasitor

No	n (jumlah lilitan) ^a	C	F (N)
1	200	6800 uf, 16V	0,121
2	300	6800 uf, 16V	0,188
3	400	6800 uf, 16V	0,344
4	200	10000 uf, 80V	2,311
5	300	10000 uf, 80V	2,701
6	400	10000 uf, 80V	3,131
7	200	15000 uf, 80V	3,698
8	300	15000 uf, 80V	4,121
9	400	15000 uf, 80V	4,555

Dapat terlihat pada gambar grafik 7 dibawah ini bahwa dalam simulasi yang dilakukan nilai gaya tertinggi dicapai oleh kapasitor dengan harga tertinggi yaitu 15000 uf pada 400 lilitan. Keseluruhan grafik menggambarkan semakin tinggi harga kapasitor maka akan semakin tinggi pula gaya yang dihasilkan. Semakin banyak jumlah lilitan yang digunakan maka gaya yang dihasilkan akan semakin meningkat.



Gambar 7. Hasil simulasi besar gaya yang dihasilkan terhadap jumlah lilitan

Hasil Eksperimen

Setelah dirasa performa yang dihasilkan dengan pendekatan simulasi baik. Maka, untuk melakukan proses validasi, eksperimen dilakukan. Hasil kecepatan proyektil dan

gaya yang dihasilkan ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 2. Hasil eksperimen pada panjang laras lilitan 15 cm

No	n	s	T1	T2	T3	t _{mean}	v (m/s)	F (N)
1	200	15	2,701	0,071	0,078	0,079	1,890	0,024
2	300	15	3,131	0,064	0,069	0,068	2,195	0,032
3	400	15	3,698	0,066	0,067	0,067	2,238	0,033

Tabel 2 di atas menunjukkan hasil pengujian eksperimen pada Panjang lilitan laras 15 cm dengan menggunakan kapasitor 6800 uf, 16V. Nilai tertinggi pada variasi tersebut didapatkan pada lilitan sebanyak 400 yang menghasilkan nilai gaya sebesar 0,033 N dan kecepatan 2,238 m/s.

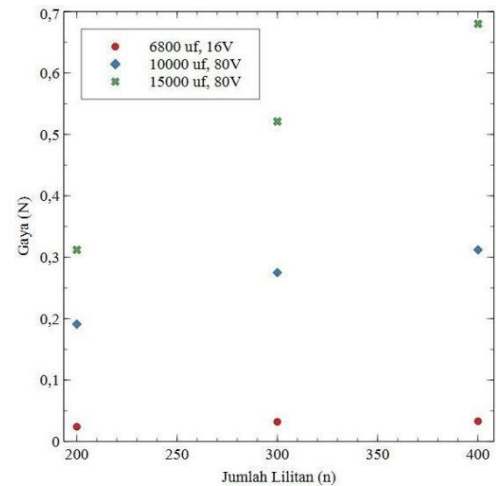
Tabel 3. Hasil eksperimen pada panjang laras lilitan 30 cm dengan kapasitor 15000 uf

No	n	s	T1	T2	T3	t _{mean}	v (m/s)	F (N)
1	200	30	0,039	0,041	0,039	0,03966	7,563	0,191
2	300	30	0,036	0,032	0,031	0,033	9,090	0,275
3	400	30	0,031	0,028	0,032	0,031	9,677	0,312

Hasil pengujian eksperimen diperlihatkan pada tabel 3 di atas. Didapatkan nilai terbaik dengan 0,312 dan 9,677 m/s pada variasi nilai lilitan tertinggi. Sedangkan tabel IV dibawah menunjukkan performa terbaik yang didapatkan pada pengujian eksperimen penelitian ini dengan nilai 0,680 N dan 14,285 m/s pada panjang laras lilitan sebesar 30 cm dan menggunakan kapasitor 15000 uf.

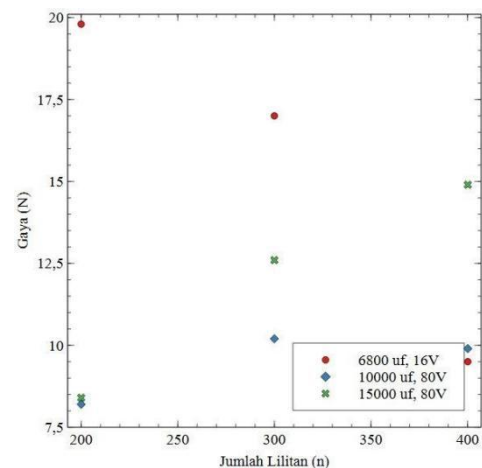
Tabel 4. Hasil eksperimen pada panjang laras lilitan 30 cm dengan kapasitor 15000 uf

No	n	s	T1	T2	T3	t _{mean}	v (m/s)	F (N)
1	200	30	0,033	0,031	0,029	0,031	9,6774 2	0,312
2	300	30	0,027	0,023	0,022	0,024	12,5	0,521
3	400	30	0,023	0,020	0,020	0,021	14,285	0,680



Gambar 8. Grafik perbandingan jumlah lilitan dengan gaya yang dihasilkan

Hasil yang diperoleh pada eksperimen menunjukkan hasil yang sebanding dengan simulasi. Gaya yang dihasilkan Coilgun meningkat ketika Dimensi kapasitor dan dimensi induktor meningkat. Gaya terbesar dihasilkan oleh kapasitor 15000 uf, 80V dengan induktor lilitan 400. Pada grafik terlihat juga bahwa gaya meningkat drastis ketika dimensi kapasitor di naikan dibanding dimensi induktor. Perbandingan gaya yang diperoleh pada eksperimen dan simulasi menunjukkan nilai efisiensi yang kecil.



Gambar 9. Grafik perbandingan jumlah lilitan dengan gaya yang dihasilkan

Efisiensi pada eksperimen dihasilkan dengan perbandingan gaya pada eksperimen dan gaya pada simulasi. Efisiensi berada pada rentang 7,5% - 20%. Nilai efisiensi terkecil pada induktor lilitan 200 dengan efisiensi 8.2 % dan 8.4 %. Efisiensi terbesar juga pada induktor lilitan 200 kapasitor 6800

uf, 16V. Hal ini disebabkan kecilnya gaya yang dihasilkan sehingga alat pengukur kurang tepat mengambil hasil gaya yang dihasilkan. Coilgun dengan penghasil gaya terbesar memiliki efisiensi 14.9%. Secara keseluruhan efisiensi tergolong kecil. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi seperti; Kapasitor yang digunakan tidak sepenuhnya mengeluarkan arus yang tersimpan. Sisa arus pada kapasitor saat peluncuran proyektil menyebabkan arus yang keluar tidak maksimal. Selain itu kapasitor diisi 90% karena faktor safety, hal ini juga membuat nilai pada eksperimen menurun dibanding simulasi.

Pada eksperimen dimensi induktor sangat berpengaruh terhadap gaya magnet yang menarik proyektil keluar, titik pusat pada induktor yang terlalu jauh akan menghasilkan gaya yang lebih sedikit. Pada simulasi gaya yang dihasilkan hanya melihat ukuran jumlah lilitan. Eksperimen yang dibuat tidak menggunakan laras berulir akibatnya proyektil keluar tidak lurus sempurna, sehingga bergesekan dengan dinding dinding laras dan memperlambat kecepatan yang dihasilkan. Pengukuran kecepatan pada eksperimen tidak menggunakan mikroskop bantuan dan alat sensor otomatis, sehingga memiliki lebih besar technology error.

V. KESIMPULAN

Nilai kapasitas kapasitor mempengaruhi energi kinetik pada coilgun. Semakin besar kapasitas kapasitor yang diberikan semakin besar hasil energi kinetik yang dihasilkan. Dimensi induktor mempengaruhi energi kinetik pada coilgun. Semakin banyak jumlah lilitan pada induktor semakin besar hasil energi kinetik yang dihasilkan. penelitian yang dilakukan menunjukkan perubahan kapasitas kapasitor lebih mempengaruhi perubahan gaya yang dihasilkan dibandingkan dimensi induktor. Efisiensi tergolong kecil berada pada rentang 7,5% - 20%. Nilai efisiensi terkecil pada induktor lilitan 200 dengan efisiensi 8.2 % dan 8.4 %. Efisiensi terbesar juga pada induktor lilitan 200 kapasitor 6800 uf, 16V. Hal ini disebabkan kecilnya gaya yang dihasilkan sehingga alat pengukur kurang tepat mengambil hasil gaya yang dihasilkan. Coilgun dengan penghasil gaya terbesar

memiliki efisiensi 14.9%. Secara keseluruhan efisiensi tergolong kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- Akay, C., Bavuk, U., Tunçdamar, A., & Özer, M. (2020). Coilgun design and evaluation without capacitor. *Journal of Mechatronics and Artificial Intelligence in Engineering*, 1(2), 53–62.
- Ardiansyah, A., Ardianti, R., Pendidikan, N., Fkip, F., Siliwangi, U., Jawa, T., Indonesia, B., Percobaan, A., Kunci, K., Magnet, M., Pada, L. P., & Oersted, H. C. (2001). Medan magnet.
- Dikdik Krisnandi. (2017). Aplikasi Kontrol Switch Menggunakan Silicon Controlled Rectifier (SCR) Melalui Pararel Port. 21, 3.
- Jones, D. S. (1968). Simulation and analysis. *Nature*, 220(5171), 1014.
- Kaye, R., Turman, B., Aubuchon, M., Lamppa, D., Mann, G., Van Reuth, E., Fulton, K., Malejko, G., Magnotti, P., Nguyen, D., Borgwarth, D., Johnson, A., & Poppe, R. (2007). Induction coilgun for EM mortar. *PPPS-2007 - Pulsed Power Plasma Science 2007*, 2, 1810–1813.
- Kim, S., & Kim, J. (2022). Solenoid Coil and Capacitor Design to Improve the Performance of Multi-Stage Coilguns. *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, 39(8), 615–625.
- Lee, S. J., & Kim, J. H. (2014). Design and Experiment of Coilgun to Apply
- Lee, S. J., Kim, J. H., & Kim, S. H. (2016). Design and experiments of multi-stage coilgun system. *Journal of Vibroengineering*, 18(4), 2053–2060.
- Ley 25.632. (2002). No Title No Title No Title. 1–151.
- Mikrajuddin Abdullah. (2018). Fisika Dasar II. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., 3(1), 10–27
- P, S. S., & Wesson, K. (2012). Peak dB SPL of Various Firearms (4 Studies). 70, 4–5.

- Sastroasmoro, S., Çelik, A., Yaman, H., Turan, S., Kara, A., Kara, F., Hastono, S. P. (2017). No Title. *Journal of Materials Processing Technology*, 1(1), 1–8.
- Syam dan Andi Amijoyo Mochtar, R. (2019). Perancangan Peluncur Coilgun Menggunakan Daya Listrik DC. 9, 10.
- Ui, F. T. (2012). Rancang bangun..., Nasrul Nabil Sangadji, FT UI, 2012.
- Walker, J., Halliday, D., & Resnick, R. (2007). *Fundamentals of Physics*. 1334.
- Winarno, B., Putra, R. G., Yuwono, I., Gunawan, A. I., & Sumantri, B. (2018). Control of Velocity Projectile on Multistage Coilgun. *Proceedings - 2018*
- Winarno, B., Wijono, W., & Hasanah, R. N. (2015). Pengaturan Injeksi Arus pada Coilgun dengan PWM menggunakan Metode Algoritma Genetika. *Jurnal Arus Elektro Indonesia*, 1(3), 13–18.