

# **Ultrasonic Cleaner Berbasis Field Programable Gate Array (FPGA)**

Achmad Zubair <sup>\*1</sup>, Andani Achmad<sup>1</sup>, Faizal Arya Samman<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknik Elektro, Fakultas Teknik,

Universitas Hasanuddin Makassar

Jl. Perintis Kemerdekaan Km. 10, Tamalanrea Indah, Makassar,

\*Email: achkmadzubair@gmail.com

## **Abstrak**

Pada penelitian ini dibuat pembangkit pulsa ultrasonik dengan menggunakan teknologi *FPGA* dengan type *chip Altera Cyclone IV EP4CE22F17C6N*. Pembangkit pulsa ultrasonik sangat diperlukan untuk inspeksi tak merusak menggunakan karena memiliki kelebihan jika dibandingkan dengan sumber radiasi lain, diantaranya: portable (bisa dibawa ke mana-mana), bahaya radiasi kecil, harga relatif murah, lebih banyak data fisis yang diperoleh, dan penggunaan energi pencatu daya kecil. Tinggi pulsa dan frekuensi gelombang ultrasonik yang diradiasikan pada obyek disesuaikan dengan material yang di radiasi. Pada medium gas diperlukan tegangan pulsa 20 volt, sedangkan untuk material padat ketinggian pulsa pembangkit ultrasonik hingga 350 volt. Lebar pulsa ultrasonik dibangkitkan melalui bahasa pemrograman *assembly* mikrokontroler tersebut. Pulsa keluaran dikuatkan menggunakan *IC Optocoupler* agar memperoleh taraf arus yang cukup untuk memicu rangkaian MOSFET IRF832. Rangkaian saklar MOSFET digunakan untuk membangkitkan pulsa tegangan tinggi dan tegangan keluarannya dapat divariasikan dari resistor yang dipasang pada kaki Drain. Dari penelitian yang dilakukan diperoleh variasi lebar pulsa yang dapat diatur melalui prosedur pemrograman tunda dengan frekuensi keluaran 33 KHz – 48 KHz. Dari hasil pengujian kestabilan pulsa diperoleh nilai kestabilan 99,89% pada lebar 1 us dan 99,07 % pada lebar pulsa 250 ns. Tegangan tinggi pulsa dapat diatur dari 36,8 volt hingga 354,8 volt melalui resistor Drain (RD) dari MOSFET IRF832 yang digunakan. Nilai *resitansi* dari resistor RD yang digunakan tersebut berada pada kisaran 10Ω hingga 470kΩ. Pulsa yang dihasilkan pada rangkaian tersebut dapat menembus material padat yang digunakan sebagai bahan uji.

## **Abstract**

In this research, ultrasonic pulse generator is generated using *FPGA* technology with *Altera Cyclone IV EP4CE22F17C6N* chip type. Ultrasonic pulse generators are indispensable for non-destructive inspection uses because they have advantages compared to other radiation sources, including: portable, small radiation hazard, low relative price, more physical data obtained, and energy use Small power supply. Tinggi pulses and ultrasonic wave frequencies radiated on the object adapted to the material in the radiation. In the gas medium required 20 volt pulse voltage, while for the solid material of ultrasonic generator pulse height up to 350 volts. The width of the ultrasonic pulse is generated through the programming language of the microcontroller assembly. The output pulse is amplified using *IC Optocoupler* to obtain sufficient current level to trigger the IRF832 MOSFET circuit. The MOSFET switch circuit is used to generate high voltage pulses and the output voltage can be varied from resistors mounted on drain feet. From the research, the variation of pulse width can be arranged through delayed programming procedure with output frequency 33 KHz - 48 KHz. From the results of testing the stability of the pulse stability value obtained 99.89% in width 1 us and 99.07% at 250 ns pulse width. High-voltage pulses can be adjusted from 36.8 volts to 354.8 volts through the Drain (RD) resistors of the IRF832 MOSFETs used. The resistor value of the used RD resistor is in the range of 10Ω to 470kΩ. The pulses generated in the circuit can penetrate the solid material used as the test material.

**Kata-kunci:** *FPGA, Ultrasonic, Frekuensi, Mosfet, Transducer*

## **1. Pendahuluan**

Gelombang ultrasonik dapat menembus material padat, cair dan gas. Kecepatan gelombang ultrasonik memiliki kaitan erat dengan besaran fisis dari partikel yang dilalui,

diantaranya: jarak, jenis partikel, temperatur, porositas, retakan, modulus elastisitas, modulus young, modulus bulk, dan lain-lain [1,6] Oleh karena itu pengukuran parameter fisis gelombang ultrasonik dapat dilakukan tanpa merusak obyek



dan memberikan manfaat yang besar terhadap kehidupan sehari-hari.

Pada masa sekarang, metode pengukuran ini disebut dengan *NDT (Non-Destructive Test)* dan *NDE (Non-Destructive Evaluation)* [2]. Pada aplikasi *NDT* dan *NDE*, gelombang ultrasonik memiliki beberapa kelebihan jika dibandingkan dengan sumber radiasi lain diantara: *portable* (bisa dibawa ke mana-mana), bahaya radiasi kecil, harga relatif murah, banyak data fisis yang diperoleh, dan penggunaan energi pencatudaya kecil.

Frekuensi gelombang ultrasonik pada media gas sekitar 40 KHz, pada penggunaan intensitas tinggi (*macrosonic*) dan aplikasi di bawah air (*underwater acoustic*) biasanya memiliki kisaran puluhan kilohertz hingga ratusan kilohertz, sedangkan pada aplikasi medis dan uji material, biasanya menggunakan frekuensi 1 megahertz hingga puluhan megahertz. Bentuk gelombang ultrasonik dapat berupa pulsa (*pulse wave*) atau gelombang kontinyu (*continuous wave*) yang disesuaikan dengan metoda pengukuran yang dilakukan. Tigggi pulsa gelombang ultrasonik untuk *NDT* dan *NDE* disesuaikan dengan material yang di radiasi. Misalnya pada medium gas diperlukan tegangan pulsa 20 Vpp, sedangkan untuk material padat, pulsa ultrasonik hingga 350 V [3]. Gelombang ultrasonik merupakan gelombang akustik frekuensi tinggi yang tidak mampu didengar oleh telinga manusia. Pada sistem elektronik, gelombang ultrasonik pada umumnya dibangkitkan melalui kristal tipis yang bersifat piezoelektrik. Bahan tersebut bersifat seperti kapasitor dengan konstanta dielektrik tertentu yang memiliki perbedaan muatan listrik dalam lapisannya [4]. Pada keadaan setimbang, total permukaan searah sumbu-y adalah nol. Kemudian pada kristal tersebut diberikan gaya searah sumbu-x ( $F_x$ ). Maka pada kedua permukaan sejajar sumbu-y terjadi perubahan muatan [5].

Pada dasarnya ultrasonik adalah gelombang suara yang memiliki frekuensi di atas batas pendengaran manusia. Frekuensi batas pendengaran manusia berbeda-beda untuk setiap orang. Namun pada umumnya frekuensi bataspendengaran manusia adalah dari 20 Hz –

20 kHz. Dan gelombang ultrasonik memiliki frekuensi lebih dari 20 kHz. Sampai saat ini, frekuensi gelombang ultrasonik telah mencapai 1 GHz dan jika melebihi frekuensi 1 GHz maka disebut hypersonic

Dalam buku [7] menyebutkan setidaknya ada dua fitur unik yang dimiliki oleh gelombang ultrasonik : Gelombang ultrasonik merambat lebih pelan 100000 kali daripada gelombang elektromagnetik. Hal ini memudahkan untuk memperoleh informasi waktu, variabel delay , dan lain-lainnya pada saat gelombang ultrasonik merambat. Gelombang ultrasonik mudah masuk melewati bahan yang tidak bias dilewati oleh cahaya. Karena gelombang ultrasonik cukup murah, sensitif dan reliabel maka dapat dimanfaatkan untuk mengetahui bentuk gambar topografi dari bahan yang tidak tembus

Pada umumnya sebuah system yang menggunakan *ultrasonic cleaner* membutuhkan dua komponen dasar utama yaitu *ultrasonic generator* dan *transducers*. Ultrasonic generator dipakai untuk membangkitkan sinyal listrik dengan frekuensi di atas 20 KHz sampai dengan 1 GHz dan power tertentu sesuai dengan kebutuhan. Dan *transducers* dipakai untuk mengubah sinyal listrik dari ultrasonik generator menjadi gelombang mekanik. *Transducers* memiliki jenis yang berbeda-beda, tergantung dari aplikasinya. Dengan demikian *transducers* yang dipakai untuk welding akan berbeda dengan *transducers* untuk cutting, dan pastinya berbeda dengan *transducers* untuk keperluan cleaner baik frekuensi maupun *power driver* yang akan diberikan *transducers ultrasonik* diperlukan untuk merubah energi listrik tegangan bolak-balik menjadi gelombang ultrasonik. Secara umum ada dua jenis tipe *transducers ultrasonik* yaitu *magneto restrictive* dan *piezoelectric*.

Dalam sistem pembersihan dengan *ultrasound*, yang melakukan pekerjaan menghilangkan kontaminan dan menjaga Mereka jauh dari substrat (biasanya dengan bantuan kimia) adalah dua fenomena propagasi Suara dengan intensitas tinggi: Cavitation dan momentum transfer. Perilaku makroskopis fenomena ini dalam proses pembersihan [8] adalah dispersi, erosi dan gelembung



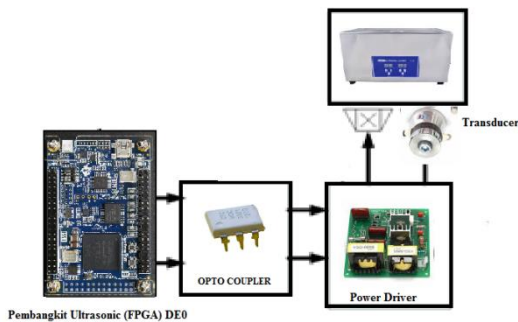
Beberapa lain yang berhubungan dengan sistem ultrasonic cleaner adalah penelitian yang berhasil dapat menghasilkan *inverter ultrasonic* dengan efisiensi tinggi yang bisa menggerakkan reaktor kavitasi akustik dengan daya 2 kW frekuensi kerja 10 KHz dan 100 kHz [9] dan pada penelitian [10] menghasilkan pembangkit gelombang *ultrasonic* dengan menggunakan mikrokontroler At-Tinny 2313.

**2. Deskripsi Permasalahan**

Mengingat sistem *ultrasonic cleaner* cakupannya sangat luas dan setting point besaran frekuensi yang berbeda menurut fungsinya masing-masing, maka penulis akan melakukan penelitian dengan batasan-batasan sebagai berikut :

1. Perancangan pembangkit gelombang *ultrasonic* yang dibangkitkan hanya dibatasi pada frekuensi 37 KHz sampai dengan 44 KHz dengan mode pemilihan menggunakan selector switch
2. *Power driver output* maksimum sebesar 100 Watt.

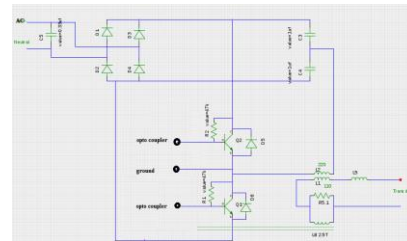
**3. Hasil Perancangan**



**Gambar 1. Perancangan Sistem**

Pada Gambar 1 terlihat rancangan sistem keseluruhan yang terdiri atas FPGA sebagai komponen pembangkit frekuensi *Optocoupler* sebagai *interface* dengan power driver serta 2 buah *transducer ultrasonic* 40 KHz dengan masing masing daya 50 Watt. Sistem yang dirancang terdiri dari beberapa bagian yaitu perancangan *hardware* (perangkat keras) maupun *software* (perangkat lunak). Secara umum diagram blok sistem *ultrasonic cleaner* terlihat seperti pada Gambar 1 Bagian utama dari

ultrasonic generator adalah Sebuah FPGA dengan menggunakan *chip Altera Cyclone IV EP4CE22F17C6N* pada *DE0-Nano Board*.

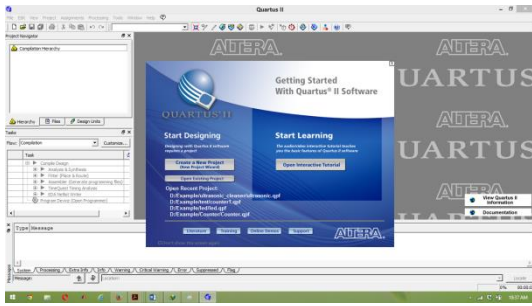


**Gambar 2. Perancangan power driver ultrasonic cleaner**

Pada Gambar 2 terlihat schematics diagram dari power driver *ultrasonic cleaner* dimana transistor MJE 13007 sebagai penggerak saklar untuk tegangan tingginya bagian lainnya adalah transformator arus dan transformator frekuensi yang menghasilkan tingkat penguat yang akan menghasilkan tegangan dan arus serta frekuensi yang dibutuhkan oleh beban selanjutnya bagian yang lain adalah sebuah transducer yang terbuat dari bahan *piezoelectric*

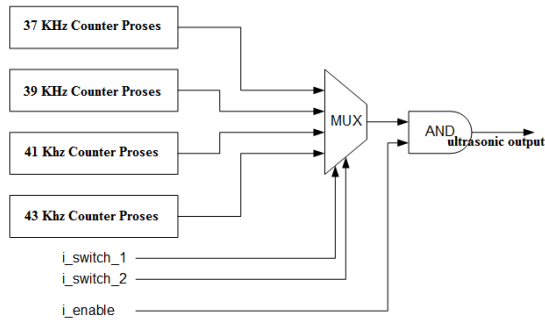
Selanjutnya rancangan sistem adalah peancangan software pembangkit sinyal *ultrasonic cleaner* yang menggunakan *software* quartus. Quartus merupakan sebuah *software* yang digunakan untuk membuat simulasi rangkaian logika secara digital dengan memanfaatkan bahasa deskripsi yaitu VHDL ataupun Verilog. Sebenarnya tidak hanya Quartus yang dapat digunakan untuk membuat simulasi rangkaian logika digital, namun ada beberapa *software* lain yang dapat digunakan, contohnya adalah Xilinx, Multisim, Model-Sim dan sebagainya. Quartus sendiri merupakan software yang dibuat oleh sebuah perusahaan yang bernama Altera (dapat diakses [www.altera.com](http://www.altera.com) untuk infomasi lebih mendalam). Pada praktikum teknik digital ini software Quartus 2 versi 11.1 (Gambar 3) yang akan digunakan. Melalui *software* Quartus ini, nantinya hasil pengkodean dapat di*load* ke dalam FPGA agar dapat dilihat hasilnya secara fisik atau *real*.





Gambar 3. Tampilan software quartus ver 11

Terlihat Pada Gambar 4 perancangan software yang berbasis hardware yang biasa disebut HDL (*Hardware Description Language*) mempunyai input frekuensi yang berbeda tergantung kebutuhan dan dikendalikan oleh beberapa switch yang merupakan pengendali bit yang akan ditampilkan



Gambar 4. Perancangan software

Berikut ditampilkan potongan program Quartus (VHDL):

```
library ieee;
use ieee.std_logic_1164.all;
use ieee.numeric_std.all;
entity ultrasonic is
port (
    i_clock : in std_logic;
    i_enable : in std_logic;
    i_switch_1 : in std_logic;
    i_switch_2 : in std_logic;
    i_switch_3 : in std_logic;
    o_led_drive : out std_logic
);
end ultrasonic;
architecture rtl of ultrasonic is
-- Rumus Formula:
-- Formula is: (25) MHz / 100 Hz * 50% duty cycle)
-- So for 100 Hz: 25,000,000 / 100 * 0.5 = 125,000
constant c_CNT_37KHZ : natural := 676;
constant c_CNT_38KHZ : natural := 658;
constant c_CNT_39KHZ : natural := 641;
constant c_CNT_40KHZ : natural := 625;
constant c_CNT_41KHZ : natural := 610;
constant c_CNT_42KHZ : natural := 595;
constant c_CNT_43KHZ : natural := 581;
constant c_CNT_44KHZ : natural := 568;
```

-- These signals will be the counters:

```
signal r_CNT_37KHZ: natural range 0 to c_CNT_37KHZ;
signal r_CNT_38KHZ : natural range 0 to c_CNT_38KHZ;
signal r_CNT_39KHZ : natural range 0 to c_CNT_39KHZ;
signal r_CNT_40KHZ : natural range 0 to c_CNT_40KHZ;
signal r_CNT_41KHZ : natural range 0 to c_CNT_41KHZ;
signal r_CNT_42KHZ : natural range 0 to c_CNT_42KHZ;
signal r_CNT_43KHZ : natural range 0 to c_CNT_43KHZ;
signal r_CNT_44KHZ : natural range 0 to c_CNT_43KHZ;
```

-- These signals will toggle at the frequencies needed:

```
signal r_TOGGLE_37KHZ : std_logic := '0';
signal r_TOGGLE_38KHZ : std_logic := '0';
signal r_TOGGLE_39KHZ : std_logic := '0';
signal r_TOGGLE_40KHZ : std_logic := '0';
signal r_TOGGLE_41KHZ : std_logic := '0';
signal r_TOGGLE_42KHZ : std_logic := '0';
signal r_TOGGLE_43KHZ : std_logic := '0';
signal r_TOGGLE_44KHZ : std_logic := '0';
-- One bit select wire.
```

```
signal w_LED_SELECT : std_logic;
signal temp: std_logic_vector(0 to 7);
begin
p_37_KHZ : process (i_clock) is
begin
if rising_edge(i_clock) then
f_r_CNT_37KHZ = c_CNT_37KHZ-1 then -- -1,
r_TOGGLE_37KHZ <= not r_TOGGLE_37KHZ;
r_CNT_37KHZ <= 0;
else
r_CNT_37KHZ <= r_CNT_37KHZ + 1;
end if;
end if;
end process p_37_KHZ;
```

```
p_38_KHZ : process (i_clock) is
begin
if rising_edge(i_clock) then
if r_CNT_38KHZ = c_CNT_38KHZ-1 then -- -1
r_TOGGLE_38KHZ <= not r_TOGGLE_38KHZ;
r_CNT_38KHZ <= 0;
else
r_CNT_38KHZ <= r_CNT_38KHZ + 1;
end if;
end if;
end process p_38_KHZ;
```

```
-- Create a multiplexor based on switch inputs
w_LED_SELECT <= r_TOGGLE_37KHZ when (i_switch_1 = '0' and
i_switch_2 = '0' and i_switch_3 = '0') else
r_TOGGLE_38KHZ when (i_switch_1 = '1' and i_switch_2 = '0' and
i_switch_3 = '0') else
r_TOGGLE_39KHZ when (i_switch_1 = '0' and i_switch_2 = '1' and
i_switch_3 = '0') else
r_TOGGLE_40KHZ when (i_switch_1 = '1' and i_switch_2 = '1' and
i_switch_3 = '0') else
r_TOGGLE_41KHZ when (i_switch_1 = '0' and i_switch_2 = '0' and
i_switch_3 = '1') else
r_TOGGLE_42KHZ when (i_switch_1 = '1' and i_switch_2 = '0' and
i_switch_3 = '1') else
r_TOGGLE_43KHZ when (i_switch_1 = '0' and i_switch_2 = '1' and
i_switch_3 = '1') else
--);
o_led_drive <= w_LED_SELECT and i_enable;
end rtl;
```

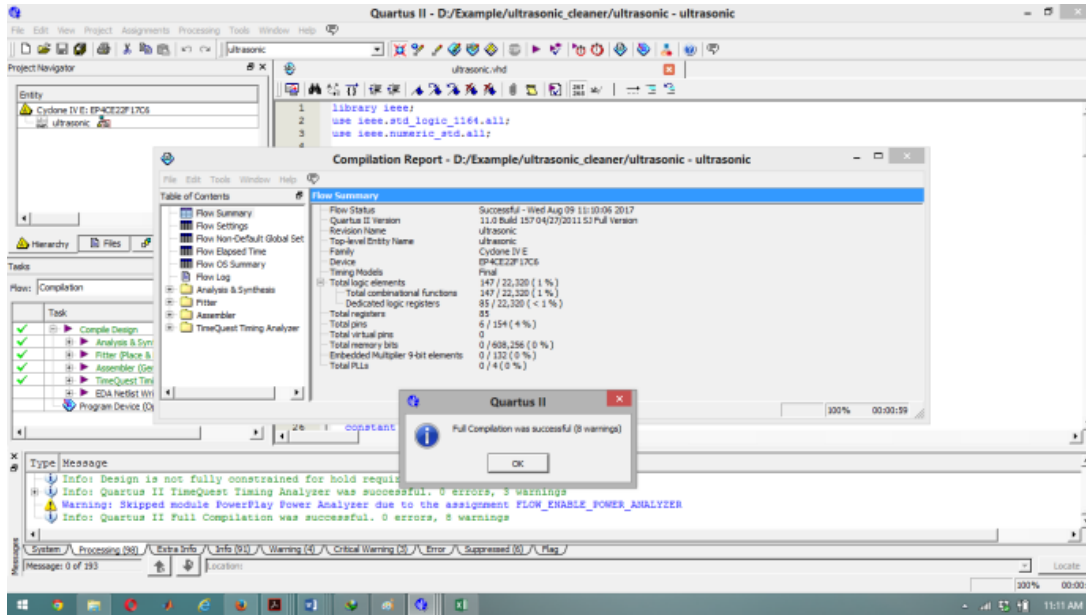
#### 4. Hasil Simulasi

Pengujian sistem pembangkit sinyal ultrasonik berbasis FPGA dengan menggunakan



metode pembagian 1/2 duty cycle dari frekuensi crystal yang digunakan FPGA atau menggunakan rumus 1/2 frekuensi FPGA / frekuensi yang diinginkan x 0.5 = hasil frekuensi untuk mengamati hasil penelitian dibutuhkan alat sebagai berikut :

1. Oscilloscope Digital merk Gws Instek G05 1102A
2. Multimeter merk Sanwa Type CD800a



Gambar 5. Hasil Compile VHDL

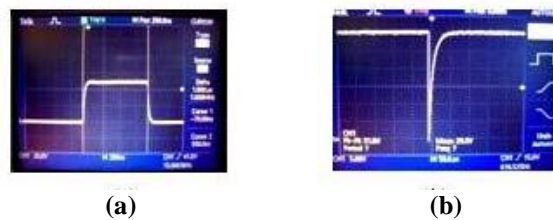
Hasil Compile menggunakan FPGA cyclone IVE dan processor EP4CE22F17C6 maka terdapat elemet logic 147 dan 85 logic register dan memory bit 0 / 608,256 ( 0 % ) sesuai dengan Gambar 5. Dari hasil perancangan Pembangkit sinyal maka didapatkan sesuai dengan gambar sesuai Tabel 1 berikut :

Tabel 1. Pengukuran frekuensi

Crystal/ Natural (KHz)	Output Freq (KHz)	Duty Cycle	Formula	Hasil Pengukuran	
				Oscilo scope	Multi meter
50	37	0.5	675.7	36.98	36.97
50	38	0.5	657.9	37.99	38.99
50	39	0.5	641.0	39.01	38.99
50	40	0.5	625.0	39.99	39.99
50	41	0.5	609.8	40.98	40.97
50	42	0.5	595.2	42.16	42.02
50	43	0.5	581.4	43.08	43.02
50	44	0.5	568.2	44.15	44

Hasil penelitian yang dilakukan diperoleh variasi lebar pulsa yang dapat diatur melalui prosedur pemrograman tunda dengan frekuensi keluaran 33 KHz – 48 KHz. Dari hasil pengujian

kestabilan pulsa diperoleh nilai kestabilan 99,89% pada lebar 1 nS dan 99,07 % pada lebar pulsa 250 nS. Tegangan tinggi pulsa hasil dapat dilihat pada Oscilloscope sesuai Gambar 6.



Gambar 6. Bentuk Pulsa Eksitasi FPGA(a) Keluaran Penguat Pulsa IRF840(b)

### 5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan analisa yang telah dilakukan, disimpulkan bahwa sistem ultrasonic cleaner dapat bekerja dengan baik untuk membersihkan material terutama benda padat seperti besi, emas, baja untuk material yang berbentuk kain belum optimal karena timbulnya panas berlebihan, Ultrasonic ini bekerja cukup baik dikisaran 10 menit saja.



Saran pada penelitian ini adalah dibutuhkan rancangan power driver yang lebih handal yang dapat bekerja secara optimal dan lebih hemat konsumsi daya.

### Referensi

- [1] Deidda, G.P., and Ranieri, G., 2006. Seismic tomography imaging of an unstable embankment, *Journal of Engineering Geology*. Volume 82, Issue 1, Pages 32-42.
- [2] Krautkammer J. And Krautkammer. H.1990. *Ultrasonic testing of material*. Spangell Verlag. New York
- [3] Rahim, R. A., et al., 2007. Non-invasive imaging of liquid/gas flow using ultrasonic transmission-mode tomography. *Sensors and Actuators A*, vol. 135, pp. 337-345
- [4] McDicken, W.M, 1990. *Diagnostic Ultrasonic, Principles and uses of Instrument*. Willey and Sons, New York.
- [5] Fraden, J., 1996. *Handbook of Modern Sensors : Physics Designs, and Applications*. Thermoscan, Inc, California.
- [6] Rose, L.J., 1999. *Ultrasonic Wave in Solid Media*, Cambridge University Press, Boston.
- [7] Cheeke, J. David N. 2002. *Fundamentals and Applications of Ultrasonic Waves*. CRC Press
- [8] Agbossou, Kodjo, & Dion, Jean-Luc, & Carignan, Sylvain, & Abdelkrim, Meftah, & Cheriti, Ahmed. (2000). Class D Amplifier for a Power Piezoelectric Load. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency*
- [9] Fuchs, F. John. *Ultrasonic Cleaning: Fundamental Theory and Application*. Blackstone Ultrasonic
- [10] Sukarno, 2010 *Ultrasonic Generator dengan Frekuensi 100 Khz dan Daya 100 Watt menggunakan Mikrokontroler AVR Attiny 2313*.

