

ANALISIS PENGENALAN NADA GITAR MENGGUNAKAN METODE KLASIFIKASI *DYNAMIC TIME WARPING* (DTW)

Oleh: Catur Budi Waluyo¹, Rian Mulyadi², Yenni Astuti³

¹Teknik Telekomunikasi, Politeknik Negeri Semarang, Indonesia

^{2,3}Teknik Elektro, Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto, Indonesia

E-mail: catur_budiwaluyo@yahoo.co.uk

Abstrak

Perkembangan teknologi pemrosesan sinyal digital telah memberikan kontribusi yang signifikan terhadap pengenalan nada gitar dengan menggunakan algoritma Dynamic Time Warping (DTW). Penelitian dimulai dengan perekaman suara, preprocessing, dan ekstraksi ciri dari data referensi dan uji. Pada penelitian ini karakteristik suara diekstraksi menggunakan metode Fast Fourier Transform (FFT). Langkah selanjutnya adalah membandingkan hasil ekstraksi ciri FFT menggunakan algoritma DTW, dan diambil nilai terkecil sebagai keluarannya. Pengujian dilakukan sebanyak sepuluh kali untuk setiap nada gitar yang direkam, dan akurasi pengenalan nada gitar sebesar 82,5% untuk nada yang diuji yaitu A, B, C, dan D.

Kata kunci: *Dynamic Time Warping, Gitar, Ekstraksi Ciri*

Abstract

The development of digital signal processing technology has contributed significantly to the recognition of guitar tones using the Dynamic Time Warping (DTW) algorithm. The research started with the sound recording, preprocessing, and feature extraction from the reference and test data. In this research, the sound characteristics were extracted using the Fast Fourier Transform (FFT) method. The next step involved comparing the results of FFT feature extraction using the DTW algorithm, with the smallest value being taken as the output. The test was ten times for each recorded guitar tone, and the accuracy in recognizing guitar tones was 82.5% for the tested tones, namely A, B, C, and D.

Keywords: *Dynamic Time Warping, guitar, feature extraction*

1. Pendahuluan

Seiring perkembangan teknologi, identifikasi dan analisis nada pada alat musik menjadi hal penting dalam memahami dan merekam kinerja musisi. Salah satu alat musik yang memiliki karakteristik unik dalam menghasilkan nada adalah gitar (Klasik, 2022). Pengenalan nada memiliki banyak potensi aplikasi, termasuk dalam pengembangan sistem otomatisasi musik, pendeteksian kesalahan bermain, dan pengembangan alat bantu pembelajaran music (Suryadikarsa, 2020) (Firmansyah, 2018).

Pada penelitian (Prayoga, 2019) (S. Datta, 2020) (Cheng, 2021) menyebutkan salah satu metode yang telah menunjukkan efektivitasnya dalam mengatasi tantangan pengenalan nada menggunakan Metode Klasifikasi *Dynamic Time Warping* (DTW). DTW adalah sebuah algoritma yang digunakan dalam analisis deret waktu untuk mengukur kemiripan antara dua urutan temporal yang mungkin bervariasi dalam

kecepatan (W. Li, 2023) (P. V. Lopes Pires, 2022) (Gelfand, 2022).

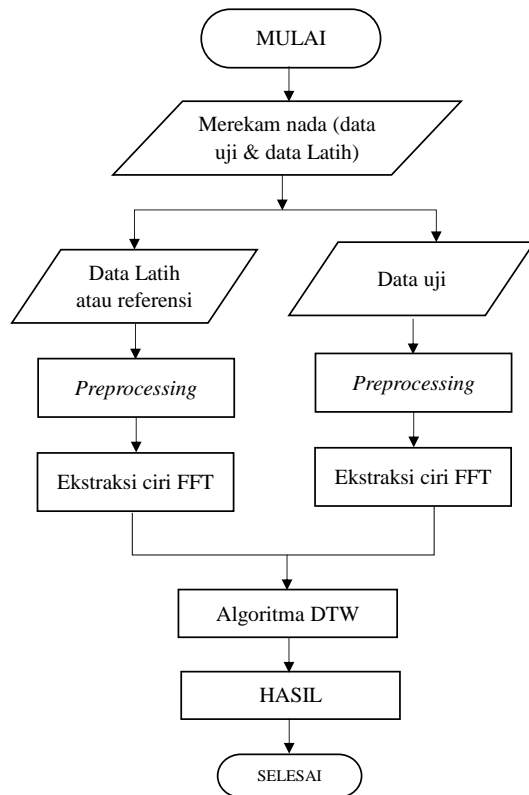
DTW memungkinkan pencocokan pola yang khas dari deret waktu, yang kemungkinan akan menghasilkan penilaian kemiripan yang lebih akurat daripada menggunakan metode *Euclidean* biasa (Izakian, 2015). Sehingga pada penelitian ini menganalisis pengenalan nada Gitar menggunakan metode klasifikasi DTW. Penelitian ini melibatkan penggunaan dari algoritma DTW untuk mengenali nada gitar dengan mencocokkan pola nada yang dimainkan.

2. Metode Penelitian

2.1. Alur Penelitian

Alur penelitian yang digunakan sebagai dasar dalam melaksanakan penelitian ditunjukkan pada Gambar 1. Pada penelitian ini alur penelitian dimulai dari pengumpulan dataset dan perekaman kemudian dilanjutkan *Preprocessing* sinyal Gitar, pembagian sinyal menjadi Frame dan Ekstraksi Ciri. Sinyal hasil ekstraksi ciri

kemudian dilakukan penerapan metode klasifikasi DTW dan hasil algoritma yang didapatkan sebagai keluaran untuk menentukan nada yang dimainkan.



Gambar 1. Alur rancangan pengenalan nada gitar.

2.2. Preprocessing

Preprocessing adalah serangkaian langkah awal yang dilakukan untuk meningkatkan kualitas objek. Tujuan dari tahap *preprocessing* ini adalah untuk mempersiapkan sinyal suara masukan agar dapat lebih mudah diproses dalam pengenalan suara. Proses *preprocessing* dimulai dengan normalisasi amplitudo, eliminasi *noise* suara, *frame blocking*, dan *windowing*.

Normalisasi bertujuan untuk menyamakan tingkat amplitudo suara yang direkam sehingga mencapai nilai maksimum, sehingga perbedaan intensitas suara yang tercatat tidak memengaruhi proses pengenalan suara. Sedangkan *Frame Blocking* merupakan langkah pembagian sinyal suara menjadi beberapa *frame*, yang bertujuan untuk mempermudah perhitungan dan analisis suara. Sebuah *frame* terbentuk

dari sejumlah sampel, bergantung pada frekuensi sampling yang digunakan (Nurhasanah, Y. I. dkk,2018)(Nurarinda, T. A. P. dkk, 2020)

2.3. Ekstraksi Ciri

Ekstraksi Ciri adalah suatu langkah yang bertujuan untuk mengambil serangkaian nilai dari sinyal masukan untuk menentukan pola uji. Dalam proses pengenalan, seringkali diperlukan lebih dari satu cuplikan, sehingga hasil cuplikan yang telah diambil dapat membentuk pola uji melalui tahapan ekstraksi ciri ini. Terdapat berbagai jenis ekstraksi ciri, termasuk ekstraksi ciri menggunakan *Discrete Cosine Transform* (DCT) dan *Fast Fourier Transform* (FFT).

2.4. Dynamic Time Warping (DTW)

Metode DTW juga dikenal sebagai penyelarasan urutan *non-linier*, sehingga menjadi pendekatan yang lebih realistis untuk menilai kesamaan pola dengan kerangka dasar jika dibandingkan dengan metode pengukuran linier seperti jarak *Euclidean*, *Manhattan*, *Canberra*, *Mexican Hat*, dan lainnya (Anggita T. dkk, 2018). Konsep dari DTW yaitu membandingkan pola ekstraksi ciri yang akan menghasilkan *optimal path warping*. Dimana *optimal path warping* adalah jalur terpendek dari selisih perbandingan data.

Algoritma ini memiliki cakupan penggunaan yang luas, diterapkan secara umum pada berbagai aplikasi seperti pengenalan suara, pengenalan tulisan tangan dan tandatangan, penambangan data, pengklusteran, pengolahan isyarat, musik, dan banyak aplikasi lainnya. Dalam konteks pengumpulan data dan ekstraksi informasi, DTW telah berhasil digunakan untuk mengatasi secara otomatis deformasi waktu dan perbedaan kecepatan yang terkait dengan data yang berkaitan dengan waktu (Anggita T. dkk, 2018)

Algoritma dimulai dengan menghitung jarak lokal antara elemen-elemen dari dua deret menggunakan berbagai jenis jarak. Salah satu metode yang umum digunakan

adalah rumus jarak *Euclidean*, menghasilkan matriks dengan n baris dan m kolom. Perhitungan jarak lokal dilakukan dengan menghitung nilai absolut dari selisih antara elemen-elemen deret data, sebagaimana dijelaskan dalam persamaan (1).

$$c_{ij} = |x_i - y_j|, i=1 : m \text{ dan } j=1 : n \quad (1)$$

Setelah mendapatkan matriks jarak lokal, langkah berikutnya adalah mengidentifikasi nilai-nilai yang diperlukan untuk menentukan *warping path*. Perhitungan elemen baris pertama pada matriks DTW dijelaskan dalam persamaan (2). Selanjutnya, perhitungan kolom pertama pada matriks DTW dijelaskan dalam persamaan (3).

$$D_{(1,j)} = D_{(1,j-1)} + c_{(1,j)} \quad (2)$$

$$D_{(i,1)} = D_{(i-1,1)} + c_{(i,1)} \quad (3)$$

$$D_{ij} = c_{ij} + \min(D_{i-1,j-1}, D_{i-1,j}, D_{i,j-1}) \quad (4)$$

Untuk menghitung elemen-elemen lainnya pada matriks DTW, rumusnya dinyatakan dalam persamaan (4). D_{ij} diwakili sebagai jarak minimal antara deret bagian (a_1, a_2, \dots, a_i) dan (b_1, b_2, \dots, b_j) . *Warping path*, merupakan jalur atau lintasan melalui matriks yang mencakup jarak minimal dari elemen D_{ij} hingga elemen D_{nm} , yang terdiri dari elemen-elemen D_{ij} itu sendiri. Sedangkan menghitung hasil persentase akurasi pengenalan nada menggunakan persamaan (5).

$$\frac{\sum \text{Data yang dikenali}}{\sum \text{total data yang diujikan}} \times 100\% \quad (5)$$

3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian dilakukan untuk mengetahui tingkat keberhasilan sistem dan perbandingan akurasi data uji dengan data referensi. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali dari setiap nada gitar yang direkam. Perekaman menggunakan gitar listrik dan pada ruangan kedap suara. Pengujian dilakukan dengan membandingkan nada A, B, C dan nada D pada data referensi dan data uji.

3.1 Proses Data Referensi

3.1.1 Perekaman Suara

Proses perekaman data latih atau referensi menggunakan *sample rate* sebesar

8000 Hz, durasi perekaman 3 detik, channel mono dan resolusi 16 *bit/sample*. Format penyimpanan hasil rekaman dalam bentuk format .wav dan dilakukan sebanyak 10 kali.

3.1.2 Preprocessing

Pada proses *preprocessing* dilakukan melalui tahap Normalisasi, *Frame blocking* dan *Windowing*. Hasil normalisasi sampel data referensi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian normalisasi sample data referensi.

Sampel Point ke-	Nada A	Nada B	Nada C	Nada D
1	-0,2410	0,0000	0,3329	0,2033
2	0,6549	-0,5950	0,4282	1,0000
3	1,0000	-0,5950	0,4282	0,9150
4	-0,0919	0,2380	1,0000	0,5083
5	0,2757	0,2618	0,9209	0,5255
6	0,2180	0,5833	0,8569	0,3216
7	0,1721	0,8447	0,8730	0,1183
8	0,1261	1,0000	0,7778	-0,0166

Frame blocking bertujuan untuk menghilangkan suara lain yang ikut terekam ketika dalam proses perekaman. Hal ini diperlukan agar proses pengenalan mampu mengenali hanya suara yang diperlukan saja. Selain itu, proses *frame blocking* umumnya dilakukan secara *overlapping* untuk setiap frame. Panjang daerah *overlap* yang umum digunakan adalah kurang lebih 30% sampai 50% dari panjang *frame*. *Overlapping* dilakukan untuk menghindari hilangnya ciri atau karakteristik suara pada perbatasan perpotongan setiap frame.

Setelah melakukan proses *frame blocking*, langkah yang harus di kerjakan berikutnya ialah *windowing*. Proses ini berfungsi untuk meminimalisir diskontinuitas yang dapat menyebabkan kehilangan informasi antar *frame*. Pada penelitian ini jenis *window* yang digunakan yaitu *Hamming Windowing*. Untuk hasil *Windowing* data referensi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil windowing data referensi.

	Nada A	Nada B	Nada C	Nada D
1	-0,0192	0,0000	0,0266	0,0162
2	0,1658	-0,1506	0,1084	0,2531
3	0,6423	-0,3822	0,2750	0,5877

	Nada A	Nada B	Nada C	Nada D
4	-0,0877	0,2271	0,9544	0,4851
5	0,2631	0,2498	0,8789	0,5016
6	0,1400	0,3746	0,5504	0,2066
7	0,0435	0,2079	0,2210	0,0299
8	0,0100	0,0800	0,0622	0,0013

3.1.3 Ekstraksi Ciri

Proses ekstraksi ciri merupakan proses yang bertujuan untuk mendapatkan sederetan besaran pada bagian sinyal masukan untuk menetapkan pola suara agar dapat dibandingkan dengan suara uji. Pada penelitian ini ekstraksi ciri untuk diagram *Fast Fourier Transform* digambar dengan diagram kupu-kupu atau *butterfly diagram* 8 titik. Hasil perhitungan FFT pada data referensi dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil Ekstraksi ciri FFT pada data referensi.

No	Nada A	Nada B	Nada C	Nada D
1	1,1581	0,6068	3,0772	2,0819
2	-0,1950 - 0,5474i	-0,7253 + 0,8575i	-1,797 - 0,3722i	-0,7945 - 0,9327i
3	-0,4420 - 0,3835i	0,4241 + 0,0831i	0,4094 + 0,3578i	-0,0998 + 0,0266i
4	-0,3697 + 0,6497i	0,2255 - 0,3227i	0,0909 - 0,2642i	-0,1761 + 0,1827i
5	0,7014	-0,4555	-0,2738	0,1892
6	-0,3697 - 0,6497i	0,2255 + 0,3227i	0,0909 + 0,2642i	-0,1761 - 0,1827i
7	-0,4420 + 0,3835i	0,4241 - 0,0831i	0,4094 - 0,3578i	-0,0998 - 0,0266i
8	-0,1950 + 0,5478i	-0,7253 - 0,8575i	-1,7959 + 0,3722i	-0,7945 + 0,9327i

3.2 Proses Data Uji

3.2.1 Perekaman Suara

Proses perekaman data uji menggunakan *sample rate* sebesar 8000 Hz, durasi perekaman 3 detik, *channel mono* dan resolusi 16 *bit/sample*. Format penyimpanan hasil rekaman dalam bentuk format *.wav* dan dilakukan sebanyak 10 kali.

3.2.2 Preprocessing

Pada proses *preprocessing* dilakukan melalui tahap Normalisasi, *Frame blocking* dan *Windowing*, Hasil normalisasi sampel data uji dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengujian normalisasi sampel data uji.

Sampel Point ke-	Nada A	Nada B	Nada C	Nada D
1	-0,0323	0,5444	0,4343	0,1764
2	0,0819	1,0000	0,6392	1,0000
3	0,8449	0,7819	0,7539	1,0000
4	1,0000	0,9899	1,0000	0,2941
5	0,9208	0,9406	0,9508	0,5294
6	0,9619	0,7722	0,9916	0,5294
7	0,9308	0,6930	0,9589	0,5882
8	0,9373	0,6434	0,9672	0,5583

Tabel 5. Hasil *windowing* data uji

No	Nada A	Nada B	Nada C	Nada D
1	-0,0025	0,0435	0,0347	0,0141
2	0,0207	0,2531	0,1618	0,2531
3	0,5427	0,5022	0,4843	0,6423
4	0,9544	0,9448	0,9544	0,2807
5	0,8788	0,8977	0,9075	0,5052
6	0,6179	0,4960	0,6370	0,3400
7	0,0236	0,1754	0,2427	0,1489
8	0,0749	0,0514	0,0773	0,0446

Pada penelitian ini, untuk meminimalisir diskontinuitas yang dapat menyebabkan kehilangan informasi antar frame pada data uji jenis *window* yang digunakan yaitu *Hamming Windowing*. Untuk hasil *Windowing* data uji dapat dilihat pada Tabel 5.

3.2.3 Ekstraksi Ciri

Pada penelitian ini ekstraksi ciri untuk diagram *Fast Fourier Transform* digambar dengan *butterfly diagram* 8 titik. Hasil perhitungan FFT pada data uji dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil perhitungan Ekstraksi Ciri FFT

No	Nada A	Nada B	Nada C	Nada D
1	3,3228	3,3646	3,5000	2,2293
2	-1,9254 - 0,5066i	-1,6575 - 0,7867i	-1,8288 - 0,5256i	-0,7194 - 0,5988i
3	0,0973 + 0,3907i	0,2635 + 0,2470i	0,2151 + 0,2329i	-0,2718 - 0,2678i

No	Nada A	Nada B	Nada C	Nada D
4	0,6125 + 0,1074i	-0,0509 - 0,1330i	0,0832 - 0,0426i	-0,26286 + 0,3879i
5	-0,0133	-0,1264	-0,1613	0,3920
6	0,6125 - 0,1074i	-0,0509 + 0,1330i	0,0832 + 0,0426i	-0,2628 - 0,3879i
7	0,0978 - 0,3907	-0,276 + 0,2734i	0,2151 - 0,2329i	-0,2718 + 0,2678i
8	-1,9254 + 0,5066i	1,0328 + 0,8412i	-1,8288 + 0,5256i	-0,7194 + 0,5988i

3.3 Hasil Pengujian

Pengujian pada penelitian ini menggunakan algoritma DTW. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil dari ekstraksi ciri dari data referensi dan data uji. Perhitungan akan dilakukan pada tiap nada A, nada B, nada C dan nada D. Perhitungan pertama yang harus dilakukan ialah menghitung *local distance* dengan persamaan (1). Setelah mendapatkan nilai dari *local distance* langkah selanjutnya adalah mencari poin-poin yang harus dilewati untuk menemukan *optimal warping path*, yang dimulai dari baris pertama, kolom pertama, dan elemen lainnya dengan persamaan (2) sampai persamaan (4). Nilai tersebut akan membentuk path, dimana nilai terakhir pada pojok kanan bawah merupakan hasil dari perhitungan *Dynamic Time Warping* (DTW). Untuk hasil pengujian pengenalan nada gitar menggunakan metode DTW dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil pengujian pengenalan nada Gitar dengan metode DTW

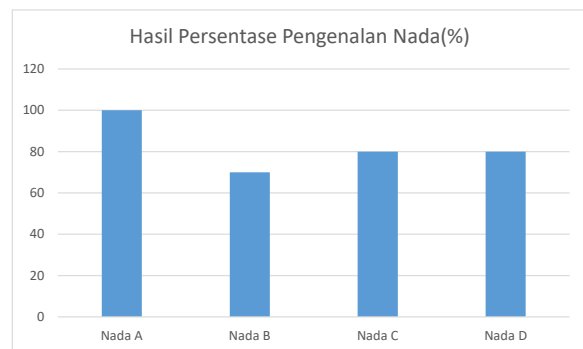
Pengujian Ke-	Nada A	Nada B	Nada C	Nada D
1	A	B	C	D
2	A	B	C	D
3	A	B	C	D
4	A	B	C	D
5	A	D	C	C
6	A	B	B	D
7	A	A	C	D
8	A	B	B	A
9	A	A	C	D

Pengujian Ke-	Nada A	Nada B	Nada C	Nada D
10	A	B	C	D

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 7 maka dapat diketahui hasil persentase pengenalan nada menggunakan persamaan (5) dapat disajikan dalam Gambar 2.

Hasil pengujian disusun dalam bentuk analisis secara keseluruhan yaitu

1. Implementasi DTW di dalam perangkat lunak yang dibuat mempunyai akurasi rata-rata yang cukup baik, yaitu 82.5% dengan hasil akurasi masing-masing dapat dilihat pada Gambar 2.
2. Ada beberapa nada yang hampir sama antara satu dengan yang lainnya menyebabkan kesalahan pada klasifikasi.



Gambar 2. Grafik Persentasi Pengenalan Nada

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian, kesimpulan pada penelitian ini yaitu dalam analisis pengenalan nada gitar menggunakan Metode klasifikasi *Dynamic Time Warping* (DTW) menunjukkan bahwa akurasi pengujian sebesar 82.5% dengan nada yang di uji yaitu nada A, B, C dan nada D. Persentase pengenalan nada A sebesar 100%, persentase pengenalan nada B sebesar 70%, persentase pengenalan nada C sebesar 80% dan persentase pengenalan nada D sebesar 80%.

DAFTAR PUSTAKA

Anggita, T., Khotimah, W. N., & Suciati, N. (2018). Pengenalan Bahasa Isyarat Indonesia dengan Metode Dynamic

- Time Warping (DTW) menggunakan Kinect 2.0. *Jurnal Teknik ITS*, 7(1), A199-A202.
- Firmansyah, R., Djamal, E. C., & Yuniarti, R. (2018, August). Identifikasi Nada Dari Sinyal Suara Alat Musik Instrumen Menggunakan Metode Mel Frequency Cepstrum Coefficients dan Hidden Markov Model. In *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi (SNATI)*.
- Firmansyah, R., Djamal, E. C., & Yuniarti, R. (2018, August). Identifikasi Nada Dari Sinyal Suara Alat Musik Instrumen Menggunakan Metode Mel Frequency Cepstrum Coefficients dan Hidden Markov Model. In *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi (SNATI)*.
- Izakian, H., Pedrycz, W., & Jamal, I. (2015). Fuzzy clustering of time series data using dynamic time warping distance. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 39, 235-244.
- Jiang, S., & Chen, Z. (2023). Application of dynamic time warping optimization algorithm in speech recognition of machine translation. *Heliyon*, 9(11).
- Klasik, G., & Del Sal, A. **TEKNIK PERMAINAN GITAR “LOVE THEME FROM CINEMA PARADISO” KARYA ENNIO MORRICONE ARANSEMEN ADRIANO DEL SAL.**
- Nurarinda, T. A. P., Sahertian, J., & Mahdiyah, U. (2020, December). Rancangan Sistem Identifikasi Jenis Burung Kicau Berdasarkan Suara Burung dengan Mel Frequency Cepstrum Coefficients (MFCC). In *Prosiding SEMNAS INOTEK (Seminar Nasional Inovasi Teknologi)* (Vol. 4, No. 1, pp. 237-241).
- Nurhasanah, Y. I., Korio Utoro, R., & Nugraha, R. D. (2018). Pengenalan Pola Ucapan Kata Menggunakan Metode Dynamic Time Warping (DTW) Berbasis Multimedia Interaktif.
- P. V. Lopes Pires, F. Carneiro Travassos, E. B. Kapisch, L. Rodrigues Manso Silva, C. A. Duque and P. Fernando Ribeiro, "Novelty Detection Based on Dynamic Time Warping Similarity Metric Applied to Power Quality Signals," 2022 20th International Conference on Harmonics & Quality of Power (ICHQP), Naples, Italy, 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICHQP53011.2022.9808685
- Prayoga, N. F. I., Astuti, Y., & Waluyo, C. B. (2019). Analisis Speaker Recognition Menggunakan Metode Dynamic Time Warping (DTW) Berbasis Matlab. *Aviation Electronics, Information Technology, Telecommunications, Electricals, Controls*, 1(1), 77-85.
- S. Datta, C. K. Karmakar and M. Palaniswami, "Averaging Methods using Dynamic Time Warping for Time Series Classification," 2020 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI), Canberra, ACT, Australia, 2020, pp. 2794-2798, doi: 10.1109/SSCI47803.2020.9308409.
- Suryadikarsa, F. M., Nurhasanah, Y. I., & Dewi, I. A. (2020). Identifikasi Nada antara Suling Sunda dan Suling Rekorder dengan Menggunakan Metode Frequency Cpstral Coefficients (MFCC) dan Dynamic Time Warping (DTW). *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 7(1), 145-154.
- W. Li, R. He, B. Liang, F. Yang and S. Han, "Similarity Measure of Time Series With Different Sampling Frequencies Based on Context Density Consistency and Dynamic Time Warping," in *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 30, pp. 1417-1421, 2023, doi: 10.1109/LSP.2023.3316010.
- Y. Hwang and S. B. Gelfand, "Fast Sparse Dynamic Time Warping," 2022 26th International Conference on Pattern Recognition (ICPR), Montreal, QC,

- Canada, 2022, pp. 3872-3877, doi:
10.1109/ICPR56361.2022.9956686.
- Y. -J. Liu and Y. -H. Cheng, "Using
Dynamic Time Warping Method for
the Similarity Measurement of
Fluorescent Lamp Arc," 2021
IEEE/ACIS 22nd International
Conference on Software Engineering,
Artificial Intelligence, Networking
and Parallel/Distributed Computing
(SNPD), Taichung, Taiwan, 2021, pp.
162-166, doi:
10.1109/SNPD51163.2021.9704925.