

Generator Pulsa *Spike* Terprogram untuk Pemicu Transduser Ultrasonik

Darmawan Hidayat, Taofik Ismail, Nendi Suhendi Syafei, Bambang Mukti Wibawa

Departemen Teknik Elektro, Fakultas MIPA, Universitas Padjadjaran
Jl. Raya Bandung-Sumedang KM. 21 Jatinangor 45363, Jawa Barat, Indonesia
darmawan.hidayat@unpad.ac.id

Abstrak

Salah satu metode pembangkitan gelombang ultrasonik berbasis piezoelektrik adalah dengan memicu transduser oleh pulsa singkat dan tegangan tinggi. Pulsa ini dapat dibangkitkan dengan pensaklaran (*switching*) tegangan tinggi searah (DC) oleh pulsa penggerak (*drive*). Makalah ini menyajikan perancangan dan fabrikasi generator pulsa-singkat tegangan-tinggi repetitif terprogram dengan berbasis mikrokontroler ATMEGA 128. Pulsa dibangkitkan dari mikrokontroler ATMEGA 128 sehingga interval dan skala repetisi dapat diatur melalui tombol *input*. Parameter-parameter pulsa tersebut ditampilkan pada peraga LCD (*Liquid Crystal Display*) untuk mempermudah pengguna dalam operasional generator. Pulsa dari mikrokontroler diubah menjadi lebar pulsa yang lebih singkat melalui sebuah multivibrator monostabil. Pulsa dari multivibrator selanjutnya diubah menjadi sinyal singkat level +15V sebagai *input* gerbang MOSFET untuk pensaklaran tegangan tinggi DC lalu dikonversi menjadi sinyal *spike* negatif. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pulsa singkat repetitif terprogram dapat dibangkitkan untuk pensaklaran tegangan DC oleh MOSFET. Lebar pulsa sinyal *spike* negatif dibangkitkan hingga 100 ns. Sinyal ini mampu memicu transduser 1 MHz untuk pembangkitan gelombang ultrasonik. Berdasarkan pengujian, dapat disimpulkan bahwa generator dapat membangkitkan sinyal *spike* negatif dengan repetisi yang terprogram dan sesuai dengan frekuensi kerja transduser ultrasonik.

Kata Kunci: generator pulsa, pulsa-singkat, terprogram, mikrokontroler, ultrasonik

Abstract

One of piezoelectric-based ultrasonic wave generation method is by exciting an ultrasonic transducer using a short- and high-voltage electrical pulse. This pulse is may generated by switching a DC high voltage using a pulse-driven switching transistor. This work presents a design and fabrication of a microcontroller-based short- and high-voltage pulse generator. An ATMEGA 128 microcontroller is programmed to generate pulses of which the pulses interval is programmable. The interval time of adjacent pulses is set using a 4-pushbutton as the input interface. In principle, the pulses generated from the microcontroller are converted into shorter pulses by a monostable multivibrator. A Schmitt-trigger circuit converts the TTL of these pulses into +15V for switching a MOSFET circuit in order to pulsating a DC high voltage. A waveform circuit after MOSFET consist of a resistor-diode-capacitor network converts the pulsated DC-high voltage into a negative spike pulse. The test results demonstrated that a programmed repetitive short- and high-voltage pulse is generated and driving the MOSFET switching circuit. A 100-ns width spike pulse is generated to excite a 200 KHz ultrasonic transducer. In conclusion, the spike pulse generator works properly in the generation of an ultrasonic wave.

Keywords: pulse generator, short-pulse, programmed, microcontroller, ultrasonic

I. PENDAHULUAN

Proses pembangkitan gelombang ultrasonik berbasis piezoelektrik dapat dilakukan dengan memicu transduser oleh sinyal listrik dalam bentuk pulsa. Teknik ini memberikan fleksibilitas dalam implementasi dan akusisi sinyal [1]. Sistem tipikal

evaluasi dan pengukuran tak-merusak berbasis gelombang ultrasonik dengan mode *pulse-echo* dan mode transmisi telah dilaporkan pada penelitian sebelumnya [2]. Sistem tipikal ini memiliki tiga komponen elektronik utama yaitu: (1) generator pulsa untuk membangkitkan pulsa dengan pengaturan lebar pulsa dan interval repetisi pulsa; (2)

sumber tegangan tinggi DC untuk menyediakan tegangan tinggi DC sebagai sumber daya bagi transduser pemancar [2], [3]; dan (3) rangkaian penyaklaran (*switching*) yang berfungsi untuk mencacah tegangan tinggi DC kontinu menjadi pulsa-pulsa tegangan tinggi dengan lebar pulsa yang singkat untuk pemicu transduser ultrasonik.

Transduser ultrasonik mengubah pulsa listrik menjadi energi dalam bentuk gelombang akustik. Transduser bervibrasi jika dieksitasi pulsa spike tegangan-tinggi. Pulsa ini dapat dibangkitkan dengan penyaklaran tegangan tinggi searah (DC) oleh pulsa penggerak (*drive*) [4]. Vibrasi tersebut dirambatkan ke objek atau medium uji. Gelombang ultrasonik merambat dalam medium dan terpantul kembali ke transduser. Bahan piezoelektrik di dalam transduser penerima mengubah gelombang ultrasonik yang diterima tersebut menjadi sinyal listrik. Sinyal tersebut selanjutnya dikuatkan, filter dan didigitasi, direkam, dan terakhir ditampilkan pada osiloskop digital atau layar komputer.

Terdapat empat jenis generator ultrasonik yang digunakan untuk pembangkitan gelombang ultrasonik, yaitu: pulsa *spike*, pulsa kotak, pulsa *bipolar tone burst*, dan pulsa *step* [5], [6]. Eksitasi pulsa *spike* banyak digunakan dalam pengujian dan pencitraan berbasis ultrasonik, industri, dan kesehatan. Dengan eksitasi *spike*, transduser memancarkan pulsa singkat yang dapat meningkatkan resolusi spasial pengukuran [7], [8]. Pulsa *spike* dapat digambarkan oleh waktu-singkat (orde waktu mikrosekon hingga nanosekon) dan pita frekuensi lebar (orde megahertz). Pulsa *spike*, $V_i(t)$ dapat dinyatakan dengan persamaan (1) [9].

$$V_i(t) = \begin{cases} 0, & t \leq 0 \\ -V_\infty[1 - e^{-\alpha_1 t}], & 0 \leq t \leq t_0 \\ -V_0 e^{\alpha_2(t-t_0)}, & t \geq t_0 \end{cases} \quad (1)$$

dengan $V_\infty = V_0/(1 - e^{-\alpha_1 t})$. Parameter t_0 , α_1 , α_2 , dan V_0 adalah amplitudo *spike*, karakteristik naik,

dan turun. Beberapa sistem generator pulsa menggunakan pengaturan manual analog dilakukan untuk penentuan parameter pulsa, seperti lebar pulsa dan jarak interval repetitif pulsa [10]. Untuk keperluan pengembangan menjadi generator pulsa secara digital, perlu dikembangkan pembangkitan pulsa secara digital agar memudahkan dalam pengaturan parameter pulsa.

Makalah ini menyajikan perancangan dan fabrikasi generator pulsa-singkat tegangan-tinggi repetitif terprogram berbasis mikrokontroler ATMEGA 128. Parameter pulsa seperti jarak repetisi dan rentang waktu kerja diatur melalui antarmuka tombol tekan. Kinerja generator diuji pada transduser ultrasonik frekuensi 1-MHz dalam mode transmisi.

II. METODE PENELITIAN

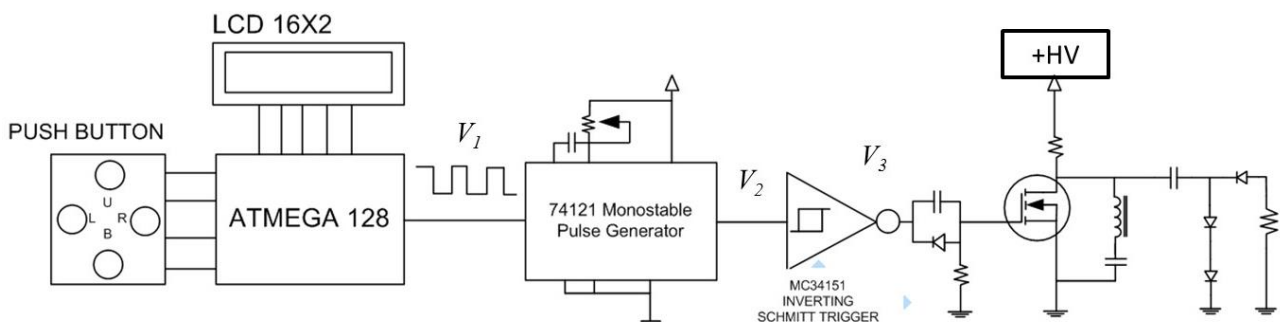
A. Desain Perangkat Keras

Gambar 1 memperlihatkan diagram skematik rangkaian generator pulsa *spike* terprogram. Komponen utama rangkaian adalah pengontrol ATMEGA 128 yang dilengkapi empat *input* saklar tekan (*push button*) dan peraga LCD 16x2.

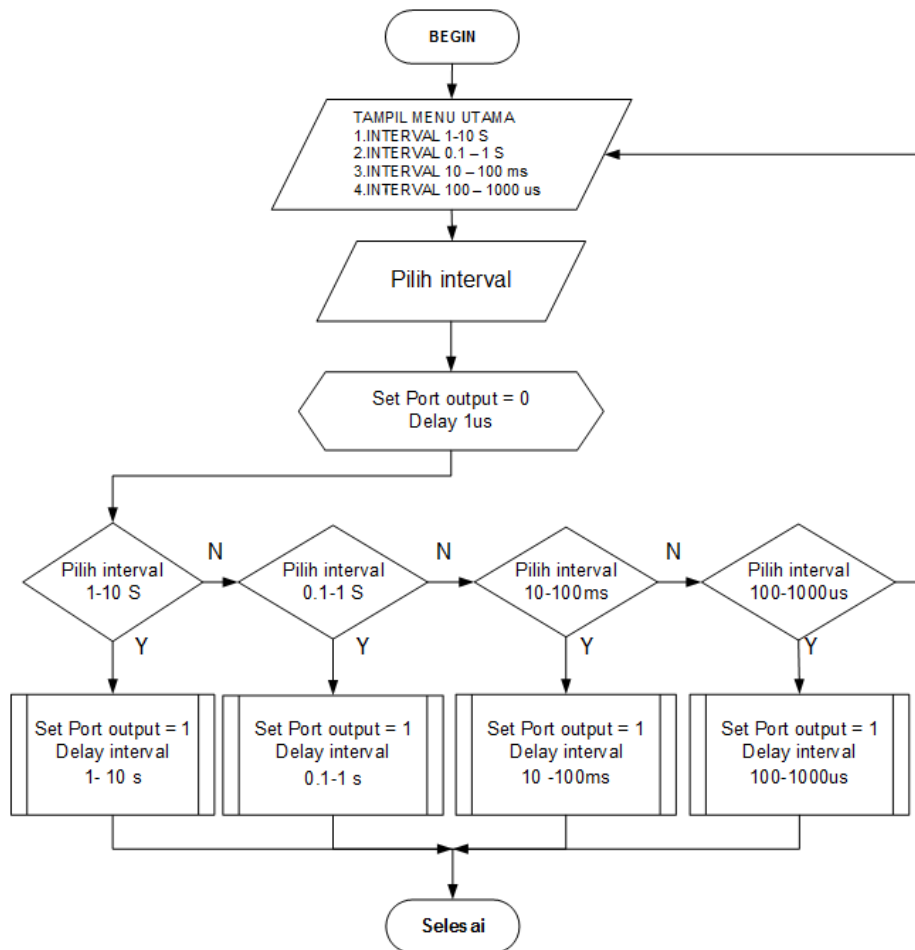
B. Desain Perangkat Lunak

Gambar 2 memperlihatkan diagram alir perangkat lunak untuk pengaturan rentang dan nilai interval antar pulsa. Pertama, program menunggu penekanan tombol U atau D untuk pemilihan satu dari empat rentang interval. Setelah pemilihan rentang tertentu, nilai interval dipilih dengan menekan tombol L dan R untuk turun dan naik. Ada sepuluh nilai interval pada setiap masing-masing rentang interval.

Pembangkitan sinyal pulsa TTL pada ATMEGA 128 dilakukan dengan melakukan operasi *toggle* pada *bit output*. Nilai interval diperoleh dengan operasi *delay* menggunakan *looping*.



Gambar 1. Diagram skematik rangkaian generator pulsa *spike* terprogram berbasis ATMEGA 128



Gambar 2. Diagram alir perangkat lunak

C. Pengujian

Pengontrol ATMEGA 128 membangkitkan sinyal pulsa repetitif. Pengukuran waktu interval pada masing-masing nilai dilakukan dengan menggunakan osiloskop (GW-Instek 2104A). Interval pulsa diukur melalui pengukuran jarak pulsa berdampingan.

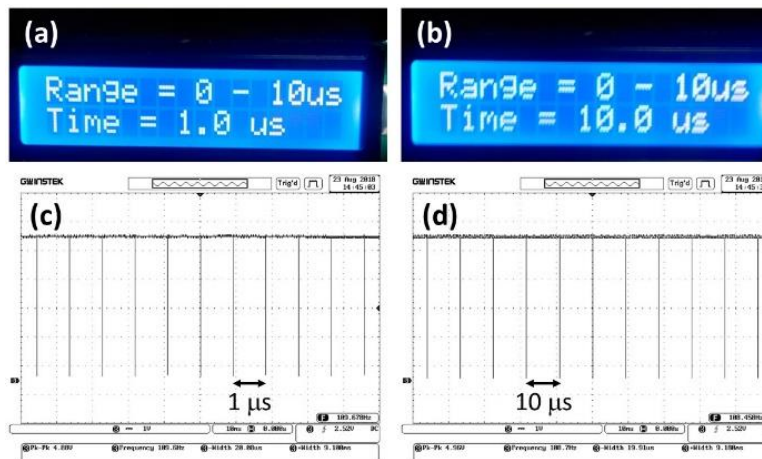
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perangkat generator pulsa ini dibuat dalam empat pilihan rentang interval yaitu 0-10 μ s, 0-1 ms, 0-1 s, dan 0-10 s. Dalam masing-masing rentang, dibuat sepuluh nilai interval. Pemilihan rentang dilakukan dengan tombol **U** untuk rentang turun dan **D** untuk rentang naik. Nilai interval dipilih melalui tombol **L** untuk nilai turun dan **R** untuk nilai naik.

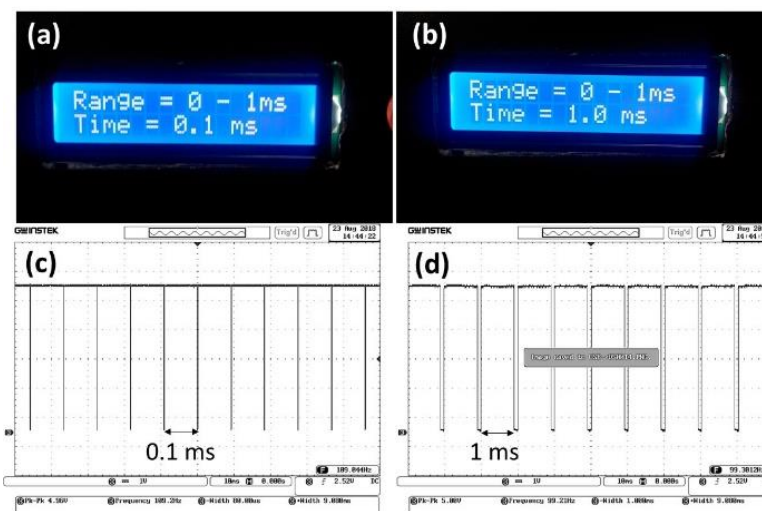
Gambar 3 memperlihatkan bentuk pulsa keluaran dari ATMEGA 128 pada rentang 0-10 μ s dengan pemilihan nilai interval 1 μ s pada Gambar 3(a) dan 10 μ s pada Gambar 3(b). Peraga LCD menampilkan nilai interval 1 μ s pada rentang 0-10 μ s. Jarak interval pulsa berdampingan ditampilkan

pada osiloskop Gambar 3(c) adalah 1 μ s sesuai dengan pemilihan pengaturan. Ketika nilai interval dipilih 10 μ s pada rentang 0-10 μ s, bentuk pulsa yang dibangkitkan dapat dilihat pada osiloskop Gambar 3(d) menghasilkan jarak pulsa berdekatan 10 μ s. Hasil pengujian Gambar 3 menunjukkan bahwa pada rentang interval pendek (cepat), pengontrol ATMEGA membangkitkan pulsa sesuai nilai pengaturan dan sesuai tampilan peraga LCD.

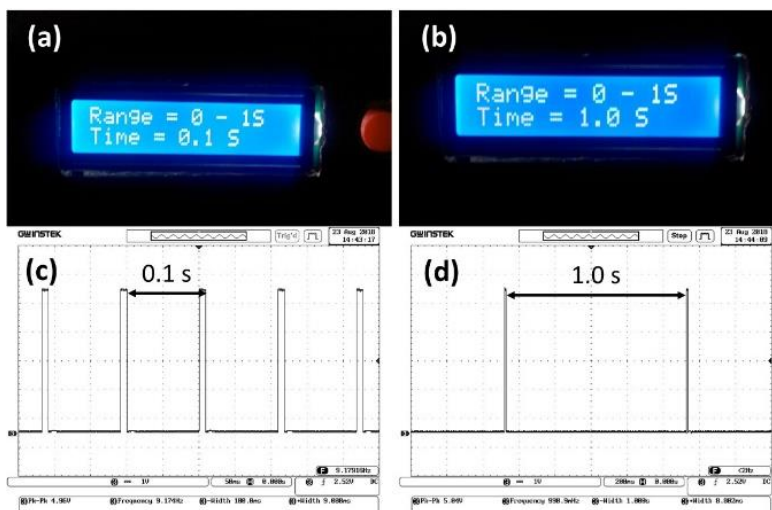
Untuk beberapa aplikasi, diperlukan interval pulsa yang tidak begitu cepat. Untuk itu, perlu dibuat rentang interval dalam orde milisekon. Gambar 4 memperlihatkan pembangkitan pulsa dalam rentang 0-1 ms. Ketika pengaturan nilai interval adalah 0,1 ms seperti Gambar 4(a), jarak pulsa berdekatan tampilan di osiloskop juga terukur sebesar 0,1 ms seperti Gambar 4(c). Begitu juga ketika nilai interval dipilih 1,0 ms, pengukuran osiloskop jarak pulsa berdekatan adalah 1,0 ms seperti Gambar 4(b) dan Gambar 4(d). Hasil ini menunjukkan bahwa program pengontrol ATMEGA 128 berfungsi sesuai dengan rancangan algoritma program.



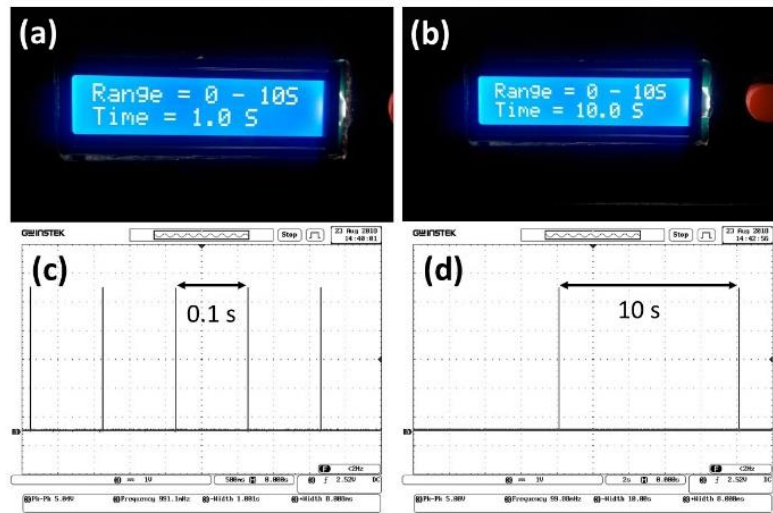
Gambar 3. Pulsa keluaran dari mikrokontroler rentang 0-10 μs: (a) dan (b) tampilan LCD nilai 1 dan 10 μs, (c) dan (d) bentuk pulsa di osiloskop nilai interval 1 dan 10 μs



Gambar 4. Pulsa keluaran dari mikrokontroler rentang 0-1 ms: (a) dan (b) tampilan LCD nilai 0,1 dan 1,0 ms, (c) dan (d) bentuk pulsa di osiloskop nilai interval 0,1 dan 1,0 ms



Gambar 5. Pulsa keluaran dari mikrokontroler rentang 0-1 s: (a) dan (b) tampilan LCD nilai 0,1 dan 1,0 s, (c) dan (d) bentuk pulsa di osiloskop nilai interval 0,1 dan 1,0 s



Gambar 6. Pulsa keluaran dari mikrokontroler rentang 0-10 s: (a) dan (b) tampilan LCD nilai 1 dan 10 s, (c) dan (d) bentuk pulsa di osiloskop nilai interval 1 dan 10 s

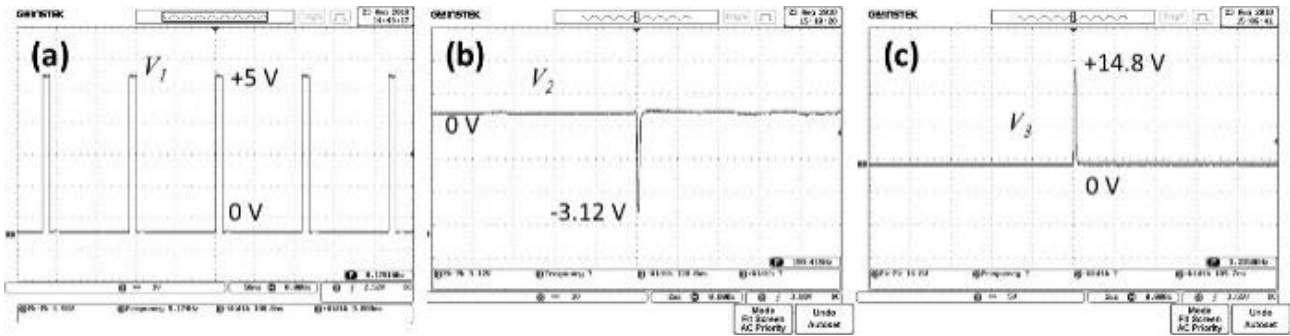
Untuk membangkitkan interval pulsa dalam orde yang lebih lebar (orde sekon), pengontrol menyediakan pilihan pengaturan dalam rentang 0-1 s (Gambar 5). Pembangkitan pulsa dengan jarak interval 0,1 s ditampilkan sesuai tampilan peraga LCD dan hasil pengukuran di osiloskop seperti Gambar 5(a) dan Gambar 5(c). Ketika pengaturan dipilih 1,0 s, jarak antar-pulsa berdekatan juga melebar sebesar 1,0 s seperti Gambar 5(b) dan Gambar 5(d). Hasil ini menunjukkan bahwa pada rentang yang lebih lambat 0-1 s, pengontrol berfungsi sesuai rancangan algoritma.

Untuk jarak interval yang lebih lebar lagi, yaitu 0-10 s, operasi delay diperbesar dengan memperbesar nilai *looping* pada *delay*. Gambar 6 memperlihatkan tampilan LCD dan bentuk pulsa dalam rentang 0-10 s. Pembangkitan pulsa dengan jarak interval berdekatan 0,1 s dilakukan dengan pemilihan nilai 0,1 s pada tampilan LCD, sesuai dengan pengukuran dari osiloskop seperti Gambar 6(a) dan Gambar 6(c). Jarak interval paling lebar yang dapat dibangkitkan adalah 10 sesuai seperti pengukuran jarak pulsa oleh osiloskop seperti Gambar 6(b) dan Gambar 6(d). Hasil ini menunjukkan bahwa untuk nilai interval pulsa lebar, pengontrol ATMEGA 128 berfungsi sesuai algoritma yang dirancang.

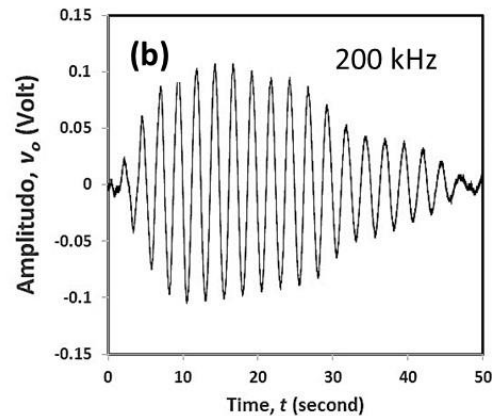
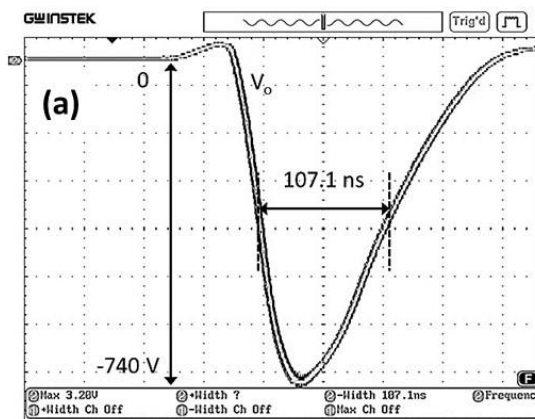
Bentuk pulsa terprogram yang dibangkitkan dari pengontrol ATMEGA adalah level TTL seperti Gambar 7(a). Proses konversi TTL menjadi pulsa

spike dimulai dengan pembentukan sinyal lebar pulsa melalui multivibrator monostabil. Keluaran multivibrator ini adalah pulsa TTL dengan lebar lebih kecil sesuai nilai R dan C yang dipasang pada rangkaian multivibrator monostabil seperti Gambar 7(b). Level tegangan pulsa ini belum cukup kuat untuk mengeksitasi gerbang kaki G pada rangkaian penyaklaran MOSFET yang memerlukan tegangan sekitar +15V. Rangkaian pemacu *Schmitt inverting* mengubah tegangan negatif dari multivibrator menjadi tegangan pulsa +14,8 V seperti Gambar 7(c). Hasil pengujian Gambar 7 menunjukkan bahwa konversi pulsa TTL yang dibangkitkan dari ATMEGA 128 menjadi pulsa picu penyaklaran MOSFET dapat berfungsi sesuai rancangan perangkat keras Gambar 1.

Gambar 8(a) memperlihatkan bentuk pulsa *spike* yang muncul pada resistor beban di Gambar 1. Lebar pulsa adalah sekitar 107,1 ns dengan tegangan -740 V. Pulsa *spike* ini selanjutnya digunakan untuk eksitasi sebuah transduser 200-KHz. Bentuk gelombang ultrasonik yang dibangkitkan akibat eksitasi *spike* ini diperlihatkan pada Gambar 8(b). Terlihat gelombang ultrasonik memiliki karakteristik osilasi teredam. Hasil ini menunjukkan bahwa generator pulsa *spike* berfungsi normal untuk eksitasi transduser dalam pembangkitan gelombang ultrasonik.



Gambar 7. Bentuk sinyal setiap titik: (a) keluaran dari mikrokontroler, (b) keluaran dari multivibrator monostabil dan (c) keluaran dari rangkaian pemicu Schmitt



Gambar 8. Pembangkitan gelombang ultrasonik: (a) bentuk pulsa spike eksitasi dan (b) sinyal gelombang ultrasonik dibangkitkan dari transduser

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian perangkat lunak dan perangkat keras, generator pulsa dapat membangkitkan pulsa dengan jarak interval terprogram. Pengaturan rentang interval dan nilai interval diatur melalui tombol saklar-tekan. Jarak interval dua pulsa berdampingan hasil pengukuran sama dengan nilai tampilan di peraga LCD. Sinyal pulsa *spike* dapat dibangkitkan untuk eksitasi transduser ultrasonik frekuensi 200 KHz yang merupakan kriteria indikator bahwa pulsa telah berfungsi untuk mengeksitasi transduser untuk pembangkitan gelombang ultrasonik. Pembangkitan gelombang ultrasonik dengan frekuensi 200 KHz merupakan indikasi bahwa generator pulsa telah berfungsi normal. Berdasarkan hasil pengujian keseluruhan dapat disimpulkan bahwa generator berfungsi sesuai rancangan dan memenuhi kriteria untuk digunakan sebagai eksitasi transduser ultrasonik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh Kemenristekdikti melalui skim Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi (PTUPT) Universitas Padjadjaran tahun anggaran 2018 dengan No. 1090/UN6.D/LT/2018.

REFERENSI

- [1] L. Svilainis, A. Chaziachmetovas, and V. Dumbraiva, "Half bridge topology 500 V pulser for ultrasonic transducer excitation," *Ultrasonics*, vol. 59, pp. 79-85, 2015.
- [2] D. Hidayat, *et al*, "Fabrikasi Transformator Step-up 1-kV Fasa Tunggal untuk Generator Pemicu Transduser Ultrasonik," *Jurnal Teknologi Rekayasa*, vol. 3, no.1, pp. 11-16, 2018.
- [3] D. Hidayat, *et al*, "MOSFET-based high voltage short pulse generator for ultrasonic transducer excitation," in *The 1st International Conference and Exhibition on Powder Technology Indonesia (ICePTi)*, 2017, pp. 030018: 1-7.
- [4] V. I. Ingale and Y. B. Kale, "Ultrasonic high voltage pulser," *International Journal of Industrial*

- Electronics and Electrical Engineering*, vol. 5, no.7, pp. 111–113, 2017.
- [5] J. Zhou, *et al*, “A Novel Picosecond Pulse Generation Circuit Based on SRD and NLTL,” *Plos One*, vol. 11, no.2, pp. 1–10, 2016.
- [6] D. Campbell, *et al*, “A Compact High Voltage Nanosecond Pulse Generator,” in *Proc. ESA Annual Meeting on Electrostatics*, 2008, pp. 1–12.
- [7] D. I. Zenkov, *et al*, “A ГИИ-1200 high-voltage pulse generator,” *Instruments and Experimental Techniques*, vol. 51, no. 3, pp. 396–400, 2008.
- [8] A. Chaney and R. Sundararajan, “Simple MOSFET-based high-voltage nanosecond pulse circuit,” *IEEE Transactions On Plasma Science*, vol. 32, no. 5, pp. 1919–1924, 2004.
- [9] Q. Han, *et al*, “A high-power ultrasonic pulser-receiver for concrete non- destructive testing,” in *International Conference on Advances in Energy and Environmental Science (ICAEEES 2015)*, 2015, pp. 1176-1180.
- [10] V. V. Rakhi, *et al*, “Design of Microcontroller Based Multi-Frequency Ultrasonic Pulser Receiver,” *Int. Journal of Engineering Research and Applications*, vol. 6, no. 2, pp. 55-58, 2016.

