

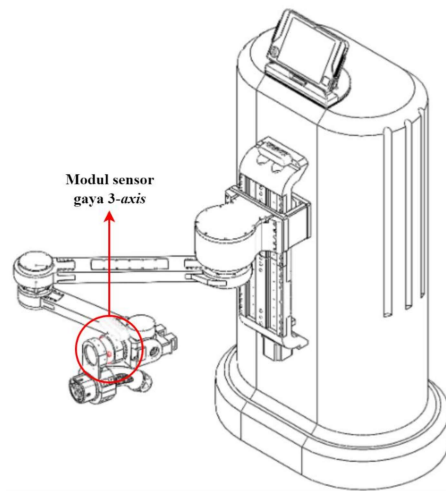
BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurut IEA's *Global EV Outlook 2024* [1], penjualan kendaraan listrik global pada kuartal pertama 2024 meningkat sebesar 25% dibandingkan tahun 2023, melanjutkan tren yang diamati pada tahun-tahun sebelumnya. Pertumbuhan yang konsisten ini menunjukkan semakin populernya kendaraan listrik di kalangan konsumen di seluruh dunia. Peningkatan penjualan kendaraan listrik telah menyebabkan meningkatnya permintaan terhadap infrastruktur stasiun pengisian daya kendaraan listrik (EVCS) yang efisien, andal, dan efektif [2]. Oleh karena itu, stasiun pengisian daya merupakan salah satu infrastruktur penting yang diperlukan untuk mendukung kemajuan teknologi kendaraan listrik [3].

Munculnya kendaraan listrik telah mendorong perkembangan stasiun pengisian daya melalui berbagai inovasi [4], [5]. Salah satu inovasi tersebut adalah *Automated Charging Station (ACS)*. ACS adalah sistem yang dirancang untuk memfasilitasi proses pengisian daya dengan menggunakan robot yang secara otomatis melakukan penyambungan dan pelepasan konektor pengisian pada kendaraan listrik [6]. Stasiun pengisian otomatis ini sangat krusial dalam memenuhi permintaan yang meningkat untuk infrastruktur pengisian daya yang andal dan efisien [7], [8].

Pengukuran gaya yang akurat merupakan bagian krusial dalam penyelarasan pergerakan lengan robot dalam aplikasi pengisian daya pada kendaraan listrik [9], [10]. Besaran gaya yang harus diberikan oleh lengan robot dipengaruhi oleh sudut dan posisi konektor selama fase penyambungan [11]. Sensor gaya dapat membantu dalam proses ini dengan memberikan umpan balik gaya beserta arahnya yang diterima *end-effector* ke sistem selama proses *peg-in-hole*. Umpan balik ini berguna untuk mengurangi kesalahan posisi dan meningkatkan efisiensi penyambungan [12], [13]. Penggunaan sensor gaya juga sering kali terintegrasi dengan visi komputer untuk meningkatkan akurasi penyelarasan [14], [15]. Gambar 1.1 [9] merupakan ilustrasi pengimplementasian modul sensor gaya pada robot pengisi daya otomatis.



Gambar 1. 1 Implementasi modul sensor gaya 3-axis pada RoCharg-v1.

Saat ini, sensor gaya khususnya yang digunakan pada *end-effector* robot pengisian daya bersifat kaku [16], sehingga berpotensi untuk merusak system pengisian daya. Sensor gaya 6-axis juga memiliki harga yang cukup tinggi [17]. Sensor lembut atau fleksibel sangat penting untuk meningkatkan persepsi robot dan kemampuannya beradaptasi dengan lingkungannya dengan memperkirakan rangsangan mekanis dan deformasi [18]. Dalam penelitian ini, sebuah modul sensor gaya fleksibel dirancang untuk membimbing lengan pengisian daya otomatis dalam proses *peg-in-hole*. Modul sensor gaya dibuat dengan menggunakan *Thermoplastic Polyurethane* (TPU), material dengan elastisitas dan fleksibilitas tinggi, TPU memiliki modulus elastisitas sebesar 2410 N/mm², perpanjangan saat putus antara 26% hingga 60%, dan kekuatan tarik antara 21-36 MPa. Namun, fleksibilitas TPU dipengaruhi oleh tingkat pengisian dan ketebalan dinding luar selama proses pencetakan 3D [19].

Modul sensor gaya pada penelitian ini menggunakan sensor medan magnet 3 sumbu untuk mendeteksi perpindahan medan magnet saat gaya diberikan. Dalam penelitian ini, metode *hybrid* SVM-LSTM digunakan untuk mengetahui hubungan antara perpindahan medan magnet dengan gaya. *Support vector machine* (SVM) memiliki keunggulan dalam klasifikasi data yang efektif dan kemampuan untuk menangani data berdimensi tinggi. Di sisi lain, *long short-term memory* (LSTM) unggul dalam memberikan prediksi yang akurat untuk data deret waktu [20], [21], [22].

Berdasarkan penelitian sebelumnya mengenai SVM, masalah yang dihadapi ialah kurang optimalnya parameter yang digunakan, sehingga berdampak pada performa model [23]. Dalam penelitian ini, digunakan suatu metode optimasi parameter SVM menggunakan algoritma *Particle swarm optimization* (PSO), guna meningkatkan akurasi prediksi gaya oleh modul sensor gaya 3-axis [23], [24].

1.2 Kajian Riset Terdahulu

Tinjauan penelitian terdahulu merupakan suatu pernyataan yang menunjukkan bahwa penelitian yang akan dilakukan memiliki pemecahan masalah berdasarkan penelitian serupa yang dilakukan oleh peneliti lain. Penelitian sebelumnya yang relevan dengan penelitian dilakukan, diuraikan secara ringkas, sehingga dapat memberikan masukan dan alasan untuk dilakukan penelitian ini. Adapun tinjauan penelitian terdahulu dijabarkan pada Tabel 1.1

Tabel 1. 1 Referensi utama.

No.	Nama Peneliti	Tahun	Judul Penelitian
1.	David Black, dkk.	2023	<i>Low-Profile 6-Axis Differential Magnetic Force/Torque Sensing</i>
2.	Hu, dkk.	2023	<i>Design of 3D magnetic tactile sensors with high sensing accuracy guided by the theoretical model.</i>
3.	Rehan, dkk.	2022	<i>A soft multi-axis high force range magnetic tactile sensor for force feedback in robotic surgical systems.</i>
4.	Rabbani, dkk.	2022	<i>Design and fabrication of a soft magnetic tactile sensor</i>
5.	Moosavi, dkk	2022	<i>Design and development of a multi-axis force sensor based on the hall effect with decouple structure</i>
6.	Anany Dwivedi, dkk.	2018	<i>Design, Modeling, and Validation of a Soft Magnetic 3-D Force Sensor</i>

Penelitian terdahulu mengenai sensor gaya multi-axis berbasis magnet telah dilakukan oleh kelompok riset dengan berbagai pendekatan, tujuan, dan hasil pencapaiannya yang berbeda. Tabel 1.1 merupakan beberapa penelitian terkait

sensor gaya *multi-axis* berbasis magnet yang mendukung terhadap riset yang dilakukan.

Penelitian yang dilakukan oleh David Black, dkk pada tahun 2023 [25], memperkenalkan sebuah metode baru dalam mendeteksi gaya yang berbasis pada pembacaan diferensial medan magnet oleh beberapa modul sensor yang ditempatkan di sekitar suatu alat atau peranti. Model, simulasi, dan optimasi dari sensor gaya ini diuraikan, yang selanjutnya digunakan dalam desain elektris dan mekanis serta integrasi sensor ke dalam *probe ultrasound*. Melalui kalibrasi *non-linear* dengan menggunakan jaringan saraf tiruan, sensor ini mencapai kesalahan uji rata-rata akar *mean square* sebesar 0.41 N dan 0.027 Nm dibandingkan dengan sensor ATI Nano25 yang ada di pasaran, yang merupakan 0.80% dan 1.16% dari jangkauan skala penuhnya masing-masing. Sensor dari hasil penelitian ini memiliki densitas daya kebisingan rata-rata kurang dari 0.0001 N/akar (Hz), dan resolusi interval kepercayaan 95% sebesar 0.063 N dan 0.0086 Nm.

Penelitian oleh Xiaocheng Hu, dkk., pada 2023 [26], menghasilkan sensor taktil magnetik 3D untuk deteksi gaya dalam interaksi manusia-robot. Sensor ini cocok untuk aplikasi di bidang robotika dan manipulasi cerdas karena tingkat kesalahannya yang kecil, dibawah 1%. Sensor ini memanfaatkan model teoritis yang menggabungkan perubahan medan magnet, jaringan saraf tiruan (ANN), dan mekanika padat untuk memprediksi perubahan gaya. Menggunakan magnet silindris dan lapisan polimer yang mengalami deformasi saat diberi gaya, ANN berguna untuk memetakan perubahan fluks magnetik secara akurat.

Penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Rehan, dkk., pada tahun 2022 [27], menghasilkan sensor taktil magnetik *multi-axis* bertekstur lunak untuk sistem bedah robotik. Menggunakan magnet Neodymium dan sensor *Hall* yang tertanam pada *elastomer*, sensor ini mampu merespon gaya normal, geser dan sudut. Untuk mengoptimalkan jatak antara magnet dengan sensor *hall*, mereka menggunakan simulasi FEM sehingga dapat memperkirakan rentang perpindahan magnet terhadap sensor. Menggunakan pendekatan tersebut, sensor berhasil memperoleh sensitifitas pembacaan sebesar 16 mV/N, 30 mV/N, dan 81 mV/N

untuk gaya normal, geser, dan sudut. Hal ini memungkinkan sensor untuk digunakan pada aplikasi medis.

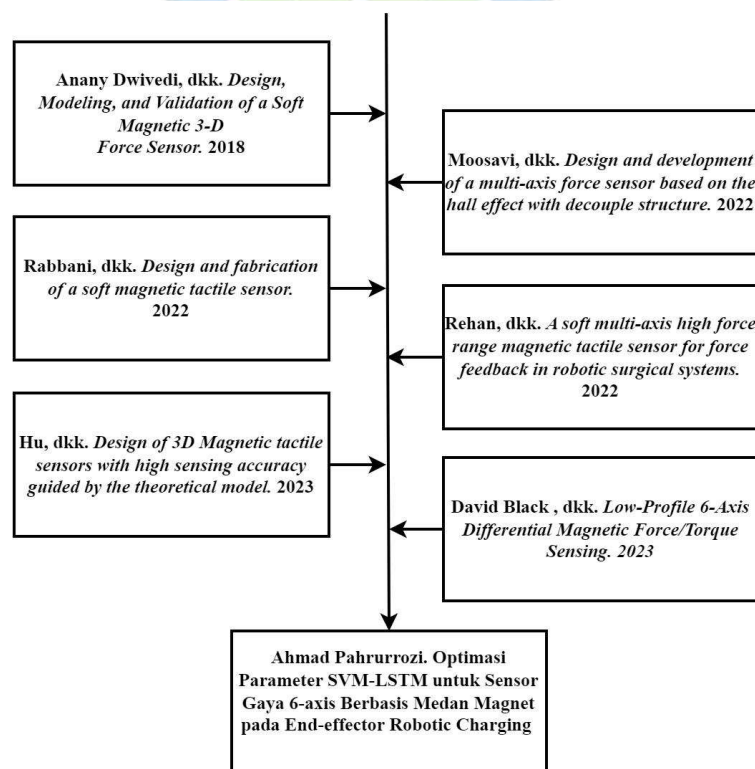
Penelitian yang dilakukan oleh Rabbani, dkk., pada tahun 2022 [28], bertujuan untuk membuat sensor sentuh untuk meniru sentuhan manusia dan memberikan umpan balik saat robot berinteraksi dengan objek. sensor ini memanfaatkan magnet permanen dan sensor hall dengan komponen mekanik yang terbuat dari elatomer cetak 3D, sehingga memungkinkan terjadinya deformasi saat menerima gaya. Sensor dikalibrasi dengan menggunakan beberapa kemiringan gaya (*slope*) yang berbeda, dan model *multi-layer Perception* (MLP) untuk memetakan medan magnet ke gaya. Hasilnya, sensor menunjukkan kinerja yang cukup baik pada perubahan gaya bertahap tapi memiliki kesalahan yang lebih besar saat perubahan gaya lebih cepat.

Penelitian yang dilakukan oleh Seyed Danial Moosavi Nasab, dkk., pada tahun 2022 [29], membahas pembuatan dan pengembangan sensor gaya 3-sumbu inovatif untuk aplikasi interaksi manusia-robot. Menempatkan sensor efek *Hall* secara strategis, sebuah struktur asimetris yang unik untuk sensor gaya diperkenalkan, mengambil inspirasi dari arsitektur sebuah giroskop untuk memberikan keluaran independen pada sumbu-sumbu sensor. Akibatnya, setiap sumbu sensor membentuk hubungan individu antara gaya dan perpindahan, yang diselubungi oleh struktur silikon. Sensor gaya yang dihasilkan mampu mengukur gaya sepanjang tiga sumbu Kartesian (X, Y, Z) dengan resolusi masing-masing 2 mN, 1.5 mN, dan 0.2 N.

Penelitian yang dilakukan oleh Anany Dwivedi, dkk., pada tahun 2018 [30], menggambarkan desain, pabrikasi, pemodelan, dan validasi eksperimental dari sensor taktil berbahan lembut yang secara akurat mengukur vektor gaya 3D untuk kondisi beban normal dan geser. Penelitian ini menyelidiki deteksi perubahan dalam vektor medan magnet akibat gerakan sebuah magnet miniatur dalam substrat lembut untuk mengukur gaya normal dan geser dengan akurasi dan bandwidth tinggi. Sensor yang diusulkan adalah unit taktil berbentuk piramida dengan elemen *Hall* tiga sumbu dan sebuah magnet tertanam dalam substrat karet silikon. Pemetaan *non-linear* antara vektor gaya 3D dan tegangan efek *Hall*

dikarakterisasi dengan melatih jaringan saraf tiruan. Penelitian ini memvalidasi sensor gaya lembut yang diusulkan melalui eksperimen beban statis dan dinamis dan mencapai kesalahan absolut rata-rata di bawah 11, 7 mN atau 2, 2% dari rentang gaya. Hasil ini diperoleh untuk *prototipe* sensor gaya lembut dan kondisi beban yang tidak termasuk dalam proses pelatihan, menunjukkan generalisasi model yang kuat.

Berbagai penelitian mengenai sensor gaya *multi-axis* berbasis magnet telah banyak dilakukan. Penelitian tugas akhir ini akan menekankan optimasi parameter *machine learning* untuk mendukung sensor gaya *3-axis* berbasis medan magnet untuk *end-effector robotic charging*. Algoritma SVM-LSTM digunakan untuk mencari hubungan antara medan magnet dan gaya, dengan menggunakan metode *particle swarm optimization* (PSO) untuk mengoptimasi parameter SVM. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan akurasi pengukuran gaya tiga sumbu pada *end-effector robotic charging*. Hubungan penelitian diperlihatkan pada Gambar 1.2.



Gambar 1. 2 Hubungan penelitian.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, terdapat beberapa pertanyaan penelitian yang menjadi rumusan masalah dalam penelitian ini. Beberapa pertanyaan tersebut diantaranya:

1. Bagaimana desain modul sensor gaya 3-axis berbasis medan magnet dengan menggunakan sensor CJMCU-90393?
2. Bagaimana mengintegrasikan model *machine learning* pada modul sensor gaya 3-axis untuk memetakan hubungan antara medan magnet dengan gaya?
3. Bagaimana kinerja model SVM-LSTM pada modul sensor setelah dioptimasi dengan menggunakan PSO?

1.4 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dipaparkan, tujuan dari penelitian ini meliputi:

1. Membuat desain modul sensor gaya 3-axis berbasis medan magnet dengan menggunakan sensor CJMCU-90393.
2. Mengintegrasikan model *machine learning* pada modul sensor gaya 3-axis untuk memetakan hubungan antara medan magnet dengan gaya.
3. Menganalisis kinerja model SVM-LSTM pada modul sensor gaya setelah dioptimasi dengan menggunakan PSO.

1.5 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat baik manfaat dari sisi akademis maupun manfaat dari sisi praktis.

1. Manfaat akademis

Penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi dalam bidang akademis mengenai integrasi antara algoritma *machine learning* seperti SVM dan LSTM dengan teknologi sensor gaya 3-axis berbasis medan magnet pada aplikasi robotik, serta memperkaya pengetahuan di bidang robotika dan *machine learning*.

2. Manfaat praktis

Manfaat praktis dari penelitian ini adalah untuk peningkatan kinerja sistem robotik, optimasi pengisian daya, dan sistem diharapkan untuk dapat diterapkan dalam berbagai aplikasi robotik.

1.6 Batasan Masalah

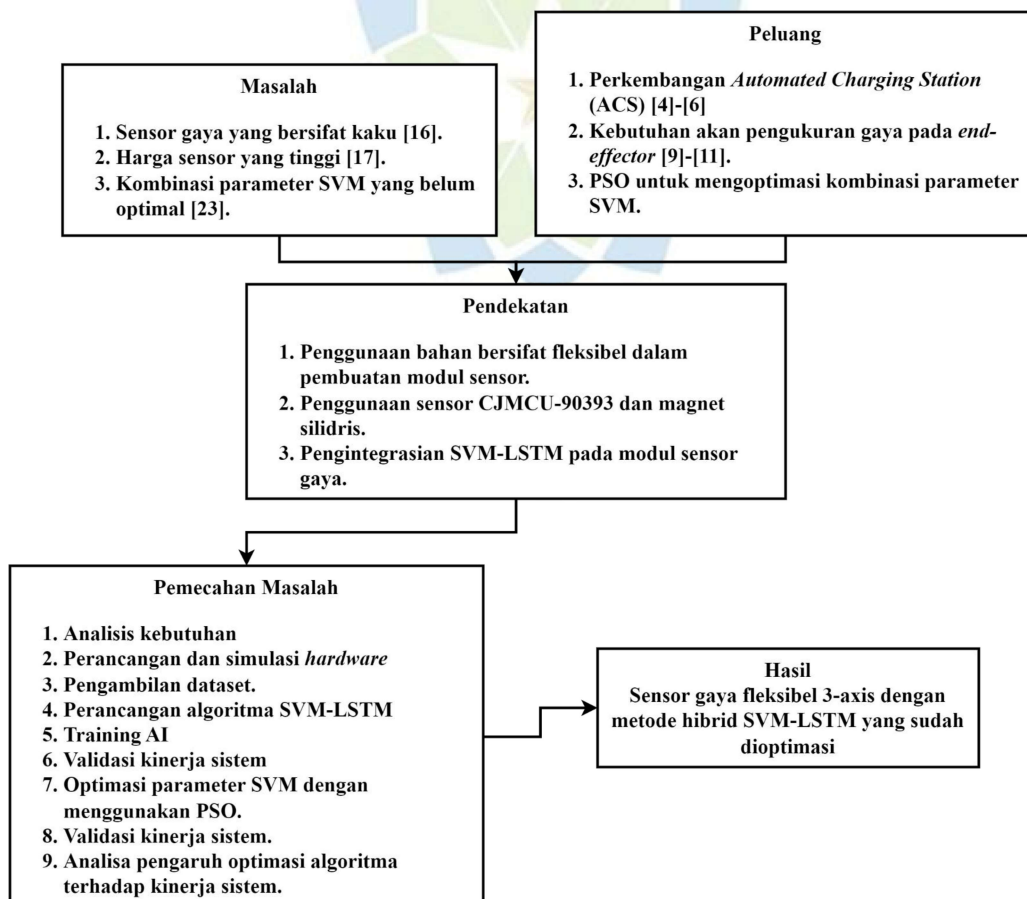
Penelitian ini diharapkan memiliki fokus penelitian yang jelas. Sehingga diperlukan penetapan batasan masalah untuk menghindari perluasan topik penelitian. Berikut adalah batasan-batasan masalah yang ditetapkan dalam penelitian ini:

1. Penelitian berfokus untuk mengoptimasi parameter pada algoritma SVM-SLTM untuk sensor gaya 3-axis berbasis medan magnet pada *end-effector robotic charging*.
2. Sensor akan mengubah medan magnet (M_x, M_y, M_z) menjadi gaya (F_x, F_y, F_z).
3. Model SVM-LSTM digunakan untuk memetakan hubungan antara medan magnet dengan gaya.
4. *Dataset* dalam penelitian ini adalah data *excel* yang berisikan medan magnet (M_x, M_y, M_z) dan gaya (F_x, F_y, F_z).
5. *Dataset* berjumlah 17.292 baris, sedangkan data uji berjumlah 2000 baris.
6. Metode yang digunakan untuk optimasi parameter SVM-LSTM dalam penelitian ini adalah metode *partical swarm optimization* (PSO).
7. Parameter yang akan dioptimasi oleh PSO adalah parameter C , *epsilon* (ϵ), dan *gamma*.
8. Karakteristik material dianalisis dengan menggunakan simulasi FEM.
9. MSE dan R^2 score digunakan untuk mengevaluasi performa sensor.
10. Model hasil pelatihan disimpan dalam format *joblib*.
11. Model diuji dengan menggunakan data yang bukan bagian dari *dataset*.
12. Model tidak diimplementasikan secara langsung pada instrumen lengan robot pengisian daya.

13. Sensor yang digunakan adalah “CJMCU-90393”, yang merupakan sensor medan magnet *3-axis*.
14. Modul sensor gaya terbuat dari bahan *Thermoplastic Polyurethane* (TPU), yang memiliki sifat elastis.
15. Modul sensor di pabrikan dengan menggunakan mesin *3D printer*.

1.7 Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir adalah serangkaian langkah berpikir yang terorganisir, merinci pendekatan sistematis untuk menyelesaikan masalah yang dirumuskan dan mengeksplorasi peluang pemecahan masalah tersebut. Melalui pendekatan ini, masalah dipecahkan secara terstruktur. Kerangka berpikir untuk penelitian ini dijelaskan pada Gambar 1.3



Gambar 1. 3 Kerangka berpikir

1.8 Sistematika Penulisan

Laporan tugas akhir ini memiliki sistematika penulisan dengan total 6 bab. Penjabaran isi setiap bab pada laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab ini diuraikan tentang latar belakang, tinjauan penelitian terdahulu, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah, kerangka pemikiran, dan sistematika penulisan.

BAB 2 TEORI DASAR

Bab ini menjelaskan tentang hal-hal pokok sebelum melakukan penelitian. Menyangkut dengan penelitian perlu adanya penguasaan teori yang berhubungan dan menunjang dalam penelitian mengenai optimasi parameter SVM-LSTM pada sensor gaya 3-axis untuk *end-effector robotic charging*.

BAB 3 METODOLOGI

Bab ini menjelaskan metode dan tahapan-tahapan yang dilakukan ketika melakukan penelitian, serta jadwal penelitian mengenai optimasi parameter SVM-LSTM pada sensor gaya 3-axis untuk *end-effector robotic charging*, dimulai dari studi literatur hingga penyelesaian penulisan tugas akhir.

BAB 4 PERANCANGAN DAN OPTIMASI

Bab ini dijelaskan mengenai perancangan, simulasi, pabrikan modul sensor gaya dan pengintegrasian SVM-LSTM pada modul sensor gaya. Diawali dengan menentukan spesifikasi modul sensor, menentukan material pembangun modul sensor, kemudian perancangan bentuk dan simulasi dengan FEM pada *software*. Setelah simulasi dirasa cukup, modul sensor masuk ke tahap pabrikan. Selanjutnya model SVM-SLTM diintegrasikan pada modul sensor gaya 3-axis. Model yang telah diintegrasikan, kemudian di optimasi dengan menggunakan *partical swarm optimization* (PSO).

BAB 5 HASIL DAN ANALISIS

Bab ini memaparkan semua hal yang berkaitan dengan hasil simulasi, pabrikan, serta analisis pelatihan algoritma SVM-LSTM pada modul sensor serta perbandingan performa dari modul sensor ketika hanya menggunakan SVM-LSTM dan ketika algoritma SVM-LSTM sudah dioptimasi menggunakan PSO.

BAB 6 PENUTUP

Bab ini dijelaskan mengenai kesimpulan hasil dari seluruh rangkaian penelitian berdasarkan tujuan awal yang hendak dicapai dalam penelitian, juga berisikan saran terhadap penelitian – penelitian selanjutnya yang bisa dilakukan terkait modul sensor gaya ini.

