

MODEL PENERJEMAH ISYARAT GERAKAN TANGAN BERBASIS EFEK DOPPLER

TRANSLATOR MODEL OF HAND MOVEMENT TERMS BASED ON DOPPLER EFFECTS

Putri Milhatun Ni'mah¹, Dharu Arseno², Aloysius Adya P³

^{1,2,3} Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹putrimilhatunnn@student.telkomuniversity.ac.id, ²darseno@telkomuniversity.ac.id,

³pramuditaadya@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Radar CW adalah salah satu radar yang umum digunakan untuk mendeteksi efek Doppler dari satu target bergerak. Radar tersebut mendeteksi keberadaan objek dan menempatkan posisinya di ruang terbuka dengan mentransmisikan energi elektromagnetik dan mengamati gema yang dikembalikan. Hasil yang diperoleh dari simulasi diharapkan dapat digunakan sebagai referensi dalam mengembangkan sistem human to machine interface.

Pada Tugas Akhir ini adalah merancang suatu sistem yang dapat menerjemahkan isyarat gerakan tangan yang telah ditentukan berdasarkan tanggapan Doppler. Dalam Tugas Akhir ini, radar CW yang beroperasi pada 10 GHz dipelajari dan diusulkan untuk mendeteksi gerakan tangan manusia. Investigasi eksperimental dilakukan dengan simulasi komputer dan modul radar CW HB100.

Hasil eksperimental ini menunjukkan bahwa radar CW dapat membedakan beberapa gerakan tangan. Gerakan tangan yang direkam dengan radar CW menghasilkan keluaran berupa sinyal. Kemudian sinyal tersebut dapat dibedakan dengan menggunakan proses *cross-correlation* pada MATLAB.

Kata Kunci : Radar, Continuous wave radar, Efek Doppler, Cross-correlation

Abstract

The CW radar is one of the radars commonly used to change the Doppler effect of a moving target. This radar diverts objects and places its position in open space by transmitting electromagnetic energy and moving the echoes needed. The results obtained from the simulation are expected to be used as a reference in developing the human interface system to the engine.

In this Final Project is to discuss a system that can translate motion signals that have been determined based on Doppler responses. In this Final Project, CW radar operated at 10 GHz is studied and provided to support human hand movements. Experimental investigations were carried out with computer simulations and CW HB100 radar modules.

This experimental result shows that CW radar can distinguish several hand movements. Hand gesture approved with radar. Then the signal can be distinguished by using a cross-correlation process in MATLAB.

Keywords: Radar, Continuous Wave Radar, Doppler Effect, Cross-Correlation.

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Pengenalan isyarat tangan telah lama menjadi topik studi di bidang ilmu komputer. Ini telah dianggap sebagai cara interaksi antara mesin dan manusia. Teknologi ini memungkinkan komputer untuk memahami instruksi manusia tanpa perangkat keras interaksi tradisional seperti *mouse* dan *keyboard* [1]. Manusia memiliki tingkat kecerdasan yang sangat tinggi oleh sebab itu manusia dapat menciptakan teknologi baru untuk membantu melakukan pekerjaan manusia itu sendiri, seperti sistem *human to machine interface* (HMI). HMI merupakan perangkat lunak antar muka yang menjadi penghubung antara manusia (operator) dengan mesin yang dikendalikan [2].

Secara umum, tujuan dari teknik interaksi manusia-mesin adalah untuk menghasilkan sebuah antarmuka pengguna yang membuatnya mudah, efisien karena dapat menerjemah instruksi operator ke mesin. Maka dari itu pada tugas akhir ini penulis mencoba merancang sebuah sistem untuk HMI. Pada kali ini mencoba mengaplikasikannya pada penggunaan radar, yaitu merancang sistem model penerjemah isyarat gerak tangan berbasis efek doppler.

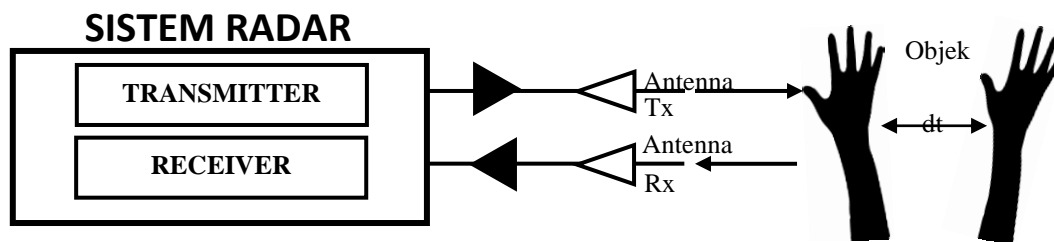
Hasil yang diharapkan untuk kedepannya adalah sistem ini dapat memudahkan manusia dalam melakukan sesuatu. Dikarenakan gerak tangan dapat dilakukan secara terus menerus, maka pada perancangan ini diaplikasikan pada radar *Continuous Wave (CW)* karena radar CW mempunyai prinsip kerja memancarkan sinyal secara terus menerus/kontinu [3]. Sistem radar CW yang digunakan untuk membentuk tanggapan doppler adalah modul HB100 dengan frekuensi kerja 10GHz.

2. Konsep Dasar

2.1 Sistem Radar

Deteksi dan jangkauan radio (Radar) yang mengandalkan efek Doppler untuk meningkatkan deteksi target disebut radar Doppler. Efek Doppler memanifestasikan dirinya ketika ada tingkat jangkauan relatif, atau kecepatan radial, antara radar dan target. Ketika sinyal transmisi radar dipantulkan dari target tersebut, frekuensi pembawa sinyal balik akan digeser. Radar Doppler dapat berupa gelombang kontinu (CW). Radar CW hanya mengamati pergeseran Doppler antara frekuensi yang dicari dari sinyal balik relatif terhadap sinyal transmisi [4]. Sebuah radar mendeteksi keberadaan objek dan menempatkan posisinya di ruang terbuka dengan mentransmisikan energi elektromagnetik dan mengamati gema yang dikembalikan [5].

Kemampuan efek Doppler yang dihasilkan oleh radar CW, dapat ditunjukkan pada Gambar 2.1. Radar Doppler adalah radar khusus yang menggunakan efek Doppler untuk menghasilkan data kecepatan tentang objek di kejauhan. Di sini, objeknya adalah gerakan tangan yang akan digunakan sebagai isyarat.



Gambar 2. 1 Sistem Radar

Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1, radar terdiri dari bagian pemancar atau pengirim (*transmitter*) dan penerima (*receiver*). Radar Doppler berpotensi untuk diimplementasikan dengan menggunakan sinyal frekuensi tunggal yang memiliki keuntungan untuk penggunaan *bandwidth* rendah dan rangkaian sederhana. Sistem ini memfokuskan pada pengembangan sistem radar Doppler Tunggal untuk pemantauan pergerakan tangan bahwa radar mentransmisikan sinyal frekuensi tunggal dengan mengekstraksi fitur Doppler hanya dari target [6].

Seperti diilustrasikan pada Figure 2.2, ini adalah efek Doppler yang merupakan dasar dari radar CW [16]. Menurut efek Doppler, ada frekuensi pergeseran dalam gelombang yang direfleksikan [22]. Dalam radar CW, output pemancar adalah osilasi frekuensi radio kontinu. Penerima malah dirancang untuk mendeteksi pergeseran Doppler pada pantulan yang dipantulkan dari target yang bergerak [21]. Berikut merupakan persamaan pergeseran frekuensi Doppler:

$$fd = \frac{2vr}{\lambda} = \frac{2v \cos \theta}{\lambda} \quad (2.1)$$

di mana $vr = v \cos \theta$ adalah kecepatan relatif dari target (relatif terhadap radar) dalam m / s, v adalah kecepatan absolut dari target dalam m / s, λ adalah panjang gelombang radar dalam m, dan θ adalah sudut antara arah target dan sinar radar [4]

2.2 Frequency Modulated Continuous Wave

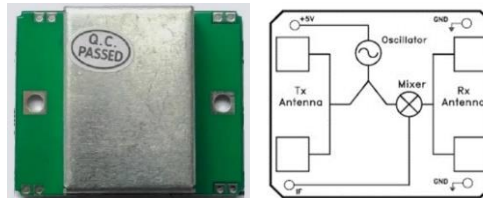
FMCW merupakan salah satu jenis radar yang menggunakan pancaran frekuensi yang sudah dimodulasi dan diradiasikan secara continuous. FMCW radar bekerja dengan meradiasikan sinyal frekuensi yang sudah dimodulasi maka objek tersebut akan memantulkan sinyal tersebut sehingga akan terjadi perbedaan sinyal frekuensi saat diterima oleh receiver. Kegunaan dari radar FMCW adalah untuk mengukur jarak, kecepatan dan posisi dari suatu objek.

2.3 Korelasi

Korelasi merupakan proses membandingkan dua sinyal untuk dicari kemiripan yang maksimal dengan cara menggeser salah satu sinyal tersebut. Kuantisasi dari kemiripan ini dinyatakan dalam koefisien korelasi. Ada dua jenis korelasi yaitu korelasi silang (*cross correlation*) dan auto korelasi (korelasi dengan dirinya sendiri).

2.4 Modul HB100

Pada Jurnal ini sensor yang digunakan adalah HB100. Setelah meninjau dirasa sensor ini cocok. Karena, sensor ini mampu mendeteksi kecepatan yang relatif tinggi. Sebuah HB100 adalah modul radar Doppler yang beroperasi di X-Band dan dikembangkan oleh AgileSense™. Radar ini memiliki frekuensi 10 GHz dengan panjang gelombang 33 mm. Ini terdiri dari osilator resonator dielektrik, *mixer*, dan antena *patch* seperti yang ditunjukkan pada Figure 2.3 [4].



Gambar 2.3 Modul HB100

Gambar 2.3. menunjukkan di dalam modul HB100 ini terdapat osilator sebagai sumber sinyal, antena pemancar untuk mengirimkan sinyal dari osilator, pergi ke tangan manusia untuk mendeteksi perbedaan pergerakan tangan manusia, setelah itu diterima oleh antena yang kemudian dicampur dengan mixer, setelah itu dilakukan perhitungan oleh LPF bersama dengan hasil keluaran. Gambar 2.3. mengilustrasikan frekuensi yang ditransmisikan dari osilator. Sinyal yang ditransmisikan T_t dihasilkan oleh osilator dengan frekuensi tertentu. Sinyal itu digunakan untuk mendeteksi gerakan dada jantung. Sinyal yang ditransmisikan dapat dinyatakan dalam (2.2).

$$S_T = A_T \cos(2\pi f t) \quad (2.2)$$

Di mana f dan A_T adalah sebagai frekuensi dari sinyal yang ditransmisikan dan amplitudo dari sinyal yang ditransmisikan masing-masing. Dan sinyal yang diterima dari pergerakan tangan yang dilakukan dapat diungkap dalam persamaan berikut:

$$S_R = A_R \cos\left(2\pi f t + \frac{4\pi}{\lambda} d\right) \quad (2.3)$$

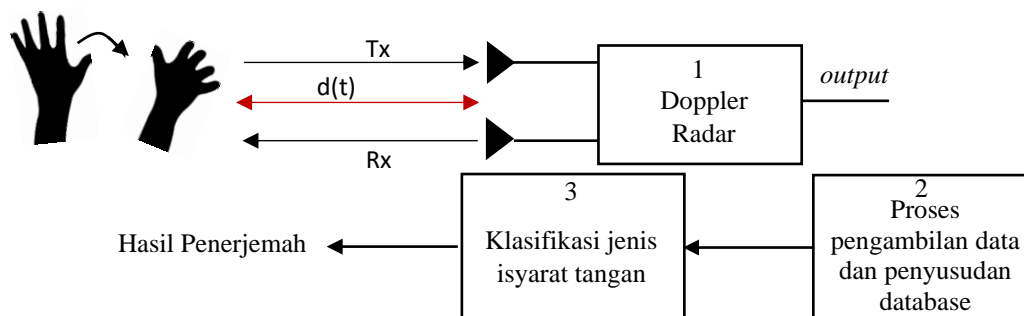
Dimana d dan λ adalah jarak antara target dan radar dan panjang gelombang dari sinyal yang ditransmisikan masing-masing. Dalam persamaan (2.3), d dan f mengacu pada amplitudo dan gerakan frekuensi masing-masing karena aktivitas gerakan tangan. Setelah itu diperkuat oleh Low Noise Amplifier (LNA), maka sinyal yang diterima bercampur dengan output osilator. Output dari mixer ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$S_M = S_T \cdot S_R = A_M \cos\left(4\pi f t + \frac{4\pi}{\lambda} d \cdot \cos(2\pi f o t) + A_M \cos\left(\frac{4\pi}{\lambda} d \cdot \cos(2\pi f o t)\right)\right) \quad (2.4)$$

3. Perancangan Sistem

3.1 Rancangan Sistem Penerjemah Isyarat Gerakan Tangan

Sistem yang dirancang untuk menterjemahkan isyarat gerak tangan terdiri dari beberapa bagian, bagian pertama yaitu doppler radar, bagian kedua adalah ekstraksi fitur tanggapan doppler dan bagian ketiga adalah klasifikasi fitur tanggapan doppler. Berikut merupakan desain sistem penerjemah gerak tangan:



Gambar 3.1 Desain Sistem Penerjemah Gerak tangan

Berikut merupakan penjelasan dari gambar diatas:

1. Doppler Radar

Doppler Radar bertugas memancarkan dan menerima gelombang elektromagnetik yang terpantul dari tangan yang dipengaruhi oleh gerak atau posisi tangan. Ketika tangan bergerak maka jarak akan berubah menjadi $d(t)$ $D(t)$ merupakan jarak dari tangan ke radar yang berubah-ubah terhadap waktu setiap saat berdasarkan gerakan yang dihasilkan sebagai isyarat. Sejumlah gerakan tangan yang akan digunakan untuk dijadikan isyarat dapat ditetapkan terlebih dahulu. Radar Doppler yang digunakan adalah Modul HB100.

2. Proses Pengambilan Data

Sistem radar CW HB100 mendapatkan daya dari osilator. Osilator ini sebagai sumber sinyal dan menghasilkan frekuensi f_1 untuk mendeteksi gerakan tangan. Yang kemudian frekuensi f_1 pergi ke splitter untuk memisahkan sinyal frekuensi dari osilator f_1 ke Amplifier Daya Tinggi (PA) dan ke *mixer*. Setelah frekuensi f_1 dipisah, selanjutnya pergi ke PA. PA adalah untuk memperkuat generator sinyal. Sinyal yang telah diperkuat oleh PA ditransmisikan oleh antena ST.

Antena ST mentransmisikan sinyal dari sumber sinyal untuk mendeteksi aktivitas pergerakan tangan manusia. Untuk merekam perbedaan gerakan tangan manusia, diperlukan antena SR. Setelah antena SR diterima dari informasi pendeteksian perbedaan gerakan tangan manusia, kemudian pergi ke *Low Noise Amplifier* (LNA). LNA perlu menekan sinyal mentransmisikan dari pergerakan tangan manusia.

Sinyal yang diterima yang telah melewati LNA harus dicampur oleh mixer. Sinyal ini dicampur dengan sumber sinyal f_1 untuk menghitung frekuensi yang telah mendeteksi pergerakan tangan manusia. Sistem ini memiliki perhitungan *Low Pass Filter* (LPF) untuk menentukan frekuensi yang lebih rendah. Output LPF ini memiliki output pada *time-domain*. Setelah itu melakukan langkah post-processing yang dilakukan dalam simulasi MATLAB.

3. Klarifikasi Jenis Isyarat Tangan

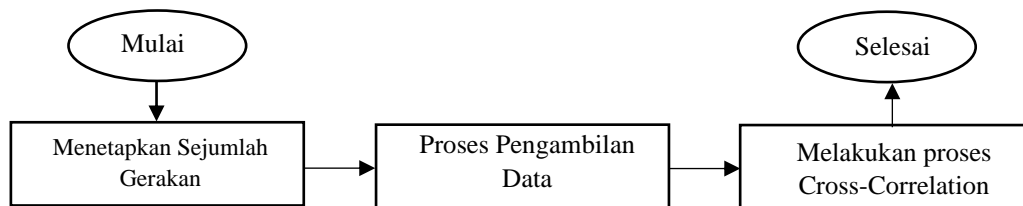
Merupakan langkah pemroses dengan suatu algoritma pengenalan pola atau proses klasifikasi sehingga dapat dipolakan gerakan yang mencerminkan isyarat tertentu. Setiap tanggapan dari setiap gerakan yang telah ditetapkan sebagai isyarat kemudian akan direkam dan disimpan sebagai data pembanding. Proses klasifikasi ini menggunakan metode *Cross correlation* pada software MATLAB.

3.2 Set Up Eksperimen

Set Up yang digunakan selama eksperimen terdapat 2 macam yaitu dalam bentuk *hardware* dan *software*. Set up yang termasuk dalam bentuk *hardware* yaitu: Radar CW yang berfungsi untuk mendeteksi dan merekam semua pergerakan tangan dan Alat Penyangga Radar yang berfungsi untuk menempelkan radar agar posisi radar tidak berubah-ubah. Yang termasuk dalam bentuk *software* adalah MATLAB yang berfungsi untuk memproses sinyal keluaran radar.

3.3 Skenario Pengujian

Berikut merupakan diagram alir skenario pengujian atau tahapan-tahapan yang dilakukan pada saat eksperimen:



Gambar 3. 2. Diagram alir scenario pengujian.

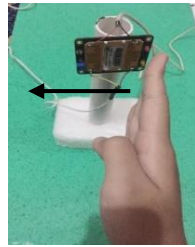
Berikut merupakan penjelasan dari skenario pengujian atau tahapan-tahapan yang dilakukan pada saat eksperimen:

1) Menetapkan Sejumlah Gerakan

Terdapat 3 macam gerakan tangan yang telah ditetapkan, yaitu gerakan tangan geser, gerakan tangan mendorong, dan gerakan tangan memutar. Berikut merupakan penjelasan singkat dari gerakan-gerakan tersebut:

a) Gerakan Geser:

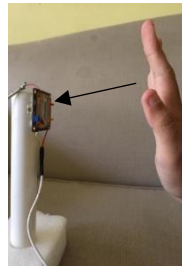
Gerakan tangan yang dimodelkan dengan pola gerakannya seperti menggeser dari arah kanan menuju ke arah kiri seperti yang terlihat pada gambar 3.3. Gerakan ini diisyaratkan sebagai gerakan membuka pintu.



Gambar 3. 3. Gerakan tangan geser

b) Gerakan Mendorong:

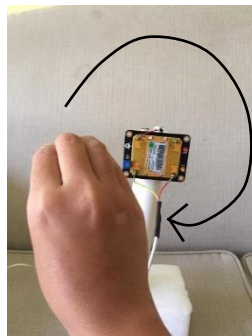
Gerakan tangan yang dimodelkan dengan pola gerakannya seperti mendorong mendekati radar yang digunakan seperti yang terlihat pada gambar 3.4. Gerakan ini diisyaratkan sebagai gerakan menutup pintu.



Gambar 3. 4. Gerakan mendorong.

c) Gerakan Memutar:

Gerakan tangan yang dimodelkan dengan pola gerakannya seperti memutar dari kiri ke kanan seperti yang terlihat pada gambar 3.5. Gerakan memutar ini diisyaratkan sebagai gerakan menaikkan volume.



Gambar 3. 5. Gerakan memutar

2) Proses Pengambilan Data

Yaitu merupakan tahap dimana merekam semua gerakan dengan menggunakan radar. Terdapat 2 tahap pengamatan yaitu pengamatan variasi keluaran radar untuk isyarat yang sejenis dan pengamatan keluaran radar untuk setiap isyarat yang berbeda.

Melakukan pengamatan variasi keluaran radar untuk setiap isyarat yang sejenis merupakan hasil keluaran dari radar tersebut diamati satu persatu untuk setiap jenis gerakan apakahnya dalam 1 jenis gerakan tangan tersebut memiliki tingkat kemiripan yang besar atau tidak. Kemudian dari hasil rekaman tersebut dipilih hasil yang paling bagus untuk dijadikan *data base*. Sedangkan Melakukan pengamatan keluaran radar untuk setiap isyarat yang berbeda bertujuan untuk mengetahui apakah setiap gerakan yang berbeda tersebut dapat dibedakan atau tidak.

3) Melakukan Proses *Cross-Correlation*

Tahapan ini bertujuan untuk mengamati perbedaan sinyal keluaran radar pada setiap gerakan yang berbeda dan kemiripan sinyal keluaran radar pada variasi gerakan yang sejenis dengan menggunakan metode *cross-correlation* pada MATLAB.

4. Hasil

4.1 Hasil Sinyal Referensi

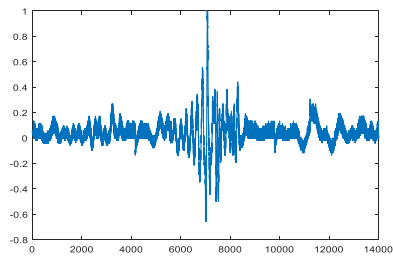
Dari hasil eksperimental Tugas Akhir ini di dapatkan 3 buah gerakan tangan yang berbeda dengan amplitudo yang berbeda yaitu gerakan tangan menggeser, mendorong dan memutar. Setelah itu diambil

satu sample yang digunakan sebagai sinyal referensi untuk dapat diidentifikasi dan disimulasikan dalam domain waktu dengan metode *cross correlation*. Berikut penjelasan dari sinyal referensi dalam tabel:

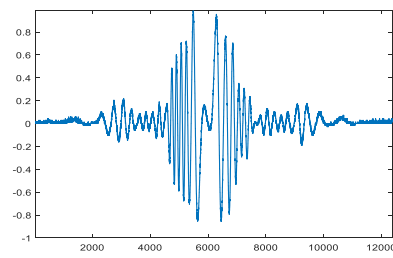
Tabel 4. 1. Penjelasan Sinyal Referensi

Sinyal Referensi	Penjelasan
$S1ref$	Sinyal referensi Gerakan Mendorong
$S2ref$	Sinyal referensi Gerakan Geser
$S3ref$	Sinyal referensi Gerakan Memutar

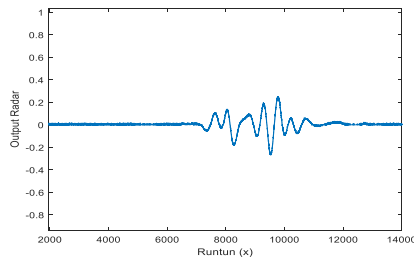
Database gerakan tangan geser, mendorong dan memutar ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 4. 1. Database gerakan geser



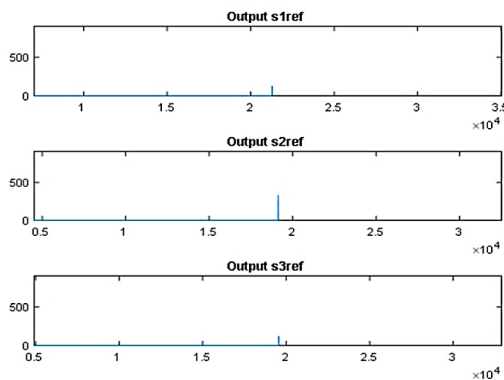
Gambar 4. 2. Database gerakan mendorong.



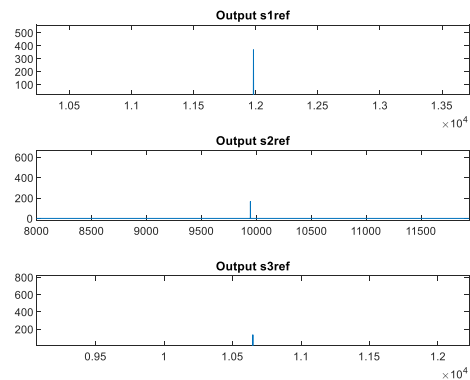
Gambar 4. 3. Database gerakan memutar.

4.2 Hasil Pengujian *Cross-Correlation*

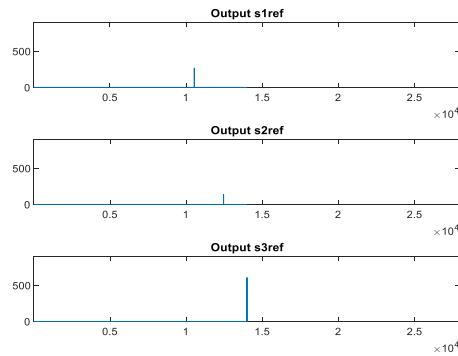
Pada proses *Cross Correlation* semua gerakan akan dikorelasi dengan $S1ref$, $S2ref$ dan $S3ref$. $S1ref$ merupakan database gerakan mendorong, $S2ref$ merupakan database gerakan geser dan $S3ref$ merupakan database gerakan memutar. Berikut adalah hasil dari proses *cross correlation* dalam bentuk gambar.



Gambar 4. 4. Hasil korelasi gerakan geser.



Gambar 4. 5. Hasil korelasi gerakan mendorong.



Gambar 4. 6. Hasil korelasi gerakan memutar.

Berikut adalah hasil yang didapatkan dari proses *cross correlation* yang dituliskan dalam bentuk tabel.

Tabel 4. 2 Hasil *cross-correlation*.

Jenis gerakan	Sinyal Referensi		
	$S1ref$	$S2ref$	$S3ref$
Gerakan Mendorong	369	165.8	134.8
Gerakan Geser	158.2	219.7	190.1
Gerakan Memutar	267.6	136.8	607.9

4.3 Analisis

Dari hasil nilai korelasi diatas terlihat bahwa gerakan mendorong memiliki nilai terbesar saat dikorelasikan dengan $s1ref$ dimana $s1ref$ merupakan database untuk gerakan mendorong. Gerakan geser memiliki nilai terbesar data dikorelasikan dengan $s2ref$ dimana $s2ref$ merupakan database untuk gerakan geser dan gerakan memutar memiliki nilai terbesar saat dikorelasikan dengan $s3ref$ dimana $s3ref$ tersebut merupakan database untuk gerakan memutar.

Pada eksperimen ini telah diambil data sebanyak 50 kali untuk setiap gerakan yang berbeda yang bertujuan untuk melihat keakuratan kinerja radar dan metode *cross-correlation* yang telah diusulkan. Berikut merupakan hasil pengambilan data sebanyak 50 kali untuk setiap gerakan yang berbeda.

Tabel 4. 3. Hasil percobaan *cross-correlation*.

Jenis Gerakan	Berhasil	Gagal
Gerakan Mendorong	48 kali	2 kali
Gerakan Geser	36 kali	14 kali
Gerakan Memutar	44 kali	6 kali

Dari hasil pengambilan data yang telah ditunjukkan pada tabel diatas menunjukkan bahwa gerakan mendorong dan gerakan memutar memiliki tingkat keberhasilan sekitar 90% sedangkan gerakan geser memiliki tingkat keberhasilan sekitar 60%. Dapat kita simpulkan bahwa gerakan mendorong dan gerakan memutar lebih mudah untuk dapat dibedakan dengan metode *cross-correlation* dibandingkan dengan gerakan geser.

5. Kesimpulan

Pada tugas akhir ini penulis melakukan sebuah eksperimen memodelkan penerjemah isyarat gerakan tangan berdasarkan efek doppler dengan menggunakan radar CW modul HB100 yang kemudian dilakukan simulasi dan analisis menggunakan MATLAB^(R). Radar ini memiliki jangkauan frekuensi 10 GHz. Gerakan tangan yang direkam dan diamati pada eksperimen ini telah ditentukan oleh penulis. Gerakan tangan pada eksperimen ini terdiri dari 3 gerakan. Pada penelitian ini analisis dilakukan pada domain waktu.

Dapat disimpulkan analisis pada Tugas Akhir ini:

1. Hasil simulasi radar CW pada 10 GHz menunjukkan bahwa system radar yang diusulkan memiliki kemampuan untuk mendeteksi gerakan tangan manusia.
2. Dari hasil metode *cross-correlation* yang telah ditampilkan dapat disimpulkan bahwa metode *cross-correlation* dapat digunakan untuk mengklasifikasi isyarat gerakan tangan.
3. Pada pelaksanaan eksperimen ini telah diambil data sebanyak 50 kali untuk setiap gerakan yang berbeda yang bertujuan untuk melihat keakuratan kinerja radar dan metode *cross-correlation*. Dari hasil

pengambilan data yang telah ditunjukkan pada Tabel 4.3 menunjukkan bahwa gerakan mendorong dan gerakan memutar memiliki tingkat keberhasilan sekitar 90% sedangkan gerakan geser memiliki tingkat keberhasilan sekitar 60%. Dapat kita simpulkan bahwa gerakan mendorong dan gerakan memutar lebih mudah untuk dapat dibedakan dengan metode *cross-correlation* dibandingkan dengan gerakan geser.

Daftar Pustaka

- [1] J. Tao, J. Zhang, J. Huangfu and S. Zhiguo, "Doppler-Radar Based Hand Gesture Recognition System Using Convolutional Neural Networks," *Cornell University Library*, 2017.
- [2] E. Suryawati and R. Sustika, "Perangkat Lunak HMI Untuk Sistem Supervisory Control Pada Pilot Plant Biodiesel," *INKOM Journal of Informatics, Control Systems, and Computers*, vol. IV, no. 1, pp. 34-48, 2010.
- [3] F. Gustomo, Suwadi and T. Suryani, "Analisa Penggunaan Sinyal Radar Bentuk Pulsa dan Gelombang Kontinyu untuk Target Bergerak dengan Model Clutter Terdistribusi Rayleigh," *Jurnal Teknik ITS*, vol. II, no. 2, pp. 1-6, 2013.
- [4] R. Ambarini, A. A. Pramudita, A. D. Setiawan and E. Ali, "Single-Tone Doppler Radar System for Human Respiratory Monitoring," 2018.
- [5] T. Praludi, Y. N. Wijayanto and A. S. Syamsu, "Analisa Kecepatan dan Arah Target menggunakan Efek Doppler pada Sumber Gelombang Radar Bergerak," Bandung, 2010.
- [6] T. Kiuru, M. Metso, S. Jardak, P. Pursula, J. Häkli, M. Hirvonen and R. Sepponen, "Movement and Respiration Detection using Statistical Properties of the FMCW Radar Signal," *IEEE 2016 Global Symposium on Millimeter Waves (GSMM) & ESA Workshop on Millimetre-Wave Technology and Applications*, pp. 1-4, 2016.
- [7] S. Ristanto and D. F. Santoso, "Uji Coba Pemanfaatan Software Soundcard Oscilloscope V1.40 untuk Praktikum Efek Doppler," *Jurnal Penelitian Pembelajaran Fisika*, vol. 7, pp. 1-7, 2016.
- [8] N. Habibi and I. Suchyo, "Perancangan Alat Ukur Kecepatan Menggunakan Sensor Ultrasonik Dan Prinsip Efek Doppler," *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, vol. 04, no. 03, pp. 48 - 54, 2015.
- [9] B. Cahyono, "PENGUNAAN Penggunaan Software Matrix Laboratory (MATLAB) Dalam Pembelajaran Aljabar Linier," *PHENOMENON*, vol. 1, no. 1, pp. 45-62, 2013.