

Pengolahan Sinyal Isyarat Bahasa Menggunakan *Sparse Sampling* Pada Aplikasi *Array* Teknologi Radar *Doppler* Frekuensi Kerja *X-band*

Puspa Kurniasari¹, Iwan Pahendra Anto Saputra², Melia Sari³

1. Universitas Sriwijaya, Indonesia | puspakurniasari@ft.unsri.ac.id
2. Universitas Sriwijaya, Indonesia | iwanpahendra@unsri.ac.id
3. Universitas Sriwijaya, Indonesia | meliasari@ft.unsri.ac.id

Abstrak

Transmisi sinyal untuk pengiriman informasi dapat dipengaruhi derau dan interferensi dari perangkat dan penghalang sekitar objek (target) sehingga mempengaruhi lebar pita frekuensi transmisi sinyal. Metode pengolahan sinyal berperan penting untuk efisiensi lebar pita dan kecepatan saat transmisi sinyal. *Sparse sampling* sebagai metode tersebut digunakan pada penelitian ini untuk mengolah sinyal isyarat bahasa melalui gerakan tangan atau jari dengan aplikasi *array* teknologi radar *Doppler* frekuensi *X-band* dan dilakukan pengukuran kinerja *sparse sampling* dalam pengolahan sinyal isyarat. Pengukuran kinerja sinyal hasil *sparse sampling* dengan parameter *Signal Noise to Ratio* (SNR), *Peak Signal Noise Ratio* (PSNR) dan *Mean Square Error* (MSE). Hasil yang diperoleh untuk penggunaan *array* sejajar, sinyal isyarat bahasa 'bahaya!' dengan SNR 0,23472 dB, PSNR 31,184 dB, MSE 4,7484 % dengan amplitudo 79 V. Untuk pengujian dengan *array* radar *Doppler* frekuensi *X-band* dengan sudut 30° menghasilkan SNR 0,076566 dB, PSNR 33, 2933 dB dan MSE 1,2047 % di amplitudo 50,7 V untuk sinyal isyarat bahasa 'saya'. Berdasarkan hasil yang diperoleh, kinerja *sparse sampling* pada sinyal isyarat ini telah dapat bekerja untuk optimalisasi kinerja sistem radar *Doppler* frekuensi *X-band*.

Kata Kunci

Isyarat bahasa, radar Doppler, pengolahan sinyal, sparse sampling

1. Pendahuluan

Dalam perkembangan teknologi informasi dan komunikasi, informasi multimedia melalui media *wireless* berupa suara, gambar, teks atau video yang dikirimkan adalah dalam bentuk representasi sinyal. Informasi suatu objek dan pergerakan objek juga dapat dikirimkan ke penerima melalui sistem teknologi *wireless*. Pengiriman sinyal melalui transmisi sinyal membutuhkan lebar pita frekuensi untuk kapasitas dan kecepatan informasi yang dikirimkan. Metode pengolahan sinyal pada transmisi sinyal mempengaruhi efisiensi lebar pita yang dialokasikan transmisi. Selain itu, sinyal yang diterima *receiver* bisa dipengaruhi derau *thermal* perangkat atau pemantulan sinyal dari penghalang.

Sparse sampling sudah dilakukan pengujiannya pada sinyal radar cuaca yang menghasilkan *peak signal noise ratio* 15,17 dB (Purnamasari and Suksmono, 2019) sedangkan pada aplikasi teknologi lainnya yaitu *audio watermarking* digunakan untuk pengukuran kualitas audio, ketahanan serangan dan kapasitas *watermark* (Budiman et al., 2018). Penelitian untuk gerakan tangan sudah dilakukan dengan hasil rekognisi 94 % oleh metode *spectrogram* dan MFCC *graph* berbasis *deep learning* pada pengolahan *image graph* radar *Doppler* (Arthamanolap et al., 2019). Identifikasi range *Doppler* juga telah diaplikasikan pada FMCW radar yang menghasilkan akurasi 95 % dengan 3D-CNN dan CNN-LSTM (Zhang et al., 2020) sedangkan untuk *American Sign Language* direkognisi pada radar *Doppler X-band* melalui *deep learning* di akurasi validasi 95% (Kulhandjian et al., 2019).

Berdasarkan permasalahan yang sudah disebutkan di atas serta penelitian yang telah dilakukan, pada penelitian ini dilakukan pengolahan sinyal yaitu *sparse sampling* sinyal untuk optimalisasi kinerja sinyal teknologi *wireless*. Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan kinerja sinyal terima pada pengembangan radar *Doppler X-band* tersusun *array* melalui pengolahan sinyal yaitu *sparse sampling* terhadap sensitivitas keberadaan objek dan pergerakan tangan objek untuk isyarat bahasa Indonesia. Kuantisasi hasil sinyal melalui kompresi serta rekonstruksi sinyal secara bersamaan agar waktu kuantisasi efisien dan rekognisi sinyal akurat. Perangkat *wireless* yang digunakan sebagai sumber sinyal yang diolah yaitu radar *Doppler X-band* di 10,525 GHz dilengkapi *transceiver* kepekaan sinyal. Karakteristik objek terhadap radar yaitu manusia yang memperagakan isyarat bahasa kata dengan gerakan dan kecepatan gerakan tangan. Radar *Doppler X-band* tersusun *array* sejajar dan kemiringan sudut tertentu mengarah ke objek dengan isyarat bahasa. Sinyal pantul yang diterima *receiver* radar rentan mengalami permasalahan derau dan refleksi sinyal dari perangkat lainnya selama transmisi sinyal.

2. Metode

Urutan tahap penelitian ini terlihat dalam Gambar 1 yaitu dimulai dari tahap persiapan bahan dan alat untuk desain radar *Doppler X-band* berdasarkan spesifikasi komponen dan sistem. Rancangan radar *Doppler X-band* pada tahap selanjutnya dilakukan berdasarkan skematik rangkaian. Tahap berikutnya yaitu pengujian kerja radar tersebut terhadap kondisi lingkungan dan objek manusia. Bentuk isyarat bahasa dalam gerakan tangan objek selanjutnya dipersiapkan

dan ada pengaturan jarak antara radar hasil rancangan dan objek manusia yang memperagakan isyarat bahasa. Pengujian hasil sinyal menggunakan radar hasil rancangan disusun *array* terhadap objek. Tahap penelitian selanjutnya adalah melakukan pengukuran sinyal terima di *receiver* radar *Doppler X-band* kemudian diolah menggunakan *sparse sampling* untuk dianalisis kinerjanya berdasarkan perbandingan dengan sinyal asli serta tahap terakhir yaitu estimasi sinyal melalui parameter pengukuran kinerja sinyal yaitu *peak signal noise ratio* (PSNR), *signal noise to ratio* (SNR) dan *mean square error* (MSE).



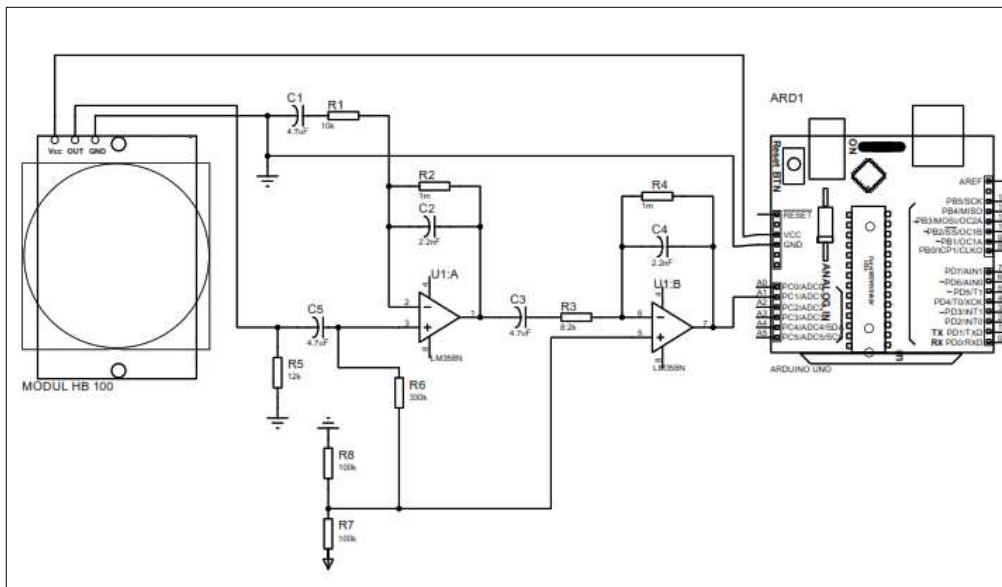
Gambar 1. Diagram alir tahap penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

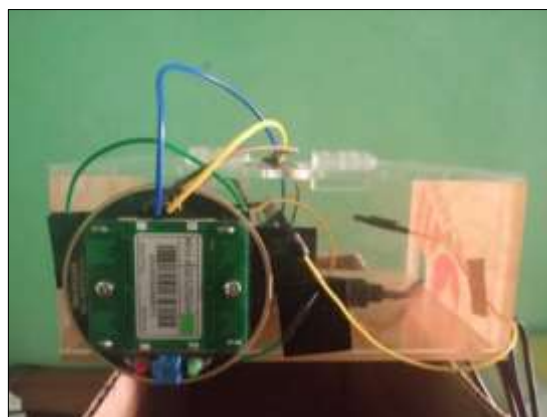
Rancangan radar *Doppler X-band* dibangun dalam bentuk prototipe dan digunakan untuk pengukuran sinyal terhadap objek (target) dengan isyarat bahasa. Sebelum membuat prototipe radar *Doppler X-band* maka desain rangkaian skematik dari prototipe radar *Doppler X-band* dirancang terlebih dahulu dengan perangkat lunak *Proteus Design Suite 8.11* dan hasil rangkaianannya dapat dilihat dalam Gambar 2.

Gambar 2 menunjukkan realisasi rangkaian dengan penggunaan papan elektronis Arduino Uno R3 dengan spesifikasi ATmega 328 kecepatan 16 MHz dan *flash* 32 kb sedangkan tegangan

kerjanya 5 V DC (Banzi and Shiloh, 2022). Komponen ini digunakan untuk menerima masukan dari prototipe radar dan hasil pembacaan prototipe radar terhadap objek. Masukan analog A1 sebagai inialisasi terhubung dengan keluaran prototipe radar sedangkan V_{cc} ke tegangan 5 V Arduino dan *ground* antar komponen prototipe radar serta Arduino terhubung. Hasil rancangan prototipe radar *Doppler X-band* berdasarkan skematik rangkaian ditunjukkan dalam Gambar 3 dan rancangan prototipe *radar Doppler X-band* diletakkan secara *array* seperti dalam Gambar 4.



Gambar 2. Skema rangkaian prototipe radar *Doppler X-band*



Gambar 3. Prototipe radar *Doppler x-band*

Hasil rancangan radar *Doppler X-band* bekerja sesuai dengan konsep radar secara umum yaitu menggunakan gelombang elektromagnetik sebagai gelombang radio atau gelombang radar

untuk peka terhadap posisi, *velocity* dan karakteristik objek (target) (Rahman, 2019). Prototipe radar diletakkan secara *array* seperti pada Gambar 4 dan *array* ini dihadapkan ke satu objek yaitu manusia yang memperagakan isyarat bahasa Indonesia. Peneliti (Ghefari and Kurniasari, 2020) mengembangkan prototipe radar *Doppler X-band* untuk mendeteksi kecepatan kendaraan tetapi tidak di-*array*. Pengaturan *array* radar terhadap objek terpusat di depan kedua *transceiver array* bertujuan untuk memperoleh hasil pengamatan keluaran satu sinyal yang merupakan gabungan dari dua sinyal hasil *array* prototipe radar *Doppler X-band*. Saat transmisi sinyal dari prototipe radar *Doppler X-band* ke objek menunjukkan terjadinya fenomena bahwa energi elektromagnetik yang ditransmisikan melalui besarnya jarak antar radar dan objek serta kepekaan energi pantulan dari objek (Rahman, 2019) merupakan bentuk prinsip kinerja radar. Sebelum pengujian, tahap inisialisasi dilakukan untuk mendeteksi kondisi awal lingkungan dan sekitar lokasi *array* prototipe radar. Jarak antar prototipe radar *Doppler X-band* ke arah objek yaitu jarak 1-meter maka pengukuran oleh osiloskop digital dimulai dari tahap inisialisasi sinyal kondisi awal sebelum ada objek, penentuan isyarat bahasa yang disampaikan objek, tahap pengukuran atau pembacaan sinyal isyarat bahasa untuk posisi *array* sejajar dan dengan sudut untuk *array* prototipe radar *Doppler X-band*. Urutan tahap dan hasil yang diperoleh sebagai berikut.



Gambar 4. Array prototipe radar *Doppler X-band*

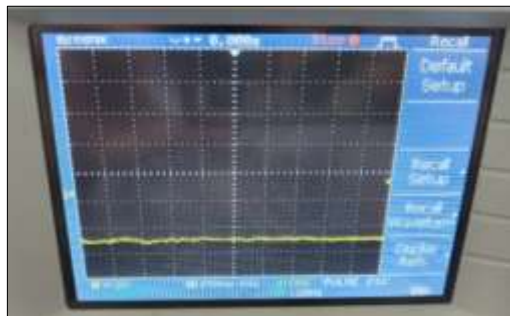
- 1) Inisialisasi Sinyal Radar *Doppler X-band* Tanpa *Array* dan Tanpa Objek.
Pengujian untuk mendapatkan hasil inisialisasi sinyal seperti dalam Gambar 5. *Transceiver* berjumlah satu dari prototipe radar menghadap ke dinding tanpa objek dan tanpa isyarat bahasa. Sinyal ditransmisikan ke arah dinding dan dipantulkan kembali ke arah *receiver* prototipe radar *Doppler X-band* sehingga hasil inisialisasi pengukuran sinyal untuk pengujian jarak 1 meter. Gelombang sinyal hasil pengukuran osiloskop digital pada Gambar 6 yang dihasilkan polanya sejajar sumbu X dan belum menghasilkan amplitudo pada ketinggian gelombang sinyal bukan nol.

2) Penentuan Isyarat Bahasa

Isyarat bahasa yang diperagakan objek (target) manusia melalui gerakan tangan dan jari menunjukkan informasi yang bermakna kata atau angka atau kalimat dalam bahasa Indonesia. Standar isyarat kata dan huruf abjad serta angka dalam gerakan isyarat berdasarkan kaidah Sistem Isyarat Bahasa Indonesia (SIBI) (“Kamus SIBI,” n.d.) dan gerakan huruf abjad SIBI ditunjukkan Gambar 7. Isyarat bahasa sebagai informasi dari objek yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat dalam Tabel 1.



Gambar 5. Pengujian inialisasi sinyal prototipe radar *Doppler X-band* tanpa objek



Gambar 6. Sinyal inialisasi pada jarak 1-meter tanpa objek (target)

Tabel 1. Penggunaan kata untuk isyarat bahasa

No.	Kata atau Angka	Jumlah Kata atau Angka	Jumlah Gerakan Isyarat
1.	saya	1	Satu
2.	saya belajar	2	Satu
3.	fisika	1	Enam
4.	saya belajar fisika	3	Delapan
5.	tolong !	1	Satu
6.	darurat !	1	Satu
7.	bahaya !	1	Satu
8.	ada 3 orang	3	Tiga
9.	112	3	Tiga



Gambar 7. Abjad dalam Kaidah SIBI (“Mengetahui Bahasa Isyarat – Yayasan Peduli Kasih ABK,” n.d.)

Dalam Tabel 1, kata-kata yang diperagakan isyaratnya oleh objek dalam satu gerakan dan dengan satu tangan atau jari tangan yaitu kata ‘saya’, ‘belajar’, ‘tolong’, ‘darurat’, ‘bahaya’, ‘ada’, ‘orang’ serta angka ‘1’, ‘2’ dan ‘3’ dan isyarat gerak ini sesuai dengan kaidah SIBI. Khusus untuk kata ‘fisika’, penyampaiannya dalam isyarat huruf abjad satu persatu karena di dalam SIBI belum ada khusus satu gerakan untuk fisika sehingga isyarat yang diperagakan objek yaitu ‘f’, ‘i’, ‘s’, ‘i’, ‘k’, ‘a’. Untuk itu isyarat bahasa ‘saya belajar fisika’ terdiri dari delapan gerakan isyarat yang disampaikan objek ke arah prototipe radar *Doppler X-band*.

3) Pengujian *Array Radar Doppler X-band* dengan Isyarat Bahasa dari Objek.

a. Radar *Doppler X-band* posisi *array* sejajar atau linier

Prototipe radar *Doppler X-band* diletakkan saling sejajar dan masing-masing radar terdiri dari *transmitter* dan *receiver*. *Array* radar ini diarahkan ke objek manusia dengan bahasa isyarat yang disampaikan objek sesuai tabel 1. Sinyal ditransmisikan ke objek dan penerima radar menerima sinyal pantul sebagai hasil tanggapan sistem terhadap objek. Ketika gerakan isyarat yang diperagakan tangan mulai digerakkan maka terdapat gelombang sinyal dengan amplitudo bervariasi. Jarak antara *array* radar dan objek yaitu 1-meter karena jarak ini disesuaikan dengan kondisi di lokasi pengujian dan pembacaan hasil sinyal. Pembacaan sinyal diukur oleh osiloskop digital yang terhubung dengan *array* radar *Doppler X-band* seperti pada Gambar 8. Pengujian ini untuk pengamatan gabungan sinyal pada *array* radar tersebut.

b. Radar *Doppler X-band* posisi *array* dengan sudut kemiringan 30°

Perbedaan posisi *array* pada sudut ini yaitu terjadi kemiringan 30° diukur dari garis lurus *array* sejajar. Setelah itu, *array* dihadapkan ke arah objek untuk mendeteksi gerakan isyarat bahasa sesuai Tabel 1. *Array* radar sudut 30° menunjukkan arah radar tidak tegak lurus terhadap objek yang ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 8. Array prototipe radar *Doppler X-band* sejajar

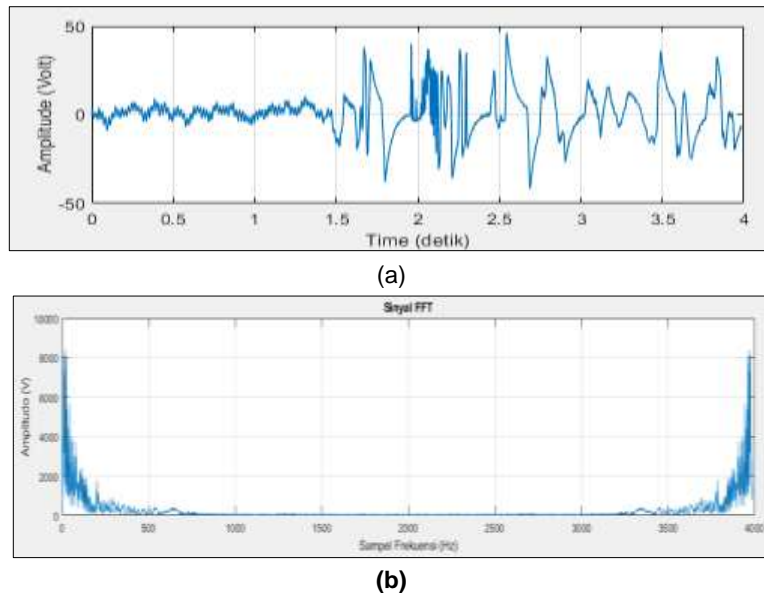


Gambar 9. Array prototipe radar *Doppler x-band* dengan sudut 30°

- 4) Hasil pembacaan sinyal kinerja array prototipe radar *Doppler X-band* terhadap objek yang menyampaikan isyarat bahasa Indonesia melalui perangkat lunak *Matlab*.

a. Radar *Doppler X-band* posisi *array* sejajar

Isyarat bahasa 'saya' menghasilkan sinyal seperti pada Gambar 10. (a) dan hasil Fast Fourier Transform (FFT) sinyal isyarat 'saya' pada Gambar 10. (b). Pada tahap FFT, diskrit *Fourier* diambil dari sinyal isyarat sehingga deret diskrit menjadi terbatas. Sinyal asli isyarat diubah ke spektrum atau domain frekuensi dengan FFT agar sinyal dapat dianalisis. Dekomposisi sinyal asli isyarat ini dengan *Discrete Fourier Transform* sebagai dasar FFT mengolah sinyal dan hasil DFT digunakan pada tahap pengolahan sinyal dengan *sparse sampling*. Persamaan transformasi *Fourier* dengan $S(f)$ adalah sinyal domain frekuensi, $s(t)$ adalah sinyal domain waktu, $e^{-j2\pi ft}$ adalah konstanta nilai sebuah sinyal, f adalah frekuensi, dan t adalah waktu (Sipasulta et al., 2014) (Sipasulta, 2014) menggunakan Pers. (1).



Gambar 10. (a) Sinyal isyarat 'saya' (b) Sinyal FFT 'saya'

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)e^{-j2\pi ft} dt \quad \text{Pers. (1)}$$

sedangkan matriks *sparse sampling* (Maghein et al., 2017) menggunakan Pers. (2) dan melalui Pers. (3) untuk matriks basis (Maghein et al., 2017).

$$y = \phi f = \phi \Psi x = Ax \quad \text{Pers. (2)}$$

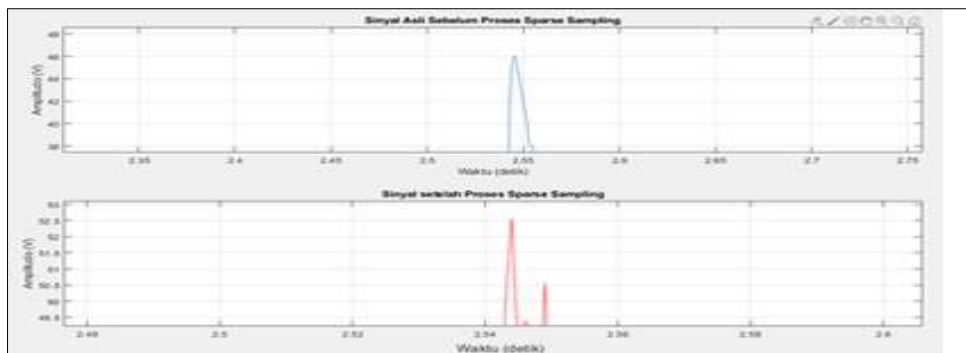
$$\mu(\phi, \Psi) = \sqrt{N} \max_{k \geq 1, j \leq N} |(\phi_k, \Psi_j)| \quad \text{Pers. (3)}$$

Hasil pengolahan sinyal dengan *sparse sampling* sinyal 'saya' dengan SNR 0,90748, PSNR 19,7183 dB dan MSE 29,4788 % dapat dilihat dalam Gambar 11.



Gambar 11. Sinyal hasil *sparse sampling* 'saya'

Pada pengolahan sinyal isyarat menggunakan *sparse sampling*, panjang sinyal isyarat yaitu N untuk periode *sampling*. Waktu *sampling* sinyal digunakan 0,001 detik pada sinyal, untuk penentuan diskrit terbatas dan ditransformasi ke domain frekuensi menggunakan FFT. Sinyal isyarat bahasa berukuran matriks $n \times 1$ dan untuk pengukuran sinyal tersebut ditetapkan matriks untuk pengukuran yaitu $M \times N$ dengan $M \ll N$, matriks M berukuran 3500×3500 sehingga diperoleh matriks *discrete fourier transformation* dan sinyal telah dikompresi. *Sparse sampling* menggunakan *l1 optimization* untuk rekonstruksi sinyal dan hasil kinerja metode ini diukur menggunakan parameter kinerja sinyal. Hasil menunjukkan terdapat perubahan amplitudo pada sinyal 'saya' seperti pada Gambar 12.

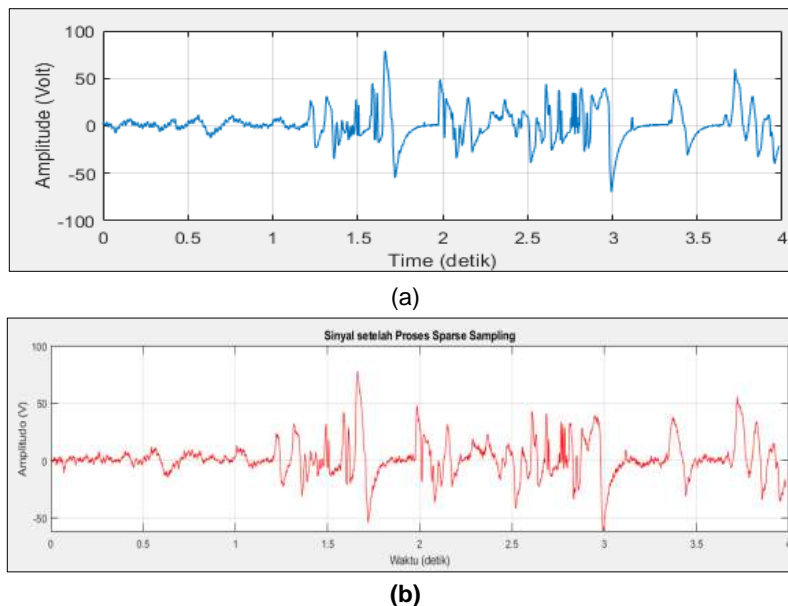


Gambar 12. Amplitudo sebelum dan sesudah *sparse sampling* sinyal 'saya'

Sinyal yang dihasilkan telah melalui tahap kompresi sehingga terjadi perubahan tegangan tetapi informasi sinyal untuk isyarat bahasa yang diperagakan sesuai estimasinya dengan sinyal asli. Kinerja *sparse sampling* pada sinyal isyarat 'saya' menunjukkan hasil SNR sebagai penentu kualitas sinyal (Haq et al., 2012) dengan syarat SNR lebih besar dari 1 (Cadence PCB Solutions, 2024). Hasil PSNR dan MSE sesuai syarat PSNR lebih besar dari 30 dB dan MSE berada diantara 0 % sampai dengan 10 % (Rukundo and Cao, 2012).

b. Radar *Doppler X-band* posisi *array* sudut 30°

Isyarat bahasa 'bahaya' menghasilkan sinyal seperti pada Gambar 13 (a) dan hasil *sparse sampling* diperlihatkan pada Gambar 13 (b). Hasil pengukuran kinerja pengolahan sinyal dengan *sparse sampling* untuk seluruh isyarat bahasa yang digunakan pada penelitian dapat dilihat pada Tabel 2. Dalam Tabel 2, PSNR yang sesuai dengan syarat lebih dari 30 dB adalah isyarat kata 'saya' dengan nilai kesalahan MSE lebih kecil dari 1 % sedangkan isyarat kata lainnya hasilnya belum sesuai syarat PSNR dan MSE karena pada transmisi sinyal dengan sudut ini, sinyal dari *transceiver* prototipe radar dapat saling interferensi satu sama lain sehingga sinyal ditransmisi tidak maksimal levelnya ketika diarahkan ke objek pemberi isyarat bahasa.



Gambar 13. (a) Sinyal isyarat 'bahaya' (b) Sinyal hasil *sparse sampling* 'bahaya' sudut 30°

Tabel 2. Hasil pengukuran kinerja sinyal isyarat dengan *sparse sampling*

No.	Isyarat kata atau angka	SNR (dB)	PSNR (dB)	MSE (%)	Amplitudo sebelum <i>sparse sampling</i> (V)	Amplitudo setelah <i>sparse sampling</i> (V)
1.	saya	0,076566	33, 2933	1,2047	51	50,7
2.	saya belajar	0.31081	28.217	9.2262	74	78,2
3.	fisika	0.58595	27.289	12.3125	88	81,2
4.	saya belajar fisika	1.165	14.6067	67.7522	53	37
5.	tolong !	0.39395	20.4613	34.3017	69	62
6.	darurat !	0.38453	25.8867	13.7757	76	73
7.	bahaya !	0.65574	27.153	11.8416	79	78,5
8.	ada 3 orang	0.48458	26.4319	9.114	61	63,3
9.	112	0.49825	23.4857	18.7697	73	65

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, *sparse sampling* telah berhasil dalam mengolah sinyal isyarat bahasa dari gerakan tangan dan jari dari objek manusia. Hasil rancangan pengembangan radar *Doppler X-band* dan sistem kerjanya juga berhasil memberikan tanggapan terhadap gerakan isyarat bahasa dari objek manusia. Pengukuran hasil kinerja *sparse sampling* menunjukkan SNR 0,23472 dB, PSNR 31,184 dB, MSE 4,7484 % di amplitudo 79 V untuk *array* sejajar pada sinyal isyarat 'bahaya'! Pada posisi *array* sudut 30° menghasilkan amplitudo 50,7 V pada SNR 0,076566 dB, PSNR 33, 2933 dB dan MSE 1,2047 % pada sinyal isyarat bahasa 'saya'. Pada penelitian selanjutnya, optimalisasi kinerja pengolahan sinyal dapat melalui pengembangan optimasi I1 untuk *sparse* sinyal dengan mempertimbangkan kecepatan informasi atau gerakan

isyarat yang lebih cepat. Penambahan teknologi *long range* pada *transceiver* perangkat radar *Doppler X-band* juga dapat diaplikasikan pada sistem pengolahan sinyal yang dirancang.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Sriwijaya atas bantuan penelitian/publikasi artikel ini melalui pembiayaan Anggaran DIPA Badan Layanan Umum Universitas Sriwijaya Tahun Anggaran 2021, Nomor SP DIPA-023.17.2.677515/2021. Tanggal 23 November 2020. Sesuai dengan SK Rektor 0007/UN9/SK.LP2M.PT/2021 tanggal 27 April 2021”.

Daftar Rujukan

- Arthamanolap, K., Gabbualoy, S., Phasukkit, P., 2019. Doppler Radar for Dynamic Hand Gesture Recognition based on Signal Image Processing, in: 2019 16th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON). Presented at the 2019 16th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), pp. 931–934. <https://doi.org/10.1109/ECTI-CON47248.2019.8955217>
- Banzi, M., Shiloh, M., 2022. Getting Started With Arduino. Maker Media, Inc.
- Budiman, G., Bahari, P., Saidah, S., 2018. KINERJA TEKNIK COMPRESSIVE SAMPLING DAN SINKRONISASI PADA AUDIO WATERMARKING STEREO BERBASIS STATIONARY WAVELET TRANSFORM DENGAN METODE HISTOGRAM. Presented at the Seminar Nasional Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri 2018.
- Cadence PCB Solutions, 2024. What is Signal to Noise Ratio and How to calculate it? [WWW Document]. URL <https://resources.pcb.cadence.com/blog/2020-what-is-signal-to-noise-ratio-and-how-to-calculate-it> (accessed 8.16.24).
- Ghefari, M.N., Kurniasari, P., 2020. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI RADAR DOPPLER X-BAND MENGGUNAKAN FAST FOURIER TRANSFORM UNTUK PEMANTAUAN PERGERAKAN KENDARAAN (undergraduate). Sriwijaya University.
- Haq, A.D., Santoso, I., Macrina, A.A.Z., 2012. ESTIMASI SIGNAL TO NOISE RATIO (SNR) MENGGUNAKAN METODE KORELASI. *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro* 1, 326–332. <https://doi.org/10.14710/transient.v1i4.326-332>
- Kamus SIBI [WWW Document], n.d. URL <https://pmpk.kemdikbud.go.id/sibi/> (accessed 8.16.24).
- Kulhandjian, H., Sharma, P., Kulhandjian, M., D'Amours, C., 2019. Sign Language Gesture Recognition Using Doppler Radar and Deep Learning, in: 2019 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps). Presented at the 2019 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps), pp. 1–6. <https://doi.org/10.1109/GCWkshps45667.2019.9024607>
- Maghein, M.K., Budiman, G., Safitri, I., 2017. Perancangan Dan Implementasi Compressive Sensing Untuk Sistem Audio Watermarking Dengan Metode Kombinasi Discrete Cosine

- Transform Dan Discrete Wavelet Transform | eProceedings of Engineering [WWW Document]. URL <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/4955> (accessed 8.16.24).
- Mengenal Bahasa Isyarat – Yayasan Peduli Kasih ABK [WWW Document], n.d. URL <https://www.ypedulikasihabk.org/mengenal-bahasa-isyarat/> (accessed 8.16.24).
- Purnamasari, R., Suksmono, A.B., 2019. Compressive Sampling untuk Sinyal Beat Radar Cuaca via Discrete Cosine Transform (DCT). ELKOMIKA 7, 238. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v7i2.238>
- Rahman, H., 2019. Fundamental Principles of Radar, 1st ed. CRC Press, Boca Raton : Taylor & Francis, [2019]. <https://doi.org/10.1201/9780429279478>
- Rukundo, O., Cao, H., 2012. Nearest Neighbor Value Interpolation. International Journal of Advanced Computer Science and Applications 3, 25:30. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2012.030405>
- Sipasulta, R.Y., Lumenta, A.S.M., Sompie, S.R.U.A., 2014. Simulasi Sistem Pengacak Sinyal Dengan Metode FFT (Fast Fourier Transform). Jurnal Teknik Elektro dan Komputer 3, 1–9. <https://doi.org/10.35793/jtek.v3i2.4448>
- Zhang, G., Lan, S., Zhang, K., Ye, L., 2020. Temporal-Range-Doppler Features Interpretation and Recognition of Hand Gestures Using mmW FMCW Radar Sensors, in: 2020 14th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP). Presented at the 2020 14th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), pp. 1–4. <https://doi.org/10.23919/EuCAP48036.2020.9135694>