

# Pengaruh Dinding Penghalang pada Deteksi Tanda Vital Pernapasan dengan *Through Wall Radar*

Fildha Ridhia<sup>1</sup>, Aloysius Adya Pramudita<sup>2</sup>, Yuyu Wahyu<sup>3</sup>, Harfan Hian Ryanu<sup>4</sup>

**Intisari**—*Through-Wall Radar* (TWR) telah banyak diaplikasikan dalam berbagai bidang, salah satunya dalam pencarian atau evakuasi korban bencana yang tertimpa reruntuhan. TWR merupakan pengaplikasian sistem radar yang bekerja pada rentang frekuensi yang lebar atau *ultra-wideband* (UWB) sehingga memiliki tingkat akurasi yang tinggi dalam mendeteksi objek di balik dinding. Pada penelitian ini, antena Vivaldi digunakan untuk mendapatkan tingkat resolusi yang tinggi karena mampu bekerja pada UWB. Untuk menghasilkan tingkat akurasi yang tinggi, dibutuhkan parameter seperti karakteristik dielektrik untuk setiap jenis penghalang yang digunakan. Eksperimen pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh dinding penghalang pada deteksi tanda vital pernapasan menggunakan sistem radar. Sistem radar dimodelkan menggunakan dua metode, yaitu dengan *vector network analyzer* (VNA) dan *bladeRF*. Eksperimen dilakukan dalam beberapa tahap, yaitu pembuatan desain sistem eksperimen, pengambilan data eksperimen, pengolahan hasil data eksperimen, dan analisis hasil eksperimen. Jenis dinding yang digunakan pada penelitian ini adalah dinding bata Hebel dan dinding kayu. Hasil data eksperimen pada penelitian ini digunakan untuk menganalisis pengaruh penghalang pada deteksi tanda vital pernapasan menggunakan sistem radar. Eksperimen menggunakan VNA sebagai sistem radar dilakukan untuk menganalisis pengaruh dinding penghalang pada deteksi target di balik dinding penghalang. Eksperimen menggunakan *bladeRF* sebagai sistem radar dilakukan untuk membuktikan ada atau tidaknya pengaruh penghalang pada deteksi tanda vital pernapasan menggunakan sistem radar. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa penurunan amplitudo sinyal *peak-to-peak* terbesar terjadi pada deteksi target dengan jarak 125 cm, yaitu sebesar 11,51 dB, dan *delay* sebesar 0,084 ns, saat menggunakan penghalang bata Hebel. Sementara itu, saat menggunakan penghalang kayu, penurunan rata-rata amplitudo sinyal *peak-to-peak* sebesar 2,968 dB dan *delay* sebesar 0,006 ns.

**Kata Kunci**—*Through-Wall Radar* (TWR), Pernapasan, Penghalang, *BladeRF*.

## I. PENDAHULUAN

Kondisi tektonik Indonesia yang dijuluki sebagai negara cincin api membuat hampir seluruh wilayah Indonesia rawan akan bencana alam, salah satunya adalah gempa bumi yang dapat menyebabkan banyaknya korban jiwa. Kurangnya

teknologi untuk menemukan lokasi korban secara akurat membuat evakuasi korban terhambat, sehingga banyak korban yang tidak terselamatkan. Hal ini membuat ilmuwan terus berusaha untuk membuat sebuah teknologi yang dapat mendeteksi keberadaan manusia di balik dinding dengan menggunakan sistem radar.

*Through-wall radar* (TWR) merupakan salah satu pengaplikasian radar dengan memancarkan gelombang elektromagnetik yang dapat menembus dinding dan menerima pantulan dari objek tertentu di balik dinding [1]. TWR digunakan untuk menghasilkan penetrasi dinding yang baik dengan bekerja pada *bandwidth* yang sangat lebar, sehingga berpotensi untuk mendeteksi pergeseran kecil, seperti pergerakan dinding dada pada pernapasan [2]. Antena yang digunakan untuk sistem TWR memiliki beberapa persyaratan khusus, di antaranya memiliki pola radiasi *directional*, *gain* yang tinggi, dan *bandwidth* yang sangat lebar. Salah satu antena yang memenuhi persyaratan tersebut adalah antena Vivaldi [3].

Pada [4], telah dilakukan percobaan radar pendeteksi pernapasan menggunakan *performance network analyzer* (PNA) dan radar Doppler dengan antena jenis *horn* pada frekuensi 10 GHz. Selain itu, pada [5] telah dilakukan percobaan yang sama dengan menggunakan radar SIMO pada frekuensi tengah 800 MHz. Telah dibahas pula radar deteksi pernapasan dengan menggunakan radar *impulse ultra-wideband* (UWB) [6], [7]. Sementara itu, pada [8] diperlihatkan percobaan deteksi pernapasan dengan radar pencitraan MIMO UWB. Dari penelitian tersebut, didapatkan hasil yang menunjukkan bahwa radar dapat mendeteksi tanda vital pernapasan di balik dinding. Namun, penelitian sebelumnya tidak secara spesifik membahas signifikansi pengaruh penghalang pada deteksi tanda vital pernapasan menggunakan sistem radar.

Pada penelitian ini, dilakukan eksperimen menggunakan *vector network analyzer* (VNA) dan *bladeRF* sebagai pemodelan sistem radar. Pengukuran menggunakan VNA ditujukan untuk mengetahui pengaruh yang disebabkan oleh dinding penghalang melalui nilai total atenuasi dan *delay*. Pengukuran menggunakan VNA tidak dapat mendeteksi pola pernapasan secara *real-time*, sehingga deteksi pola pernapasan dilakukan dengan *bladeRF* sebagai sistem radar. Pengukuran menggunakan *bladeRF* ditujukan untuk mengidentifikasi pengaruh penghalang pada deteksi tanda vital pernapasan di balik dinding.

## II. METODOLOGI

### A. Ultra-Wideband (UWB)

Radar UWB merupakan sebuah sistem yang menggunakan gelombang elektromagnetik untuk mendeteksi dan mengukur

<sup>1,2,4</sup> *Intelligent Sensing-IoT Center, Telkom University, Jl. Telekomunikasi No. 1, Terusan Buahbatu, Bandung 40257, Indonesia* (email: <sup>1</sup>fildhar@student.telkomuniversity.ac.id, <sup>2</sup>pramuditaadya@telkomuniversity.ac.id, <sup>4</sup>harfanhr@telkomuniversity.ac.id)

<sup>3</sup> BRIN, Gedung B.J. Habibie, Jl. M.H. Thamrin No. 8, Jakarta Pusat 10340, Indonesia (email: <sup>3</sup>yuyu003@lipi.go.id)

[Diterima: 4 April 2022, Revisi: 3 Agustus 2022]

jarak suatu objek [9]. Radar beroperasi dengan memancarkan gelombang elektromagnetik, yang kemudian mengenai suatu objek, dan menerima kembali gelombang pantulan dari objek yang dideteksi. Sinyal pantulan dari objek memberikan informasi mengenai kisaran atau jarak target. Jarak target dapat diketahui dari waktu yang dibutuhkan gelombang elektromagnetik mengenai target dan kembali diterima oleh radar [10]. Radar dapat mendeteksi perpindahan kecil pada tubuh, seperti mendeteksi pernapasan melalui pergerakan dinding dada pada saat menghirup dan menghembuskan napas. Untuk mendeteksi perpindahan kecil, radar membutuhkan resolusi yang tinggi, yaitu sistem radar harus memiliki *bandwidth* yang lebar [2].

Radar UWB pada awalnya akan menghasilkan sinyal pendek dalam bentuk gelombang elektromagnetik dan mengirimkannya melalui antena pengirim (Tx). Ketika sinyal yang dikirimkan mengenai objek, sinyal tersebut akan dipantulkan kembali oleh objek ke antena penerima (Rx) dan diterima oleh radar UWB. *Delay* atau waktu tunda antara sinyal Tx dan Rx merupakan jarak antara Tx–objek–Rx. Radar UWB memiliki beberapa keunggulan, di antaranya dapat menembus penghalang, penetrasi dinding yang baik, tidak memerlukan kontak langsung dengan objek, daya yang rendah, *portable*, dan biaya yang rendah [11], [12].

### B. Sistem Through-Wall Radar (TWR)

TWR merupakan salah satu pengaplikasian radar yang memancarkan gelombang elektromagnetik yang dapat menembus dinding dan menerima pantulan dari objek tertentu di balik dinding [1]. Sistem TWR mempunyai kemampuan mendeteksi jarak dan sudut objek yang dideteksi [2]. Sistem kerja TWR dimulai dari bagian sistem radar yang terdiri atas bagian *processing*, Tx, Rx, antena, dan *display*. Bagian *processing* digunakan sebagai pengolah dan pengatur sinyal sebelum dikirim ke Tx dan sesudah diterima oleh Rx. Tx berfungsi sebagai pengolah sinyal sebelum dipancarkan oleh antena, sedangkan Rx berfungsi sebagai pengolah sinyal sesudah diterima oleh antena. *Display* berfungsi sebagai antarmuka, sehingga bentuk sinyal dapat dilihat oleh manusia.

Selanjutnya, gelombang elektromagnetik atau sinyal yang dipancarkan oleh antena Tx akan mengenai permukaan dinding. Ada dua kemungkinan yang akan dialami sinyal yang melewati dua medium, yaitu dipantulkan atau diteruskan. Saat gelombang elektromagnetik merambat melalui suatu medium, gelombang tersebut memiliki konstanta propagasi yang dapat dituliskan pada (1).

$$\gamma = \alpha + j\beta \quad (1)$$

dengan  $\alpha$  dan  $\beta$  merupakan konstanta redaman dan konstanta fase yang nilainya bergantung pada jenis medium yang dirambatkan oleh gelombang.

### C. Perambatan Gelombang Melalui Dinding

Gelombang yang merambat pada medium dielektrik sempurna memiliki nilai  $\alpha = 0$ , sehingga nilai konstanta propagasinya hanya nilai  $\beta$ . Sementara itu, gelombang yang merambat melalui medium dielektrik tidak sempurna memiliki nilai  $\alpha$ , dengan nilai  $\alpha$  dan  $\beta$  dapat dituliskan pada (2) dan (3).

$$\alpha(\text{real}) = (2\pi f) \sqrt{\frac{\mu\epsilon'}{2}} \left( \sqrt{1 + \left(\frac{\epsilon''}{\epsilon'}\right)^2} - 1 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

$$\beta(\text{imajiner}) = (2\pi f) \sqrt{\frac{\mu\epsilon'}{2}} \left( \sqrt{1 + \left(\frac{\epsilon''}{\epsilon'}\right)^2} + 1 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

dengan  $f$  merupakan frekuensi yang digunakan,  $\mu$  merupakan permeabilitas dinding,  $\epsilon'$  adalah permitivitas riil medium,  $\epsilon''$  adalah permitivitas imajiner medium, dan  $\mu$  adalah permeabilitas medium.

Pengujian pada eksperimen ini menggunakan dua jenis dinding yang berbeda, yaitu dinding bata Hebel, dengan konstanta dielektrik  $\epsilon' = 2,85$  dan  $\epsilon'' = 0,285$ , serta dinding kayu dengan konstanta dielektrik  $\epsilon' = 1,99$  dan  $\epsilon'' = 0,159$  [13]. Akibat adanya dinding penghalang pada pendeteksian, akan muncul atenuasi dan *delay* pada hasil deteksi. Atenuasi merupakan pelemahan suatu sinyal yang disebabkan oleh penghalang dan jarak yang ditempuh oleh gelombang saat perambatan menuju objek dan kembali ke radar. *Delay* adalah waktu tunda yang disebabkan oleh adanya penghalang pada saat pendeteksian, sehingga menyebabkan pergeseran posisi pada puncak sinyal pantul yang diterima oleh radar. Untuk mengetahui total atenuasi ( $\alpha_{\text{Total}}$ ), *delay* ( $\Delta t$ ), dan pergeseran posisi ( $\Delta S$ ) puncak sinyal, dilakukan perhitungan menggunakan (4) sampai (7), dengan  $\ell$  adalah tebal penghalang.

$$\alpha_{\text{Total}}(\text{dB}) = 2 \times \ell \times \alpha \quad (4)$$

$$v = \frac{2\pi f}{\beta} \quad (5)$$

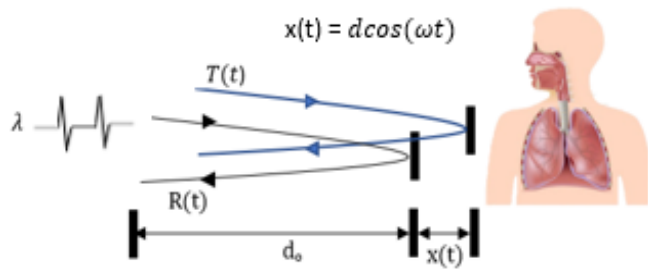
$$\Delta t = \frac{s}{v} \quad (6)$$

$$\Delta S = \frac{c \times \Delta t}{2} \quad (7)$$

dengan  $s$  adalah jarak radar dari penghalang dan  $C$  adalah cepat rambat cahaya, yaitu  $3 \times 10^8$  m/s.

### D. Pergerakan Dinding Dada pada Sistem Pernapasan

Sistem pernapasan merupakan salah satu tanda vital pada manusia. Pernapasan manusia pada umumnya merupakan gerakan periodik yang dapat dilihat dari pergerakan dinding dada atau perut. Pada saat menghirup udara, dinding dada akan melebar. Hal ini disebabkan karena udara memasuki paru-paru sehingga volume paru-paru bertambah. Pada saat menghembuskan udara, dinding paru-paru mengecil karena volume paru-paru berkurang, sehingga udara keluar [14]. Hubungan antara pernapasan dan gerakan dinding dada dapat diilustrasikan pada Gbr. 1, dengan  $T(t)$  merupakan gelombang yang dikirim dari antena Tx,  $R(t)$  adalah sinyal yang dipantulkan oleh objek, dan  $d_o + x(t)$  adalah jarak manusia dengan radar. Pergerakan kecil pada aktivitas pernapasan ini merupakan salah satu karakteristik yang dapat membedakan manusia dengan benda mati pada saat dideteksi menggunakan sistem radar. Pergerakan dinding dada dan perambatan gelombang dibuat dalam domain waktu, sehingga dapat dianalisis perubahannya dengan melihat amplitudo saat menghirup dan menghembuskan udara.



Gbr. 1 Pergerakan dinding dada secara periodik.

E. Antena Vivaldi

Antena merupakan sebuah alat yang berfungsi untuk mengirim dan menerima gelombang elektromagnetik. Dalam mengaplikasikan sistem TWR, dibutuhkan antena dengan desain yang kompak dan ringan agar mudah dipindahkan [15]. Antena untuk sistem TWR memiliki beberapa persyaratan khusus, di antaranya memiliki pola radiasi *directional*, *gain* yang tinggi, dan *bandwidth* yang sangat lebar. Salah satu antena yang memenuhi persyaratan tersebut adalah antena Vivaldi [3]. Antena Vivaldi pertama kali diciptakan oleh Gipson pada tahun 1979 [16]. Berdasarkan [2], antena Vivaldi merupakan antena khusus dari *tapered slot antenna* (TSA) dalam bentuk eksponensial atau biasa dikenal dengan istilah *exponentially tapered slot antenna* (ETSA). *Bandwidth* yang sempit pada antena mikrostrip dapat diatasi dengan menggunakan antena mikrostrip Vivaldi yang memiliki *bandwidth* yang lebar [17]. Mekanisme utama pada antena Vivaldi adalah gelombang elektromagnetik yang merambat pada ujung kelengkungan eksponensial lengan Vivaldi, sehingga antena dapat beroperasi pada rentang frekuensi yang luas [17].

F. Pemodelan Sistem Radar pada Vector Network Analyzer (VNA)

VNA merupakan alat ukur yang digunakan untuk mengukur parameter scattering, yaitu  $S_{11}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{12}$ , dan  $S_{22}$  dari suatu sistem [18]. Parameter yang diukur VNA adalah parameter medan jauh dan medan dekat pada antena. VNA memiliki banyak pengaturan yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan eksperimen.

Pemodelan sistem radar VNA mempunyai dua *port* yang dianggap sebagai Tx dan Rx. *Port* 1 pada VNA berfungsi sebagai Tx dan *port* 2 sebagai Rx. Hasil pengukuran  $S_{21}$  menunjukkan fungsi transfer yang menggambarkan hubungan antara sinyal yang ditransmisikan dan sinyal yang diterima. Data yang diambil pada pengukuran  $S_{21}$  menggunakan mode format kompleks ( $R + jX$ ), sehingga menghasilkan bilangan kompleks yang terdiri atas komponen riil dan imajiner.  $S_{21}$  mewakili daya yang ditransfer dari *port* 1 ke *port* 2 yang dinyatakan dalam fungsi transfer pada (8).

$$H(f) = \frac{R_x(f)}{T_x(f)} = S_{21}. \tag{8}$$

Sinyal yang dipantulkan oleh objek dan diterima oleh antena Rx dapat ditentukan pada (9).

$$R_x(f) = S_{21}T_x(f) \tag{9}$$

dengan  $T_x(f)$  adalah spektrum sinyal yang dipancarkan oleh sistem radar. Untuk merekonstruksi bentuk sinyal terima pada kawasan waktu, dilakukan perhitungan invers transformasi Fourier [2] seperti pada (10).

$$R_x(t) = F^{-1}[R_x(f)]. \tag{10}$$

Sinyal yang sudah direkonstruksi menjadi domain waktu diberi filter berupa sinyal dengan bentuk pulsa *monocycle* untuk memperjelas pantulan-pantulan dari sinyal yang diterima oleh antena agar lebih mudah dianalisis.

G. Software Defined Radio (SDR)

*Software defined radio* (SDR) merupakan sebuah teknologi pada komunikasi nirkabel yang dapat dikonfigurasi atau diprogram ulang menggunakan perangkat lunak [19]. Sebagian besar pemrosesan pada SDR terjadi pada perangkat keras, sedangkan pembangkitan gelombang serta konversi dilakukan pada perangkat lunak [20]. SDR dapat lebih fleksibel digunakan karena dapat dikonfigurasi atau diprogram ulang tanpa harus mengganti perangkat keras [19]. Selain sifatnya yang fleksibel, SDR juga dapat mengurangi pengeluaran untuk komponen yang diperlukan dalam sistem radar karena memiliki kelebihan di antaranya mudah dikonfigurasi, sederhana, dan dapat memperkecil ukuran [19].

H. GNU Radio

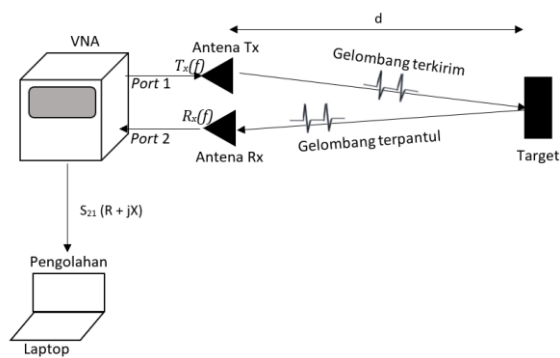
GNU Radio merupakan sebuah perangkat lunak yang menyediakan teknik pemrosesan sinyal untuk mengimplementasikan SDR. GNU Radio menggunakan perangkat keras radio frekuensi yang murah atau menggunakan hasil dari simulasi [21]. Pengguna GNU Radio dapat merancang, menyimulasikan, dan menyiarkan sistem komunikasi radio. Sebagian besar komunikasi radio yang dapat menggunakan perangkat lunak GNU Radio adalah pengolahan audio, komunikasi bergerak, pelacakan satelit, sistem radar, serta jaringan GSM dan CDMA. GNU Radio mampu bekerja jika memiliki perangkat eksternal *radio frequency* (RF). Program aplikasi pada GNU Radio umumnya menggunakan bahasa pemrograman Python, tetapi saat implementasi dapat juga dikombinasikan dengan bahasa pemrograman C++ untuk hasil yang lebih akurat [22].

I. BladeRF

BladeRF adalah sebuah SDR yang dirancang bagi pengguna untuk mengeksplorasi komunikasi nirkabel. BladeRF merupakan perangkat keras yang digabungkan dengan GNU Radio sebagai model sistem radar. BladeRF dapat dihubungkan dengan laptop yang telah diinstal MATLAB untuk mengirim atau menerima pengujian [23].

III. MODEL SISTEM

Desain sistem dalam penelitian ini secara umum ditunjukkan pada Gbr. 2. Sistem radar dimodelkan menggunakan VNA dan GNU Radio dengan bladeRF. Objek pada eksperimen ini adalah pelat logam dan pergerakan dinding dada pada manusia pada saat bernapas. Untuk mengetahui pengaruh dinding



Gbr. 2 Pemodelan sistem radar pada VNA.



(a)



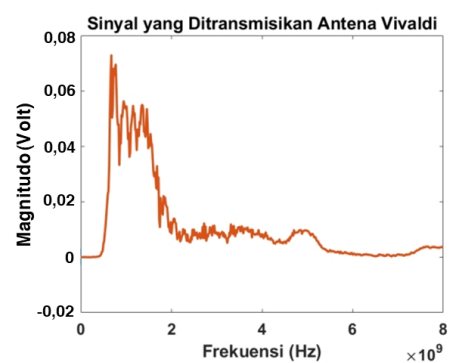
(b)

Gbr. 3 Desain skenario eksperimen menggunakan VNA, (a) menggunakan penghalang bata Hebel, (b) menggunakan penghalang kayu.

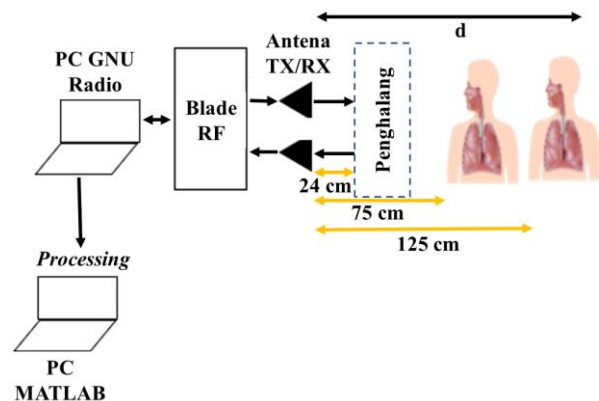
penghalang pada pendeteksian pernapasan, digunakan dua jenis penghalang, yaitu dinding bata Hebel dan kayu.

#### A. Desain Sistem Radar dengan VNA

Desain keseluruhan sistem radar menggunakan VNA ditunjukkan pada Gbr. 3. VNA berfungsi sebagai sistem radar dan memancarkan sinyal melalui antena Vivaldi. Sinyal yang dibangkitkan oleh VNA memiliki rentang frekuensi 300 kHz – 8 GHz dengan frekuensi tengah 4 GHz. Gbr. 4 menunjukkan sinyal yang dikirimkan oleh antena yang sudah dipengaruhi oleh *return loss*. Sinyal yang paling dominan berada pada rentang frekuensi 1 – 2 GHz. Pada penelitian ini, parameter  $S$  yang digunakan adalah  $S_{21}$ , yang mewakili daya yang ditransfer dari *port* 1 ke *port* 2. Data disimpan di VNA dengan mode kompleks ( $R + jX$ ) sebanyak 501 titik. Sinyal radar yang dibangkitkan berupa pulsa *monocycle* dengan lebar denyut pulsa 0,5 ns. Pada bagian pengolahan, digunakan perangkat lunak MATLAB R2018a untuk merekonstruksi sinyal.



Gbr. 4 Sinyal yang ditransmisikan antena Vivaldi.



Gbr. 5 Desain skenario eksperimen menggunakan bladeRF dengan penghalang dan tanpa penghalang dinding.

Kemudian, hasil ditampilkan melalui *display* yang berupa laptop. Sesuai Gbr. 4, pengujian menggunakan VNA dilakukan pada dua kondisi yang berbeda, yaitu tidak menggunakan penghalang dan menggunakan penghalang bata Hebel dan kayu.

#### B. Desain Sistem Radar Menggunakan BladeRF

Sistem radar dimodelkan dengan GNU Radio serta bladeRF yang memiliki dua *port* untuk Tx dan Rx. Spesifikasi radar di bladeRF dimodelkan dalam perangkat lunak GNU Radio dengan frekuensi kerja 2 GHz. Antena berfungsi sebagai pengirim sinyal dan penerima sinyal yang dipantulkan oleh objek. Sinyal yang diterima oleh antena diolah pada GNU Radio. MATLAB digunakan untuk memetakan data pada grafik. Lalu, hasil pengolahan sinyal ditampilkan melalui *display*. Sesuai Gbr. 5, pengujian menggunakan GNU Radio dan bladeRF dilakukan pada dua kondisi yang berbeda, yaitu tidak menggunakan penghalang dan menggunakan penghalang pada frekuensi kerja 2 GHz.

#### C. Pengolahan Data

Pengolahan data pada eksperimen ini dilakukan menggunakan laptop/PC dengan MATLAB R2018a. Berdasarkan [18], pengolahan data pada hasil pengukuran menggunakan VNA dilakukan melalui enam tahap, yaitu sebagai berikut.

1. Menyusun data  $S_{21}$  pada MATLAB menjadi vektor *fast Fourier transform* (FFT) dalam domain frekuensi.

2. Melakukan proses pembangkitan sinyal Tx lalu dikonversi menjadi vektor diskret  $T_x(n)$ , dengan  $n$  sebanyak jumlah data  $S_{21}$ , yaitu 501.
3. Menghitung FFT dari  $T_x(n)$ .
4. Melakukan konvolusi menggunakan (11) dengan  $k = 1$ .

$$[R_x(k)] = \text{FFT} [S_{21}] \cdot \text{FFT}[T_x(n)] \quad (11)$$

5. Menentukan sinyal yang diterima dengan *inverse fast Fourier transform* (IFFT) yang dapat dilihat pada (12).

$$[R_x(n)] = \text{IFFT} [R_x(k)] \quad (12)$$

6. Sinyal yang sudah direkonstruksi ke dalam domain waktu diberi filter berupa sinyal dengan bentuk pulsa *monocycle* untuk memperjelas pantulan-pantulan dari sinyal yang diterima oleh antena agar lebih mudah untuk dianalisis.

Pengolahan data pada hasil pengujian menggunakan bladeRF sudah dalam domain waktu dan dapat membedakan gerakan dinding dada pada saat menghirup dan mengembuskan udara. Pengolahan data pada MATLAB berguna untuk memetakan data pada grafik untuk dianalisis.

Data hasil eksperimen menggunakan VNA dianalisis untuk mengetahui adanya pengaruh penghalang. Adanya pengaruh penghalang ini dicari dengan mengukur besar rugi-rugi yang terjadi pada saat perambatan gelombang melewati dinding penghalang lalu dibandingkan dengan perambatan gelombang tanpa melewati penghalang. Sementara itu, data dari hasil eksperimen menggunakan bladeRF dianalisis untuk memvalidasi pengaruh dinding penghalang pada deteksi pergerakan dinding dada saat menghirup dan mengembuskan udara di balik dinding.

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### A. Hasil Pengukuran Menggunakan Perhitungan

Hasil pengukuran menggunakan perhitungan pada (2) sampai dengan (7) menunjukkan bahwa masing-masing penghalang memberikan rugi-rugi dengan nilai tertentu yang besarnya dipengaruhi oleh nilai konstanta dielektrik. Rugi-rugi tersebut dapat diketahui nilainya dengan menghitung nilai  $\alpha$  dan  $\beta$ . Nilai  $\alpha$  digunakan untuk mengetahui total atenuasi yang terjadi pada saat gelombang merambat melalui dinding penghalang. Pada Tabel I ditunjukkan bahwa total atenuasi yang dihasilkan oleh penghalang bata Hebel adalah sebesar 12,1 dB dengan tebal bata Hebel 10 cm, sedangkan total atenuasi yang dihasilkan oleh penghalang kayu sebesar 1,63 dB dengan tebal kayu 2 cm.

Nilai  $\beta$  digunakan untuk menghitung *delay* yang dialami oleh gelombang saat merambat melalui dinding penghalang. *Delay* berpengaruh pada waktu tempuh gelombang sampai ke objek dan dipantulkan kembali menuju radar, sehingga nilai  $\beta$  berpengaruh pada pergeseran posisi puncak sinyal saat dideteksi oleh radar. Hasil pengukuran menggunakan perhitungan menunjukkan bahwa masing-masing penghalang memberikan *delay* dengan nilai tertentu yang besarnya dipengaruhi oleh nilai konstanta dielektrik dari penghalang yang digunakan. Sesuai Tabel I, *delay* yang dihasilkan oleh

TABEL I  
HASIL PENGUKURAN MENGGUNAKAN PERHITUNGAN

Perhitungan	Dinding Bata Hebel	Kayu
$\alpha$ (Nepper/m)	7,06	4,7
$\beta$ (rad/m)	141,61	118,27
Total atenuasi (dB)	12,1	1,63
<i>Delay</i> (ns)	0,563	0,094

penghalang bata Hebel adalah sebesar 0,563 ns dengan tebal bata Hebel 10 cm, sedangkan *delay* yang dihasilkan oleh penghalang kayu sebesar 0,094 ns dengan tebal kayu 2 cm. Dari perhitungan tersebut, dapat disimpulkan bahwa bata Hebel memberikan atenuasi dan *delay* yang lebih besar dibandingkan kayu.

##### B. Hasil Pengukuran Menggunakan VNA

Data diambil dengan mode kompleks ( $R+jX$ ). Tujuan dari pengamatan nilai  $S_{21}$  adalah untuk mengetahui rugi-rugi yang dilihat dari penurunan daya dan *delay* yang disebabkan oleh penghalang pada saat gelombang merambat. Total atenuasi didapatkan dari hasil selisih amplitudo *peak-to-peak* antara sinyal tanpa menggunakan penghalang dengan *peak-to-peak* sinyal menggunakan penghalang yang dituliskan pada (13).

$$\alpha_{\text{pengukuran}} = 20(\log(|Y1| + |Y2|) - \log(|Y3| + |Y4|)). \quad (13)$$

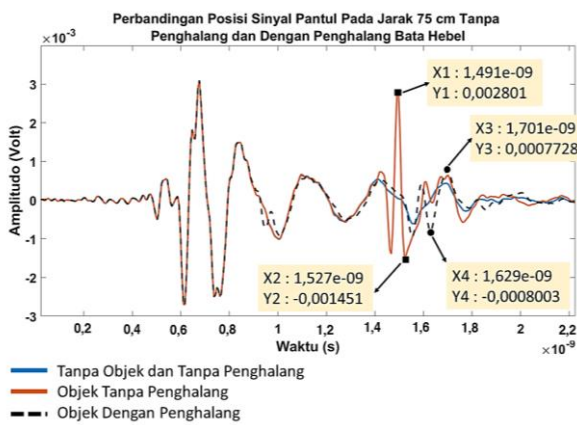
*Delay* didapatkan dari selisih waktu antara puncak sinyal menggunakan penghalang dengan puncak sinyal tanpa menggunakan penghalang dan dituliskan pada (14).

$$\Delta t_{\text{pengukuran}} = X3 - X1. \quad (14)$$

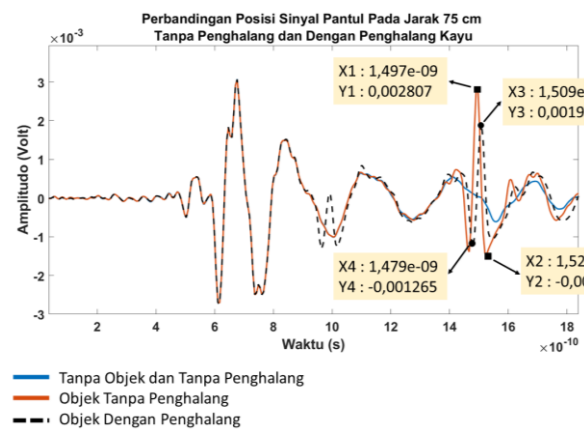
1) Hasil Pengukuran dengan Penghalang Bata Hebel: Deteksi objek dengan penghalang bata Hebel dilakukan dengan tiga jarak, yaitu 75 cm dan 125 cm, dengan tebal penghalang bata Hebel 10 cm. Jarak penghalang dengan radar tetap sama, yaitu 24 cm. Dari hasil yang didapat terlihat bahwa sinyal yang diterima oleh radar mengalami penurunan daya yang signifikan, yang terlihat dari amplitudo *peak-to-peak* sinyal pantul. Nilai amplitudo sinyal terima dapat dilihat pada koordinat sumbu Y. Selain itu, dapat dilihat juga *delay* sinyal pantul yang diterima oleh radar, yang nilainya tampak dari koordinat sumbu X.

Gbr. 6 menunjukkan perbandingan sinyal yang diterima oleh radar tanpa penghalang dan dengan penghalang bata Hebel pada jarak 75 cm. Amplitudo sinyal terima saat menggunakan penghalang bata Hebel lebih rendah dibandingkan tanpa penghalang. Penurunan daya yang terjadi pada jarak 75 cm adalah sebesar 8,636 dB. Penurunan daya ini terjadi karena gelombang mengalami rugi-rugi saat merambat melalui beberapa medium yang berbeda, sehingga daya sinyal yang dikirimkan makin kecil. Rugi-rugi tersebut dapat berupa redaman yang dipengaruhi oleh konstanta dielektrik bata Hebel.

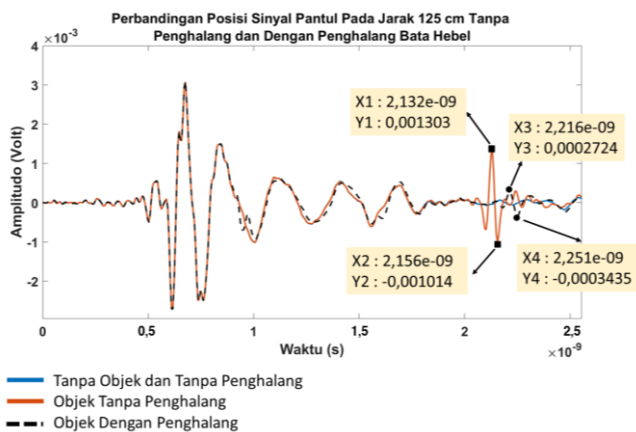
Selain itu, penghalang bata Hebel juga memberikan *delay* pada sinyal pantul yang diterima oleh radar. Pada Gbr. 6 dapat dilihat perbedaan waktu sinyal pantul yang diterima oleh radar pada saat menggunakan penghalang bata Hebel dan yang tidak menggunakan penghalang. *Delay* yang dialami oleh gelombang yang merambat melalui penghalang adalah 0,21 ns. Adanya *delay* pada deteksi objek menyebabkan tingkat akurasi deteksi



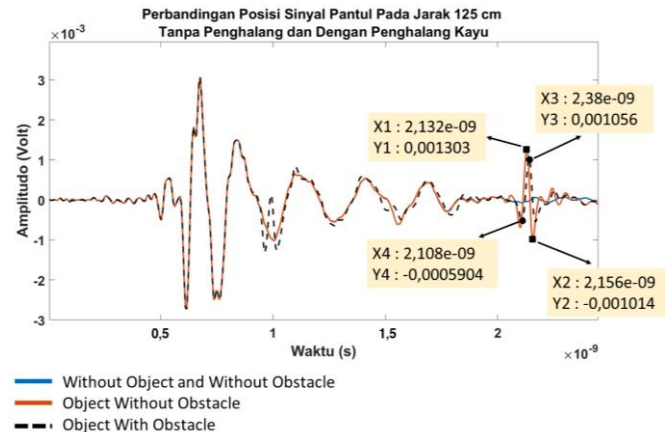
Gbr. 6 Perbandingan hasil pengukuran sinyal pantul tanpa penghalang dan dengan penghalang bata Hebel pada jarak 75 cm.



Gbr. 8 Perbandingan hasil pengukuran sinyal pantul tanpa penghalang dan dengan penghalang kayu pada jarak 75 cm.



Gbr. 7 Perbandingan hasil pengukuran sinyal pantul tanpa penghalang dan dengan penghalang bata Hebel pada jarak 125 cm.



Gbr. 9 Perbandingan hasil pengukuran sinyal pantul tanpa penghalang dan dengan penghalang kayu pada jarak 125 cm.

jarak makin berkurang akibat adanya pergeseran posisi puncak sinyal. Nilai pergeseran posisi puncak sinyal pada deteksi menggunakan penghalang bata Hebel pada jarak 75 cm adalah 3,15 cm.

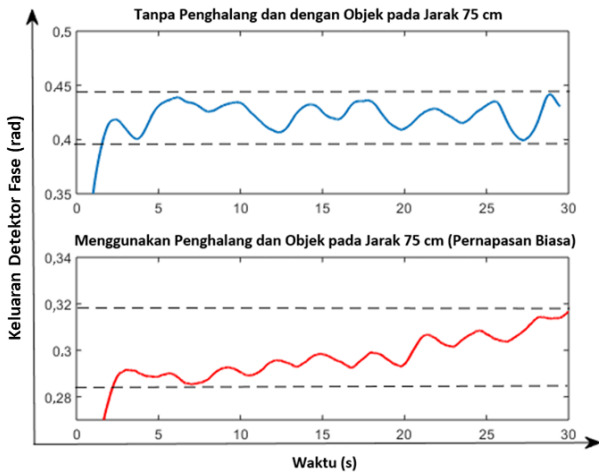
Pada jarak 125 cm, penurunan daya yang terjadi ditunjukkan pada Gbr. 7, yaitu sebesar 11,51 dB, dengan *delay* sebesar 0,084 ns dan pergeseran posisi puncak sinyal dengan adanya penghalang sebesar 1,26 cm.

Berdasarkan Gbr. 6 dan Gbr. 7, dapat dilihat juga pengaruh jarak terhadap hasil deteksi. Makin jauh jarak objek dengan radar, makin besar penurunan daya sinyal pantul yang diterima oleh radar. Hal ini terjadi karena daya sinyal pada saat menyentuh objek dan kembali ke radar lebih kecil akibat jarak perambatan gelombang yang lebih jauh. Selain itu, dapat dilihat juga bahwa *delay* sinyal pantul yang diterima oleh radar makin besar seiring dengan makin jauhnya jarak objek dengan radar. Hal ini terjadi karena jarak tempuh gelombang yang lebih jauh mengakibatkan waktu propagasi gelombang yang lebih lama.

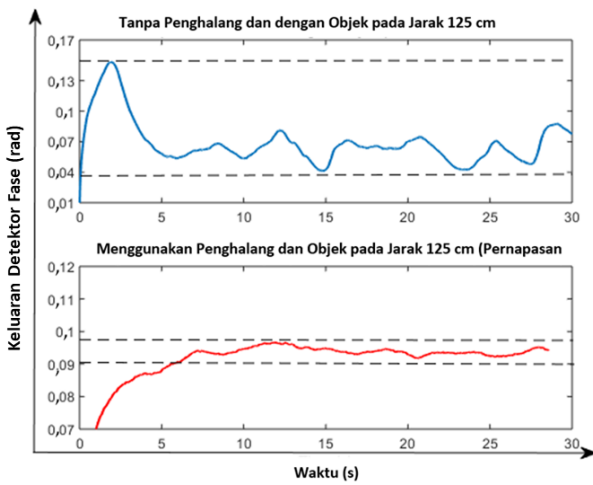
2) Hasil Pengukuran dengan Penghalang Kayu: Deteksi objek dengan penghalang kayu dilakukan dengan dua jarak, yaitu 75 cm dan 125 cm, dengan tebal penghalang kayu 2 cm. Jarak penghalang dengan radar tetap sama, yaitu 24 cm. *Delay* didapatkan dari selisih waktu antara puncak sinyal menggunakan penghalang dengan puncak sinyal tanpa

penghalang. Besarnya nilai *delay* dapat dilihat pada koordinat sumbu Y. Hasil yang diperoleh ditunjukkan pada Gbr. 8 dan Gbr. 9. Pada gambar tampak bahwa sinyal yang diterima oleh radar mengalami penurunan daya, yang dapat dilihat dari amplitudo *peak-to-peak* sinyal pantul. Besarnya nilai amplitudo dapat dilihat dari koordinat titik X. Makin jauh jarak objek dengan radar, makin besar penurunan daya sinyal pantul yang diterima oleh radar. Hal ini disebabkan daya sinyal pada saat menyentuh objek dan kembali ke radar lebih kecil akibat jarak perambatan gelombang yang lebih jauh. Selain itu, dapat dilihat juga *delay* sinyal pantul yang diterima oleh radar, yang menyebabkan tingkat akurasi deteksi jarak berkurang karena adanya pergeseran posisi puncak sinyal.

Penurunan daya yang terjadi pada jarak 75 cm adalah 2,51 dB dengan *delay* waktu 0,12 ns dan pergeseran posisi puncak sinyal dengan adanya penghalang sebesar 0,18 cm. Penurunan daya terjadi karena gelombang mengalami rugi-rugi saat merambat melalui beberapa medium yang berbeda, sehingga daya sinyal yang dikirimkan makin kecil. Rugi-rugi tersebut dapat berupa redaman yang dipengaruhi oleh konstanta dielektrik kayu. Adanya *delay* pada deteksi objek menyebabkan tingkat akurasi deteksi jarak makin berkurang karena adanya pergeseran posisi puncak sinyal. Hasil eksperimen ditunjukkan pada Gbr. 8.



(a)



(b)

Gbr. 10 Perbandingan hasil deteksi bladeRF, (a) objek pada jarak 75 cm, (b) objek pada jarak 125 cm.

Sementara itu, pada jarak 125 cm, penurunan daya yang terjadi adalah sebesar 2,968 dB dengan *delay* waktu 0,006 ns dan pergeseran posisi puncak sinyal dengan adanya penghalang sebesar 0,09 cm. Hasil eksperimen diperlihatkan pada Gbr. 9.

C. Hasil Pengukuran Menggunakan BladeRF

Pengukuran pengaruh penghalang pada deteksi objek menggunakan VNA divalidasi dengan pengukuran tanda vital pernapasan menggunakan sistem radar yang dimodelkan oleh bladeRF dengan beberapa jarak, yaitu 75 cm dan 125 cm dengan penghalang berupa dinding. Data pengukuran yang diambil berupa sampel pernapasan selama 30 detik dengan model pernapasan biasa. Hasil pengukuran ditunjukkan pada Gbr. 10. Hasil yang didapatkan dari deteksi tanda vital pernapasan di balik dinding menunjukkan bahwa dinding penghalang memberikan pengaruh pada pendeteksian. Hasil deteksi pola pernapasan pada saat menghirup dan mengembuskan napas tanpa menggunakan penghalang terlihat lebih jelas dibandingkan dengan hasil deteksi menggunakan penghalang. Puncak atas pada gelombang menunjukkan peristiwa menghirup udara dan puncak bawah pada gelombang

TABEL II  
PERBANDINGAN HASIL PENGUKURAN TOTAL ATENUASI MENGGUNAKAN PERHITUNGAN DAN MENGGUNAKAN VNA.

Jenis Penghalang	Total Atenuasi Perhitungan (dB)	Total Atenuasi Menggunakan VNA (dB)	
		75 cm	125 cm
Bata Hebel	12,10	8,636	11,510
Kayu	1,63	2,510	2,968

TABEL III  
PERBANDINGAN HASIL PENGUKURAN DELAY MENGGUNAKAN PERHITUNGAN DAN MENGGUNAKAN VNA.

Jenis Penghalang	Delay Menggunakan Perhitungan (ns)	Delay Menggunakan VNA (ns)	
		75 cm	125 cm
Bata Hebel	0,563	0,21	0,084
Kayu	0,094	0,12	0,006

menunjukkan peristiwa mengembuskan udara. Hal ini membuktikan bahwa dinding penghalang memberikan pengaruh yang cukup signifikan pada deteksi tanda vital pernapasan menggunakan sistem radar.

D. Analisis Perbandingan Hasil Pengukuran Menggunakan Perhitungan dan VNA

Pada hasil pengukuran menggunakan perhitungan, konstanta dielektrik sangat memengaruhi rugi-rugi yang dihasilkan masing-masing penghalang. Berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan, terdapat perbedaan antara hasil perhitungan dengan hasil pengukuran menggunakan VNA. Hal tersebut dapat dilihat pada Tabel II. Berdasarkan Tabel II, hasil pengukuran total atenuasi menggunakan perhitungan cukup mendekati hasil pengukuran total atenuasi menggunakan VNA. Namun, makin jauh jarak objek dari antenna, makin jauh pula perbedaan total atenuasinya. Hal ini terjadi karena pengukuran menggunakan perhitungan tidak dipengaruhi oleh jarak. Ukuran penghalang dalam eksperimen ini juga terbatas, sehingga terdapat efek difraksi bagian tepi-tepi dinding yang kemudian menyebabkan gelombang *multipath* dari radar ke target pun berbeda. Selain itu, jarak objek makin jauh dari radar sehingga daya sinyal yang sampai pada objek dan kembali ke radar lebih kecil akibat perambatan gelombang yang lebih jauh.

Berdasarkan Tabel III, hasil pengukuran *delay* menggunakan perhitungan dan menggunakan VNA sama-sama menunjukkan bahwa penghalang menyebabkan *delay* pada perambatan gelombang. Namun, hasil yang diperoleh pada pengukuran menggunakan perhitungan berbeda dengan hasil pengukuran *delay* menggunakan VNA. Hal ini terjadi karena hasil pada pengukuran menggunakan VNA tidak hanya dipengaruhi oleh konstanta dielektrik pada penghalang saja, tetapi juga oleh faktor eksternal lainnya, seperti kondisi lingkungan yang dapat memengaruhi perambatan gelombang.

V. KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dilakukan pengukuran pada deteksi tanda vital pernapasan tanpa penghalang dan dengan penghalang menggunakan sistem radar. Hasil pengukuran menggunakan perhitungan dan VNA menunjukkan bahwa penghalang memberikan rugi-rugi yang cukup signifikan. Ini

ditunjukkan dengan adanya penurunan pada amplitudo *peak-to-peak* sinyal pada saat pengukuran menggunakan penghalang. Akibat makin kecilnya amplitudo sinyal yang terdeteksi, makin sulit juga proses mendeteksi target. Penurunan amplitudo saat menggunakan penghalang bata Hebel adalah 8,636 dB saat jarak target 75 cm dan 11,51 dB saat jarak target 125 cm. Penurunan amplitudo saat menggunakan penghalang kayu adalah sebesar 2,51 dB saat jarak target 75 cm dan 2,968 dB saat jarak target 125 cm. Selain itu, tebal penghalang berpengaruh pada besar total atenuasi dan *delay* pada deteksi. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa penghalang memberikan *delay* pada sinyal pantul yang diterima oleh radar. Hal ini ditunjukkan dengan adanya pergeseran posisi puncak sinyal pantul pada saat menggunakan penghalang, sehingga akurasi deteksi berkurang. *Delay* yang terjadi pada saat menggunakan penghalang bata Hebel adalah 0,21 ns pada jarak target 75 cm dan 0,084 ns pada jarak target 125 cm. *Delay* yang terjadi pada saat menggunakan penghalang kayu yaitu sebesar 0,12 ns pada jarak target 75 cm dan 0,006 ns pada jarak target 125 cm. Validasi eksperimen yang dilakukan menggunakan bladeRF menunjukkan adanya pengaruh penghalang pada deteksi tanda vital pernapasan. Hal ini ditunjukkan pada deteksi menggunakan penghalang, yang membuat pola pernapasan menjadi terlihat kurang jelas. Maka, perlu adanya usaha untuk mengatasi pengaruh tersebut agar akurasi deteksinya tidak terganggu. Sebagai penelitian selanjutnya, dapat dilakukan pengiriman sinyal oleh radar dari sisi yang berbeda, selain sisi vertikal, untuk mendeteksi pernapasan pada manusia.

#### KONFLIK KEPENTINGAN

Tim Penulis menyatakan bahwa artikel yang berjudul "Pengaruh Dinding Penghalang pada Deteksi Tanda Vital Pernapasan dengan *Through Wall Radar*" ditulis dengan bebas dari konflik kepentingan.

#### KONTRIBUSI PENULIS

Konseptualisasi, metodologi, Fildha Ridhia; validasi, Aloysius Adya Pramudita dan Yuyu Wahyu; analisis formal, Fildha Ridhia; penulisan—penyusunan draf asli, Fildha Ridhia; penulisan—peninjauan dan penyuntingan, Harfan Hian Ryanu; visualisasi, Fildha Ridhia dan Harfan Hian Ryanu; pengawasan, Aloysius Adya Pramudita dan Yuyu Wahyu.

#### REFERENSI

- [1] Z. Li, T. Jin, Y. Dai, dan Y. Song, "Through-Wall Multi-Subject Localization and Vital Signs Monitoring Using UWB MIMO Imaging Radar," *Remote Sens.*, Vol. 13, No. 15, hal. 1-21, Jul. 2021.
- [2] T.O. Praktika, A.A. Pramudita, dan Y. Wahyu, "Design of Vivaldi Antenna for UWB Respiration Radar," *2019 Int. Conf. Inf., Commun. Technol. (ICOIACT)*, 2019, hal. 11–16.
- [3] S. Saleh, dkk., "Compact UWB Vivaldi Tapered Slot Antenna," *Alexandria Eng. J.*, Vol. 61, No. 6, hal. 4977–4994, Jun. 2022.
- [4] A. Dell'Aversano, A. Natale, A. Buonanno, dan R. Solimene, "Through the Wall Breathing Detection by Means of a Doppler Radar and MUSIC Algorithm," *IEEE Sensors Lett.*, Vol. 1, No. 3, hal. 1-4, Jun. 2017.
- [5] K. Wang, Z. Zeng, dan J. Sun, "Through-Wall Detection of the Moving Paths and Vital Signs of Human Beings," *IEEE Geosci., Remote Sens. Lett.*, Vol. 16, No. 5, hal. 717–721, Mei 2019.
- [6] B.P.A. Rohman, M.B. Andra, dan M. Nishimoto, "Through-the-Wall Human Respiration Detection Using UWB Impulse Radar on Hovering Drone," *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs., Remote Sens.*, Vol. 14, hal. 6572–6584, Jun. 2021.
- [7] F. Khan dan S.H. Cho, "A Detailed Algorithm for Vital Sign Monitoring of a Stationary/Non-Stationary Human through IR-UWB Radar," *Sensors*, Vol. 17, No. 2, hal. 1-15, Feb. 2017.
- [8] Z. Li, T. Jin, Y. Dai, dan Y. Song, "Through-Wall Multi-Subject Localization and Vital Signs Monitoring Using UWB MIMO Imaging Radar," *Remote Sens.*, Vol. 13, No. 15, hal. 1-21, Jul. 2021.
- [9] Z. Duan dan J. Liang, "Non-Contact Detection of Vital Signs Using a UWB Radar Sensor," *IEEE Access*, Vol. 7, hal. 36888–36895, Apr. 2019.
- [10] X. Liang, dkk., "An Improved Algorithm for Through-Wall Target Detection Using Ultra-Wideband Impulse Radar," *IEEE Access*, Vol. 5, hal. 22101–22118, Okt. 2017.
- [11] X. Zhang, dkk., "Contactless Simultaneous Breathing and Heart Rate Detections in Physical Activity Using IR-UWB Radars," *Sensors*, Vol. 21, No. 16, hal. 1–18, Agu. 2021.
- [12] H. Ryanu, D. Setiawan, dan Edwar, "Desain Antena Mikrostrip UWB dengan Peningkatan Lebar Pita dan Karakteristik Triple Notch Band," *J. Nas. Tek. Elekt., Teknol. Inf.*, Vol. 10, No. 3, hal. 249–256, Agu. 2021.
- [13] N.T. Kien dan I.-P. Hong, "Evaluation of Common Building Wall in See-Through-Wall Application of Ultra-Wideband Synthetic Aperture Radar," *J. Elect. Eng., Technol.*, Vol. 16, hal. 437-442, Sep. 2020.
- [14] R. Ambarini, A.A. Pramudita, E. Ali, dan A.D. Setiawan, "Single-Tone Doppler Radar System for Human Respiratory Monitoring," *2018 5th Int. Conf. Elect. Eng. Comput. Sci., Inform. (EECSI)*, 2018, hal. 571–575.
- [15] X. Li dan G. Lv, "Improved Radiation Characteristics of Compact Antipodal Vivaldi Antenna with the Hybrid Technique for UWB Applications," *Electromagn.*, Vol. 41, No. 1, hal. 66–81, 2021.
- [16] P.J. Gibson, "The Vivaldi Aerial," *Eur. Microw. Conf.*, 1979, hal. 101–105.
- [17] J. Zhang, H. Lan, M. Liu, dan Y. Yang, "A Handheld Nano Through-Wall Radar Locating with the Gain-Enhanced Vivaldi Antenna," *IEEE Sensors J.*, Vol. 20, No. 8, hal. 4420–4429, Apr. 2020.
- [18] A.A. Pramudita, T.O. Praktika, dan S. Jannah, "Radar Modeling Experiment Using Vector Network Analyzer," *2020 Int. Symp. Antennas, Propag. (ISAP)*, 2021, hal. 99–100.
- [19] R. Akeela dan B. Dezfouli, "Software-Defined Radios: Architecture, State-of-the-Art, Challenges," *Comput. Commun.*, Vol. 128, hal. 106–125, Sep. 2018.
- [20] D. Garmatyuk, J. Schuerger, dan K. Kauffman, "Multifunctional Software-Defined Radar Sensor and Data Communication System," *IEEE Sensors J.*, Vol. 11, No. 1, hal. 99-106, Jan. 2011.
- [21] C. Apriono, F. Muin, dan F.H. Juwono, "Portable Micro-Doppler Radar with Quadrature Radar Architecture for Non-Contact Human Breath Detection," *Sensors*, Vol. 21, No. 17, hal. 1-15, Agu. 2021.
- [22] M. Gummineni dan T.R. Polipalli, "Implementation of Reconfigurable Transceiver Using GNU Radio and HackRF One," *Wirel. Pers. Commun.*, Vol. 112, hal. 889–905, Jan. 2020.
- [23] T.T.T. Quynh, dkk., "Network Coding with Multimedia Transmission and Cognitive Networking: An Implementation Based on Software-Defined Radio," *REV J. Electron., Commun.*, Vol. 10, No. 3–4, hal. 72–84, Jul.-Des. 2021.