

Pengaruh Nilai *Heart Rate* terhadap *Duty Cycle* pada Pengujian Alat *Fetal Simulator* Berbasis Arduino

Diah Rahayu Ningtias , Imam Tri Harsoyo, dan Andika Aulia

Program Studi Elektro Medik, Akademi Teknik Elektro Medik Semarang

Jalan Kol Warsito Soegiarto KM 2,5 Semarang 50222

Info Artikel

Sejarah Artikel:

Diterima:
4 Maret 2021

Disetujui:
15 September 2021

Dipublikasikan:
13 Oktober 2021

Keywords:
fetal simulator, heart rate, duty cycle, phantom

ABSTRAK

Fetal simulator merupakan phantom sekaligus kalibrator yang digunakan untuk kegiatan kalibrasi *fetal doppler*, yang bekerja sebagai pengganti detak jantung janin. *Fetal simulator* pada umumnya menggunakan *relay* sebagai generator sinyal. Kecepatan posisi on dan off *relay* yang dimodifikasi untuk menghasilkan rentang frekuensi yang dapat dialirkan ke jantung janin di jaringan lunak yang terdeteksi oleh *fetal doppler*. *Fetal simulator* dibuat menggunakan oli trafo untuk meredam noise. Sebagai alat uji untuk mengetahui keakuratan dan kestabilan nilai *heart rate fetal simulator* digunakan alat *fetal doppler* tipe ultrasonic pocket doppler Sonotrax merk EDAN yang sudah dikalibrasi. *Fetal simulator* disetting pada nilai *heart rate* secara berturut turut yaitu 30 bpm, 60 bpm, 80 bpm, 90 bpm, 120 bpm, 150 bpm, 180 bpm, 210 bpm dan 240 bpm. Rata rata error pada alat *fetal simulator* adalah 0,082 bpm, dengan demikian dapat dinyatakan alat memiliki akurasi dan kestabilan tinggi. Nilai *duty cycle* didapatkan dengan menghubungkan generator penghasil pulsa *heart rate* pada osiloskop. Berdasarkan pengamatan yang telah dilakukan, dalam satu gelombang periode mati *relay* yang didapatkan semakin berkurang seiring bertambahnya nilai *heart rate*. Hal ini dikarenakan terjadi pergeseran periode mati *relay* namun periode hidup *relay* cenderung tetap, sehingga didapatkan nilai *duty cycle* yang berbeda-beda.

ABSTRACT

Fetal simulator is a phantom as well as a calibrator that is used to calibrate the fetal doppler, which works as a substitute for the fetal heart rate. Fetal simulators generally use a relay as a signal generator. The speed of opening and closing of the relay is modified to produce a range of frequencies that can be supplied to the fetal heart in soft tissue as detected by the fetal doppler. Fetal simulator is made using transformer oil to reduce noise. As a test tool to determine the accuracy and stability of the fetal heart rate simulator value is to use a fetal doppler type ultrasonic pocket doppler EDAN brand that has been calibrated. Fetal simulator is set at the heart rate value, respectively, namely 30 bpm, 60 bpm, 80 bpm, 90 bpm, 120 bpm, 150 bpm, 180 bpm, 210 bpm and 240 bpm. The average error in the fetal simulator is 0.082 bpm, thus it can be stated that the tool has high accuracy and stability. The duty cycle value is obtained by connecting the heart rate pulse generator to the oscilloscope. Based on the observations that have been made, in one wave the relay dead period that is obtained decreases as the heart rate increases. This is because there is a shift in the relay dead period, but the relay's life period tends to be constant, so that the different duty cycle values are obtained.

 Alamat korespondensi:
Program Studi Elektro Medik, Akademi Teknik Elektro Medik Semarang
E-mail: diahrahayu@atemsemarang.ac.id

PENDAHULUAN

Pemantauan gerakan janin dalam kandungan merupakan kegiatan yang sangat penting dilakukan untuk menghindari beberapa kondisi kritis seperti gawat janin, disfungsi plasenta, hambatan pertumbuhan janin dan hipoksia (Ghosh dkk., 2020). Alat yang digunakan untuk memonitoring tersebut adalah *fetal doppler* yang dalam penggunaannya dipengaruhi oleh kinerja, stabilitas keluaran nilai yang tertera dan pemeliharaan secara berkala dalam proses kalibrasi (Khalil & Thilaganathan, 2017). *Fetal simulator* merupakan *phantom* sekaligus kalibrator yang digunakan untuk kegiatan uji keakuratan *fetal doppler*, yang bekerja sebagai pengganti detak jantung janin. (Akoma dkk., 2015).

Kecanggihan *fetal simulator* dapat dilihat pada fitur-fitur yang digunakan dalam pembuatannya, diantaranya yaitu penambahan *Artificial Intelligence* (AI) berbasis mikrokontroler menggunakan algoritma yang dapat mengubah konsep dan mekanisme yang digunakan. *Platform* yang digunakan adalah Arduino, yaitu sistem serbaguna mikrokontroler yang dapat memperkuat fungsinya di luar antarmuka pasif sederhana dari akuisisi data. Arduino juga dapat dioperasikan secara independen untuk mengontrol banyak sistem, termasuk didalamnya adalah untuk melakukan kontrol *setting* nilai *heart rate*. Kekurangan sistem ini adalah penggunaan AI yang tidak fleksibel untuk digunakan di klinik kesehatan dengan fasilitas kurang memadai (Rodrigo dkk., 2020). Pada umumnya, nilai *heart rate* pada *fetal simulator* dihasilkan menggunakan *relay* sebagai generator sinyal. Untuk kontrol sumber tegangan, generator sinyal dan komponen lainnya menggunakan mikrokontroler PIC, sedangkan penguat *common emitter* sebagai penggerak *relay*. Namun metode ini menyebabkan *noise*, yaitu suara lain yang terdengar (*noise*). *Noise* pada pemeriksaan mengakibatkan kesalahan diagnosa, karena frekuensi yang dihasilkan tidak sesuai dengan frekuensi jantung janin (Mert dkk., 2015).

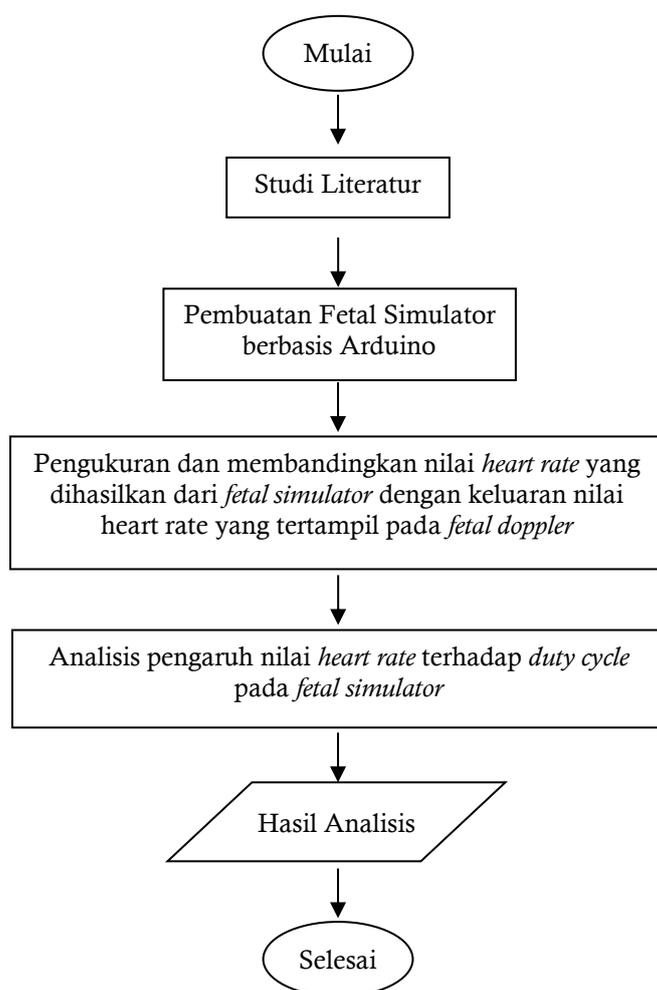
Noise dapat dihilangkan menggunakan pemrograman algoritma yang mencakup metode denoising adaptif, namun tidak semua algoritma dapat diproses dalam pemrogramannya dikarenakan pada metode ini hanya memanfaatkan penggunaan data yang telah dikumpulkan sebelumnya atau tidak didasarkan pada pendekatan data sebenarnya. Hal ini mengakibatkan nilai *heart rate* yang dihasilkan kurang akurat dan fetal simulator sulit untuk dioperasikan (Bibbo dkk., 2020). Keakuratan nilai *heart rate* didapatkan dengan melakukan uji karakteristik sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) pada fetal simulator menggunakan osiloskop. Sinyal PWM tersebut menggambarkan modulasi getaran secara kontinu yang menghasilkan siklus on dan off relay (*duty cycle*) (Nugroho dkk., 2018).

Duty cycle merupakan metode dimana suatu sistem aktif (on) pada waktu tertentu, kemudian terdapat waktu dimana sistem mati (off) pada waktu tertentu lalu kembali aktif dan hal tersebut terus berulang. Pada perancangan alat *fetal simulator*, nilai *duty cycle* dapat diketahui dengan menganalisis sinyal PWM dan ditunjukkan dalam persen (%) (Janko & Lustrek, 2018). Karakteristik sinyal PWM pada *fetal simulator* dipengaruhi oleh spesifikasi *relay* yang digunakan, yaitu pada kestabilan getaran yang dihasilkannya. Getaran *relay* menghasilkan suatu periode gelombang dengan siklus on off dengan perbandingan antara siklus on dan off yang berbeda. Perbedaan siklus on maupun off *relay* dapat ditentukan dengan *setting* nilai *heart rate*, yang merepresentasikan banyaknya getaran *relay* tiap menit atau *beat per minute* (bpm) (Zaatri & Kelaiaia, 2020).

Keakuratan nilai *heart rate* dapat diketahui melalui hasil perhitungan sinyal pada osiloskop yaitu nilai periode, frekuensi dan *duty cycle* (Guzner & Macken, 2021). Berdasarkan kekurangan beberapa hal tersebut, maka dilakukan pembuatan fetal simulator dengan menggunakan relay dilengkapi oli trafo sebagai peredam untuk meminimalisir noise yang ada. Untuk mengetahui fetal simulator yang dirancang memiliki keakuratan yang tinggi, maka dilakukan pengujian pada masing masing setting *heart rate* menggunakan osiloskop dan dianalisa. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh setting *heart rate* pada sinyal PWM terhadap *duty cycle* yang dihasilkan.

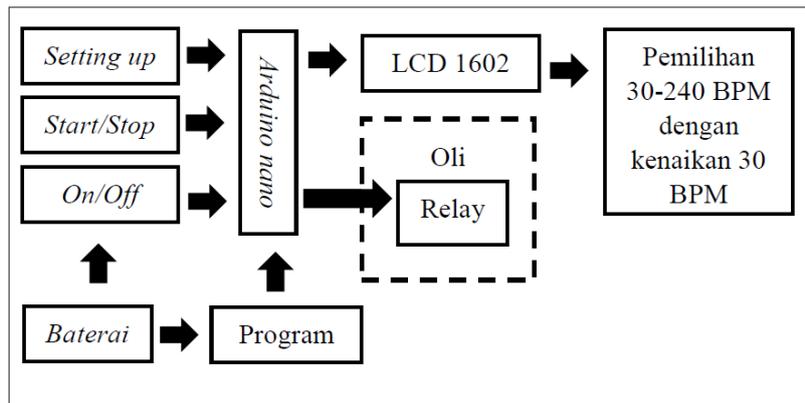
METODE

Penelitian ini menggunakan alat *fetal simulator* berbasis arduino yang dibuat di Laboratorium Medik Akademi Teknik Elektro Medik Semarang. Pada alat ini menggunakan *relay* sebagai generator untuk menghasilkan pulsa *heart rate* (bpm). *Fetal simulator* yang dibuat menggunakan oli trafo untuk meredam noise suara. Alat uji yang digunakan untuk mengetahui keakuratan nilai *heart rate fetal simulator* ini adalah *fetal doppler* tipe ultrasonic pocket doppler Sonotrax merk EDAN yang sudah dikalibrasi. Variabel terikat pada penelitian ini adalah nilai *heart rate* yang disetting pada *fetal simulator*, sementara variabel bebas atau yang diamati adalah *duty cycle* yang dihasilkan. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



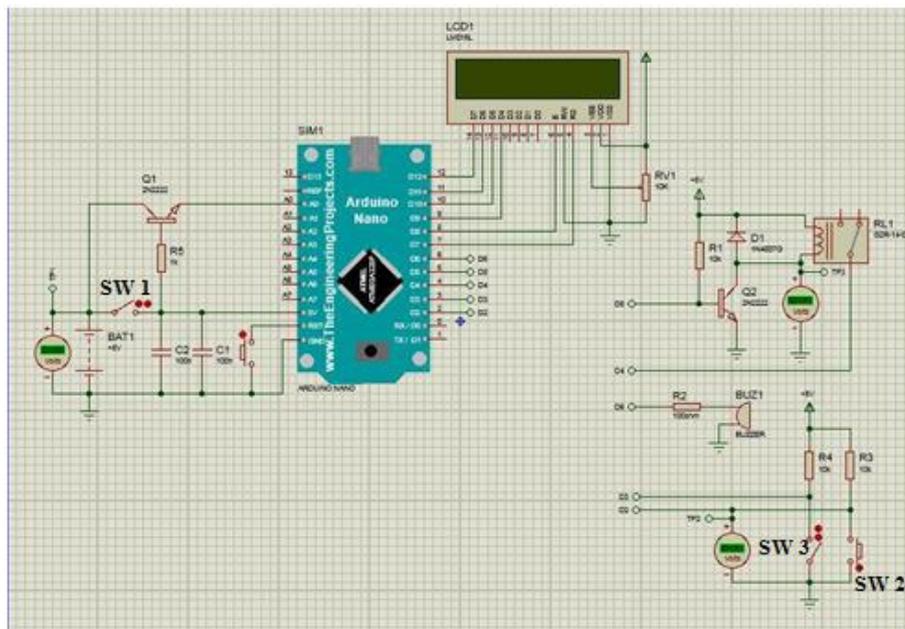
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan melakukan studi literatur terkait pembuatan *fetal simulator* yang tidak menghasilkan suara bising ketika dioperasikan. *Fetal simulator* ini menggunakan arduino nano sebagai sistem kontrol, *relay* model SRD dengan keluaran 5 V DC sebagai generator sinyal *heart rate* dan oli trafo untuk meredam noise yang dihasilkan dari gerakan *relay* ketika alat dioperasikan. Blok diagram alat *fetal simulator* berbasis arduino dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Blok Diagram *Fetal simulator* Berbasis Arduino

Berdasarkan Gambar 3, suplai tegangan didapatkan dari baterai yang kemudian dialirkan ke Arduino Nano melewati *switch* 1 (SW 1). SW 1 pada rangkaian berfungsi untuk memutus dan mengalirkan tegangan dari baterai ke Arduino sebagai sistem kontrol. Arduino diprogram untuk mengontrol keluaran berupa tampilan pada LCD, kerja *relay* dan tombol *setting* lainnya. *Setting* nilai *heart rate* dapat dilakukan dengan menghubungkan SW 2 dan untuk menetapkan nilai *heart rate* yang telah dipilih yaitu dengan menghubungkan SW 3.



Gambar 3. Rangkaian Alat *Fetal simulator* Berbasis Arduino

Fetal simulator disetting pada nilai *heart rate* secara berturut turut yaitu 30 bpm, 60 bpm, 80 bpm, 90 bpm, 120 bpm, 150 bpm, 180 bpm, 210 bpm dan 240 bpm. Untuk mengetahui konsistensi sebaran datanya, dilakukan pengulangan sebanyak 5 kali pada masing masing titik *setting*. Kemudian dilakukan analisis untuk mengetahui simpangan dan nilai *error* dari data yang didapatkan. Akurasi kinerja *fetal simulator* dilakukan dengan membandingkan keluaran nilai *heart rate* nya dengan hasil

pembacaan nilai *heart rate* pada *fetal doppler* yang telah dikalibrasi. Toleransi nilai *heart rate* yang diperbolehkan adalah $\pm 5\%$ dari nilai *setting* (Nadhirotussolikah dkk., 2020).

Selain melakukan analisis akurasi kinerja *fetal simulator*, dilakukan juga pengambilan data dari sinyal PWM yang dihasilkan menggunakan osiloskop. Melalui sinyal PWM tersebut, diketahui frekuensi pada sinyal. Nilai frekuensi yang dihasilkan menentukan detak jantung janin (bpm), diketahui menggunakan Persamaan 1.

$$\text{heart rate} = 60 \cdot f \quad (1)$$

di mana f mengacu pada sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*) yang dihasilkan dalam Hz. Frekuensi yang didapatkan mengontrol hidup dan mati komponen *relay* (Sipayung dkk., 2018).

Pada sinyal PWM juga dapat merepresentasikan *duty cycle*, yaitu rasio yang didapatkan antara lebar sinyal saat *relay* hidup dengan periode modulasi. Dengan mengetahui *duty cycle* maka dapat dihitung rasio siklus kerja *relay* (Akkas dkk., 2015). *Duty cycle* dapat diketahui melalui Persamaan 2.

$$D = \frac{T_{on}}{T_{on}+T_{off}} \times 100\% \quad (2)$$

dimana T_{on} merupakan periode saat *relay* hidup (*high*), T_{off} merupakan periode saat *relay* mati (*low*) dan D merupakan *duty cycle* (rasio lamanya saat *relay* hidup) (I.S & Hartono, 2018).

Nilai *duty cycle* didapatkan dengan menghubungkan generator penghasil pulsa *heart rate* pada osiloskop. Kutub positif (probe merah) pada osiloskop dihubungkan pada positif generator, sedangkan kutub negatif (probe hitam) dihubungkan pada negatif generator. Pada osiloskop, nilai *duty cycle* dapat dilihat melalui siklus sinyal PWM yang tampak. Data yang didapatkan kemudian dianalisis menggunakan *Microsoft Excel* untuk mengetahui pengaruh nilai *heart rate* terhadap *duty cycle* yang ditampilkan pada *fetal simulator*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan ketentuan dari Metode Kerja Pengujian dan atau Kalibrasi Alat Kesehatan yang digunakan oleh Balai Pengujian Fasilitas Kesehatan (BPFK) atau Institusi Pengujian Fasilitas Kesehatan, nilai toleransi untuk menentukan keakuratan setting *heart rate fetal doppler* adalah $\pm 5\%$ dari titik setting fetal simulator (Saguni, 2018). Hasil perbandingan setting nilai *heart rate* pada fetal simulator dengan keluaran nilai *heart rate* pada fetal doppler didapatkan tingkat keakuratan yang tinggi, berdasarkan data yang diperoleh untuk masing masing setting *heart rate* masih dalam nilai toleransi yang diterima yaitu $\pm 5\%$ kecuali pada setting *heart rate* 80 bpm dengan error terbesar dan hasil *heart rate* tidak masuk rentang toleransi yang telah ditentukan. Nilai toleransi diketahui melalui Persamaan 3 (Nadhirotussolikah dkk., 2020).

$$\text{toleransi} = \text{titik setting} \times (\pm 5\%) \quad (3)$$

Titik *setting* merupakan pengaturan nilai pada alat yang diatur dalam hal ini adalah *fetal simulator*, sebagai contoh apabila titik *setting* yang diatur adalah 60 bpm maka perhitungannya menjadi:

$$\begin{aligned} \text{toleransi} &= [60 \text{ bpm} \pm (60 \times (\pm 5\%))] \\ &= 60 \text{ bpm} \pm 3 \text{ bpm} \\ &= > 57 \text{ bpm} \text{ atau } < 63 \text{ bpm} \end{aligned}$$

Setting fetal simulator 60 bpm nilai toleransinya adalah rentang 57 sampai dengan 63 bpm. Setting 60 bpm bisa dinyatakan akurat dikarenakan keluaran *heart rate fetal doppler* tidak lebih dari batas toleransi yang telah ditentukan. Hal ini juga digunakan pada perhitungan nilai toleransi untuk setting 80 bpm, 90 bpm, 120 bpm, 150 bpm, 180 bpm, 210 bpm dan 240 bpm sehingga didapatkan nilai nilai yang tercantum pada Tabel 1 kolom toleransi $\pm 5\%$.

Tabel 1. Nilai *heart rate* (bpm) pada *fetal simulator* dan *fetal doppler*

No	Heart rate (bpm)						\bar{x}	Toleransi $\pm 5\%$	Error
	Fetal simulator		Fetal doppler						
1	30	-	-	-	-	-	-	-	-
2	60	60	60	60	60	60	60	3	0
3	80	75	76	75	75	76	75.4	4	0.57
4	90	90	90	90	90	90	90	4.5	0
5	120	120	120	120	120	119	119.8	6	0.17
6	150	150	150	150	150	150	150	7.5	0
7	180	180	180	180	180	180	180	9	0
8	210	210	210	210	210	210	210	10.5	0
9	240	240	240	240	240	240	240	12	0
Rata rata standar error									0.082

Berdasarkan Tabel 1, nilai keluaran *heart rate* pada *fetal doppler* untuk setting 30 bpm tidak muncul. Hal ini dikarenakan rentang *heart rate* yang mampu dibaca pada spesifikasi alat *ultrasonic pocket doppler Sonotrax EDAN* adalah 50 bpm sampai dengan 240 bpm (Wangjing; dkk., 2016). Rata rata error pada alat *fetal simulator* adalah 0,082 bpm, dengan demikian dapat dinyatakan alat memiliki akurasi dan kestabilan tinggi. Standar deviasi dan standar error didapatkan menggunakan perhitungan pada Persamaan 4 (Lee dkk., 2015).

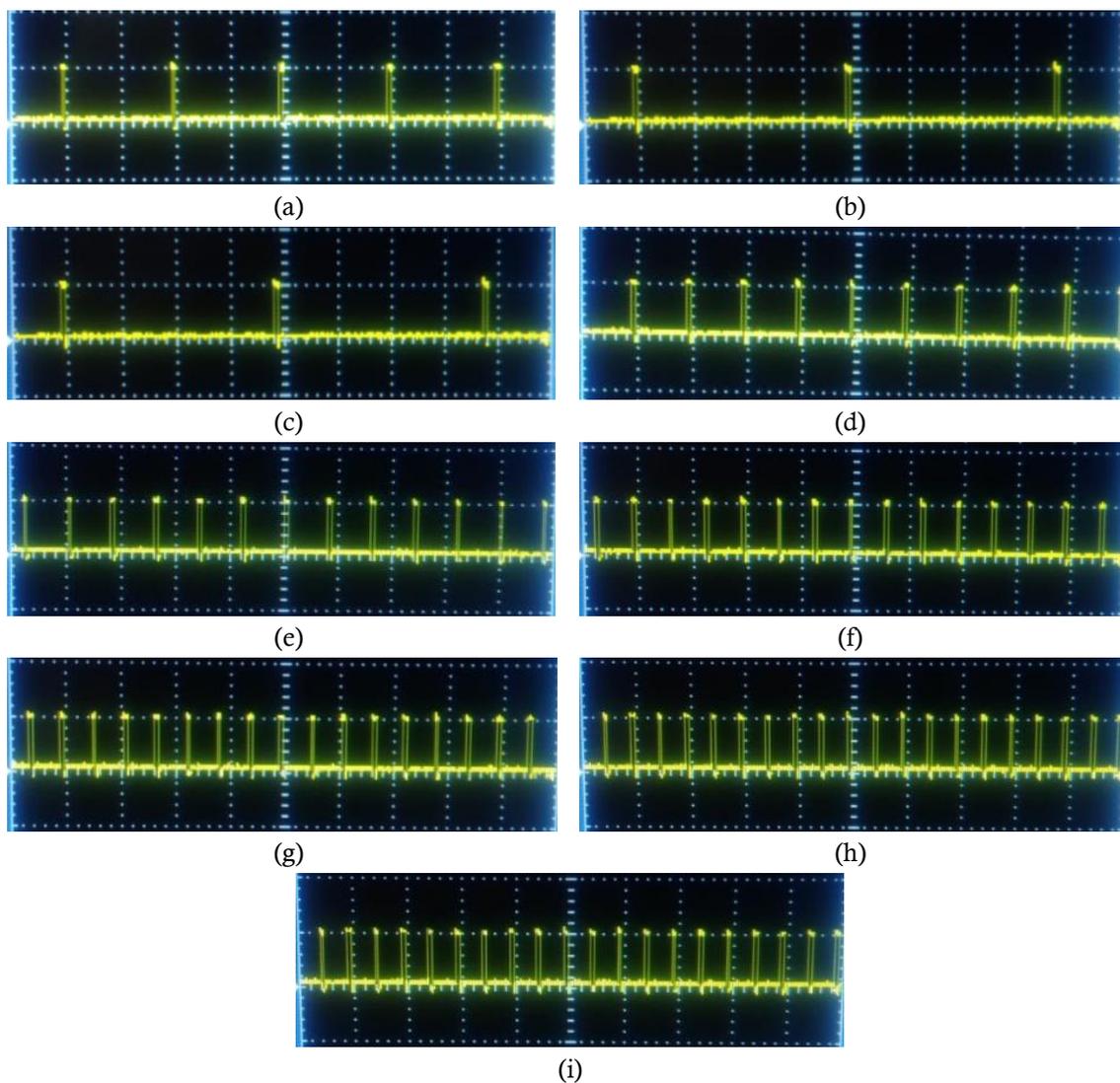
$$\text{standar deviasi} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{2(n-1)}}$$

$$\text{standar error} = \frac{\text{standar deviasi}}{\sqrt{n}} \tag{4}$$

d_i didapatkan dari nilai setting pada *fetal simulator*, \bar{d} didapatkan dari rata rata keluaran data *fetal doppler* dengan 5 kali pengambilan data, dan n merupakan jumlah pengulangan pengambilan data pada masing masing setting *fetal simulator*. Sinyal keluaran *heart rate* (bpm) pada *fetal simulator* yang diuji menggunakan osiloskop dapat dilihat pada Gambar 3.

Pada hasil pengukuran menggunakan osiloskop, didapatkan nilai *duty cycle* yang berbeda beda dikarenakan nilai setting heart rate fetal simulator yang berbeda. Hal ini mengakibatkan nilai siklus off relay mengalami pergeseran, yang mana semakin pendek siklus off relay dalam satu periode maka semakin tinggi nilai *duty cycle* yang didapatkan. Apabila terjadi pergeseran siklus off (mati relay) yang tidak konstan (tetap) pada setiap periode dalam satu sinyal PWM, maka nilai setting heart rate tersebut tidak akurat. Gambar 3 (a) yaitu setting 30 bpm, didapatkan nilai *duty cycle* sebesar 1.74% dan siklus off (mati relay) sebesar 98,26%. Pada Gambar 3 (b) yaitu setting 60 bpm, didapatkan nilai *duty cycle* sebesar 3,42% dan siklus off (mati relay) sebesar 96,58%. Pada Gambar 3 (c) yaitu setting 80 bpm, didapatkan nilai *duty cycle* sebesar 4,50% dan siklus off (mati relay) sebesar 95,5%. Pada Gambar 3 (d)

yaitu setting 90 bpm, didapatkan nilai *duty cycle* sebesar 5,13% dan siklus off (mati relay) sebesar 94,87%. Pada Gambar 3 (e) yaitu setting 120 bpm, didapatkan nilai *duty cycle* sebesar 6,88% dan siklus off (mati relay) sebesar 93,12%. Pada Gambar 3 (f) yaitu setting 150 bpm, didapatkan nilai *duty cycle* sebesar 9,08% dan siklus off (mati relay) sebesar 90,92%. Pada Gambar 3 (g) yaitu setting 180 bpm, didapatkan nilai *duty cycle* sebesar 10,29% dan siklus off (mati relay) sebesar 89,71%. Pada Gambar 3 (h) yaitu setting 210 bpm, didapatkan nilai *duty cycle* sebesar 12,02% dan siklus off (mati relay) sebesar 87,98%. Pada Gambar 3 (i) yaitu setting 240 bpm, didapatkan nilai *duty cycle* sebesar 13,62% dan siklus off (mati relay) sebesar 86,38%.



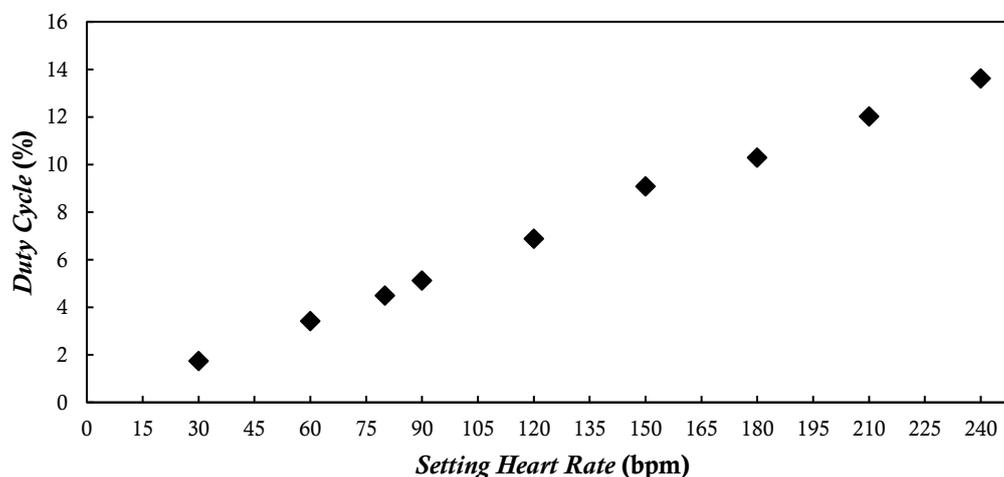
Gambar 3. Keluaran sinyal PWM pada setting *heart rate fetal simulator* untuk (a) 30 bpm; (b) 60 bpm; (c) 80 bpm; (d) 90 bpm; (e) 120 bpm; (f) 150; (g) 180 bpm; (h) 210 bpm; (i) 240 bpm

Selain itu, gelombang PWM yang didapatkan juga bisa dilihat besarnya frekuensi untuk masing masing *setting heart rate* sehingga dapat digunakan sebagai acuan tingkat keakurasian *fetal simulator*. Keakurasian tersebut dapat diketahui dengan cara mengkonfirmasi nilai *heart rate* terhadap periode dan *duty cycle* yang didapatkan. Nilai konversi yang didapatkan, kemudian dibandingkan kembali dengan *setting heart rate*.

Tabel 2. Hasil pembacaan *fetal simulator* pada osiloskop

No	<i>Heart rate</i> (bpm)	Frekuensi (Hz)	Periode (sekon)	<i>Duty cycle</i> (%)	Konfirmasi	
					Nilai <i>Heart rate</i> (bpm)	<i>Error</i>
1	30	0,51	1,96	1,74	30,61	0,02
2	60	1	1	3,42	60	0
3	80	1,25	0,8	4,50	75	0,06
4	90	1,51	0,66	5,13	90,9	0,01
5	120	2,01	0,49	6,88	122,4	0,02
6	150	2,51	0,39	9,08	153,84	0,02
7	180	3,01	0,33	10,29	181,8	0,01
8	210	3,52	0,28	12,02	214,28	0,02
9	240	4	0,25	13,62	240	0

Berdasarkan Tabel 2, sinyal PWM yang dihasilkan oleh masing masing setting heart rate pada fetal simulator memiliki *duty cycle* yang berbeda beda. Dalam 1 gelombang, rasio on dan off relay dipengaruhi oleh periode yang memiliki nilai berbeda pada masing masing setting heart rate. Dalam satu gelombang, terdiri dari siklus hidup relay (on) dan siklus mati relay (off). Berdasarkan pengamatan yang telah dilakukan, dalam satu gelombang periode mati relay yang didapatkan semakin berkurang seiring bertambahnya nilai heart rate. Nilai *duty cycle* yang berbeda beda pada tiap setting heart rate terjadi mengakibatkan pergeseran nilai siklus mati relay namun siklus hidup relay cenderung tetap (Febriandi & Riyadi, 2018). Nilai *duty cycle* yang berbeda tersebut berasal getaran relay yang bergerak secara kontinu. Nilai tersebut dapat dilihat melalui gambar sinyal PWM dimana lebar siklus off (mati relay) semakin besar seiring dengan bertambahnya nilai *duty cycle* yang dihasilkan. Pengaruh setting heart rate terhadap *duty cycle* pada relay, ditunjukkan pada Gambar 4.

Gambar 4. Grafik hubungan nilai *heart rate* terhadap *duty cycle*

Pada relay yang digunakan sebagai generator pulsa *heart rate fetal simulator* berbasis arduino yang dibuat, semakin besar setting *heart rate* maka nilai *duty cycle* juga semakin tinggi. Hal ini mengakibatkan nilai periode dalam 1 gelombang pada tiap setting *heart rate* semakin kecil, maka nilai frekuensi semakin besar. Dengan mengetahui periode, frekuensi dan nilai *duty cycle* maka dapat dikonfirmasi bahwa setting *heart rate* pada alat *fetal simulator* berbasis Arduino yang dibuat telah akurat.

SIMPULAN

Nilai *heart rate* semakin besar menghasilkan nilai *duty cycle* yang semakin tinggi. Pergeseran periode off pada relay tiap gelombang yang dihasilkan mempengaruhi nilai *heart rate*.

REFERENSI

- Akkas, O., Azari, D. P., Chen, C. E., Hu, Y. H., Ulin, S. S., Armstrong, T. J., Rempel, D., Radwin, R. G., Akkas, O., Azari, D. P., Chen, C. E., Hu, Y. H., Sheryl, S., Armstrong, T. J., Rempel, D., & Radwin, R. G, 2015, A Hand Speed – Duty Cycle Equation for Estimating the ACGIH Hand Activity Level Rating, *Ergonomics*, 58(2), 184–194.
- Akoma, U. N., Shumard, K. M., Street, L., Brost, B. C., & Nitsche, J. F, 2015, Impact of an Inexpensive Anatomy- Based Fetal Pig Simulator on Obstetric, *Journal of Ultrasound in Medicine*, 1793–1799.
- Bibbo, D., Klinkovsky, T., Penhaker, M., Kudrna, P., Peter, L., Augustynek, M., Kubicek, J., Selamat, A., Cerny, M., & Bielicik, D, 2020, A New Approach for Testing Fetal Heart Rate Monitors, *Sensore*, 20 (4139).
- Febriandi, T. W., & Riyadi, S, 2018, Pengaturan Kecepatan Motor Switched Reluctance dengan Konverter Asymmetric pada Mode Magnetizing dan Demagnetizing, *Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol Dan Otomasi (SNIKO)*, 10–11.
- Ghosh, A. K., Burniston, S. F., Krentzel, D., Roy, A., Sheikh, A. S., Siddiq, T., Mai, P., & Trinh, P, 2020, A Novel Fetal Movement Simulator for the Performance Evaluation of Vibration Sensors for Wearable Fetal Movement Monitors, *Sensors*, 20.
- Guzner, A., & Macken, M, 2021, The Relationship Between Duty Cycle, Tachycardia Threshold and Autostimulation Delivery in Cardio-Responsive Vagus Nerve Stimulation, *Journal Epilepsy & Behavior*, 116.
- I.S, R., & Hartono, 2018, Rancang Bangun Pulse Width Modulation (PWM) sebagai Pengatur Kecepatan Motor DC Berbasis Mikrokontroler Arduino, *Jurnal Penelitian*, 3(1), 50–58.
- Janko, V., & Lustrek, M, 2018, Choosing Duty-Cycle Parameters for Context Recognition, *14th International Conference on Intelligent Environments (IE)*.
- Khalil, A., & Thilaganathan, B, 2017, Role of Uteroplacental and Fetal Doppler in Identifying Fetal Growth Restriction at Term. *Best Pract Res Clin Obstet Gynaecol*, 38, 38–47.
- Lee, D. K., Lee, S., & Junyong In, 2015, Standard Deviation and Standard Error of the Mean, *Korean Journal of Anesthesiology*, 68(3), 220–223.
- Mert, A., Sezdi, M., & Akan, A, 2015, A test and simulation device for Doppler-based fetal heart rate monitoring, *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 23, 1187–1194.
- Nadhirotussolikah, A., Pudji, A., & Mak, M. R, 2020, Fetal Doppler Simulator Based on Arduino, *Journal of Electronics, Electromedical, and Medical Informatics*, 2(1), 28–32.
- Nugroho, A., Santoso, G., & Kristiyana, S, 2018, Rancang Bangun Detektor Arrythmia Menggunakan Teknologi Selular Berbasis GPS, *Jurnal Elektrikal*, 5(2), 72–83.
- Rodrigo, B. L. R., Marcelo, A. M., & Anderson, A. S, 2020, Maternal-Fetal Simulator, *Global Clinical Engineering Journal*, 3(1), 2019–2021.
- Saguni, A, 2018, *Metode Kerja Pengujian dan Kalibrasi Alat Kesehatan*, 70, 103 – 105.
- Sipayung, F. H., Ramadhani, K. N., & Arifianto, A, 2018, Pengukuran Detak Jantung Menggunakan Metode Fotopletismograf Pendahuluan Studi Terkait, *e-Proceeding of Engineering*, 5(2), 3664–3670.
- Wangjing, Liuxiaoqian, Huangdong, Wangliwei, & Jiwei, 2016, *User Manual Sonotrax Series Ultrasonic Pocket Doppler Version 1.2* (p. 68), EDAN INSTRUMENTS, INC.

Zaatri, A., & Kelaiaia, R, 2020, Generation of PWM Based on Simple Relay Feedback Systems, *Electrical and Mechanical Engineering*, 12, 15–34.