

Matrix Pressure Sensor untuk Mengamati Genggaman Tangan pada Objek Silinder

Andrew Febrian Miyata¹, Lanny Agustine¹, dan Hartono Pranjoto^{1*}

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya, Jl. Kalijudan 37, Surabaya 60114, Indonesia
Email: pranjoto@ukwms.ac.id

ABSTRAK

Matrix pressure sensor dapat digunakan untuk membaca kekuatan genggaman pada berbagai objek. Objek yang akan diamati saat ini adalah objek silinder dengan diameter 7 cm dan 12 cm. Hasil pembacaan sensor kemudian diubah dalam bentuk *heatmap* untuk mempermudah analisis dan dilakukan peningkatan resolusi agar *heatmap* yang dihasilkan lebih baik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh ukuran objek dengan kemampuan genggaman dengan cara membaca dan menganalisis tekanan pada objek. Dengan demikian didapat hasil yang bersifat objektif dan saintis. Hasil dari penelitian ini dapat digunakan untuk mendesain barang yang dibawa dengan cara digenggam. Salah satunya botol minum dengan menggunakan ukuran yang sesuai dan bentuk yang meningkatkan cengkraman pada bagian tangan yang memiliki tekanan tinggi. Dari data yang didapatkan tekanan berpusat di area ujung jari, oleh karena itu untuk mendesain botol minum yang tidak mudah jatuh perlu mendesain pada bagian tengah botol menyerupai kontur jari, sehingga dapat meningkatkan luas area genggaman.

Kata kunci: pemetaan panas, sensor tekanan, kekuatan genggaman.

ABSTRACT

Matrix pressure sensors can be used to read grip strength on various objects. Cylindrical objects of 7 cm and 12 cm in diameter are the central observation of the strength of the grip. The results of the sensor readings are then converted into a heatmap to facilitate better analysis compared to just numbers. There is resolution enhancement to obtain better heatmap results. This study aims to determine the effect of object size with grip ability by reading and analyzing the pressure on the object and obtained better quantitative results. Ergonomic design can use this study for better grip results. One target of this study can be a drinking bottle that uses the appropriate size and shape to increase grip on the part of the hand with high pressure. From the data obtained, the pressure is centered on the fingertip area. Therefore, to design a drinking bottle that does not fall easily, it is necessary to design the center of the bottle to resemble the contour of the finger to increase the area of the grip.

Keywords: heat mapping, pressure sensor, grip strength.

1. PENDAHULUAN

Matrix pressure sensor merupakan sensor untuk membaca tekanan objek pada suatu bidang. Sensor ini banyak digunakan untuk kulit robot karena dapat membaca tekanan pada sensor sama seperti kulit merasakan tekanan [1]. Sensor yang digunakan dalam penelitian ini adalah sensor yang menggunakan *piezoresistive* [2]. Salah satu penggunaan *matrix pressure sensor* adalah untuk mengamati genggaman tangan pada objek berbentuk silinder atau tabung.

Pengaplikasian *matrix pressure sensor* pada bidang datar memiliki respon yang dapat diprediksi karena tidak terdapat gangguan pada sensor [3]. Pengaplikasian *matrix pressure sensor* yang dilakukan pada objek tidak rata

akan menimbulkan derau pada hasil pembacaan sensor, karena saat sensor dibentuk mengelilingi objek silinder, sensor akan membaca tekukan sebagai tekanan.

Hasil dari penelitian ini dapat diketahui cara untuk mengatasi masalah yang muncul apabila sensor berada dalam kondisi tertekuk. Selain itu juga dapat digunakan untuk mendesain produk yang ergonomis, salah satunya adalah botol minum. Dengan desain botol yang ergonomis diharapkan botol dapat lebih nyaman digenggam terutama saat berolah raga.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Matrix Pressure Sensor

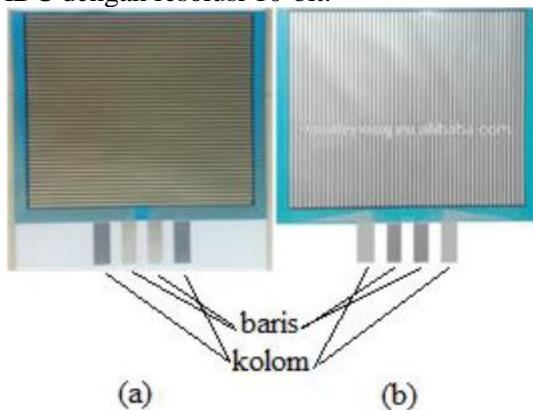
Matrix pressure sensor tersusun dari dua

lembar plastik dengan konduktor memanjang yang tersusun secara horizontal pada satu lembar dan vertikal pada lembar yang lainnya [4]–[6] seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1. Sensor yang digunakan dalam penelitian ini memiliki 44 baris horizontal dan 52 kolom vertikal. Dengan masing-masing titik potong merupakan sensor tekanan, maka titik uji tekanan yang digunakan 2288 titik uji.

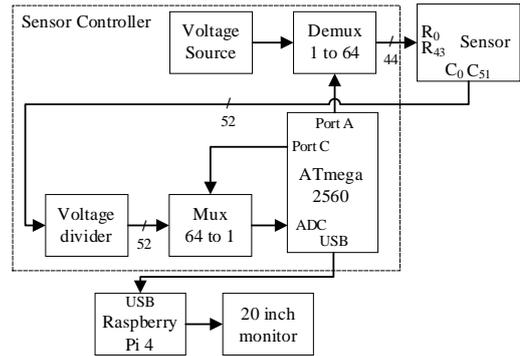
Sensor membaca tekanan menggunakan *piezoresistive* yang berarti apabila terdapat tekanan mekanik pada sensor maka jarak antara sensor akan berubah dan nilai resistansi sensor akan berkurang [7]–[9]. Dengan begitu maka nilai tekanan pada sensor dapat diketahui dengan cara membaca nilai resistansi sensor.

Untuk dapat membaca sensor bagian kolom dan baris perlu dibaca secara bergantian. Pembacaan dilakukan dengan menggunakan *multiplexer* 64 ke 1 pada bagian kolom sensor dan *demultiplexer* 1 ke 64 pada bagian baris sensor. *Multiplexer* akan membaca 52 kolom secara bergantian untuk membaca data dari 1 baris sensor. Setelah itu *demultiplexer* akan memilih baris selanjutnya. Dengan begitu setiap titik potong dapat dibaca secara bergantian seperti yang terlihat pada Gambar 2 [3].

Untuk membaca nilai resistansi sensor maka nilai resistansi perlu diubah terlebih dahulu menjadi tegangan. Salah satu cara untuk mengubah resistansi menjadi tegangan adalah menggunakan pembagi tegangan. Setelah melalui pembagi tegangan selanjutnya tegangan dibaca oleh *analog to digital converter* (ADC) mikrokontroler. Mikrokontroler yang digunakan pada penelitian ini adalah Arduino yang memiliki ADC dengan resolusi 10-bit.



Gambar 1. Matrix Pressure Sensor (a) Lembar Konduktor Dalam Susunan Horizontal, (b) Lembar Konduktor Dalam Susunan Vertikal



Gambar 2. Diagram Blok Sistem

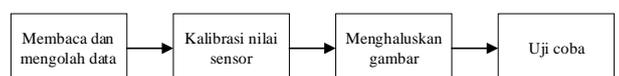
2.2 Pembacaan dan Pengolahan Data

Penelitian ini dilakukan dengan tahapan yang dapat dilihat pada Gambar 3. Data dari *matrix pressure sensor* perlu dibaca dan diolah terlebih dahulu sebelum dapat dilakukan proses lanjutan oleh komputer. Setelah komputer membaca data, selanjutnya dilakukan kalibrasi terlebih dahulu untuk memastikan bahwa nilai tekanan yang terbaca sesuai dengan nilai tekanan yang sebenarnya. Apabila nilai sudah sesuai selanjutnya adalah memperhalus gambar sebaran tekanan agar terlihat lebih sesuai dengan tekanan yang sebenarnya pada sensor.

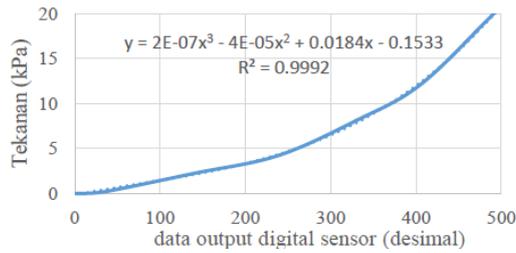
Tegangan yang sudah dikonversi menjadi data digital menggunakan ADC dapat dibaca oleh komputer. Data dimasukkan ke dalam *matrix* 44 x 52 untuk mempermudah dalam memproses data. Selain itu data juga ditampilkan dalam bentuk *heatmap* agar lebih mudah dalam analisis data.

Data dari mikrokontroler kemudian dikirimkan ke komputer menggunakan komunikasi serial. Data yang awalnya berupa *string* diubah menjadi data numerik dalam bentuk matriks untuk selanjutnya diubah ke dalam bentuk *heatmap*. Perubahan data menjadi matriks dilakukan dengan menggunakan *separator* “;” untuk tiap kolom dan “/” untuk tiap baris.

Perbandingan antara nilai tekanan dan tegangan yang dihasilkan tidak linear [3], sehingga diperlukan persamaan polinomial seperti Gambar 4 agar didapat persamaan antara tekanan pada sensor dan nilai yang terbaca. Setelah mengetahui persamaan antara tekanan dan tegangan yang terbaca, data matriks nilai bit yang terbaca kemudian dikonversi menjadi nilai tekanan.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian



Gambar 4. Grafik Hubungan Tekanan dan Data Sensor

Untuk mempermudah proses analisis, maka data dalam bentuk matriks perlu dikonversi menjadi bentuk *heatmap*. Data tekanan dalam bentuk *heatmap* relatif mudah untuk diamati karena area yang mendapat tekanan tinggi dapat terlihat dengan jelas, sedangkan pada data dalam bentuk angka cukup sulit membandingkan nilai tekanan karena perlu membaca data. Namun kekurangan dari *heatmap* adalah nilai tekanan tidak diketahui secara detail, untuk pengamatan awal tidak diperlukan nilai tekanan secara detail jadi kekurangan ini tidak menjadi masalah.

Tabel 1. Akurasi Sensor

Beban (g)	Tekanan (kPa)	Nilai yang diharapkan	Nilai yang terbaca	Error
100	4	220,84	232	4,8%
200	8	338,45	325	4,1%
300	12	398,90	401	0,5%
400	16	437,71	440	0,5%
500	20	490,40	489	0,3%

Saat dilakukan perbandingan antara hasil pembacaan sensor dengan nilai hasil perhitungan, didapat nilai *error* maksimal 5% pada saat sensor mendapat tekanan 4 kPa dan mendapat *error* di bawah 1% saat sensor mendapat tekanan 12 kPa seperti yang dapat dilihat pada Tabel 1.

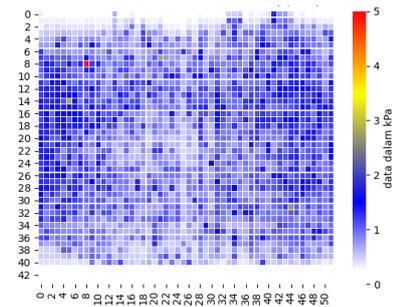
Y = persamaan polinomial (kPa)

X = data (bit)

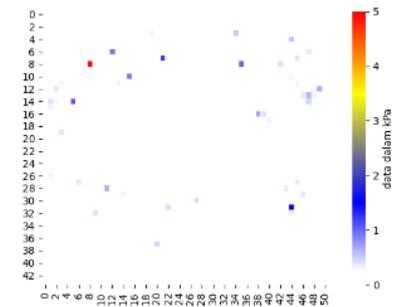
R = Regresi ($R^2 = 0,9992$, $R = 0,99599$, akurasi = 99,5%)

2.3 Kalibrasi Kondisi Tidak Ditekan

Untuk membaca nilai resistansi sensor maka nilai resistansi perlu diubah terlebih dahulu menjadi tegangan. Salah satu cara untuk mengubah resistansi menjadi tegangan adalah menggunakan pembagi tegangan. Setelah melalui pembagi tegangan selanjutnya tegangan dibaca oleh *analog to digital converter* (ADC) mikrokontroler. Mikrokontroler yang digunakan pada



Gambar 5. *Heatmap* sebelum kalibrasi



Gambar 6. *Heatmap* sesudah kalibrasi

penelitian ini adalah Arduino yang memiliki ADC dengan resolusi 10-bit.

Pada saat sensor melengkung akan terbaca tekanan walaupun sensor pada kondisi tidak diberi tekanan. Hal ini disebabkan karena luas permukaan bagian dalam sensor akan dipaksa mengecil, sedangkan bagian luar sensor akan dipaksa melebar yang memberi kesan ditarik.

Berdasarkan hasil pengamatan seluruh bagian sensor mendapat tekanan yang hampir sama yang dapat dilihat pada Gambar 5. Setelah dilakukan pengamatan lebih lanjut, dilakukan perhitungan nilai rata-rata saat sensor tidak ditekan. Pada silinder dengan diameter 12 cm nilai tekanan pada sensor sekitar 1 kPa untuk masing-masing titik. Untuk mengatasi hal itu maka nilai pada sensor perlu dikurangi 1 kPa untuk tiap titik. Sedangkan pada silinder dengan diameter 7 cm tekanan rata-rata 1,25 kPa. Hal ini dinilai sesuai dengan perkiraan karena apabila diameter lebih kecil maka efek perubahan luas permukaan akan lebih terasa dibandingkan dengan silinder dengan diameter yang lebih kecil. Setelah dilakukan kalibrasi tekanan tidak lagi muncul seperti yang dapat dilihat pada Gambar 6.

2.4 Menghaluskan Gambar

Gambar *heatmap* hasil pembacaan sensor terlihat kasar, karena memiliki resolusi yang kecil yaitu 44 x 52 *pixel*. Untuk mendapatkan gambar yang lebih baik resolusi gambar harus dinaikkan [10]. Resolusi yang

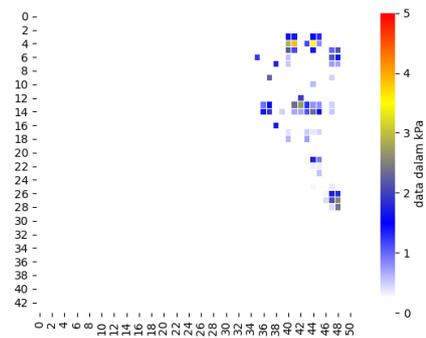
terlalu rendah akan membuat gambar kurang bagus, sedangkan apabila resolusi gambar terlalu tinggi akan memengaruhi waktu prosesnya sehingga akan lebih lama. Oleh karena itu dipilih resolusi 176 x 208 *pixel*, karena gambar yang dihasilkan terlihat cukup bagus tanpa menambah waktu proses yang terlalu banyak.

Dalam melakukan peningkatan resolusi gambar perlu diperhatikan bahwa karakteristik dari hasil setelah dilakukan peningkatan resolusi tetap mencerminkan dari hasil gambar aslinya. Untuk memastikan hal tersebut perlu diperhatikan bentuk sebaran tekanan dan nilai dari masing-masing titik tekan.

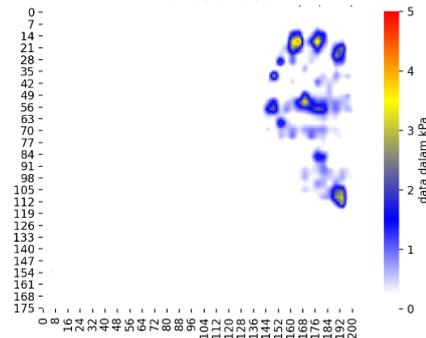
Sebaran tekanan tampak seperti gambar aslinya dengan bentuk yang sedikit berubah, seperti yang terlihat pada Gambar 7. Perubahan terlihat pada tekanan ujung jari yang awalnya berbentuk kotak menjadi berbentuk oval seperti yang dapat dilihat pada Gambar 8. Hal ini dinilai bagus karena ujung jari berbentuk ke arah oval dibandingkan kotak [11], sehingga hasil lebih sesuai dengan sebaran tekanan sebenarnya dibandingkan dengan data sebelum peningkatan resolusi.

Tekanan pada sensor juga terlihat lebih jelas karena pada daerah tekanan tinggi yang awalnya terdapat pada 1 titik yang perlu ketelitian baru dapat terlihat, setelah dilakukan peningkatan resolusi titik yang terlihat jadi lebih jelas, terutama pada bagian ujung jari. Tekanan pada daerah telapak tangan bagian atas yang awalnya berbentuk kotak juga terlihat lebih sesuai dengan kontur tangan manusia.

Kekurangan dari hasil sesudah proses peningkatan resolusi adalah meningkatnya derau pada daerah tidak tertekan. Derau yang muncul karena sensor tertekuk lebih terlihat karena tekanan yang disebarkan bukan hanya data yang diperlukan, namun semua data yang terbaca. Kekurangan ini dinilai masih dapat diterima karena meskipun derau lebih terlihat data sensor masih terlihat lebih baik dibandingkan dengan data sebelum dilakukan peningkatan resolusi.



Gambar 7. Heatmap Sebelum Peningkatan Resolusi



Gambar 8. Heatmap Sesudah Peningkatan Resolusi

3. HASIL

Penelitian untuk mengamati titik dan besar tekanan. Beberapa tahap yang dilakukan adalah pengamatan pada saat telapak tangan menekan objek datar dan objek silinder.

3.1 Menekan Objek Datar

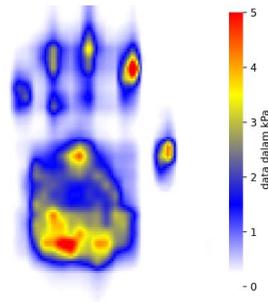
Uji coba dengan cara menekan objek datar digunakan sebagai acuan bagian mana saja yang menekan bidang dengan kuat. Percobaan dilakukan dengan cara meletakkan sensor pada meja dan menekan meja dengan kuat.

Dari hasil uji coba yang dapat dilihat pada Gambar 9. Didapat bahwa titik yang mendapat tekanan paling tinggi ada di area telapak tangan. Hal ini dinilai masuk akal karena saat menekan ke bawah, tekanan berasal berat tubuh yang diteruskan melalui lengan kemudian telapak tangan.

Pada bagian pangkal jari tidak terbaca tekanan. Setelah diamati bagian pangkal jari tidak menyentuh sensor [12], [13]. Dengan demikian dapat diharapkan apabila tidak terbaca tekanan pada bagian pangkal jari saat tangan menggenggam objek silinder.

Dari pengujian, tekanan antar jari memiliki perbedaan tergantung pada subjeknya, pada Gambar 9. Jari yang memiliki tekanan tertinggi berada pada jari telunjuk, namun pada beberapa subjek yang memiliki tekanan paling tinggi adalah jari tengah. Hal ini

bergantung pada bagaimana subjek menekan sensor yang berasal dari kebiasaan subjek dalam beraktivitas. Namun secara keseluruhan tekanan pada jari kelingking memiliki tekanan yang kecil apabila dibandingkan dengan jari lainnya. Hal ini dikarenakan jari kelingking memiliki kekuatan yang relatif lemah apabila dibandingkan dengan jari lainnya [14].



Gambar 9. *Heatmap* Tekanan pada Bidang Rata

3.2 Menggenggam Objek Silinder

Setelah mengetahui titik tekanan pada saat tangan menekan bidang datar, maka dilakukan tahap selanjutnya, yaitu menggenggam objek silinder. Objek silinder yang digunakan memiliki 2 ukuran, yaitu ukuran diameter 7 cm dan 12 cm.

Pada saat menggenggam objek silinder, bagian yang mendapat tekanan paling besar bukan di bagian telapak tangan bagian bawah, melainkan bagian jari dan telapak tangan bagian atas. Hal ini sesuai dengan perkiraan karena pada saat tangan menggenggam objek silinder bagian telapak tangan bawah hampir tidak bersentuhan dengan objek, maka tekanan harus berada pada bagian tangan yang lain.

Saat menggenggam objek dengan diameter 7 cm seperti yang dapat dilihat pada Gambar 10. Luas area yang mendapat tekanan terbilang cukup banyak, terutama pada bagian telapak tangan bagian atas. Nilai tekanan yang terbaca juga cukup tinggi, ditandai dengan masih banyak corak warna kuning pada *heatmap*. Dapat disimpulkan bahwa tangan dapat menggenggam dengan cukup baik.

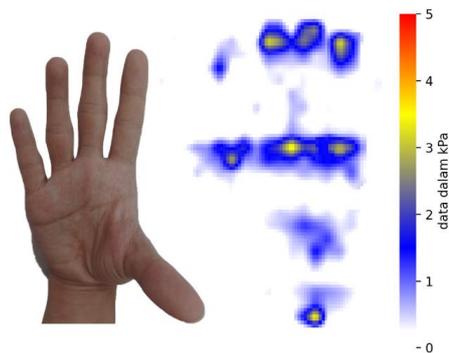
Ketika dilakukan uji coba dengan objek berdiameter 12 cm dengan hasil yang dapat dilihat pada Gambar 11. Luas area berkurang terutama pada bagian telapak tangan atas. Selain itu nilai tekanan pada ujung jari maupun telapak tangan juga berkurang yang ditandai dengan corak warna kuning terlihat hanya muncul sedikit pada *heatmap*. Dapat disimpulkan bahwa kekuatan genggamannya tidak sebaik dibandingkan dengan objek dengan

diameter 7 cm.

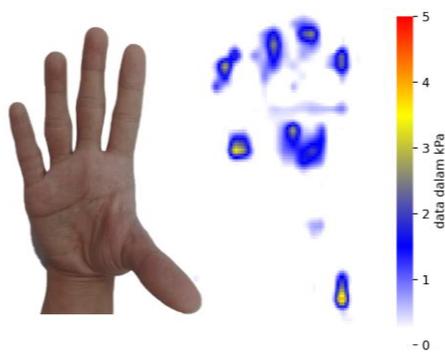
Hasil pengamatan ini dikonfirmasi dengan tanya jawab dengan subjek yang mengatakan lebih susah untuk menggenggam objek silinder dengan diameter 12 cm dibandingkan dengan 7 cm. Dari hal ini dapat dinyatakan bahwa data hasil uji coba sesuai dengan apa yang dirasakan subjek.

Pada saat menggenggam objek dengan diameter 7 cm jari kelingking berkontribusi sangat kecil, hal ini diakibatkan oleh jari kelingking yang lebih pendek dibandingkan dengan jari lainnya. Selain itu ukuran tangan manusia dewasa yang dapat menggenggam penuh silinder dengan diameter 7 cm. hal ini berbeda dibandingkan dengan saat menggenggam objek dengan diameter 12 cm. Peran dari jari kelingking terlihat sama besarnya dibandingkan dengan jari lainnya, hal ini dikarenakan ukuran tangan manusia dewasa tidak dapat mengelilingi silinder dengan diameter 12 cm, sehingga untuk menggenggam silinder mengandalkan gesekan pada ujung jari dengan silinder. Oleh karena itu kekuatan dari setiap jari diperlukan untuk dapat menggenggam objek dengan diameter 12 cm.

Diambil nilai penjumlahan tekanan pada *heatmap* dan dimasukkan pada Tabel 2. Dapat dilihat selisih kekuatan genggamannya pada objek dengan diameter 7 cm dan 12 cm sekitar 10-14% bergantung dari ukuran tangan subjek. Semakin besar tangan subjek maka selisih tekanan akan makin kecil, sedangkan apabila ukuran tangan kecil selisih tekanan akan makin besar. Rata-rata selisih kekuatan genggamannya pada objek berdiameter 12 cm lebih lemah 12% dibandingkan dengan objek berdiameter 7 cm. Hal ini sesuai dengan *heatmap* sebaran tekanan yang terlihat bahwa area genggamannya pada objek dengan diameter 7 cm memiliki area tertekan lebih banyak dibanding objek berdiameter 12 cm.



Gambar 10. Heatmap Tekanan pada Silinder dengan Diameter 7 cm



Gambar 11. Heatmap Tekanan pada Silinder dengan Diameter 12 cm

Tabel 2. Nilai Tekanan pada Diameter Silinder

Subjek	Nilai Tekanan pada Diameter Silinder	
	7 cm	12 cm
1	2151	1911
2	2396	2104
3	2198	2005
4	2327	2049
5	2203	1958

4. KESIMPULAN

Untuk mengatasi masalah sensor dalam posisi tertekuk, maka perlu mengurangi nilai sensor dengan nilai yang muncul saat sensor tidak ditekan. Ukuran silinder yang terlalu besar akan mengurangi kemampuan tangan dalam menggenggam objek, karena luas area dan besar tekanan berkurang dibandingkan dengan objek yang sesuai dengan ukuran tangan. Ukuran tangan subjek juga memengaruhi besar objek yang dapat digenggam. Kemampuan genggam berkurang sebesar 10-14% saat menggenggam objek dengan diameter 12 cm apabila

dibandingkan dengan objek berdiameter 7 cm. besar kekuatan yang berkurang berbanding terbalik dengan ukuran tangan, makin besar tangan maka kekuatan yang berkurang akan makin kecil dibandingkan dengan yang memiliki tangan lebih kecil.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Makalah ini didanai oleh Kementerian Riset dan Teknologi Pendidikan Tinggi yang kini telah berganti nama menjadi Kementerian Riset dan Teknologi atau Badan Riset dan Inovasi Nasional Republik Indonesia dengan kontrak riset nomor 200AJ / WM01.5 / N / 2019.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Totaro, N. M. Pugno, B. Mazzolai, and L. Beccai, "Micromechanical analysis of soft tactile sensors," *Front. Mater.*, vol. 4, p. 3, Feb. 2017, doi: 10.3389/fmats.2017.00003.
- [2] Y. Song *et al.*, "Highly Compressible Integrated Supercapacitor–Piezoresistance–Sensor System with CNT–PDMS Sponge for Health Monitoring," *Small*, vol. 13, no. 39, p. 1702091, Oct. 2017, doi: 10.1002/sml.201702091.
- [3] A. F. Miyata, L. Agustine, Yuliati, R. Sitepu, A. Joewono, and H. Pranjoto, "Graphical Pressure Mapping of a 2288 Sensing-Point Matrix Pressure Sensor Using Raspberry Pi," in *2020 2nd International Conference on Broadband Communications, Wireless Sensors and Powering (BCWSP)*, Sep. 2020, pp. 26–30, doi: 10.1109/BCWSP50066.2020.9249473.
- [4] W. Huang *et al.*, "Flexible and Lightweight Pressure Sensor Based on Carbon Nanotube/Thermoplastic Polyurethane-Aligned Conductive Foam with Superior Compressibility and Stability," *ACS Appl. Mater. Interfaces*, vol. 9, no. 48, pp. 42266–42277, Dec. 2017, doi: 10.1021/acsami.7b16975.
- [5] A. Tran, X. Zhang, and B. Zhu, "Mechanical Structural Design of a Piezoresistive Pressure Sensor for Low-Pressure Measurement: A Computational Analysis by Increases in the Sensor Sensitivity," *Sensors*, vol. 18, no. 7, p. 2023, Jun. 2018, doi: 10.3390/s18072023.
- [6] W. Liu *et al.*, "Piezoresistive Pressure Sensor Based on Synergistical Innerconnect Polyvinyl Alcohol Nanowires/Wrinkled Graphene Film," *Small*, vol. 14, no. 15, p. 1704149, Apr. 2018, doi:

- 10.1002/sml.201704149.
- [7] X. Li *et al.*, “Giant piezoresistance in B-doped SiC nanobelts with a gauge factor of-1800,” *ACS Appl. Mater. Interfaces*, vol. 12, no. 42, pp. 47848–47853, Oct. 2020, doi: 10.1021/acscami.0c13800.
 - [8] B. S. M. Shankar and S. M. Kulkarni, “Investigation of piezo-capacitance and piezo-resistance properties of solid silicone rubber-conductive carbon black composites,” in *AIP Conference Proceedings*, Jan. 2019, vol. 2057, no. 1, p. 020034, doi: 10.1063/1.5085605.
 - [9] N. Yogeswaran *et al.*, “Piezoelectric graphene field effect transistor pressure sensors for tactile sensing,” in *Applied Physics Letters*, Jul. 2018, vol. 113, no. 1, p. 14102, doi: 10.1063/1.5030545.
 - [10] M. Yang, J. Hu, C. Li, G. Rohde, Y. Du, and K. Hu, “An in-depth survey of underwater image enhancement and restoration,” *IEEE Access*, vol. 7. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 123638–123657, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2932611.
 - [11] W. Kim, J. M. Song, and K. R. Park, “Multimodal Biometric Recognition Based on Convolutional Neural Network by the Fusion of Finger-Vein and Finger Shape Using Near-Infrared (NIR) Camera Sensor,” *Sensors*, vol. 18, no. 7, p. 2296, Jul. 2018, doi: 10.3390/s18072296.
 - [12] F. Mueller *et al.*, “Real-time pose and shape reconstruction of two interacting hands with a single depth camera,” *ACM Trans. Graph.*, vol. 38, no. 4, Jul. 2019, doi: 10.1145/3306346.3322958.
 - [13] G. Pavlakos *et al.*, “Expressive Body Capture: 3D Hands, Face, and Body from a Single Image,” 2019. Accessed: May 07, 2021. [Online]. Available: <https://smpl-x.is.tue.mpg.de>.
 - [14] E. T. Wolbrecht, J. B. Rowe, V. Chan, M. L. Ingemanson, S. C. Cramer, and D. J. Reinkensmeyer, “Finger strength, individuation, and their interaction: Relationship to hand function and corticospinal tract injury after stroke,” *Clin. Neurophysiol.*, vol. 129, no. 4, pp. 797–808, Apr. 2018, doi: 10.1016/j.clinph.2018.01.057.