

RANCANG BANGUN HIGH POWER PULSE GENERATOR BERBASIS DC BOOST CONVERTER DAN CAPACITOR BANK

Bryan Marchelino Simorangkir, *Fadli Robiandi, Menasita Mayantasari

Program Studi Fisika, Fakultas Sains Teknologi dan Informasi, Institut Teknologi
Kalimantan

Jalan Soekarno Hatta Km.15, Karang Joang, Balikpapan

*Korespondensi: fadlirobiandi@lecturer.itk.ac.id

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi modern meningkatkan kebutuhan akan sumber energi yang mampu menghasilkan pulsa listrik berdaya tinggi dalam waktu yang sangat singkat. Sistem tersebut banyak dimanfaatkan pada aplikasi produksi plasma, pemrosesan material, eksperimen laboratorium, serta teknologi laser dan fusi. Salah satu teknologi yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan tersebut adalah High Power Pulse Generator, yaitu sistem yang mampu menyimpan energi listrik dan melepaskannya secara cepat dalam bentuk pulsa berdaya tinggi. Namun, generator pulsa konvensional seperti Marx Generator dan Pulse Forming Network masih memiliki beberapa keterbatasan, di antaranya ukuran yang besar, biaya tinggi, konstruksi yang kompleks, serta fleksibilitas pengaturan karakteristik pulsa yang terbatas sehingga kurang sesuai untuk laboratorium skala menengah (Saiki et al., 2018; Nowak et al., 2022).

Salah satu pendekatan yang banyak dikembangkan adalah penggunaan DC Boost Converter yang dipadukan dengan Capacitor Bank. DC Boost Converter berfungsi meningkatkan tegangan masukan menjadi tegangan yang lebih tinggi, sedangkan Capacitor Bank menyimpan energi listrik yang kemudian dilepaskan secara cepat melalui saklar elektronik berbasis MOSFET yang dikendalikan oleh sinyal Pulse Width Modulation (PWM). Konfigurasi ini memungkinkan pengaturan frekuensi, *duty cycle*, *pulse width*, *rise time*, dan *fall time* secara lebih fleksibel sesuai kebutuhan aplikasi (Adepoju et al., 2016; Sarnago et al., 2022). Meskipun demikian, sebagian besar penelitian sebelumnya masih berfokus pada pengembangan *high-voltage pulse generator* dengan keluaran pada rentang kilovolt, sedangkan penelitian mengenai *high power pulse generator* berbasis komponen *solid-state* dengan fokus pada daya tinggi

untuk kebutuhan laboratorium masih relatif terbatas (Saiki et al., 2018; Nowak et al., 2022).

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan merancang dan membangun High Power Pulse Generator berbasis DC Boost Converter dan Capacitor Bank sebagai prototipe tingkat laboratorium (TKT 4) dengan tegangan keluaran sebesar 180 V. Sistem dirancang menggunakan MOSFET IRFP250N yang dikendalikan oleh gate driver TC4420 dan sinyal PWM untuk menghasilkan pelepasan energi yang cepat dan terkendali (Ma et al., 2020; Prieto et al., 2023). Selain itu, penelitian ini menganalisis karakteristik pulsa yang dihasilkan, meliputi bentuk gelombang, frekuensi, *duty cycle*, *pulse width*, *rise time*, *fall time*, serta konsumsi daya sistem. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi alternatif generator pulsa yang lebih sederhana dan fleksibel untuk mendukung penelitian di bidang elektronika daya, plasma, dan aplikasi *pulsed power* pada skala laboratorium.

Kajian Teori

Perkembangan teknologi elektronika daya telah meningkatkan kebutuhan akan sistem yang mampu menghasilkan pulsa listrik berdaya tinggi dalam waktu yang sangat singkat. Sistem tersebut banyak dimanfaatkan pada aplikasi penelitian plasma, pemrosesan material, pengujian kelistrikan, serta berbagai eksperimen laboratorium. Salah satu teknologi yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan tersebut adalah High Power Pulse Generator, yaitu sistem yang mampu menyimpan energi listrik dan melepaskannya secara cepat dalam bentuk pulsa berdaya tinggi.

Salah satu metode yang digunakan untuk menghasilkan tegangan tinggi adalah DC Boost Converter. Boost converter merupakan konverter DC-DC yang berfungsi meningkatkan tegangan masukan menjadi tegangan keluaran yang lebih tinggi dengan efisiensi yang relatif tinggi. Pengaturan tegangan keluaran dilakukan melalui pengaturan *duty cycle* sinyal Pulse Width Modulation (PWM), sehingga sangat sesuai digunakan sebagai sistem pengisian capacitor bank.

Energi listrik pada penelitian ini disimpan menggunakan capacitor bank yang terdiri atas beberapa kapasitor yang disusun secara paralel sehingga menghasilkan kapasitansi total yang lebih besar. Energi yang tersimpan pada kapasitor dinyatakan oleh persamaan

$$E = \frac{1}{2} CV^2$$

yang menunjukkan bahwa energi meningkat sebanding dengan kapasitansi dan kuadrat tegangan pengisian. Ketika saklar elektronik diaktifkan, energi tersebut dilepaskan

menuju beban dalam waktu yang sangat singkat sehingga menghasilkan pulsa berdaya tinggi.

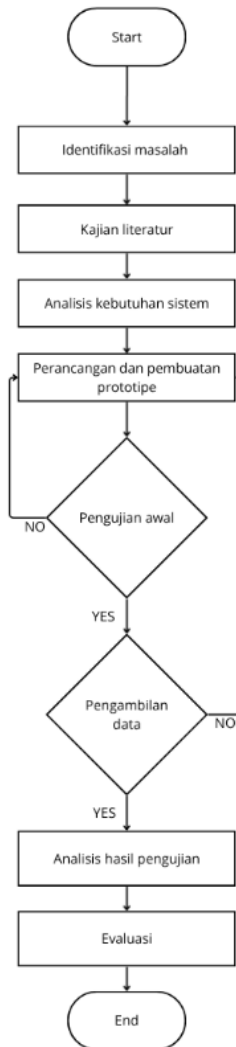
Sebagai saklar elektronik digunakan MOSFET IRFP250N yang dikendalikan menggunakan gate driver TC4420. Penggunaan gate driver diperlukan untuk mempercepat proses pengisian dan pengosongan kapasitansi gate MOSFET sehingga rugi-rugi switching dapat diminimalkan dan karakteristik pulsa menjadi lebih baik. Pengaturan waktu penyalan MOSFET dilakukan menggunakan sinyal PWM sehingga frekuensi, duty cycle, dan pulse width dapat diatur sesuai kebutuhan.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan generator pulsa menggunakan berbagai pendekatan. Saiki et al. (2018) menghasilkan pulsa tegangan tinggi berbasis MOSFET dengan durasi mikrodetik. Chen et al. (2020) mengembangkan sistem pengisian capacitor menggunakan DC Boost Converter berbasis PWM dengan efisiensi tinggi. Sementara itu, Nowak et al. (2022) menghasilkan pulsa bertegangan sangat tinggi menggunakan Flux Compression Generator. Berbeda dengan penelitian-penelitian tersebut, penelitian ini berfokus pada pengembangan High Power Pulse Generator berbasis komponen solid-state dengan tegangan operasi sekitar 180 V yang lebih sesuai untuk kebutuhan laboratorium skala menengah (TKT 4).

Metodologi

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yang bertujuan untuk merancang, membangun, mengimplementasikan, dan menguji prototipe *High Power Pulse Generator* berbasis *DC Boost Converter* dan *Capacitor Bank*. Penelitian diawali dengan studi literatur mengenai sistem pembangkit pulsa, *DC Boost Converter*, *Capacitor Bank*, MOSFET, *gate driver*, dan *Pulse Width Modulation* (PWM) sebagai dasar perancangan sistem. Selanjutnya dilakukan perancangan rangkaian elektronik dan desain mekanik prototipe, kemudian dilanjutkan dengan proses perakitan menggunakan komponen yang telah ditentukan. Setelah prototipe selesai dibangun, dilakukan serangkaian pengujian untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam menghasilkan pulsa listrik berdaya tinggi serta menganalisis karakteristik keluaran yang dihasilkan.

Tahapan penelitian sesuai dengan Gambar 1 yaitu diawali dengan studi literatur mengenai sistem pembangkit pulsa, boost converter, capacitor bank, MOSFET, gate driver, dan Pulse Width Modulation (PWM). Selanjutnya dilakukan perancangan sistem menggunakan perangkat lunak Proteus untuk simulasi rangkaian serta AutoCAD untuk desain mekanik prototipe.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Tahap implementasi dilakukan dengan merakit empat buah Switch Mode Power Supply (SMPS) 12 V yang dihubungkan dengan empat buah DC Boost Converter sebagai sumber pengisian capacitor bank. Capacitor bank terdiri atas lima kapasitor elektrolit 22 μF /450 V yang disusun paralel sehingga menghasilkan kapasitansi total sebesar 110 μF . Proses pelepasan energi dikendalikan menggunakan MOSFET IRFP250N yang digerakkan oleh gate driver TC4420 dan sinyal PWM.

Setelah proses perakitan selesai, dilakukan pengujian karakteristik sistem menggunakan osiloskop digital dan multimeter. Variasi pengujian dilakukan pada frekuensi 100 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, dan 5000 Hz dengan duty cycle 40%, 50%, dan 60%. Parameter yang diamati meliputi tegangan keluaran, pulse width, periode, rise time, fall time, konsumsi daya, serta kestabilan sistem. Data hasil pengukuran kemudian dianalisis untuk mengevaluasi performa prototipe.

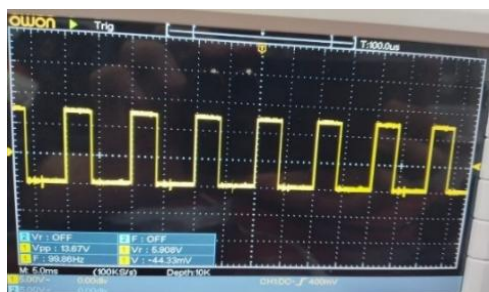
Hasil dan Pembahasan

Prototipe High Power Pulse Generator berhasil direalisasikan menggunakan kombinasi DC Boost Converter, *capacitor bank*, *gate driver* TC4420, dan MOSFET IRFP250N. Sistem yang dirancang mampu meningkatkan tegangan masukan hingga 180 V, menyimpan energi pada *capacitor bank*, kemudian melepaskannya secara cepat melalui mekanisme *switching* MOSFET yang dikendalikan oleh sinyal PWM sehingga menghasilkan pulsa listrik berdaya tinggi sesuai dengan rancangan.

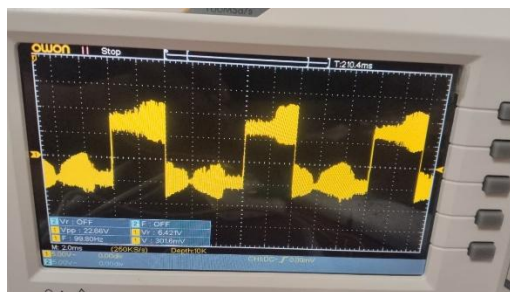
Tabel 1. Rekapitulasi karakteristik pulsa listrik (periode, *pulse width*, *rise time*, *fall time*) pada kondisi tanpa dan dengan MOSFET untuk variasi frekuensi 100–5000 Hz dan *duty cycle* 40–60%

Kondisi	Duty Cycle	Frekuensi	Periode	Pulse Width	Rise Time	Fall Time
Tanpa MOSFET	40%	100 Hz	10.01 ms	4.100 ms	<100 μ s	<100 μ s
		500 Hz	2.003 ms	0.900 ms	<100 μ s	<100 μ s
		1000 Hz	1.001 ms	0.440 ms	<40 μ s	<40 μ s
		5000 Hz	0.200 ms	0.08 ms	<4 μ s	<4 μ s
	50%	100 Hz	10.01 ms	5.100 ms	<100 μ s	<100 μ s
		500 Hz	2.003 ms	1.100 ms	700 μ s	<100 μ s
		1000 Hz	1.001 ms	0.520 ms	<40 μ s	<40 μ s
		5000 Hz	0.201 ms	0.1 ms	<4 μ s	<4 μ s
	60%	100 Hz	10.01 ms	6.100 ms	<100 μ s	<100 μ s
		500 Hz	2.003 ms	1.300 ms	<100 μ s	<100 μ s
		1000 Hz	1.001 ms	0.640 ms	<40 μ s	<40 μ s
		5000 Hz	0.201 ms	0.124 ms	<4 μ s	<8 μ s
Dengan MOSFET	40%	100 Hz	10.02 ms	4 ms	<80 μ s	840 μ s

Kondisi	Duty Cycle	Frekuensi	Periode	Pulse Width	Rise Time	Fall Time
		500 Hz	2.006 ms	0.800 ms	<80 μ s	<40 μ s
		1000 Hz	1.003 ms	0.400 ms	<80 μ s	<80 μ s
		5000 Hz	0.200 ms	0.230 ms	50 μ s	<20 μ s
	50%	100 Hz	10.02 ms	5 ms	<80 μ s	<40 μ s
		500 Hz	2.005 ms	1 ms	520 μ s	<80 μ s
		1000 Hz	1.003 ms	0.520 ms	120 μ s	<40 μ s
		5000 Hz	0.219 ms	0.08 ms	<80 μ s	<40 μ s
	60%	100 Hz	10.02 ms	6 ms	<80 μ s	240 μ s
		500 Hz	2.005 ms	1.160 ms	240 μ s	<40 μ s
		1000 Hz	1.003 ms	0.560 ms	120 μ s	<40 μ s
		5000 Hz	0.206 ms	0.08 ms	120 μ s	<40 μ s



(a) 5ms/div;5V/div



(b) 5ms/div;5V/div

Gambar 2. Perbandingan bentuk sinyal pada frekuensi 100 Hz, duty cycle 40%: (a) sinyal PWM tanpa MOSFET; (b) sinyal keluaran dengan MOSFET

Berdasarkan Tabel 1 dan Gambar 2 menunjukkan bahwa bentuk sinyal PWM yang dihasilkan stabil pada berbagai variasi frekuensi dan duty cycle. Setelah melewati rangkaian gate driver dan MOSFET, bentuk pulsa tetap dapat dipertahankan dengan sedikit perubahan pada rise time dan fall time akibat karakteristik switching komponen. Hasil ini menunjukkan bahwa gate driver TC4420 mampu menggerakkan MOSFET secara efektif sehingga proses switching berlangsung cepat.

Pengujian capacitor bank menunjukkan bahwa proses charging berlangsung mengikuti karakteristik eksponensial hingga mencapai tegangan sekitar 180 V, sedangkan proses discharging menghasilkan pelepasan energi yang sangat cepat sesuai karakteristik sistem pulsed power. Energi yang tersimpan pada capacitor bank kemudian dilepaskan menuju beban sehingga menghasilkan arus impuls yang tinggi.

Berdasarkan hasil pengukuran, sistem mampu menghasilkan arus impuls sebesar 82,5 A dengan peak power mencapai 14,85 kW pada kondisi fall time sebesar 0,24 ms. Sistem juga mampu beroperasi pada rentang frekuensi 100–5000 Hz dengan variasi duty cycle 40%, 50%, dan 60% tanpa mengalami gangguan operasi yang signifikan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa rancangan yang dikembangkan telah memenuhi tujuan penelitian, yaitu menghasilkan High Power Pulse Generator berbasis komponen solid-state yang mampu menghasilkan pulsa berdaya tinggi secara terkendali. Dibandingkan generator pulsa konvensional seperti Marx Generator maupun Pulse Forming Network, sistem yang dikembangkan memiliki konstruksi yang lebih sederhana, biaya lebih rendah, dan lebih mudah direalisasikan untuk kebutuhan eksperimen laboratorium. Meskipun demikian, penelitian ini masih terbatas pada pengujian skala laboratorium (TKT 4), sehingga pengembangan lebih lanjut diperlukan untuk meningkatkan efisiensi sistem, kemampuan operasi pada daya yang lebih besar, serta pengujian pada berbagai jenis beban aplikasi.

Acknowledgements

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Institut Teknologi Kalimantan (ITK), khususnya Program Studi Fisika, Jurusan Sains dan Analitika Data. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Bapak Fadli Robiandi, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing utama dan Ibu Menasita Mayantasari, S.Si., M.T. serta keluarga yang telah memberikan dukungan, motivasi, dan bantuan selama proses penelitian berlangsung.

Referensi

- Adepoju, W. and Sanyaolu, M. (2016) 'Comprehensive analysis and experimental design of high-gain DC–DC boost converter topologies', *International Journal of Engineering Research and Technology*, 5(6), pp. 1–8.
- Chen, L., Li, X., Zhang, B., Yang, W., Jiang, S. and Gu, K. (2020) 'A repetitive high-current pulse generator for high flux electrothermal plasma jets', *Review of Scientific Instruments*, 91(11), 114702.

- Ma, L., Xu, H., Huang, A.Q., Zou, J. and Li, K. (2020) 'IGBT dynamic loss reduction through device-level soft switching', *IEEE Transactions on Power Electronics*, 35(8), pp. 8017–8027.
- Nowak, M., Jakubiuk, K., Kowalak, D., Pikoń, M., Czucha, J. and Jankowski, P. (2022) 'Compact and integrated high-power pulse generation and forming system', *Energies*, 16(15), 5665.
- Prieto, M.A.J., Villegas, P.J., Martin-Ramos, J.A., Diaz, J. and Linera, F.F. (2023) 'Pulse width modulation', in *Encyclopedia of Electrical and Electronic Power Engineering*. Elsevier, pp. 345–358.
- Saiki, T. (2018) 'High-voltage pulse generation based on relaxed self-excited oscillation using electrostatic induction in external capacitors', *Journal of Physics: Conference Series*.
- Sarnago, H., Lucia, O., Naval, A., Burdio, J.M., Guillén, P. and Almacellas, J. (2022) 'A versatile multilevel converter platform for the development of high-power pulsed power applications', *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 10(1), pp. 878–893.