

## Perbandingan *trajectory tracking* pada *prototype excavator* sistem pneumatik dengan sistem kontrol menggunakan *joystick* dan *smartphone android*

Randis<sup>1\*</sup>, Angga Wahyu Aditya<sup>2</sup>

Jurusan Teknik Mesin, Program Studi Alat Berat, Politeknik Negeri Balikpapan<sup>1</sup>  
Jurusan Teknik Elektro, Program Studi Teknik Lestrik, Politeknik Negeri Balikpapan<sup>2</sup>  
Jl. Soekarno Hatta Km. 8, Balikpapan  
Email: [randis@poltekba.ac.id](mailto:randis@poltekba.ac.id)<sup>1</sup>, [Angga.wahyu@poltekba.ac.id](mailto:Angga.wahyu@poltekba.ac.id)<sup>2</sup>

### Abstract

*Trajectory tracking testing is mostly implemented both on vehicles, mobile robots, flying robots, and excavators to generate a small value of trajectory tracking to effectiveness and efficiency by the tasks and functions of each unit or product. This study aims to compare trajectory tracking on pneumatic excavator units with a manual control system with a joystick and a remote control system using an Android smartphone. Two tracks are used where the first track uses combine straight and radius shapes and the second track combines horizontal and vertical lines that form an angle of 90°. The results showed the use of remote control using an Android smartphone still has a higher trajectory tracking error when compared to manual control with a joystick even though on average the error results obtained are small, so more remote control is needed.*

**Keywords:** *Pneumatic excavator system, joystick control system, remote control system, error trajectory tracking.*

### Abstrak

Pengujian *trajectory tracking* banyak dilakukan baik pada kendaraan, *mobile robot*, robot terbang, dan juga *excvator* untuk mendapatkan nilai *trajectory tracking* yang kecil agar dihasilkan efektifitas dan efisiensi sesuai dengan tugas dan fungsi setiap unit atau produk. Tujuan dari penelitian ini untuk membandingkan *trajectory tracking* pada unit *excavator* pneumatik dengan sistem kontrol manual dengan *joystick* dan sistem kontrol jarak jauh dengan menggunakan *smartphone* android. Digunakan dua track lintasan dimana pada lintasan pertama menggunakan kombinasi bentuk lurus dan radius dan track lintasan kedua dengan kombinasi garis lurus horizontal dan vertical yang membentuk sudut 90°. Hasil penelitian menunjukkan penggunaan kontrol jarak jauh dengan menggunakan *smartphone* android masih memiliki *error trajectory tracking* yang lebih besar jika dibandingkan dengan kontrol manual dengan *joystick* meskipun secara rata-rata hasil error yang diperoleh kecil, sehingga dibutuhkan kontrol jarak jauh yang lebih.

**Kata kunci:** *Excavator* sistem pneumatik, sistem kontrol *joystick*, sistem kontrol jarak jauh, *error trajectory tracking*.

### Pendahuluan

Alat berat termasuk *excavator* merupakan suatu unit kendaraan yang memiliki tugas berat yang memegang peran penting dalam melaksanakan suatu proyek dan operasi produksi. *Excavator* banyak digunakan di berbagai jenis pekerjaan seperti pertambangan,

perkebunan, dan konstruksi karena memiliki sifat yang ekonomi [1-2]. *Excavator* hidrolis memiliki berbagai keuntungan dari sisi peningkatan efisiensi kerja [3], dengan menggunakan operator yang berpengalaman dapat membuatnya lebih efektif dan efisien dalam pengoperasian termasuk mengurangi

beban kerja excavator secara keseluruhan [4].

*Trajectory tracking* tidak hanya dilakukan pada *excavator* tapi banyak digunakan pada robot terbang *quadcopter* dan helikopter [5-8]. Pelacakan lintasan dilakukan oleh [5], pada wilayah yang berangin sehingga bagaimana menjaga *quadcopter* untuk tetap pada jalurnya. Sementara pada [6-7] membangun dan mengembangkan *PD-fuzzi control* dan *PID control* pada *quadcopter* untuk melakukan pelacakan lintasan secara otomatis. Secara umum pelacakan lintasan pada *quadcopter* dimaksudkan untuk mencapai tujuan dengan waktu yang efektif dan efisien serta menjamin misi dapat diselesaikan dengan baik [8].

*Trajectory tracking* juga banyak dilakukan pada kendaraan roda empat maupun pada mobile robot [9-11], pada [9] menyajikan sebuah *trajectory tracking* pada sebuah kendaraan penumpang untuk mengikuti lintasan secara aman, sementara pada [10,11] menyajikan sebuah kendaraan otomatis untuk melakukan tingkat kesalahan dalam pelacakan di jalanan secara actual. Untuk mobile robot telah mengaplikasikan sebuah *control PI-type sliding surface and a switching control* untuk menjajal acuan lintasan yang telah dibuat untuk memastikan tingkat keakuratan sistem kontrol dalam hal pelacakan lintasan [12]. penguajian *error trajectory tracking* pada mobile robot dilakukan untuk memastikan mobile robot untuk mengetahui kemampuan kontrol secara manual dengan menggunakan operator untuk memastikan *error* yang terjadi tidak terlampaui besar [13].

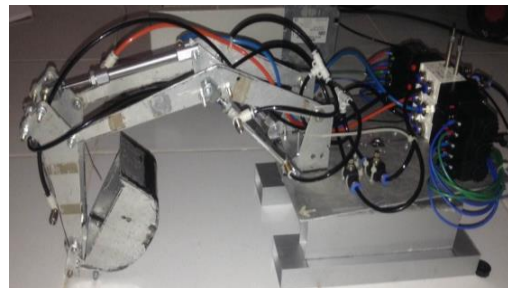
Pada *excavator*, pengujian secara *experimental* untuk menguji *trajectory tracking* pada lintasan dari *bucket excavator* selama penggalian dilakukan guna peningkatan efisiensi dan produktivitas pada *excavator* [14-15]. Kontrol kendali jarak jauh dari sebuah *excavator* industri untuk penggalian

*loading* dan *dumping* dengan system “kemudi bucket” yang mengikuti lintasan penggalian yang tipikal juga telah dikembangkan untuk untuk mengetahui tingkat efektifitas dan efisiensi dari sebuah *excavator* [16].

Penelitian yang dikembangkan yaitu dengan menggunakan *prototype excavator* dengan sistem pneumatic, sistem ini telah menggunakan sistem kontrol manual dengan *joystick* kemudian dikembangkan dengan sistem kontrol jarak jauh dengan menggunakan perangkat *smartphone* android. Selanjutnya dari kedua sistem kontrol ini, akan diuji secara *experimental* terhadap *error trajectory tracking* pada keduanya untuk memastikan tingkat pelacakan lintasan yang lebih kecil dan yang lebih baik sistem kontrolnya.

## Metode Penelitian

### 1. Objek Penelitian



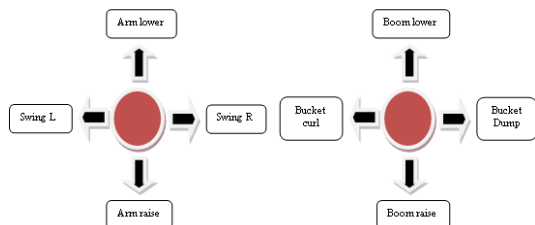
Gambar 1. Objek penelitian

Gambar 1 menunjukkan *prototype excavator* dengan menggunakan sistem pneumatik yang akan digunakan pada penelitian ini. Penelitian ini semakna dengan penelitian terdahulu [17] yang menggunakan objek yang sama. Secara sederhana sistem *prototype excavator* ini merupakan alat dengan menggunakan udara bertekanan (pneumatik) untuk menggerakkan actuator berupa silinder dan akan menggerakkan *bucket* sebagai *end efectornya*.

Rangkaian listrik digunakan untuk mengaktifkan *solenoid* yang ada pada *control valve*, angin bertekanan akan diarahkan diarahkan oleh *control valve* ke silinder untuk menggerakkan lengan pada

alat *excavator*. Pada penelitian ini, alat akan dikontrol dengan dua *system control* yaitu *system control* secara manual menggunakan *joystick* dan kontrol yang kedua dengan menggunakan kontrol jarak jauh menggunakan perangkat *smartphone* android.

## 2. Sistem Kontrol Manual Joystick



Gambar 2. Arah gerak kontrol joystick

Sistem control untuk mengontrol gerak pada *excavator* pneumatic menggunakan *joystick switch*. *Joystick switch* yang dipakai memiliki 4 *limit switch normally open* dan masing-masing *limit switch* berfungsi sebagai penghubung antara *power supply* sebagai sumber arus dengan komponen-komponen penggerak mekanik alat seperti *solenoid control valve* dan motor DC.

Arus listrik akan mengalir ke setiap komponen penggerak jika *limit switch* pada *joystick* dalam posisi *normally close*. *Limit switch normally close* bila tuas pada *joystick* diarahkan pada *button limit switch*. *Joystick switch* yang digunakan berupa 4 buah *limit switch* pada setiap *joystick*, sehingga *joystick* dapat bekerja dalam 4 arah pengendalian sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.

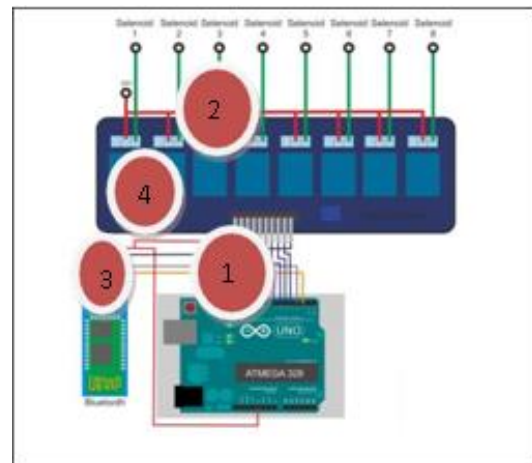
## 3. Sistem Kontrol Jarak jauh dengan Smartphone

Sistem kontrol jarak jauh dengan menggunakan *smartphone* menggunakan perangkat android yang menggunakan perangkat bantu aplikasi yang dibangun dengan menggunakan *mit app inverter* sebagaimana pada [18]. Pengendalian menggunakan perangkat *smartphone* android terhubung dengan perangkat mikrokontroler arduino yang sudah diprogram melalui koneksi modul *bluetooth* seperti ditunjukkan pada gambar 3. Selanjutnya terdapat

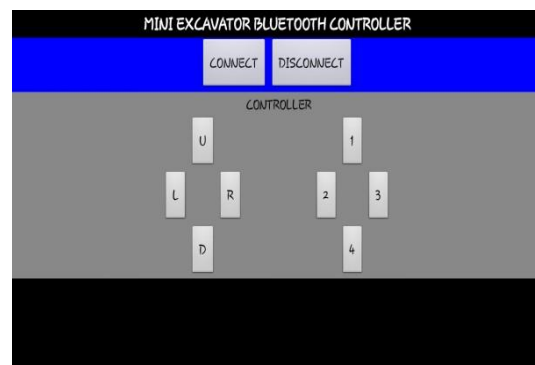
komponen relay 8 channel yang berfungsi untuk menggantikan saklar listrik sebagai pemicu terhubung ke selenoid sehingga dapat menggerakkan silinder pada *prototype excavator* pneumatik [17].

Perangkat *mit app inverter* adalah perangkat untuk membuat program aplikasi ponsel pintar berbasis Android [19], tampilan pada *smartphone* android ditunjukkan pada gambar 4.

Program ini bila dijalankan di *smartphone* Android, akan mengirim sinyal ke modul *bluetooth* sebagaimana ditunjukkan pada gambar 3. Modul *bluetooth* meneruskan sinyal ini ke mikrokontroler melalui komunikasi serial. Pengontrolan dengan *smartphone* android sebagai pengendali dari *excavator* dan arduino sebagai mikrokontroler yang dihubungkan dengan modul *bluetooth*.



Gambar 3. Rangkaian sistem kontrol dengan *smartphone* android

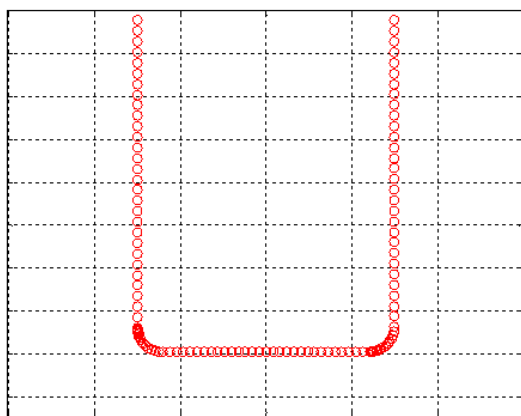


Gambar 4. Tampilan aplikasi pada *smartphone* android

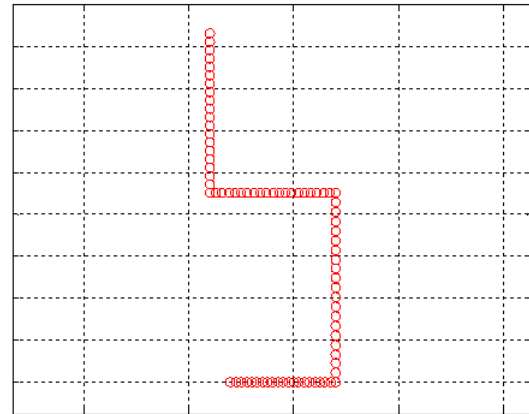
#### 4. Track Lintasan

Metode penjejakan lintasan dilakukan sebagaimana pada [13,20,21] pada [13,20] menggunakan mobile robot dengan menggambar lintasan pada permukaan lantai kemudian mobile robot berjalan mengikuti lintasan yang telah dibuat sebelumnya selanjutnya diukur *error trajectory tracking* yang terjadi. Adapun pada [21] menggunakan quadcopter dengan menerbangkan *quadcopter* dan mencoba melakukan penelusuran lintasan pada permukaan lantai dan dilakukan pengukuran [13,20]. Adapun pada penelitian ini, Pembuatan *track* lintasan dilakukan pada permukaan dinding vertical kemudian pada ujung *bucket prototype excavator* ini akan dipasangkan sebuah pena kemudian dilakukan penjejakan lintasan selanjutnya mengukur *error* yang terjadi.

Pada penelitian ini menggunakan operator dengan kemampuan yang hampir sama dengan sistem kontrol yang berbeda (kontrol manual *joystick* dan kontrol jarak jauh menggunakan *smartphone*). Bentuk lintasan 1 yang harus dilewati ujung *excavator* ditunjukkan pada gambar 5, panjang lintasan 100 cm dengan bentuk kombinasi yaitu bentuk lurus dan radius. Adapun bentuk lintasan 2 diperlihatkan pada gambar 6, panjang lintasan 75 cm bentuk kombinasi garis lurus *vertical* dan *horizontal*.



Gambar 5. Bentuk lintasan 1



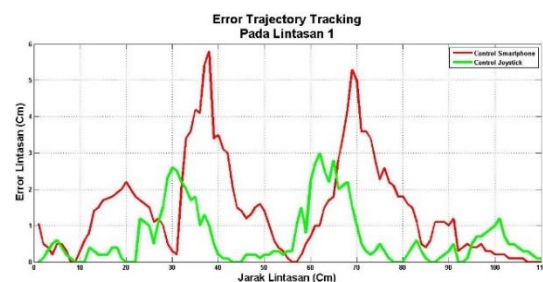
Gambar 6. Bentuk lintasan 2

### Hasil dan Pembahasan

#### 1. *Trajectory Tracking* pada Lintasan 1

Pengujian dan pengukuran *trajectory tracking* pada *excavator sistem pneumatik* pada lintasan 1 sebagaimana pada metode penelitian telah dilakukan. Terdapat dua buah sistem kontrol yang digunakan yaitu sistem kontrol manual dengan *joystick* dan sistem kontrol jarak jauh dengan menggunakan *smartphone* android dengan tingkat kemahiran operator yang hampir sama.

Hasil pengukuran *error* diolah dengan menggunakan sebuah software pengolah data dan plot grafik matlab dan ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 7. Grafik *Error Trajectory Tracking* pada Lintasan 1

Pada grafik gambar 7 menunjukkan terjadinya peningkatan error mendekati jarak track lintasan di jarak 40 cm dan juga di jarak 70 cm, setelah melihat bentuk lintasan pada gambar 5, maka diperoleh sebuah fakta bahwa setiap operator akan mengalami kesulitan dalam mengikuti *track* lintasan ketika terjadi perubahan bentuk lintasan dari bentuk lurus ke bentuk

radius begitu juga sebaliknya, hal ini sama dengan hasil penelitian sebelumnya [13,20,21], akan terjadi peningkatan yang cukup signifikan pada area lintasan yang berbelok dan membentuk radius ataupun lingkaran.

Nilai *error* terbesar pada operator yang menggunakan sistem kontrol jarak jauh *smartphone* yaitu 5,8 cm yang terjadi di jarak *track* lintasan 38 cm hal ini disebabkan oleh adanya perubahan bentuk lintasan lurus ke radius sehingga operator kurang dapat menyesuaikan kontrol dengan lintasan yang ada.

Sedangkan nilai *error* terbesar pada operator dengan sistem kontrol manual menggunakan *joystick* yaitu sebesar 2,9 cm di jarak 63 cm *track* lintasan dari posisi start. Hal ini disebabkan oleh operator yang ingin memperoleh haluan yang bagus dalam mengikuti *track* lintasan berbentuk radius namun malah menyimpang jauh dari titik acuan awal. Secara umum, sistem kontrol secara manual menggunakan *joystick* memiliki nilai *error* yang lebih kecil yaitu rata-rata 0,74 cm, sementara untuk kontrol jarak jauh menggunakan *smartphone* rata-rata 1,5877 cm. Nilai rata-rata *error trajectory tracking* pada *track* lintasan 1 secara keseluruhan yaitu:

$$e_{total} = \sqrt{\frac{\sum_0^n e_x^2 + \sum_0^n e_y^2}{n}} \quad e_{total} = 1,1638 \text{ cm}$$

## 2. Trajectory Tracking pada Lintasan 2

Pada lintasan 2 seperti terlihat pada gambar 6, *track* lintasan dimulai dengan garis lurus kemudian bergerak ke arah kanan kemudian bergerak vertikal kebawah dan terakhir berbelok ke kiri membentuk sudut sebesar 90° dengan jarak lintasan keseluruhan sebesar 75 cm.

Pada gambar 6 *track* lintasan kedua terlihat bahwa *error* terbesar terjadi pada saat bucket mengikuti bentuk yang membentuk sudut 90° pada belokan. Hal ini disebabkan karena pada saat bucket diarahkan berbelok melakukan transformasi (perubahan posisi) dari vertikal ke horisontal membentuk sudut

90° yang menyebabkan operator menjauh dari *track* lintasan sehingga mengakibatkan nilai *error* yang besar namun tidak sebesar jika bentuk lintasan berbentuk radius.

Gambar 8 menunjukkan hasil *error trajectory tracking* yang terjadi pada lintasan 2, *error* terbesar untuk kontrol dengan *smartphone* pada jarak lintasan 40 cm yaitu sebesar 2,5 cm sementara pada kontrol dengan *joystick*, *error* terbesar pada jarak lintasan 20 cm dengan nilai *error* sebesar 1,6 cm.



Gambar 8. Grafik *Error Trajectory Tracking* pada Lintasan 2

Pada *track* lintasan 2, sistem kontrol secara manual menggunakan *joystick* memiliki nilai *error* yang lebih kecil seperti pada lintasan 1 yaitu rata-rata 0,675 cm, sementara untuk kontrol jarak jauh menggunakan *smartphone* rata-rata 0,996 cm. Nilai rata-rata *error trajectory tracking* pada *track* lintasan 2 secara keseluruhan yaitu:

$$e_{total} = \sqrt{\frac{\sum_0^n e_x^2 + \sum_0^n e_y^2}{n}} \quad e_{total} = 0,83533 \text{ cm}$$

Jika dibandingkan dengan lintasan 1, pada lintasan 2 ini memiliki rata-rata *error trajectory tracking* yang lebih kecil, hal ini disebabkan karena tidak adanya radius dan bentuk lintasan yang umumnya lurus sehingga memudahkan si operator dalam mengontrol dan mengikuti lintasan.

## Kesimpulan

Penelitian ini telah melaporkan dan menyajikan *error trajectory tracking bucket excavator system pneumatic* pada dua *track* lintasan dengan dua sistem kontrol yang berbeda yaitu yaitu sistem kontrol manual dengan *joystick* dan sistem kontrol jarak jauh dengan menggunakan *smartphone* android. Penggunaan kontrol jarak jauh dengan menggunakan

*smartphone* android masih memiliki *error trajectory tracking* yang lebih besar jika dibandingkan dengan kontrol manual dengan *joystick* meskipun secara rata-rata hasil error yang diperoleh kecil, sehingga dibutuhkan kontrol jarak jauh yang lebih baik atau menggunakan sistem yang berbeda untuk mendapatkan *error* yang lebih kecil karena hal ini akan berpengaruh pada tingkat produksi dan efektifitas pada *excavator* jika telah digunakan pada tingkat industry.

## Referensi

- [1]. Simatupang, T.M. and Sridharan, R., 2016. A critical analysis of supply chain issues in construction heavy equipment. *International Journal of Construction Management*, 16(4), pp.326-338.
- [2]. Yu, C., Ni, T., Lin, J., Zhou, D. and Shang, J., 2015. Visual and real-time simulation of dynamic cutting of earthmoving work. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 31(4), pp.217-223.
- [3]. Tomatsu, T., Nonaka, K., Sekiguchi, K. and Suzuki, K., 2015, September. Model predictive trajectory tracking control for hydraulic excavator on digging operation. In *2015 IEEE Conference on Control Applications (CCA)* (pp. 1136-1141). IEEE.
- [4]. Van der Horst, I.A. and Mourik, R., 2010. Automating excavators to reduce cycle times and maintain safety & accuracy. *Proceedings WODCON XIX, Beijing, China*.
- [5]. Guerrero, J.A., Escareño, J.A. and Bestaoui, Y., 2013, May. Quad-rotor MAV trajectory planning in wind fields. In *2013 IEEE International Conference on Robotics and Automation* (pp. 778-783).
- [6]. Santoso, F., Garratt, M.A. and Anavatti, S.G., 2015, October. Fuzzy logic-based self-tuning autopilots for trajectory tracking of a low-cost quadcopter: A comparative study. In *2015 International Conference on Advanced Mechatronics, Intelligent Manufacturing, and Industrial Automation (ICAMIMIA)* (pp. 64-69). IEEE.
- [7]. Vilez, P., Certad, N. and Ruiz, E., 2015, October. Trajectory generation and tracking using the AR. Drone 2.0 quadcopter UAV. In *2015 12th Latin American Robotics Symposium and 2015 3rd Brazilian Symposium on Robotics (LARS-SBR)* (pp. 73-78). IEEE.
- [8]. Randis, R. and Akbar, S., 2017. Uji eksperimen trajectory tracking pada quadcopter. *DINAMIKA: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 9(1).
- [9]. Hima, S., Lusseti, B., Vanholme, B., Glaser, S. and Mammari, S., 2011. Trajectory tracking for highly automated passenger vehicles. *IFAC Proceedings Volumes*, 44(1), pp.12958-12963.
- [10]. Werling, M., Groll, L. and Bretthauer, G., 2010. Invariant trajectory tracking with a full-size autonomous road vehicle. *IEEE Transactions on Robotics*, 26(4), pp.758-765.
- [11]. Guo, J., Li, K. and Luo, Y., 2015. Coordinated control of autonomous four wheel drive electric vehicles for platooning and trajectory tracking using a hierarchical architecture. *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, 137(10), p.101001.
- [12]. Cao, Z.C., Zhao, Y.T. and Fu, Y.L., 2012. Trajectory tracking control approach of a car-like mobile robot. *Dianzi Xuebao(Acta Electronica Sinica)*, 40(4), pp.632-635.
- [13]. Syam, R., Ohoiwutun, J. (2013). Uji Eksperimen untuk Trajectory Tracking Mesin Pemetong Rumput Tenaga Surya. "Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XII (SNTTM XII).

- [14]. Gurko, A., Sergiyenko, O., Hipólito, J.I.N., Kirichenko, I., Tyrsa, V. and Hernandez, W., 2016. Trajectory Tracking Control of an Excavator Arm Using Guaranteed Cost Control. In *Informatics in Control, Automation and Robotics 12th International Conference, ICINCO 2015 Colmar, France, July 21-23, 2015 Revised Selected Papers* (pp. 177-196). Springer, Cham.
- [15]. Da-qing, Z., Qing-hua, H., Peng, H. and Qian-gen, C., 2006. Robust trajectory tracking control of hydraulic excavator bucket. *Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition*, 36(6), pp.934-938.
- [16]. Liu, Y., Hasan, M.S. and Yu, H.N., 2010. Modelling and remote control of an excavator. *International Journal of Automation and Computing*, 7(3), pp.349-358.
- [17]. Randis (2018). Prototype excavator with Pneumatic system Controlled Using Android Device, in *Proceedings-2018 International Conference on Applied Science and technology, Icast 2018*.
- [18]. Jivani, M.N., 2014. GSM based home automation system using app-inventor for android mobile phone. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 3(9).
- [19]. Khera, N., Tiwari, S., Singh, R.P., Ghosh, T. and Kumar, P., 2016, October. Development of android based smart home and nurse calling system for differently abled. In *2016 5th International Conference on Wireless Networks and Embedded Systems (WECON)* (pp. 1-4). IEEE.
- [20]. Randis, R., 2019. Uji eksperimetal trajectory tracking pada robot penjinak bom. *Jurnal Integrasi*, 11(1), pp.33-36.
- [21]. Randis, R. and Akbar, S., 2017. Uji eksperimetal trajectory tracking pada quadcopter. *DINAMIKA: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 9(1).