



UNIVERSITAS PERTAHANAN REPUBLIK INDONESIA

**PENGUKURAN *RATE OF FIRE* (ROF)
BERBASIS ALGORITMA DETEKSI PUNCAK
DARI SINYAL SUARA PENEMBAKAN**

MUHAMMAD SAUDARA SEMESTA

NIM. 120200403005

Tesis yang Ditulis untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
dalam Mendapatkan Gelar Magister Pertahanan

**FAKULTAS TEKNOLOGI PERTAHANAN
PROGRAM STUDI TEKNOLOGI PERSENJATAAN**

BOGOR

2022



UNIVERSITAS PERTAHANAN REPUBLIK INDONESIA

**PENGUKURAN *RATE OF FIRE* (ROF)
BERBASIS ALGORITMA DETEKSI PUNCAK
DARI SINYAL SUARA PENEMBAKAN**

MUHAMMAD SAUDARA SEMESTA

NIM. 120200403005

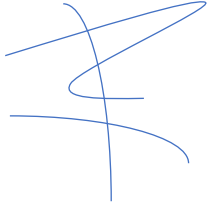


Tesis yang Ditulis untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
dalam Mendapatkan Gelar Magister Pertahanan

**FAKULTAS TEKNOLOGI PERTAHANAN
PROGRAM STUDI TEKNOLOGI PERSENJATAAN**




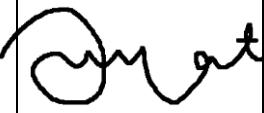
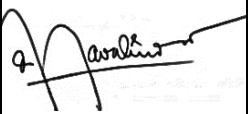
BOGOR

2022

LEMBAR PERSETUJUAN TESIS

<p>Nama : Muhammad Saudara Semesta</p> <p>NIM : 120200403005</p> <p>Program Studi : Teknologi Persenjataan</p> <p>Fakultas : Fakultas Teknologi Pertahanan</p> <p>Judul Tesis : Pengukuran Rate of Fire (RoF) Berbasis Algoritma Deteksi Puncak dari Sinyal Suara Penembakan</p>	
<p>Pembimbing I</p>  <p>Dr. H. Hendrana Tjahjadi, S.T., M.Si. NIDN. 0321077101 Tanggal: 12 Oktober 2022</p>	<p>Pembimbing II</p>  <p>Dr. Maykel T.E. Manawan, S.Si., M.Si. NIDN. 0018097617 Tanggal: 12 Oktober 2022</p>
<p>Mengetahui, Dekan Fakultas Teknologi Pertahanan</p>  <p>Dr. Ir. Kasih Prihantoro, S.E., M.M., M.Tr.(Han)., IPU Laksamana Muda TNI Tanggal: 17 Oktober 2022</p>	

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

	Nama	: Muhammad Saudara Semesta	
	NIM	: 120200403005	
	Program Studi	: Teknologi Persenjataan	
	Fakultas	: Fakultas Teknologi Pertahanan	
	Judul Tesis	: Pengukuran <i>Rate of Fire</i> (RoF) Berbasis Algoritma Deteksi Puncak dari Sinyal Suara Penembakan	
No	Nama	Tanda tangan	Tanggal
1	Pembimbing I: Dr. H. Hendrana Tjahjadi, S.T., M.Si. NIDN. 0321077101		12 Oktober 2022
2	Pembimbing II: Dr. Maykel T.E. Manawan, S.Si., M.Si. NIDN. 0018097617		12 Oktober 2022
3	Reviewer I: Dr. Ir. Nur Rachman SM, MT. Kolonel Arh / NRP. 11930095920768		11 Oktober 2022
4	Reviewer II: Dr. Yayat Ruyat, M.Eng. NIDN. 4728107501		11 Oktober 2022
5	Reviewer III: Dr. R. Djoko Andreas N., S.IP., M.AB Kolonel Arh / NRP. 1910046130568		10 Oktober 2022

PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tesis ini tidak terdapat karya atau bagian yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar dalam jenjang apapun disuatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat istilah, frasa, kalimat, paragraf, subab, atau bab dari karya yang pernah ditulis atau diterbitkan, kecuali yang secara tertulis diajukan dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila di kemudian hari terbukti bahwa terdapat plagiat dalam tesis ini, saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan/undang-undang yang berlaku.

Bogor, 12 Oktober 2022



Muhammad Saudara Semesta

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia-Nya sehingga tesis berjudul “Pengukuran *Rate of Fire* (RoF) Berbasis Algoritma Deteksi Puncak dari Sinyal Suara Penembakan” dapat diselesaikan. Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Magister pada Program Studi Teknologi Persenjataan Fakultas Teknologi Pertahanan Universitas Pertahanan.

Penulis mengucapkan terimakasih kepada banyak pihak yang telah memberikan bantuan serta bimbingan selama proses penyelesaian tesis ini, antara lain sebagai berikut:

1. Rektor UNHAN RI, Dekan FTP, dan Sekretaris Prodi Teknologi Persenjataan yang telah memberikan dukungan.
2. Dr. H. Hendrana Tjahjadi, S.T., M.Si. dan Dr. Maykel T.E. Manawan, S.Si., M.Si., selaku pembimbing satu dan pembimbing dua yang memberikan arahan dan bimbingan pada penelitian yang telah dilakukan.
3. Kol. Arh. Dr. Ir. Nur Rachman SM, MT., Dr. Yayat Ruyat, M.Eng., Kol. Arh. Dr. R. Djoko Andreas N., S.IP., M.AB., selaku penguji tesis yang telah memberikan pandangan, koreksi, dan masukan terhadap penelitian yang telah dikerjakan.
4. Sivitas Akademik Universitas Pertahanan Republik Indonesia, Staff Teknologi Persenjataan, yang telah membantu dalam proses administrasi selama pendidikan.
5. PT. Pindad, yang telah mengizinkan melakukan pengambilan data dalam penelitian ini, terutama pada Ibu Hera, Bapak Aryo, Bapak Ujang, dan Mba Fathi.
6. Ayah, Bunda, Kakak Ahmad, dan Najma, keluargaku tercinta.
7. Imas Tri Kurniasih yang selalu memberikan dukungan dan semangat selama menempuh perkuliahan.

8. Mahasiswa Teknologi Persenjataan Cohort 4, yang memberikan motivasi, dan juga sebagai teman diskusi selama pendidikan, khususnya Rizky Aferdiansyah selaku ketua kelas yang paling sering direpotkan, dan Widi sebagai teman satu bimbingan.
9. Seluruh mahasiswa Universitas Pertahanan RI Cohort XII
10. Sahabat dan teman teman saya
11. Semua pihak yang membantu dan tidak dapat saya sebutkan satu persatu

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih kurang sempurna oleh karena itu saya berharap penelitian ini dapat dilanjutkan untuk disempurnakan. Semoga tesis ini dapat memberikan manfaat terhadap perkembangan ilmu pertahanan, khususnya terkait teknologi persenjataan dalam hal instrumentasi untuk pemeliharaan dan perawatan senjata ringan.

Bogor, 12 Oktober 2022

Muhammad Saudara Semesta

ABSTRAK

PENGUKURAN *RATE OF FIRE* (ROF) BERBASIS ALGORITMA DETEKSI PUNCAK DARI SINYAL SUARA PENEMBAKAN

MUHAMMAD SAUDARA SEMESTA

Rate of fire (RoF) adalah kemampuan banyaknya peluru yang dapat ditembakkan tiap waktu oleh senapan serbu ataupun senapan mesin dalam melakukan tembakan rentetan, dengan satuan rpm (*round per minute*). RoF merupakan salah satu variabel yang perlu diukur untuk mengetahui performa sebuah senapan. Sinyal suara yang dihasilkan dari penembakan dapat diolah untuk menghitung *rate of fire*. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan perancangan sistem pengukuran RoF, mengetahui karakteristik sinyal suara yang dihasilkan saat penembakan rentetan, dan mengetahui metode pengolahan yang tepat agar sinyal suara memiliki puncak yang dapat dideteksi oleh algoritma deteksi puncak. Pada penelitian ini senapan Pindad SS2 V5 A1 digunakan sebagai sumber sampel suara yang akan dianalisa. Sinyal suara direkam menggunakan mikrofon dari *smartphone* dengan mic chip WCD9375. Pengolahan sinyal menggunakan *high pass filter* dan *wavelet transform* menghasilkan *waveform* dengan pola yang berulang dengan jumlah pola yang sesuai dengan jumlah penembakan. Kemudian puncak dari tiap pola dianggap sebagai terjadinya penembakan dideteksi menggunakan algoritma deteksi puncak dan waktu tiap puncaknya dicatat untuk menghitung *rate of fire*. Diperoleh rata-rata akurasi perhitungan RoF dari sinyal yang diolah menggunakan *wavelet transform* sebesar 99.06% apabila dikalibrasi dengan alat ukur RoF buatan Drello berbasis suara yang ada di Laboratorium Uji Mutu Akhir PT Pindad. Berdasarkan penelitian ini pengolahan sinyal menggunakan *wavelet transform* dapat diimplementasikan dalam pembuatan alat ukur *rate of fire* berbasis sinyal suara.

Kata kunci: *algoritma deteksi puncak, sinyal suara, tapis lolos tinggi, RoF, wavelet transform*

ABSTRACT

RATE OF FIRE (ROF) MEASUREMENT BASED ON PEAK DETECTION ALGORITHM FROM AUDIO SIGNAL OF BURST FIRING

MUHAMMAD SAUDARA SEMESTA

Rate of fire (RoF) is the number of bullets that a weapon can fire during a given time period, usually in the unit of rpm (rounds per minute). This is one of the variables that needed to be measured to know the weapon performance. Audio signal produce by burst firing can be processed to calculate rate of fire. This research purpose to design a system of rate of fire measurement, to know characteristics audio signal produce by weapon when do burst firing, and to know audio signal processing method that can be implemented for peak detection algorithm to calculate rate of fire. Sample in this research is audio signal burst firing produce by Pindad SS2 V5-A1. Audio signal captured by WCD9375 microphone. Signal processed by high pass filter and wavelet transform shown periodical pattern of peak that equal to amount of the shots that had been done when recording its audio signal. Each peak in pattern will be detected by peak detection algorithm and defined as a shot, time for each peak will be stored to calculate rate of fire. Average accuracy of RoF calculation processed using wavelet transform is 99.06% if calibrated by Drello RoF Measusrement System in Final QC Lab PT. Pindad. Based on this research wavelet transform can be implemented to make rate of fire measurement instrument based on audio signal.

Keyword: *audio signal, high pass filter, peak detection algorithm, RoF, wavelet transform*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN TESIS	ii
LEMBAR PENGESAHAN TESIS	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
BAB I Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	4
1.3 Batasan dan Cakupan Masalah.....	4
1.4 Rumusan Masalah.....	5
1.5 Tujuan	5
1.6 Manfaat Penelitian.....	5
1.6.1 Manfaat Teoritis	5
1.6.2 Manfaat Praktis	5
BAB II Tinjauan Pustaka	6
2.1 Landasan Teori.....	6
2.1.1 Senapan Serbu	6
2.1.2 Performa Senapan Serbu	7
2.1.3 Pindad SS2	8
2.1.4 Sensor Suara	10
2.1.5 Pengolahan Sinyal	11
2.1.6 Algoritma Deteksi Puncak	13
2.1.7 Signal to Noise Ratio.....	13
2.2 Hasil Penelitian Sebelumnya.....	15
2.3 Kerangka Berpikir	19
BAB III Metodologi Penelitian	21
3.1 Metode dan Desain Penelitian.....	21
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian.....	21
3.3 Populasi dan Sampel Penelitian	22

3.4 Teknik Pengumpulan Data	23
3.4.1 Pengumpulan Informasi Kebutuhan Pengguna.....	23
3.4.2 Pengambilan Sampel Suara Penembakan	23
3.4.3 Pengolahan Sinyal	23
3.5 Analisis dan Pembahasan	23
BAB IV Hasil dan Pembahasan.....	25
4.1 Gambaran Umum Penelitian	25
4.2 Pengumpulan Data.....	25
4.3 Algoritma Program.....	27
4.4 Pengolahan Data Suara	28
4.4.1 Raw Audio Data	28
4.4.2 Data Sinyal Suara <i>Low Pass Filter</i> (LPF).....	32
4.4.3 Data Sinyal Suara <i>High Pass Filter</i> (HPF)	35
4.4.4 Data Sinyal Suara <i>Wavelet Transform</i>	37
4.4.5 Data Sinyal Suara <i>Band Pass Filter</i> (BPF).....	44
4.5 Perhitungan <i>Rate of Fire</i>	45
4.5.1 RoF Data Sinyal <i>High Pass Filter</i> (HPF)	47
4.5.2 RoF Data Sinyal <i>cD Wavelet Transform</i>	49
4.5.3 RoF Data Sinyal <i>Band Pass Filter</i> (BPF)	51
4.5.4 Fungsi Nilai Mutlak dalam Perhitungan RoF	52
4.6 Perbandingan Akurasi Perhitungan ROF	57
4.7 <i>Signal to Noise Ratio</i> pada Perhitungan <i>Rate of Fire</i>	59
4.7 Implementasi dalam Pengukuran <i>Rate of Fire</i>	61
4.7.1 Prototipe Alat.....	62
4.7.2 Program	62
4.8 Perbandingan dengan Drello RoF	64
BAB V Kesimpulan dan Saran	65
5.1 Kesimpulan.....	65
5.2 Saran.....	65
5.2.1 Saran Teoritis.....	65
5.2.2 Saran Praktis.....	66
DAFTAR PUSTAKA.....	67
LAMPIRAN.....	70