



SNESTIK

Seminar Nasional Teknik Elektro, Sistem Informasi,
dan Teknik Informatika

<https://ejurnal.itats.ac.id/snestik> dan <https://snestik.itats.ac.id>



Informasi Pelaksanaan :

SNESTIK III - Surabaya, 11 Maret 2023

Ruang Seminar Gedung A, Kampus Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

Informasi Artikel:

DOI : 10.31284/p.snestik.2023.3994

Prosiding ISSN 2775-5126

Fakultas Teknik Elektro dan Teknologi Informasi-Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya
Gedung A-ITATS, Jl. Arief Rachman Hakim 100 Surabaya 60117 Telp. (031) 5945043
Email : snestik@itats.ac.id

Implementasi Teknologi Motion Capture Untuk Pengendalian Robot Lengan Menggunakan Sensor Mpu-6050 Dan Flex Sensor

Andri Suhartono

Departemen Teknik Elektro, Institut Sains dan Teknologi Terpadu Surabaya

e-mail: andrisuh@stts.edu

ABSTRACT

This research aims to evaluate the capability of motion capture technology in capturing the movement of the left human arm and applying it to an arm robot. In this research, three MPU-6050 sensors are used, which are a combination of 3D accelerometer and 3D gyroscope to obtain the position and orientation of the left human arm, as well as one flex sensor to obtain finger bend or hand grip data. In this research, the optimal processing and data transmission delay time is 75 ms. Test results show an average accuracy rate of 87% in controlling the robot for 30 seconds. Results obtained from the used sensors are stable when in motion, but there is a slight stability problem when in a stationary position. Overall, this research concludes that motion capture technology can be used to assist humans in controlling robot movement with precision and ease.

Keywords: Human-robot interaction, Motion capture, Robotic arm, Sensors, Tracking arm movement

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan teknologi *motion capture* dalam menangkap pergerakan lengan kiri manusia dan menerapkannya pada robot lengan. Dalam penelitian ini digunakan tiga buah sensor *MPU-6050* yang merupakan kombinasi dari *accelerometer* 3D dan *gyroscope* 3D untuk mendapatkan posisi dan orientasi lengan kiri manusia, serta satu buah *flex sensor* untuk mendapatkan data lengkungan jari atau genggaman tangan manusia. Dalam penelitian ini, waktu jeda untuk memproses dan mengirimkan data yang paling optimal adalah 75 ms. Hasil uji coba menunjukkan tingkat akurasi rata-rata sebesar 87% dalam pengendalian robot selama 30 detik. Hasil yang diperoleh dari sensor yang digunakan stabil ketika kondisi bergerak, namun terdapat sedikit

masalah kestabilan ketika posisi tidak bergerak. Secara keseluruhan, Penelitian ini menyimpulkan bahwa teknologi *motion capture* dapat digunakan dalam membantu manusia mengendalikan pergerakan robot dengan presisi dan mudah.

Kata kunci: Interaksi manusia-robot, Motion capture, Robot lengan, Sensor, Tracking gerak lengan

PENDAHULUAN

Dalam era modern ini, perkembangan teknologi telah begitu pesat dalam berbagai bidang, termasuk juga dalam bidang komunikasi dan komputerisasi. Salah satu bidang yang mengalami perkembangan cukup signifikan adalah bidang robotika. Robot telah digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti industri, rumah tangga, bahkan di bidang kesehatan. Namun, salah satu hal yang menjadi kendala dalam pengembangan robot adalah kontrol gerakan robot yang masih kurang presisi dan tidak selancar gerakan manusia.

Motion capture merupakan teknologi yang digunakan untuk menangkap gerakan suatu objek dengan menempelkan beberapa sensor pada objek tersebut. Saat ini, teknologi ini digunakan dalam berbagai industri, seperti *entertainment*, olahraga, dan elektronik. Dalam penelitian ini, digunakan teknologi *motion capture* untuk menangkap pergerakan lengan kiri manusia dan menerapkannya pada robot lengan. Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan presisi dan kelancaran gerakan robot serta membuka peluang baru dalam aplikasi robot.

Untuk mencapai tujuan penelitian ini, digunakan tiga buah sensor MPU-6050 yang merupakan kombinasi dari *accelerometer* 3D dan *gyroscope* 3D untuk mendapatkan posisi dan orientasi lengan kiri manusia. Selain itu, digunakan juga satu buah flex sensor untuk mendapatkan data lengkungan jari atau genggaman tangan manusia. Hasil dari penangkapan gerakan oleh teknologi *motion capture* akan diolah dan diterapkan pada robot. Gerakan pada robot lengan dapat disimpan pada kartu memori SD dan dapat digunakan untuk mengulang pergerakan yang direkam. Selain digunakan untuk mengulang pergerakan, data yang telah disimpan juga dapat digunakan untuk berbagai aplikasi seperti animasi, analisis gerakan dalam bidang kesehatan, dan kebutuhan lainnya.

Penelitian tentang *motion capture* cukup sering dilakukan. Berbagai Teknologi tentang *motion capture* terus dikembangkan, sebuah paper menitikberatkan pada perbaikan metode yang digunakan dalam *motion capture* yang bernama *wearable inertial motion capture* [1]. Metode *motion capture* yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggabungkan data dari beberapa sensor untuk mengestimasi postur manusia dalam ruang 3-D. Algoritma yang digunakan adalah *EKF (Extended Kalman Filter)* dan metode *HDR (Heuristic Drift Reduction)* untuk kalibrasi kesalahan arah heading serta metode *ZUPT (Zero-Velocity-Update)* untuk mengestimasi posisi. Model biomekanik tubuh manusia dibangun untuk melacak gerakan tubuh manusia. Hasil menunjukkan bahwa algoritma yang diusulkan efektif dalam melacak gerakan dan layak digunakan untuk *motion capture* 3D manusia.

Penelitian lain juga memanfaatkan metode data-driven yang menggunakan input dimensi rendah dari sistem *motion capture inertial* untuk merekonstruksi gerakan paha manusia [2]. Metode yang menggunakan jaringan syaraf *LSTM (Long Short-Term Memory)* dan arsitektur *ensemble LSTM* dikembangkan untuk meningkatkan kinerja rekonsruksi gerakan pada bagian bawah tubuh manusia. Selain itu, skema konfigurasi sensor optimal dan parameter *time-step* jaringan *LSTM* dianalisis untuk mencapai hasil rekonsruksi yang optimal. Hasil percobaan menunjukkan bahwa metode ini dapat memperoleh hasil rekonsruksi dengan *error* rekonsruksi yang rendah dan diperoleh dalam waktu yang singkat.

Metode interaksi manusia-robot yang dikembangkan untuk mengendalikan robot humanoid dengan cara menirukan gerakan manusia [3]. Sistem *motion capture* digunakan untuk menangkap gerakan manusia dan diterapkan pada model skeletal robot. Data gerakan ditransfer secara *real-time* melalui mekanisme *messaging ROS (Robot Operating System)* dan dikonversi menjadi sudut sendi yang diterapkan pada kontroler robot. Metode ini diuji dengan menirukan gerakan yang kompleks dan menunjukkan performa *real-time* yang baik serta meningkatkan kemampuan interaksi robot dalam lingkungan yang tidak pasti dan dinamis.

Penelitian lain mengusulkan sebuah metode untuk menciptakan data gerakan robot berdasarkan demonstrasi gerakan manusia yang direkam dalam video [4]. Tujuan dari metode yang diusulkan dalam dua tahap, pertama, gerakan robot dapat dibuat melalui video demonstrasi manusia yang ada, dan kedua, perbaikan parsial dapat dibuat secara instan pada gerakan robot ketika diberikan oleh pengarah pertunjukan. Untuk mencapai dua tujuan tersebut, pertama, *OpenPose* digunakan untuk mengekstrak koordinat sendi manusia dari video demonstrasi gerakan manusia. Kemudian, koordinat yang diolah diubah menjadi nilai sudut sendi. Selanjutnya, nilai sudut sendi diperbarui untuk menghasilkan gerakan robot yang sesuai dengan kinematika dan spesifikasi perangkat keras robot. Akhirnya, efektivitas dari metode yang diusulkan diuji dengan menerapkan gerakan robot yang dihasilkan pada robot android wanita.

Penelitian tentang sensor jenis baru juga dilakukan untuk memperkaya metode *motion capture* untuk mengambil gerakan manusia. Sistem perekaman gerakan baru menggunakan sensor *Fiber Bragg Gratings (FBGs)*[5]. Tiga jenis sensor dikembangkan untuk merekonstruksi gerakan tubuh manusia dari gaya yang diterapkan pada *FBGs*. Sensor bentuk menggunakan tiga serat untuk memberikan posisi dan orientasi sendi dalam ruang tiga dimensi. Sensor sudut mampu mengukur sudut melengkung menggunakan serat tunggal. Sensor putar digunakan untuk mendeteksi putaran sendi dengan menempelkan serat pada bahan lunak yang berbentuk spiral. Gerakan lengan direkonstruksi secara real-time menggunakan sensor berbasis serat optik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata kesalahan rekonstruksi gerakan kurang dari 2,42°. Keberhasilan dalam memanipulasi avatar virtual dalam real-time menunjukkan kemungkinan aplikasi dalam realitas virtual.

Pemanfaatan banyak sensor untuk *motion capture* menjadi salah satu kendala dalam melakukan proses tersebut. Penelitian untuk menggunakan sensor berbiaya rendah dilakukan dan memanfaatkan ultrasonik sebagai sensor utamanya [6]. Sistem yang diajukan terdiri dari satu atau beberapa *node mobile* yang berisi array mikrofon kecil (setidaknya 3 mikrofon) yang menerima transmisi ultrasonik berbobot dan ber-kode yang diterima secara simultan dari setidaknya tiga pemancar tetap. Hasil *motion capture* menggunakan tiga buah ultrasonic ini memberikan hasil akurasi yang cukup tinggi dan membuka peluang baru untuk memanfaatkan *motion capture* di berbagai bidang dengan modal yang cukup rendah.

Selain menggunakan *wearable sensor*, terdapat sistem pengamatan gerak tanpa tanda (*markerless*) menggunakan beberapa sensor *depth* [7]. Dalam prosesnya, data dari beberapa sensor diubah menjadi point cloud, lalu digabung menjadi satu *point cloud*. Kemudian, sistem memproses garis kerangka dari *point cloud* tersebut menggunakan *Reeb graph*. Terakhir, posisi sendi dapat ditemukan dari garis kerangka sesuai dengan struktur tubuh manusia. Hasil percobaan menunjukkan bahwa metode ini mampu memberikan estimasi posisi sendi yang akurat ketika objek berdiri dengan sudut besar terhadap sensor.

Penggabungan antara *motion capture* dengan optik dan *motion capture* menggunakan *marker* telah dilakukan dalam penelitian dan disebut sebagai *motion capture hybrid* [8]. Kalibrasi dari beberapa kamera dilakukan untuk memperoleh informasi posisi dan kemiringan dari *hardware* yang terdiri dari marker. Kemudian, 15 modul sensor *attitude heading reference system (AHRS)* dipasang pada bagian lengan, kaki, dan tubuh untuk mereproduksi gerakan tulang dengan menganalisis hubungan kinematik informasi rotasi sendi. Dengan mengatasi kekurangan metode pengambilan gerak optik dan jenis sensor, banyak orang dapat sekaligus mengambil gerak. Dari hasil eksperimen, seorang aktor diminta untuk melakukan beberapa pose lalu pengambilan gerak dilakukan. Hasilnya adalah gerak aktor dapat ditirukan oleh karakter 3D.

Suatu metode diusulkan untuk melakukan sebuah pendekatan yang menyeluruh guna membantu robot NAO menghasilkan gerakan lengan yang mirip dengan gerakan lengan manusia [9]. Pendekatan ini meliputi pembuatan model gerakan lengan baru yang didasarkan pada *Movement Primitives (MPs)*, penerapan algoritma keputusan gerakan berdasarkan *Bayesian Network (BN)* untuk memilih model gerakan yang sesuai di antara *MPs*, dan klasifikasi solusi *Inverse Kinematic (IK)* ke dalam dua kategori berdasarkan konstrain geometri atau indeks. Pendekatan ini memungkinkan robot NAO untuk menghasilkan berbagai gerakan lengan yang mirip dengan manusia dengan akurasi yang

memuaskan. Keberhasilan pendekatan ini dibuktikan melalui eksperimen kemiripan dan eksperimen gerakan yang mirip manusia.

Selain untuk mengendalikan robot, *motion capture* juga dapat berguna dalam hal edukasi. Dalam contoh produksi animasi interaktif Taekwondo, XSENS *inertial sensing motion capture* diterapkan [10]. Suatu penelitian menerapkan sistem pemantauan menggunakan kamera yang dapat terhubung ke internet untuk deteksi target bergerak berbasis ARM Cortex-A9 dalam bidang olahraga. Teknologi *motion capture* digunakan untuk mengukur parameter fisiologis dan biokimia dengan tepat. Sistem ini memiliki performa real-time dan efek deteksi yang baik serta memberikan pembelajaran digital dan virtual dalam olahraga.

METODE

Pengambilan data orientasi lengan kiri manusia dilakukan dengan menempatkan tiga modul sensor *MPU-6050* dan satu sensor fleksibel pada beberapa bagian lengan. Gambar 1 menunjukkan penempatan sensor yang digunakan, yaitu pada lengan atas, lengan bawah, telapak tangan, dan jari manis. Pemilihan jari manis sebagai tempat pemasangan flex sensor didasarkan pada dua alasan utama. Pertama, pergerakan pada jari manis akan memberikan pengaruh yang paling sedikit terhadap gerakan jari lainnya. Kedua, jari manis biasanya digunakan lebih sedikit dalam kegiatan sehari-hari, sehingga penggunaan sensor pada jari manis tidak akan menghambat aktivitas lain yang dilakukan dengan jari-jari lain. Sensor *MPU-6050* dipilih karena kemampuannya dalam menyediakan pengukuran orientasi yang akurat, sementara sensor fleksibel digunakan untuk mendeteksi perubahan fleksibilitas jari manis yang akan digunakan sebagai *input* kontrol gerakan.

Dalam penelitian ini, data yang diperoleh dari sensor *accelerometer* dan *gyroscope* pada modul *MPU-6050* akan diolah dan dianalisis sebelum diteruskan ke sistem kontrol robot melalui komunikasi *Bluetooth*. Tujuan dari proses analisis ini adalah untuk menghasilkan gerakan robot yang lebih sesuai dengan gerakan asli dari lengan manusia, sehingga dapat meningkatkan keakuratan dan kesesuaian gerakan robot dengan gerakan manusia. Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses analisis ini meliputi: konversi dari *raw value* sensor *accelerometer* dan *gyroscope* menjadi nilai sudut, penggabungan kedua nilai sudut tersebut menggunakan *complementary filter* untuk mendapatkan nilai sudut saat ini, dan analisis nilai sudut saat ini untuk memastikan validitas dan konsistensi gerakan. Alur kerja yang dilakukan dapat dilihat pada diagram alir yang ditampilkan pada Gambar 2.

Konversi *raw value* menjadi nilai sudut dapat menggunakan Persamaan (1) hingga Persamaan (6):
Accelerometer:

$$sudutAccX = \text{atan2}\left(\frac{rAy}{\sqrt{rAx^2 + rAz^2}}\right) * \frac{180}{\pi} \quad (1)$$

$$sudutAccY = \text{atan2}\left(\frac{rAx}{\sqrt{rAy^2 + rAz^2}}\right) * \frac{180}{\pi} \quad (2)$$

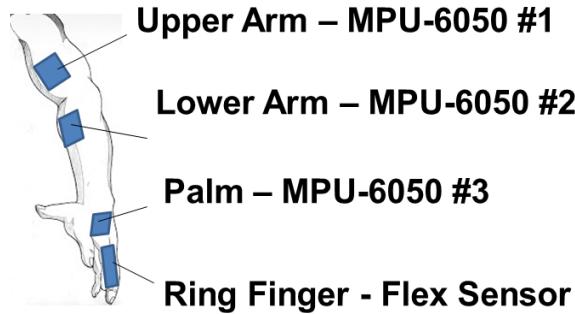
$$sudutAccZ = \text{atan2}\left(\frac{\sqrt{rAx^2 + rAy^2}}{rAz}\right) * \frac{180}{\pi} \quad (3)$$

Gyroscope:

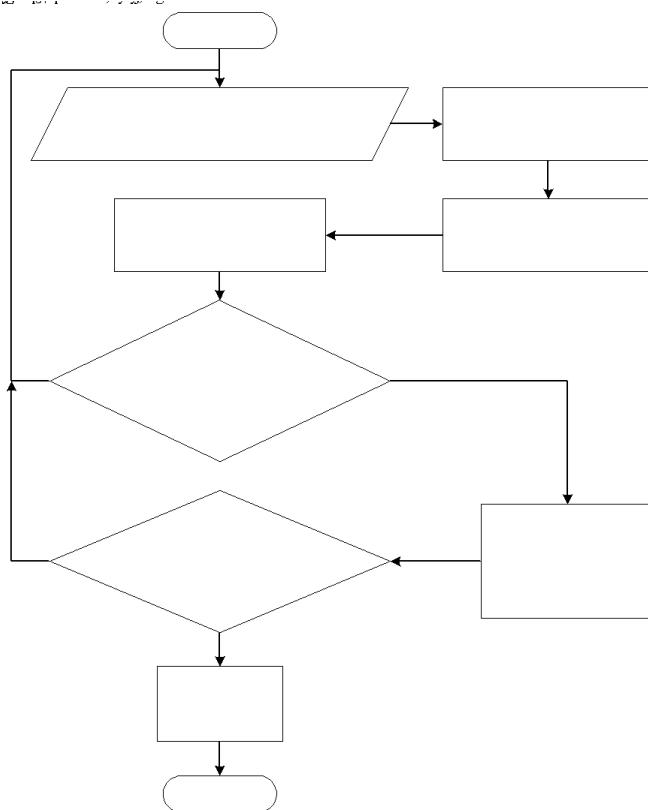
$$sudutGyroX = sudutGyroX + r\omega x \quad (4)$$

$$sudutGyroY = sudutGyroY + r\omega y \quad (5)$$

$$sudutGyroZ = sudutGyroZ + r\omega z \quad (6)$$



Gambar 1. Peletakan sensor pada lengan kiri



Gambar 2. Diagram alir proses pengambilan dan analisa nilai sensor MPU-6050

Proses *complementary filter* digunakan untuk mendapatkan nilai sudut hasil penggabungan nilai sudut dari *accelerometer* dan *gyroscope* dengan Persamaan (7) hingga Persamaan (9):

$$\Theta x = (\text{sudutAcc}X)(\alpha) + (\text{sudutGyro}X)(1 - \alpha) \quad (7)$$

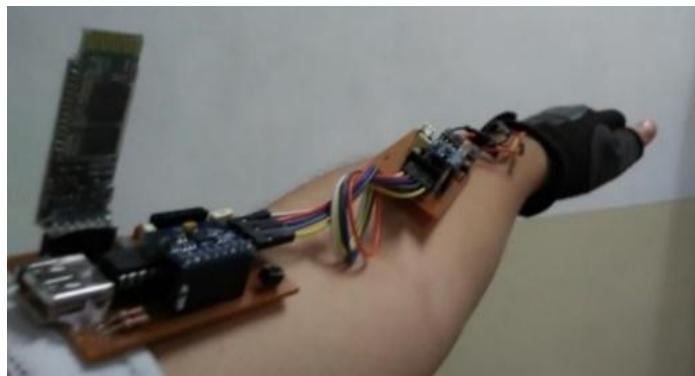
$$\Theta y = (\text{sudutAcc}Y)(\alpha) + (\text{sudutGyro}Y)(1 - \alpha) \quad (8)$$

$$\Theta z = (\text{sudutAcc}Z)(\alpha) + (\text{sudutGyro}Z)(1 - \alpha) \quad (9)$$

Nilai sudut yang diperoleh dari *complementary filter* akan dikalibrasi dengan menyesuaikan nilai sudutAcc jika terdapat selisih yang signifikan antara nilai sudut yang diperoleh dengan nilai sudut yang seharusnya. Selanjutnya, dilakukan pemeriksaan untuk memastikan bahwa nilai sudut yang diperoleh berada dalam rentang yang wajar, yaitu antara 0 hingga 360 derajat. Selain itu, juga dilakukan analisis untuk memastikan bahwa nilai yang diperoleh bukan merupakan *noise error* dengan

membatasi perubahan yang terjadi per siklus program lebih kecil dari 20 derajat. Jika nilai sudut yang diperoleh telah memenuhi kriteria validasi yang ditentukan, maka nilai tersebut akan digunakan dalam proses selanjutnya. Proses pembacaan dan validasi sensor ini dilakukan pada tiga buah modul sensor MPU-6050 yang digunakan.

Flex sensor digunakan untuk mendeteksi besarnya lengkungan jari atau kekuatan genggaman yang dilakukan oleh jari-jari tangan manusia. Jumlah flex sensor yang digunakan dapat disesuaikan dengan jenis *gripper* yang ada pada robot. Pada penelitian ini, robot yang digunakan memiliki satu buah *gripper* dengan bentuk sebuah capit, sehingga cukup menggunakan satu buah flex sensor. Nilai yang dihasilkan oleh flex sensor kemudian dikonversi menjadi nilai sudut servo yang digunakan untuk mengendalikan aktuator gripper, sehingga robot dapat melepaskan atau mencapit objek dengan tepat.



Gambar 3. Posisi awal dan posisi akhir pengiriman

Setelah memperoleh nilai dari semua sensor dilakukan proses pengiriman nilai, namun sebelum proses pengiriman data dimulai, posisi dan orientasi lengan manusia harus ditentukan melalui gerakan awal yang menjadi tanda untuk memulai proses pengiriman data ke robot. Gerakan awal ini juga bertujuan untuk menyamakan orientasi antara robot dan lengan manusia. Dalam penelitian ini, gerakan awal yang digunakan adalah posisi lengan atas yang sejajar dengan lengan bawah, telapak tangan, dan jari manis yang tidak ditekuk sama sekali seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Selain gerakan awal, posisi akhir yang sama juga diperlukan untuk menandakan bahwa pergerakan lengan berakhir dan data dapat berhenti untuk dikirimkan. Untuk memastikan posisi tersebut sebagai posisi awal dan posisi akhir, posisi tersebut perlu ditahan selama 4 detik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komunikasi antara sensor dan robot dilakukan menggunakan teknologi *Bluetooth*. Dalam proses pengiriman data, dibutuhkan waktu jeda yang cukup untuk melakukan pengolahan dan pengiriman data. Berdasarkan Tabel 1, dapat diketahui bahwa waktu jeda dapat mempengaruhi jumlah data yang diterima dan tingkat kesalahan yang terjadi. Dapat dilihat bahwa semakin besar waktu jeda, semakin sedikit jumlah data yang diterima dan menurunkan persentase kesalahan pengiriman data dari modul sensor ke robot. Berdasarkan uji coba uji coba gerak selama 30 detik, waktu jeda selama 75ms dipilih sebagai waktu jeda dengan hasil yang paling optimal. Walaupun persentase kesalahan pada waktu jeda 100ms hingga 200ms lebih rendah, jumlah data yang sesuai yang diterima pada waktu jeda 75ms lebih banyak. Hal ini berguna agar gerakan robot bisa tetap mulus.

Tabel 1. Pengaruh waktu jeda pengiriman terhadap kualitas data

Waktu Jeda (ms)	Jumlah Data	Persentase Kesalahan	Jumlah Data Salah	Jumlah Data Sesuai
25	1200	73%	876	324

50	600	52%	312	288
75	400	13%	52	348
100	300	11%	33	267
125	200	8%	16	184
150	170	5%	9	161
175	140	3%	5	135
200	120	2%	3	117

Perekaman data pada kartu memori SD dilakukan untuk memungkinkan proses perulangan gerakan. Data yang disimpan berupa nilai-nilai sudut dan juga durasi perubahan nilai-nilai sudut. Penyimpanan data seperti ini dilakukan untuk meningkatkan efisiensi penyimpanan data.

Tabel 2. Perekaman gerak

Waktu Perekaman (s)	Jumlah Data Pergerakan	Jumlah Data Terekam		Kesalahan Ketika Perulangan	
		Diam	Bergerak	Diam	Bergerak
20	240	70	238	0	0
40	480	60	478	0	0
60	720	20	718	0	0
80	960	70	958	0	0
160	1920	70	1918	0	0
180	2160	70	2158	0	0
240	2880	70	2878	0	0
300	2600	70	3598	0	0

Tabel 2 menunjukkan hasil perekaman gerak pada kondisi bergerak dan diam. Pada kondisi bergerak, jumlah data yang direkam hampir sama dengan jumlah data pergerakan yang dilakukan, sehingga dapat disimpulkan bahwa proses perekaman gerak ketika tangan bergerak berjalan dengan baik. Tidak terdapat kesalahan dalam proses perulangan gerakan. Namun, pada kondisi diam, meskipun proses perulangan tidak terdapat kesalahan, jumlah data yang direkam tidak sesuai dengan yang diharapkan, ada lebih dari satu data yang terekam. Hal ini disebabkan oleh adanya gerakan-gerakan kecil dari sensor yang masih terdeteksi meskipun tidak ada pergerakan signifikan.

KESIMPULAN

Pengendalian gerakan robot berhasil dilakukan dengan menggunakan metode *motion capture* yang dikembangkan menggunakan modul sensor *MPU-6050* dan flex sensor. Metode ini memberikan tingkat akurasi data yang beragam berdasarkan waktu jeda pemrosesan dan pengiriman data. Berdasarkan hasil uji coba, waktu jeda yang disarankan dalam penelitian ini adalah 75 ms untuk menghasilkan tingkat akurasi yang optimal, yaitu jumlah data yang benar sebanyak 348 data dari 400 data (atau sebesar 87%) yang dikirimkan selama 30 detik. Hasil perekaman gerakan dan perulangan gerakan juga berhasil dilakukan dan memberikan hasil perulangan yang memuaskan. Meskipun demikian, hasil perekaman dalam kondisi diam masih memiliki sedikit gerakan-gerakan kecil yang disebabkan oleh perubahan-perubahan nilai sudut yang relatif kecil yang dihasilkan oleh sensor. Dengan hasil yang cukup memuaskan ini, metode yang diajukan dapat dianggap sebagai alternatif dalam melakukan pengendalian robot yang cukup mudah dan hasil yang cukup akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Li *dkk.*, “Real-Time Human Motion Capture Based on Wearable Inertial Sensor Networks,” *IEEE Internet Things J*, vol. 9, no. 11, hlm. 8953–8966, Jun 2022, doi: 10.1109/JIOT.2021.3119328.
- [2] L. Tong, R. Liu, dan L. Peng, “LSTM-Based Lower Limbs Motion Reconstruction Using Low-Dimensional Input of Inertial Motion Capture System,” *IEEE Sens J*, vol. 20, no. 7, hlm. 3667–3677, Apr 2020, doi: 10.1109/JSEN.2019.2959639.
- [3] W. Xu *dkk.*, “Human-robot Interaction Oriented Human-in-the-loop Real-time Motion Imitation on a Humanoid Tri-Co Robot,” dalam *2018 3rd International Conference on Advanced Robotics and Mechatronics (ICARM)*, Jul 2018, hlm. 781–786. doi: 10.1109/ICARM.2018.8610806.
- [4] D.-S. Go, H.-J. Hyung, D.-W. Lee, dan H. U. Yoon, “Andorid Robot Motion Generation Based on Video-Recorded Human Demonstrations,” dalam *2018 27th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, Agu 2018, hlm. 476–478. doi: 10.1109/ROMAN.2018.8525727.
- [5] M. Jang, J. S. Kim, K. Kang, S. H. Um, S. Yang, dan J. Kim, “Development of Wearable Motion Capture System Using Fiber Bragg Grating Sensors for Measuring Arm Motion,” dalam *2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, Mar 2019, hlm. 994–995. doi: 10.1109/VR.2019.8798045.
- [6] D. Laurijssen, S. Truijen, W. Saeys, dan J. Steckel, “Three sources, three receivers, six degrees of freedom: An ultrasonic sensor for pose estimation & motion capture,” dalam *2015 IEEE SENSORS*, Nov 2015, hlm. 1–4. doi: 10.1109/ICSENS.2015.7370689.
- [7] R. Sakata, F. Kobayashi, dan H. Nakamoto, “Development of motion capture system using multiple depth sensors,” dalam *2017 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (MHS)*, Des 2017, hlm. 1–7. doi: 10.1109/MHS.2017.8305200.
- [8] H.-H. Jung, M.-K. Kim, dan J. Lyou, “Realization of a hybrid human motion capture system,” dalam *2017 17th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS)*, Okt 2017, hlm. 1581–1585. doi: 10.23919/ICCAS.2017.8204238.
- [9] Y. Wei, “A Comprehensive Approach to the Generation of Human-Like Arm Movements on Robot NAO,” *IEEE Access*, vol. 8, hlm. 172869–172881, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3025532.
- [10] Y. Yang, “Smart Motion Capture and Scoring System for Taekwondo Training based on Camera Network Technology,” dalam *2022 International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT)*, Jul 2022, hlm. 1047–1050. doi: 10.1109/ICICT54344.2022.9850451.