

Perancangan Sistem Deteksi Penyakit Osteoarthritis Genu Berdasarkan Emisi Akustik Berbasis Labview

Muhtar^{1)*}, Gunawan²⁾, Lili Ruhyana³⁾, Mochamad Arif Hidayat Ghojali⁴⁾

¹⁾²⁾³⁾⁴⁾Teknik Elektromedik, Universitas Mohammad Husni Thamrin Jakarta
Jl. Raya Pd. Gede No.23-25 Dukuh, Kramat Jati, Jakarta Timur, 13550.

¹⁾muhtar2521@gmail.com

²⁾gunawan.osman@gmail.com

³⁾ruhyanalie.tem77@gmail.com

⁴⁾ariefghojali1404@gmail.com

Article history:

Received 24 Des 2024;
Revised 26 Des 2024;
Accepted 27 Des 2024;
Available online 27 Des 2024

Kata Kunci :

Acoustic Emission
Diagnosis Non-Invasif
Kesehatan Sendi Lutut
LabVIEW
Osteoarthritis Genu

Abstrak

Osteoarthritis genu adalah salah satu gangguan muskuloskeletal yang sering terjadi, dan diagnosis klinisnya umumnya dilakukan melalui pencitraan seperti sinar-X, *ultrasound*, CT, MRI, dan artroskopi. Namun, metode ini memiliki keterbatasan berupa prosedur yang kompleks, biaya tinggi, serta risiko paparan radiasi. Penelitian ini mengembangkan teknologi *non-invasif* berbasis *Acoustic Emission* (AE) untuk memantau kondisi kesehatan sendi lutut dengan dukungan aplikasi Labview. Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) dengan alat yang dirancang untuk mendeteksi sinyal AE pada lutut dalam kondisi normal, cedera, dan *osteoarthritis genu* (OA Genu). Data dikumpulkan melalui pengukuran amplitudo sinyal AE dan dianalisis berdasarkan jumlah hit AE, amplitudo maksimum, dan *Percentage Incidence* (PI) selama gerakan ekstensi-fleksi lutut. Hasil menunjukkan amplitudo sinyal AE di atas 36 dB (63 μ V) dengan jumlah hit masing-masing 7, 58, dan 157 untuk kondisi normal, cedera, dan OA Genu. Rata-rata amplitudo maksimum dan PI adalah 27 μ V (1,4%), 154 μ V (11,6%), dan 129 μ V (31,4%). Distribusi kejadian AE terkonsentrasi pada rentang sudut 0°–30° (40,54%), 30°–60° (34,68%), dan 60°–90° (24,77%). Tingginya jumlah hit AE dan amplitudo pada OA Genu menunjukkan bahwa metode AE efektif dalam mengidentifikasi kerusakan pada sendi lutut. Temuan ini menunjukkan potensi teknologi AE sebagai alternatif diagnostik *non-invasif* untuk memantau kesehatan sendi lutut, khususnya pada kasus osteoarthritis genu. Alat ini menawarkan metode yang efisien, aman, dan ekonomis, serta memberikan kontribusi signifikan pada pengembangan teknologi *non-invasif* dalam bidang kesehatan sendi.

I. PENDAHULUAN

Osteoarthritis (OA) merupakan penyakit degeneratif yang bersifat kronis ditandai dengan gejala klinis akibat gangguan yang terjadi pada jaringan sendi [1][2][3][4][5]. Kerusakan jaringan sendi terutama tulang rawan menjadi penyebab utama penyakit OA sehingga memicu rasa sakit, bengkak, dan kekakuan di sekitar sendi [6]. Sendi lutut atau “genu” merupakan salah satu sendi dalam tubuh manusia yang sangat rentan terhadap penyakit osteoarthritis [7][8]. Menurut Wijaya (2018), penderita osteoarthritis dari populasi dunia adalah sebanyak 4%, dengan 83% kasus osteoarthritis merupakan osteoarthritis lutut [9]. Masalah kesehatan ini biasanya terjadi pada usia dewasa hingga lanjut usia. Berdasarkan hasil pemeriksaan radiologi di Indonesia, prevalensi osteoarthritis lutut mencapai 15,5% pada pria dan 12,7% pada wanita yang berusia antara 40-60 tahun [10][11][12][13].

Degenerasi dini pada permukaan tulang rawan adalah salah satu faktor etiologi yang menyebabkan osteoarthritis pada sendi genu. Hal ini memicu sensasi retak, meletup atau berderak saat lutut digerakkan dan akan menghasilkan suara atau kebisingan di sekitar sendi karena gesekan permukaan antar sendi yang rusak. Variasi setiap suara sendi genu yang dihasilkan selama gerakan yang berubah-ubah dapat menjadi indikasi perubahan struktural di dalam lutut yang berpotensi terkait penyakit osteoarthritis genu. Menurut Nevalainen et al (2021), lutut pada

* Corresponding author

penderita osteoarthritis menghasilkan sinyal suara 6–10 kali lebih banyak dibandingkan lutut sehat dengan amplitudo 20 dB lebih tinggi dan durasi hingga 10 kali lebih lama [14]. Shark et al (2021) juga mengungkapkan, sinyal acoustic emission (AE) lutut berkisar antara 20 hingga 400 kHz, diakuisisi dengan frekuensi sampling 5 MHz pada ambang batas magnitudo 36 dB atau sekitar 63 μ V [15].

Penelitian sebelumnya tentang klinis kondisi sendi lutut terkait penyakit osteoarthritis genu sebagian besar dilakukan melalui pencitraan medis non-invasif, seperti pemindaian sinar-X, pencitraan ultrasound, Computerized Tomography (CT), dan Magnetic Resonance Imaging (MRI).

Hasil dari pemeriksaan ini, tentunya memiliki reliabilitas dan validitas yang baik akan tetapi membutuhkan biaya dan fasilitas yang mahal serta risiko efek radiasi. Selain itu, metode standar dan tradisional juga dilakukan melalui tindakan artroskopi secara invasif [14]. Hanya saja tindakan ini tidak praktis jika dilakukan secara berulang untuk memperoleh hasil patologis tulang rawan. Keterbatasan pencitraan dan artroskopi tersebut, mendorong penggunaan teknologi medis melalui metode *Acoustic Emission* (AE) untuk memantau kesehatan sendi secara *non-invasif*.

Metode AE digunakan untuk mendeteksi gelombang suara atau sinyal akustik yang muncul akibat deformasi material atau struktur internal. Teknik ini mulai diterapkan di bidang medis untuk mendeteksi sinyal suara dari gerakan dan gesekan antar sendi lutut, terutama pada kondisi seperti osteoarthritis genu. Deteksi sinyal ini dapat dilakukan menggunakan sensor seperti film piezoelektrik, mikrofon elektret, atau MEMS [16]. Penerapan metode ini memungkinkan pemantauan penyakit secara efisien, sehingga mendukung pengambilan keputusan klinis dan perencanaan perawatan yang lebih efektif.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka diperlukan perancangan sistem deteksi berdasarkan emisi akustik sendi lutut untuk mempermudah mengetahui kondisi penyakit osteoarthritis *genu* secara *non-invasif* dan bebas efek radiasi. Perangkat untuk merekam sinyal emisi akustik sendi menggunakan dua sensor mikrofon MEMS yang diintegrasikan dengan sensor elektro-goniometer sebagai pengukur rentang sudut selama gerakan sendi, serta perangkat lunak LabVIEW untuk akuisisi dan analisis data.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian yang dilakukan oleh Jeong *et al* (2018) dengan judul penelitian “*B-value: a potential biomarker for assessing knee-joint health using acoustical emission sensing*”. Tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan aplikasi baru untuk mengklarifikasi suara cedera lutut akut yang dihasilkan selama gerakan sendi dengan metode emisi akustik. Data diperoleh dengan mikrofon elektret mini di sisi medial dan lateral patela selama fleksi dan ekstensi lutut, lalu direkam dengan perekam audio pada kecepatan sampel 44,1 kHz dan disaring menggunakan filter digital. Hasilnya menunjukkan metode ini efektif mendeteksi perubahan bunyi sendi pada cedera lutut akut [14]. Namun, penelitian ini masih membutuhkan waktu komputasi yang kompleks dan belum melibatkan pengukur sudut rentang gerak sendi, sehingga belum sepenuhnya optimal untuk meningkatkan akurasi diagnosis lutut.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Rajalakshmi *et al* (2019) berjudul “*Vibroarthographic signal analysis of bone disorders using arduino and piezoelectric sensors*”. Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan metode *non-invasif* yang lebih akurat dan efisien dalam mendiagnosis gangguan tulang. Diagnosis dilakukan dengan menganalisis sinyal vibroartrografi (VAG) untuk membedakan antara sendi yang sehat dan yang mengalami gangguan. Hasil dari penelitiannya menunjukkan menunjukkan akurasi yang baik dalam diagnosis gangguan tulang [17]. Namun, penggunaan frekuensi sampling yang rendah dan minimnya penggunaan sensor tambahan, seperti elektro-goniometer, mengindikasikan bahwa sistem ini perlu diperluas agar dapat memberikan hasil yang lebih presisi dan komprehensif dalam mendeteksi kondisi sendi.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Whittingslow *et al* (2020), berjudul “*Knee Acoustic Emissions as a Digital Biomarker of Disease Status in Juvenile Idiopathic Arthritis*”. Tujuan penelitian ini adalah mengukur dan menganalisis *Joint Acoustic Emissions* (JAEs) dari lutut anak-anak yang menderita penyakit *Juvenile Idiopathic Arthritis* (JIA). Proses perekaman JAEs dilakukan selama 8 siklus melalui gerakan ekstensi/fleksi. Sensor yang digunakan dalam perangkat keras penelitian ini terdiri dari dua akselerometer piezoelektrik yang berfungsi untuk menilai JAEs. Lokasi pengukuran sensor tersebut ditempatkan di bagian medial dan lateral tendon patela distal. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa mayoritas suara dari setiap siklus berhasil mengklasifikasikan subjek sebagai penderita JIA atau dalam kondisi sehat 100% [18]. Meskipun hasilnya sangat baik dalam mengklasifikasikan kondisi subjek, penelitian ini hanya menggunakan akselerometer tanpa alat pengukur sudut gerakan sendi. Hal ini menjadi celah untuk pengembangan perangkat keras yang lebih lengkap dengan integrasi sensor tambahan, seperti elektro-goniometer, untuk meningkatkan keakuratan diagnosis berdasarkan analisis sudut gerakan dan suara sendi.

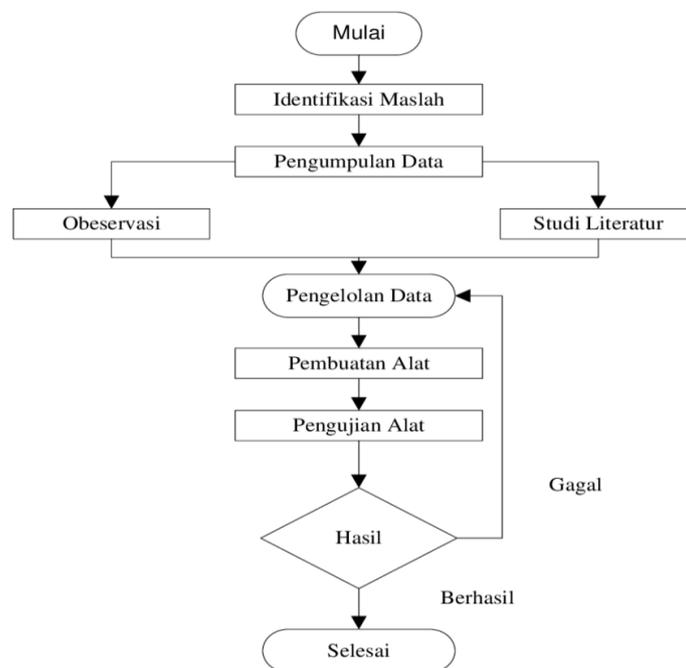
Penelitian oleh Sawaryn *et al* (2021), berjudul “*The assessment of the condition of knee joint surfaces with acoustic emission analysis*”. Tujuan dari penelitian ini adalah membuat perangkat portabel untuk merekam sinyal suara yang dihasilkan oleh sendi lutut dan perangkat lunak sebagai analisis sinyal. Perekaman sinyal suara sendi lutut menggunakan dua saluran mikrofon elektret dengan rentang suara yang dapat diterima 16–16kHz serta dua USB *soundcards* sebagai media untuk merekam suara. Analisis suara lutut dilakukan menggunakan aplikasi

MATLAB. Hasilnya, perangkat secara efektif dapat merekam suara yang dihasilkan oleh sendi lutut dan mengevaluasi kondisi sendi lutut dengan cukup baik [19]. Namun, sistem ini bergantung pada USB *soundcards*, yang kurang stabil dalam merekam data suara lutut, dan tidak melibatkan pengukuran rentang gerakan sendi.

Berdasarkan dari penelitian penelitian-penelitian sebelumnya yang terkait, metode emisi akustik telah menunjukkan potensi besar dalam mendeteksi kondisi sendi lutut, seperti cedera akut dan gangguan tulang, dengan menggunakan berbagai teknologi seperti mikrofon elektret, sensor piezoelektrik, dan akselerometer. Namun, beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan keterbatasan dalam stabilitas pengambilan data, kebutuhan perangkat tambahan untuk mengukur sudut gerakan, serta kompleksitas komputasi yang dapat menghambat penerapan teknologi secara luas.

III. METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Research and Development* (R&D), yaitu pendekatan penelitian yang berfokus pada pengembangan dan pengujian suatu produk tertentu untuk memastikan kelayakannya. R&D melibatkan serangkaian langkah atau proses yang bertujuan menciptakan produk baru atau menyempurnakan produk yang telah ada. Penelitian pengembangan ini berperan sebagai penghubung antara penelitian dasar dan penelitian terapan, dengan tujuan mengatasi kesenjangan antara keduanya [20]. Alur penelitian R&D ini seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

Gambar 1 menunjukkan alur penelitian dengan metode *Research and Development* (R&D) untuk perancangan sistem deteksi penyakit osteoarthritis genu berbasis emisi akustik menggunakan Labview. Proses penelitian dimulai dengan langkah identifikasi masalah, di mana peneliti mengkaji kebutuhan dan tantangan dalam mendiagnosis osteoarthritis genu secara *non-invasif*. Langkah ini bertujuan untuk merumuskan fokus penelitian yang relevan serta menentukan arah pengembangan sistem deteksi yang lebih efektif dan efisien.

Setelah identifikasi masalah, penelitian dilanjutkan dengan pengumpulan data yang melibatkan dua pendekatan utama: observasi dan studi literatur. Observasi dilakukan untuk memahami kondisi aktual di lapangan, seperti teknologi yang digunakan saat ini dan kendala yang dihadapi. Studi literatur berfungsi untuk menggali informasi dari penelitian terdahulu, yang dapat menjadi dasar teori dalam merancang sistem deteksi berbasis emisi akustik. Hasil dari kedua proses ini kemudian diolah lebih lanjut dalam tahap pengelolaan data.

Tahap berikutnya adalah pengembangan alat, yang dimulai dengan perancangan sistem berbasis Labview. Tahap ini mencakup integrasi perangkat keras, seperti mikrofon dan elektro-goniometer, dengan perangkat lunak yang dirancang untuk menganalisis data emisi akustik secara *real-time*. Setelah alat selesai dikembangkan, dilakukan pengujian untuk mengevaluasi kinerja dan keakuratan sistem. Jika alat tidak memenuhi kriteria keberhasilan, pengelolaan data dilakukan kembali untuk memperbaiki sistem berdasarkan hasil evaluasi.

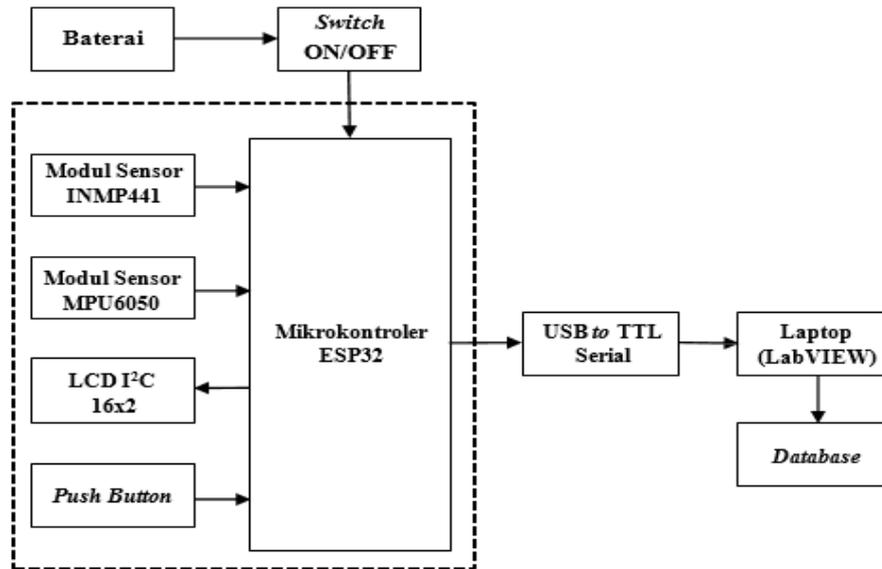
Langkah terakhir dalam proses penelitian ini adalah analisis hasil dan penyimpulan. Jika pengujian menunjukkan keberhasilan, sistem deteksi dinyatakan layak dan penelitian diakhiri. Sebaliknya, jika hasil pengujian masih kurang memuaskan, siklus perbaikan diulang untuk memastikan sistem bekerja secara optimal.

Alur penelitian ini menggambarkan pendekatan iteratif dalam metode R&D, yang bertujuan untuk menghasilkan inovasi teknologi yang andal, efisien, dan aplikatif dalam mendukung diagnosis *osteoarthritis genu*.

IV. HASIL

A. Blok Diagram Perangkat Keras

Penelitian ini menggunakan rancangan sistem yang digambarkan pada Gambar 2. Diagram tersebut menjelaskan alur kerja alat secara keseluruhan, mulai dari *input* data, proses pengolahan, hingga *output* yang dihasilkan. Setiap komponen dalam diagram memiliki fungsi spesifik yang saling mendukung untuk mencapai tujuan penelitian.

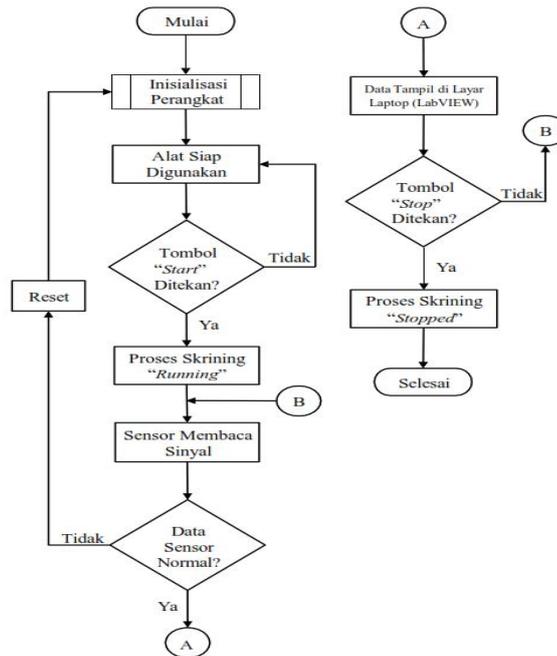


Gambar 2 Blok Diagram Alat

Pada Gambar 2, sistem ini menggunakan sumber tegangan DC dari satu sel baterai 18650 bertegangan 3,7V. Tegangan baterai dinaikkan dari 3,7V menjadi 5V oleh rangkaian *step-up* untuk memberi tegangan mikrokontroler dan seluruh rangkaian. Pada saat *switch ON/OFF* ditekan pada posisi “ON” maka alat akan menyala. Setelah semua sensor siap, yaitu sensor INMP441 dipasang pada sendi lutut di bagian *medial* dan *lateral*, serta sensor MPU6050 pada posisi pertengahan tulang *tibia*. Maka proses skrining dapat dijalankan dengan menekan tombol *Start/Stop* pada posisi “Start”. Mikrokontroler akan memproses data dari sensor INMP441 dan sensor MPU6050 yang selanjutnya mengirim data ke laptop melalui kabel serial untuk diolah dan ditampilkan pada *software* Labview. Data yang masuk akan disimpan di *database* untuk analisa lebih lanjut. Setelah proses skrining selesai, tekan tombol *Start/Stop* pada posisi “Stop”. Matikan perangkat dengan menekan *switch ON/OFF* pada posisi “OFF”.

B. Flowchart Sistem Alat Penelitian

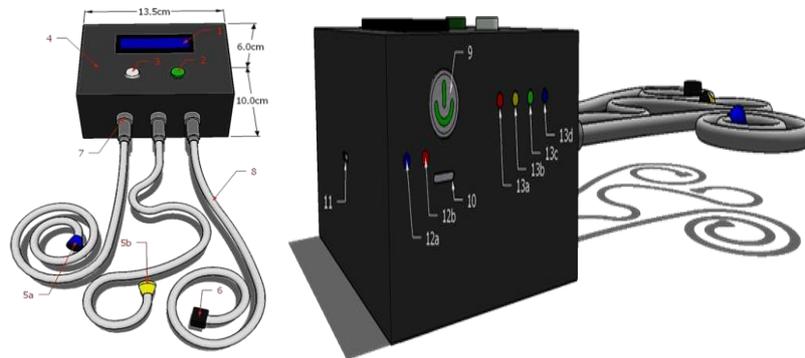
Alur kerja sistem terlihat seperti pada Gambar 3 dimulai dengan saat catu daya diaktifkan, di mana mikrokontroler ESP32 menginisialisasi program dan layar LCD menampilkan tanda kesiapan sistem. Pengoperasian alat dilakukan dengan menekan tombol *Start* untuk memulai proses skrining, di mana sensor membaca data gerakan ekstensi dan fleksi lutut yang ditampilkan secara *real-time* melalui *software* Labview di laptop. Data hasil skrining disimpan dalam *database* untuk analisis lebih lanjut, dan proses dapat dihentikan dengan menekan tombol *Stop* setelah data selesai dikumpulkan. Jika terjadi masalah, tombol *Reset* digunakan untuk memulihkan sistem ke kondisi awal tanpa memerlukan pengaturan ulang yang kompleks, sehingga memastikan alat tetap berfungsi dengan baik selama penelitian.



Gambar 3 Diagram Alir Sistem Alat

C. Desain Mekanis Perangkat Keras

Berikut ini merupakan desain mekanis dari alat yang dirancang. Desain tersebut telah direncanakan dengan baik untuk memenuhi kebutuhan fungsi alat. Alat ini kemudian diimplementasikan sesuai dengan desain yang telah dibuat.



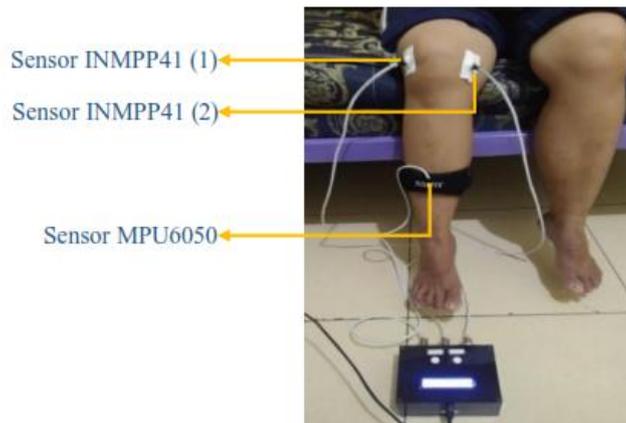
Gambar 4 Desain Rancangan Alat Tampak Atas dan Samping

Keterangan:

1. Layar LCD I2C 16x2
2. Tombol *Start/Stop*
3. Tombol *Reset*
4. *Casing* Alat
5. 'a' dan 'b' Sensor INMP441
6. Sensor MPU6050
7. *Port* Sensor
8. Kabel Sensor
9. *Switch* ON/OFF
10. *Port* *Charger* Baterai
11. *Port* *Data* Serial
12. Status Pengisian Baterai;
 - a. '12a' = *Full Charge* Baterai
 - b. '12b' = *Charging* Baterai
13. Kapasitas Baterai;
 - a. '13a' = 25%,
 - b. '13b' = 50%,
 - c. '13c' = 75%,
 - d. '13d' = 100%

D. Posisi Pengujian Sensor

Penelitian ini menggunakan dua sensor suara berbasis MEMS INMP441 untuk mendeteksi emisi akustik dari sendi genu dengan kualitas tinggi, merekam suara pada 44.1 kHz dan resolusi 16 bit, serta sensor elektrogoniometer berbasis MPU6050 untuk mengukur sudut gerakan sendi menggunakan sumbu “y”. Posisi sensor seperti terlihat pada Gambar 4 yang dirancang strategis untuk memastikan akurasi pengukuran, dengan kedua sensor suara dipasang pada kondilus medial dan kondilus lateral patela, area terdekat dengan kontak permukaan sendi lutut yang stabil dan minim gangguan. Sementara itu, sensor elektrogoniometer ditempatkan di bagian tengah tibia untuk mencatat rentang gerak lutut yang sempurna pada posisi ekstensi 90° dan fleksi 0°. Penempatan ini mempertimbangkan struktur tidak homogen pada sendi lutut, dengan efek gangguan dari otot dan kulit diminimalkan sehingga artefak pengukuran dapat diabaikan.



Gambar 4 Posisi Sensor INMP441 & Sensor MPU6050

Pengumpulan sinyal emisi akustik dilakukan dengan gerakan lutut dari fleksi penuh ke ekstensi penuh. Pada posisi fleksi penuh, lutut akan membentuk sudut 90° antara femur dan tibia, sedangkan pada posisi ekstensi penuh, sudut yang terbentuk adalah 0°. Gerakan dari fleksi penuh ke ekstensi penuh dan kembali lagi ke fleksi penuh (90°-0°-90°) didefinisikan sebagai satu siklus [21] dan 5 siklus dianggap sebagai satu set. Selama perekaman, subjek menjaga kecepatan gerakan tetap konstan selama seluruh latihan (sekitar 2 atau 4 detik/siklus).

E. Pengujian Deteksi AE Genu

Berdasarkan Tabel 1 data partisipan, penelitian ini melibatkan 10 partisipan yang terbagi menjadi tiga kelompok berdasarkan kondisi sendi lutut, yaitu *osteoarthritis genu* (OA Genu), lutut normal, dan lutut cedera. Kelompok OA Genu terdiri dari dua partisipan, yaitu P1 dan P2, dengan rentang usia 51-73 tahun. Kedua partisipan ini memiliki berat badan 51-58 kg dan tinggi badan 150-160 cm, dengan *Kellgren-Lawrence Grade* (KLG) pada derajat 1, menunjukkan adanya perubahan ringan pada struktur artikular sendi lutut.

Kelompok lutut normal melibatkan empat partisipan (P3, P4, P5, dan P6) dengan usia yang lebih muda, yaitu 22-23 tahun. Partisipan dalam kelompok ini memiliki berat badan berkisar antara 50-62 kg dan tinggi badan 158-166 cm. Semua partisipan pada kelompok normal memiliki KLG derajat 0, yang menandakan tidak adanya tanda-tanda osteoarthritis atau gangguan pada sendi lutut mereka.

Sementara itu, kelompok cedera terdiri dari empat partisipan (P7, P8, P9, dan P10), juga berusia muda, yaitu 22-23 tahun. Berat badan partisipan dalam kelompok ini berkisar antara 59-65 kg, dengan tinggi badan 160-165 cm. Seluruh partisipan dalam kelompok cedera memiliki KLG derajat 0, menunjukkan tidak ada indikasi osteoarthritis meskipun terdapat gangguan akibat cedera pada lutut mereka. Dengan adanya variasi data dari ketiga kelompok ini, penelitian bertujuan untuk mengidentifikasi pola emisi akustik lutut yang berkorelasi dengan kondisi kesehatan masing-masing partisipan.

TABEL 1
 DATA PARTISIPAN

Kondisi Genu	Partisipan ID	Umur	JK	Berat Badan (kg)	Tinggi Badan (cm)	KLK
OA Genu	P1	73	P	58	160	1
	P2	51	P	51	150	1
Normal	P3	54	L	50	158	0
	P4	22	P	52	158	0
	P5	23	L	62	166	0
	P6	23	L	60	165	0
	P7	22	L	58	168	0
Cedera	P8	25	L	65	170	0
	P9	22	L	60	169	0
	P10	23	L	59	165	0

F. Akuisisi Hit Emisi Akustik Genu

Pengukuran lutut penderita *osteoarthritis* (OA) genu dilakukan dengan menggunakan posisi medial dan lateral untuk mengakuisisi sinyal *Acoustic Emission* (AE) yang mencerminkan aktivitas akustik dari sendi, sehingga memungkinkan analisis kondisi sendi berdasarkan perbedaan pola sinyal yang dihasilkan pada kedua posisi tersebut.

Hasil akuisisi sinyal AE dapat dilihat pada Tabel 2. Pada kondisi *Osteoarthritis* (OA) Genu, partisipan P1 mencatatkan jumlah hit AE tertinggi dengan 92 hit (43 hit medial dan 49 hit lateral), diikuti oleh P2 dengan total 65 hit (41 hit medial dan 24 hit lateral). Pada kondisi normal, sebagian besar partisipan (P3, P4, P5) tidak menunjukkan hit AE, namun P6 mencatat 1 hit di bagian lateral dan P7 mencatat 6 hit (5 hit medial dan 1 hit lateral). Pada kondisi cedera, P8 mencatat 17 hit (14 hit medial dan 3 hit lateral), sementara P9 mencatatkan 35 hit (21 hit medial dan 14 hit lateral). Data ini menunjukkan bahwa amplitudo sinyal AE lebih tinggi pada kondisi OA Genu dan cedera dibandingkan dengan kondisi normal, mengindikasikan bahwa AE dapat menjadi indikator yang baik untuk membedakan kondisi tersebut.

TABEL 2
 AMPLITUDO SINYAL AE SETIAP PARTISIPAN

Kondisi Genu	Partisipan ID	Hit AE (Medial)	Hit AE (Lateral)	Total Hit AE
OA Genu	P1	43	49	92
	P2	41	24	65
Normal	P3	0	0	0
	P4	0	0	0
	P5	0	0	0
	P6	0	1	1
	P7	5	1	6
Cedera	P8	14	3	17
	P9	21	14	35
	P10	2	4	6

Amplitudo sinyal AE sendi genu diperoleh dari efek gesekan tulang rawan articular selama gerakan ekstensi-fleksi. Tingkat kejadian amplitudo ini dapat dianalisis dengan menghitung *Percent Incidence* (PI) dari hasil akuisisi sinyal AE. Perhitungan PI dilakukan menggunakan persamaan sebagai berikut[15]:

$$PI = \frac{nAE}{nEF} \times 100 \tag{1}$$

Keterangan:

- nAE = jumlah hit emisi akustik $\geq 63 \mu V$, dan
- nEF = total siklus gerakan ekstensi-fleksi.

PI untuk setiap partisipan dari setiap kelompok telah dihitung berdasarkan persamaan di atas. Hasil dari perhitungan tersebut dirangkum dalam Tabel 3. Nilai rata-rata PI yang diperoleh dari Hit AE menghasilkan nilai

PI yang bervariasi pada kelompok normal, kelompok cedera, dan kelompok OA *Genu*. Perbedaan nilai ini mencerminkan karakteristik dan kondisi spesifik dari masing-masing kelompok terkait frekuensi kejadian emisi akustik pada sendi *genu*.

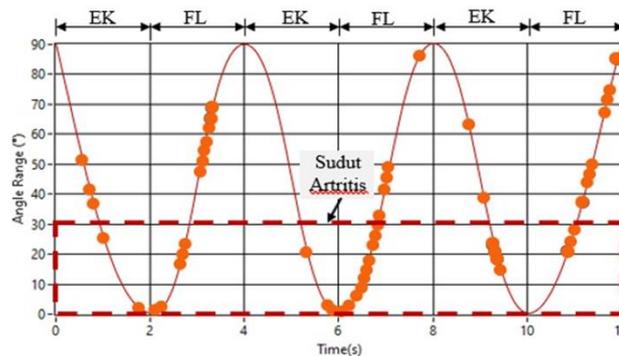
TABEL 3
 RATA-RATA MAKSIMUM AMPLITUDO SINYAL AE

Kondisi <i>Genu</i>	Amplitudo (μV)	Rata-Rata PI (%)
Normal	27	1,4
Cedera	154	11,6
OA <i>Genu</i>	129	31,4

Pada kelompok normal, amplitudo sinyal Acoustic Emission (AE) yang diperoleh adalah 27 μV dengan rata-rata persentase kejadian Hit AE 1,4%, yang menunjukkan aktivitas akustik rendah. Sebaliknya, kelompok cedera menunjukkan amplitudo AE lebih tinggi, mencapai 154 μV dengan rata-rata kejadian Hit AE 11,6%, disebabkan oleh nyeri dan pembengkakan pada meniskus, yang menghasilkan sinyal akustik lebih intens dan intermitten. Kelompok OA *Genu* menunjukkan amplitudo AE sebesar 129 μV dengan rata-rata kejadian Hit AE 31,4%, yang mengindikasikan kerusakan signifikan pada permukaan tulang rawan artikular akibat abrasi sendi. Penilaian derajat *Kellgren-Lawrence* (KLG) pada *grade* 1 mengonfirmasi degradasi permukaan tulang rawan dan emisi AE kontinu. Hasil ini mengindikasikan terdapat korelasi antara amplitudo sinyal AE dan tingkat kerusakan serta kondisi struktural tulang rawan lutut, yang dapat digunakan untuk memantau kondisi lutut, termasuk pada osteoarthritis.

V. PEMBAHASAN

Pemetaan distribusi total Hit AE dilakukan selama tiga siklus gerakan ekstensi-fleksi. Pengukuran ini dilakukan pada rentang sudut 90°-0°, yang dibagi menjadi tiga segmen pengukuran, yaitu 90°-60°, 60°-30°, dan 30°-0°. Setiap siklus dimulai pada sudut gerakan lutut 90° (Ekstensi) dengan kecepatan gerakan rata-rata sekitar 2 hingga 4 detik per siklus. Berikut adalah representasi dari Hit AE yang diterima selama gerakan ekstensi-fleksi sendi lutut terlihat data pada Gambar 5.



Gambar 5 Distribusi Hit Emisi Akustik Sendi *Genu*

Berdasarkan data Gambar 5, 40,54% dari amplitudo sinyal AE terkonsentrasi dalam rentang sudut 0°-30°, yang ditandai dengan kotak merah dan spot berwarna jingga. Hal ini menunjukkan bahwa sinyal AE cenderung terekam ketika sendi lutut berada pada awal fase ekstensi dan akhir fase fleksi. Konsentrasi sinyal AE yang tinggi pada rentang sudut ini mengindikasikan adanya tekanan atau gesekan yang signifikan pada permukaan sendi lutut, terutama pada kondisi osteoarthritis genu, yang menyebabkan kerusakan lebih parah pada area tersebut.

Selain itu, distribusi amplitudo sinyal AE menunjukkan bahwa 24,77% dari Hit AE berada dalam rentang sudut 60°-90°, sementara 34,68% tercatat pada sudut 30°-60°. Persentase konsentrasi Hit AE ini menunjukkan bahwa kerusakan permukaan sendi lutut relatif lebih rendah pada sudut 30°-60° dan 60°-90° dibandingkan dengan sudut 0°-30°. Perbedaan distribusi ini dapat menjadi indikator penting dalam memahami dinamika tekanan dan kerusakan pada permukaan sendi lutut dalam berbagai kondisi, termasuk osteoarthritis *genu*.

VI. KESIMPULAN

Alat deteksi emisi akustik pada sendi lutut terbukti efektif dalam mengevaluasi kesehatan sendi dan menilai tingkat kerusakan akibat osteoarthritis genu. Pengukuran emisi akustik pada kondisi normal, cedera, dan OA *Genu* menunjukkan amplitudo di atas 36 dB atau 63 μV , dengan total Hit AE masing-masing 7 Hit, 58 Hit, dan 157 Hit. Rata-rata amplitudo maksimum dan Percentase Incidence (PI) masing-masing sebesar 27 μV (1,4%), 154 μV (11,6%), dan 129 μV (31,4%). Kejadian Hit AE terkonsentrasi pada rentang sudut 0°-30° (40,54%), 30°-60° (34,68%), dan 60°-90° (24,77%), dengan tingkat kejadian tertinggi menunjukkan kondisi OA *Genu*. Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam mengembangkan alat deteksi non-invasif yang dapat menjadi alternatif diagnostik untuk osteoarthritis genu dan menghindari bahaya radiasi. Sebagai rekomendasi, pengujian lebih lanjut

pada sampel yang lebih besar dan beragam diperlukan untuk mengonfirmasi validitas alat serta penerapannya dalam pemantauan rutin pasien dengan OA Genu untuk mendeteksi perubahan dini.

UCAPAN TERIMA KAASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada lembaga pendidikan Universitas Mohammad Husni Thamrin Jakarta yang telah memfasilitasi dan memberi dukungan dalam penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. D. Pratama, "INTERVENSI FISIOTERAPI PADA KASUS OSTEOARTRITIS GENU DI RSPAD GATOT SOEBROTO," *J. Sos. Hum. Terap.*, vol. 1, no. 2, pp. 21–34, 2019. doi: 10.7454/JSHT.V1I2.55.
- [2] T. Lestari, Nusikho, N. Melati, and P. Muliawati, "REVIEW: GAMBARAN PENGGUNAAN OBAT ANTI INFLAMASI NON STEROID NATRIUM DIKLOFENAK SEBAGAI PEREDA NYERI PADA PASIEN," *Medimuh J. Kesehat. Muhammadiyah*, vol. 4, no. 1, pp. 53–58, 2023. doi: 10.37874/mh.v4i1.911.
- [3] A. Khusniyati and S. Amanati, "PENATALAKSANAAN FISIOTERAPI PADA OSTEOARTHRITIS GENU DEXTRA SHORT WAVE DIATHERMY, TRANSCUTANEOUS ELECTRICAL NERVE STIMULATION, DAN TERAPI LATIHAN PADA OSTEOARTHRITIS GENU DEXTRA," *Indones. J. Physiother.*, vol. 3, no. 2, pp. 49–58, 2023. doi: 10.52019/ijpt.v3i2.7863.
- [4] H. Yu, T. Huang, W. W. Lu, L. Tong, and D. Chen, "Osteoarthritis Pain," *Int. J. Mol. Sci.*, vol. 23, no. 9, pp. 1–22, 2022. doi: 10.3390/ijms23094642.
- [5] E. Sanchez-Lopez, R. Coras, A. Torres, N. E. Lane, and M. Guma, "Synovial inflammation in osteoarthritis progression," *Nat. Rev. Rheumatol.*, vol. 18, no. 5, pp. 258–275, 2022. doi: 10.1038/s41584-022-00749-9. Epub 2022 Feb 14. PMID: 35165404; PMCID: PMC9050956.
- [6] N. HIDAYATI, "PENGARUH KNEE STRETCHING TERHADAP INTENSITAS NYERI SENDI LUTUT PADA PASIEN OSTEOARTHRITIS DI POLI ORTOPEDI RSUD BANGIL KABUPATEN PASURUAN," Perpustakaan Universitas Bina Sehat PPNi, 2024.
- [7] S. M. Al Fazrin and A. Andriyani, "PENERAPAN TERAPI ROM TERHADAP PENURUNAN SKALA NYERI PADA LANSIA DENGAN OSTEOARTHRITIS DI WILAYAH PUSKESMAS," *J. Kesehat. Unggul Gemilang*, vol. 8, no. 8, pp. 228–237, 2024.
- [8] X.Zhou, et al. "Different prevention and treatment strategies for knee osteoarthritis (KOA) with various lower limb exoskeletons– A comprehensive review". *Robotica*, vol. 39, no. 8, pp. 1345-1367, 2021. doi: 10.1017/S0263574720001216
- [9] Wijaya S, "Osteoarthritis Lutut," *Cdk*, vol. 45, no. 6, pp. 424–429, 2018. doi: 10.55175/cdk.v45i6.656.
- [10] Y. Mutiara and Sugiharto, "ANALISA PENINGKATAN KEMAMPUAN FUNGSIONAL PADA LANSIA DENGAN OSTEOARTHRITIS GENU TERHADAP PEMBERIAN LATIHAN STRENGTHENING EXERCISE," *J. Kesehat. Unggul Gemilang*, vol. 8, no. 7, pp. 16–22, 2024.
- [11] R. Putri, Nurliah, and Rohana, "Hubungan Obesitas Terhadap Derajat Nyeri pada Lansia dengan Kasus Simtom Osteoarthritis Lutut," *Darussalam Indones. J. Nurs. Midwifery*, vol. 6, no. 1, pp. 74–83, 2024.
- [12] A. A. F. Hartono, D. Darmayanti, and A. H. Husen, "KARAKTERISTIK PASIEN OSTEOARTHRITIS LUTUT BERDASARKAN FOTO RONTGEN LUTUT DI RSD KOTA TIDORE KEPULAUAN," *J. Kesehat. TAMBUSAI*, vol. 5, no. 1, pp. 2135–2143, 2024. doi: 10.31004/jkt.v5i1.26814.
- [13] M. T. Nevalainen et al., "Acoustic emissions and kinematic instability of the osteoarthritic knee joint: comparison with radiographic findings," *Sci. Rep.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–9, 2021. doi: 10.1038/s41598-021-98945-2.
- [14] H. K. Jeong, D. Whittingslow, and O. T. Inan, "b-Value: A Potential Biomarker for Assessing Knee-Joint Health Using Acoustical Emission Sensing," *IEEE Sensors Lett.*, vol. 2, no. 4, pp. 1–4, 2018. doi: 10.1109/LENS.2018.2871981.
- [15] L. K. Shark, W. Quan, M. A. Bowes, J. C. Waterton, and J. Goodacre, "Discovering Associations Between Acoustic Emission and Magnetic Resonance Imaging Biomarkers From 10 Osteoarthritic Knees," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 69, no. 11, pp. 3494–3503, 2022. doi: 10.1109/TBME.2022.3171493.
- [16] L. Spain and D. Cheneler, "Acoustic Monitoring of Joint Health," *IntechOpen*, London, no. September, pp. 0–12, 2022. doi: 10.5772/intechopen.92868.
- [17] G. Rajalakshmi, C. Vinothkumar, A. Anne Frank Joe, and T. Thaj Mary Delsy, "Vibroarthographic signal analysis of bone disorders using arduino and piezoelectric sensors," *Proc. 2019 IEEE Int. Conf. Commun. Signal Process.*, no. April, pp. 82–86, 2019. doi: 10.1109/ICCS.2019.8698064.
- [18] D. C. Whittingslow et al., "Knee Acoustic Emissions as a Digital Biomarker of Disease Status in Juvenile Idiopathic Arthritis," *Front. Digit. Heal.*, vol. 2, pp. 1–12, 2020. doi: 10.3389/fdgh.2020.571839.

- [19] B. Sawaryn et al., "The assessment of the condition of knee joint surfaces with acoustic emission analysis," *sensors*, vol. 21, no. 19, pp. 1–22, 2021. doi: 10.3390/s21196495.
- [20] Okpatrioka, "Research And Development (R&D) Penelitian Yang Inovatif Dalam Pendidikan," *Dharma Acariya Nusant. J. Pendidikan, Bhs. dan Budaya*, vol. 1, no. 1, pp. 86–100, 2023.
- [21] F. dos S. C. Pereira, "Screening device for knee osteoarthritis based on vibroarthrography," UNIVERSIDADE DO PORTO, 2018.