



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - EC184801

**PENGEMBANGAN LINGKUNGAN SIMULASI
UNTUK PENGUJIAN *SOCIALLY ASSISTIVE*
ROBOTS MENGGUNAKAN ROS 2 DAN GAZEBO**

Muhammad Alfi Maulana Fikri
NRP 0721 17 4000 0009

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng.
Dr. I Ketut Eddy Purnama, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK KOMPUTER
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2021



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - EC184801

**PENGEMBANGAN LINGKUNGAN SIMULASI
UNTUK PENGUJIAN *SOCIALLY ASSISTIVE*
ROBOTS MENGGUNAKAN ROS 2 DAN GAZEBO**

Muhammad Alfi Maulana Fikri
NRP 0721 17 4000 0009

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng.
Dr. I Ketut Eddy Purnama, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK KOMPUTER
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2021

[Halaman ini sengaja dikosongkan]



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - EC184801

**DEVELOPMENT OF SIMULATION
ENVIRONMENT FOR SOCIALLY ASSISTIVE
ROBOTS TESTING USING ROS 2 AND GAZEBO**

Muhammad Alfi Maulana Fikri
NRP 0721 17 4000 0009

Advisors

Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng.
Dr. I Ketut Eddy Purnama, S.T., M.T.

DEPARTMENT OF COMPUTER ENGINEERING
Faculty of Intelligent Electrical and Information Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2021

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi buku Tugas Akhir dengan judul “**Pengembangan Lingkungan Simulasi untuk Pengujian *Socially Assistive Robots* Menggunakan ROS 2 dan Gazebo**” adalah benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juni 2021

Muhammad Alf Maulana Fikri
0721 17 4000 0009

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

LEMBAR PENGESAHAN

PENGEMBANGAN LINGKUNGAN SIMULASI UNTUK PENGUJIAN *SOCIALLY ASSISTIVE* *ROBOTS* MENGGUNAKAN ROS 2 DAN GAZEBO

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh: Muhammad Alfi Maulana Fikri (NRP. 0721 17 4000 0009)

Tanggal Ujian : 17 Juni 2021

Periode Wisuda : September 2021

Disetujui Oleh:

Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng. (Pembimbing I)
NIP: 9580916 198601 1 001

Dr. I Ketut Eddy Purnama, S.T., M.T. (Pembimbing II)
NIP: 9690730 199512 1 001

..... (Penguji I)
NIP:

..... (Penguji II)
NIP:

..... (Penguji III)
NIP:

Mengetahui,
Kepala Departemen Teknik Komputer

Dr. Supeno Mardi Susiki Nugroho, S.T., M.T.
NIP. 9700313 199512 1 001

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

ABSTRAK

Nama : Muhammad Alfı Maulana Fikri
Judul : Pengembangan Lingkungan Simulasi untuk Pengujian *Socially Assistive Robots* Menggunakan ROS 2 dan Gazebo
Pembimbing : 1. Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng.
2. Dr. I Ketut Eddy Purnama, S.T., M.T.

Pada penelitian ini kami mengajukan lingkungan simulasi yang dikembangkan menggunakan ROS 2 dan Gazebo untuk pengujian *socially assistive robots* (SARs). Di dalam lingkungan simulasi ini, model robot yang digunakan akan diujikan dengan model pengguna serta model-model objek lain secara virtual. Untuk mempermudah pemindahan program dari simulasi ke robot fisik, kontroler robot akan dikembangkan secara terpisah dari lingkungan simulasi yang mana ketika pengujian, keduanya akan saling terhubung menggunakan sistem komunikasi antar proses yang ada di ROS 2. Diharapkan, lingkungan simulasi yang dibuat dapat membantu pengujian SARs dengan meminimalisir resiko, mengurangi biaya, dan menghemat waktu jika dibandingkan dengan melakukan pengujian secara langsung menggunakan robot fisik.

Kata Kunci: Simulasi, *Assistive Robotics*, ROS2, Gazebo.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

ABSTRACT

Name : Muhammad Alfi Maulana Fikri
Title : *Development of Simulation Environment for Socially Assistive Robots Testing Using ROS 2 and Gazebo*
Advisors : 1. Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng.
2. Dr. I Ketut Eddy Purnama, S.T., M.T.

In this study, we propose a simulation environment developed using ROS 2 and Gazebo for socially assistive robots (SARs) testing. In this simulation environment, the robot model used will be tested with the user model and other virtual object models. To make it easier to transfer the program from simulation to physical robot, the robot controller will be developed separately from the simulation environment in which when testing, both will be connected to each other using ROS 2 interprocess communication system. It is expected that the simulation environment created can assist the testing of SARs by minimizing risk, reducing costs, and saving time when compared to conducting direct testing using physical robots.

Keywords: Simulation, Assistive Robotics, ROS 2, Gazebo.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT atas segala limpahan berkah, rahmat, serta hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan judul “**Pengembangan Lingkungan Simulasi untuk Pengujian *Socially Assistive Robots* Menggunakan ROS 2 dan Gazebo**”.

Penelitian ini disusun dalam rangka pemenuhan bidang riset di Departemen Teknik Komputer, serta digunakan sebagai persyaratan menyelesaikan pendidikan S1. Penelitian ini dapat terselesaikan tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Keluarga, Bapak, Ibu dan Saudara tercinta yang telah memberikan dorongan spiritual dan material dalam penyelesaian penelitian ini.
2. Bapak Dr. Supeno Mardi Susiki Nugroho, ST., MT. selaku Kepala Departemen Teknik Komputer - FTEIC ITS.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng., Bapak Dr. I Ketut Eddy Purnama, S.T., M.T., dan Bapak Muhtadin ST., MT. atas arahan dan bimbingan selama pengerjaan penelitian tugas akhir ini.
4. Bapak-ibu dosen pengajar Departemen Teknik Komputer, atas pengajaran, bimbingan, serta perhatian yang diberikan kepada penulis selama ini.
5. Seluruh rekan-rekan ICHIRO-ITS, B201 crew, dan penghuni rumah anak TK.

Kesempurnaan hanya milik Allah SWT, untuk itu penulis memohon segenap kritik dan saran yang membangun. Semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua. Amin.

Surabaya, Juni 2021

Muhammad Alfi Maulana Fikri

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Sistematika Penulisan	3
2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Socially Assistive Robots</i> (SARs)	5
2.2 Robot Operating System 2 (ROS 2)	6
2.3 Gazebo	7
3 DESAIN DAN IMPLEMENTASI SISTEM	9
4 PENGUJIAN DAN ANALISIS	11

5	PENUTUP	13
5.1	Kesimpulan	13
5.2	Saran	13
	DAFTAR PUSTAKA	15

DAFTAR GAMBAR

2.1	Pengategorian <i>assistive robots</i> (Heerink et al. [1]). . .	5
2.2	Diagram komunikasi antar node pada ROS 2 [2]. . .	6

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR TABEL

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB I

PENDAHULUAN

Penelitian ini di latar belakang oleh berbagai kondisi yang menjadi acuan. Selain itu juga terdapat beberapa permasalahan yang akan dijawab sebagai luaran dari penelitian.

1.1 Latar Belakang

Selama beberapa tahun terakhir, robot telah mengalami perkembangan yang signifikan dari robot beroda untuk edukasi [3] hingga robot manipulator untuk skala industri [4]. Salah satu bentuk perkembangan lain dari robot tersebut adalah *socially assistive robots* (SARs). SARs merupakan jenis robot dalam bidang *socially assistive robotics* yang menggabungkan aspek yang ada pada *assistive robotics* dan *socially interactive robotics* sehingga menjadikan SARs sebagai robot yang mampu memberikan bantuan kepada pengguna dalam bentuk interaksi sosial [5].

Namun, karena sifat dari SARs yang melibatkan interaksi langsung dengan pengguna, maka pengujian dari robot akan menjadi sulit dan beresiko bagi pengguna yang ikut terlibat dalam pengujian tersebut [6]. Salah satu solusi untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan melakukan pengujian secara virtual melalui simulasi. Selain bisa meminimalisir resiko, penggunaan simulasi juga bisa mengurangi biaya yang dibutuhkan dan menghemat waktu pengujian selama pengembangan robot tersebut [7].

Hingga saat ini sudah ada beberapa simulator yang bisa digunakan untuk menjalankan simulasi robot seperti Webots [8], Gazebo [9], V-REP [10], OpenAI Gym [11], dan lain sebagainya. Namun, simulator-simulator tersebut hanyalah platform yang secara umum digunakan untuk membantu pengembangan robot melalui simulasi virtual. Sedangkan pengembangan dari lingkungan simulasi dan kontroler robot untuk simulasi tersebut harus dibuat sendiri oleh pengembang robot.

Untuk itu, pada penelitian ini kami mengajukan penelitian terkait pengembangan lingkungan simulasi untuk pengujian SARs menggunakan ROS 2 dan Gazebo. ROS 2 dan Gazebo sendiri dipilih karena tersedianya banyak library yang dapat membantu pengembangan maupun pengujian robot, terutama untuk simulasi. Selain itu, dengan adanya ROS 2, kontroler robot yang diuji melalui simulasi bisa dengan mudah dipindahkan ke robot fisik untuk diuji secara langsung pada pengguna [7].

1.2 Permasalahan

Dari permasalahan tersebut, maka masalah yang dapat diambil adalah Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna.

1.3 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris.
2. Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo.

1.4 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan permasalahan yang diangkat maka dilakukan pembatasan masalah. Batasan-batasan masalah tersebut di antaranya adalah:

1. Mempermudah Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris.
2. Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo.
3. Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero.

1.5 Sistematika Penulisan

Laporan penelitian tugas akhir ini tersusun dalam sistematika dan terstruktur sehingga mudah dipahami dan dipelajari oleh pembaca maupun seseorang yang ingin melanjutkan penelitian ini. Alur sistematika penulisan laporan penelitian ini yaitu:

1. BAB I Pendahuluan

Bab ini berisi uraian tentang latar belakang permasalahan, penegasan dan alasan pemilihan judul, sistematika laporan, tujuan, dan metodologi penelitian.

2. BAB II Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi tentang uraian secara sistematis teori-teori yang berhubungan dengan permasalahan yang dibahas pada penelitian ini. Teori-teori ini digunakan sebagai dasar dalam penelitian, yaitu informasi terkait Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis.

3. BAB III Desain dan Implementasi Sistem

Bab ini berisi tentang penjelasan-penjelasan terkait eksperimen yang akan dilakukan, Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris.

4. BAB IV Pengujian dan Analisa

Bab ini menjelaskan tentang hasil serta analisis yang didapatkan dari pengujian yang dilakukan mulai dari hasil pengujian Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis.

5. BAB V Penutup

Bab ini merupakan penutup yang berisi kesimpulan yang diambil dari penelitian dan pengujian yang telah dilakukan. Saran dan kritik yang membangun untuk pengembangan lebih lanjut juga dituliskan pada bab ini.

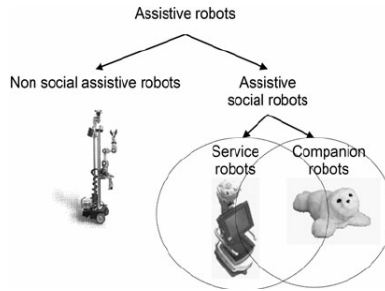
[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Demi mendukung penelitian ini, dibutuhkan beberapa teori penunjang sebagai bahan acuan dan referensi. Dengan demikian penelitian ini menjadi lebih terarah.

2.1 *Socially Assistive Robots* (SARs)



Gambar 2.1: Pengategorian *assistive robots* (Heerink et al. [1]).

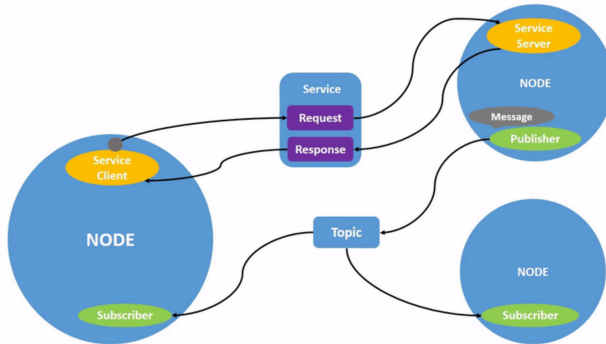
Socially assistive robots (SARs) merupakan adaptasi dari *assistive technology* yang meliputi keseluruhan sistem robotika yang mampu memberikan bantuan kepada pengguna dalam bentuk interaksi sosial [5]. Heerink et al. [1] mengategorikan riset terhadap SARs menjadi dua kategori berbeda seperti pada Gambar 2.1. Kategori pertama mencakup *service robots* yang menawarkan bantuan fisik dan kognitif dan melakukan tugas sebagai pelayan, sedangkan kategori kedua mencakup *companion robot* yang merupakan robot berjenis pendamping sebagai sahabat dan media untuk terapi.

Lebih lanjut Rich dan Sidner [12], menjelaskan SARs mampu memberikan bantuan kepada pengguna dalam berbagai tingkatan seperti: (a) mendukung kemampuan fungsional dan kognitif pengguna; (b) menawarkan pengguna kesempatan untuk meningkatkan

partisipasi sosial dan kesehatan psikologis; (c) menyediakan pemantauan jarak jauh dan berkelanjutan atas status kesehatan pengguna; dan (d) membina pengguna untuk memfasilitasi promosi perilaku sehat dan pencapaian tujuan yang berhubungan dengan kesehatan.

2.2 Robot Operating System 2 (ROS 2)

Robot Operating System (ROS) [13] merupakan kumpulan dari *libraries*, *drivers*, dan *tools* yang mempermudah pengembangan sistem pada robot. ROS memiliki *command tool* seperti Linux, sistem komunikasi antar proses, dan berbagai macam *packages* yang berhubungan dengan pengembangan sistem pada robot. Proses yang dieksekusi pada ROS disebut sebagai *Node*, komunikasi antar proses yang dimiliki menggunakan model *publish/subscribe*, dan data komunikasi yang dikirimkan disebut sebagai *Topic*.



Gambar 2.2: Diagram komunikasi antar node pada ROS 2 [2].

Seperti yang terlihat pada Gambar 2.2, Suatu proses *Publisher* mampu mengirimkan satu maupun lebih *Topic*, kemudian proses-proses lain yang melakukan *subscribe* pada suatu *Topic* bisa memperoleh isi dari *Topic* tersebut. Selain itu ada juga *Service* yang memiliki fungsi seperti *Topic*, hanya saja dilakukan secara dua arah. *Service* ini bekerja menggunakan model *client/server* dimana *Servi-*

ce Client akan mengirimkan data permintaan dalam bentuk *Request* dan kemudian *Service Server* akan mengirimkan data balasan dalam bentuk *Response*.

Generasi kedua dari Robot Operating System, ROS 2, merupakan kelanjutan dari ROS yang mengusung reliabilitas dan performa untuk penggunaan *real-time* sembari masih mendukung keunggulan yang dimiliki oleh ROS sebelumnya [14]. Untuk memenuhi kebutuhan reliabilitas dan performa untuk penggunaan *real-time* tersebut, ROS 2 menggunakan Data Distribution Service (DDS) [15] [16], standar industri untuk sistem komunikasi *real-time* dan *end-to-end middleware*, yang menggantikan sistem komunikasi antar proses yang dimiliki ROS sebelumnya.

2.3 Gazebo

Gazebo [9] merupakan bagian dari Player Project [17] yang memungkinkan sebuah simulasi robot dan aplikasi sensor bekerja di lingkungan simulasi *indoor* maupun *outdoor* tiga dimensi. Gazebo memiliki arsitektur *client/server* dan model *publish/subscribe* untuk sistem komunikasi antar prosesnya. Setiap objek simulasi di Gazebo dapat diasosiasikan dalam satu maupun lebih kontroler yang akan memproses perintah untuk mengatur dan menentukan keadaan dari suatu objek. Data yang dihasilkan oleh suatu kontroler akan dikirim ke *shared memory* menggunakan *Gazebo interfaces (ifaces)*. Nantinya *ifaces* dari proses-proses lain dapat membaca data tersebut pada *shared memory*, sehingga memungkinkan komunikasi antar proses antara program yang mengontrol robot dan Gazebo, terlepas dari bahasa pemrograman yang digunakan.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB III

DESAIN DAN IMPLEMENTASI SISTEM

Penelitian ini dilaksanakan sesuai dengan desain sistem berikut dengan implementasinya. Desain sistem merupakan konsep dari pembuatan dan perancangan infrastruktur dan kemudian diwujudkan dalam bentuk blok-blok alur yang harus dikerjakan. Pada bagian implementasi merupakan pelaksanaan teknis untuk setiap blok pada desain sistem. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB IV

PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pada penelitian ini, dipaparkan hasil pengujian serta analisis dari desain sistem dan implementasi. Data yang digunakan dalam pengujian data diambil dari Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pembuatan Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus.
2. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa.
3. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna.

5.2 Saran

Untuk pengembangan lebih lanjut pada penelitian tugas akhir ini, terdapat beberapa beberapa saran yang dapat dilakukan, antara lain:

1. Memperbaiki Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus.
2. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa.
3. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Heerink, B. Kröse, V. Evers, and B. Wielinga. Assessing acceptance of assistive social agent technology by older adults: the almere model. In *International Journal of Social Robotics*, page 361–375, 2010. doi: 10.1007/s12369-010-0068-5.
- [2] Ros 2 nodes, 2021. URL <https://index.ros.org/doc/ros2/Tutorials/Understanding-RoS2-Nodes/>.
- [3] P. Gonçalves, P. Torres, C. Alves, F. Mondada, M. Bonani, X. Raemy, J. Pugh, C. Cianci, A. Klapotocz, S. Magnenat, J. Zufferey, D. Floreano, and A. Martinoli. The e-puck, a robot designed for education in engineering. *Proceedings of the 9th Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions*, 1, 2009.
- [4] M. Blatnický, J. Dižo, J. Gerlici, M. Sága, T. Lack, and E. Kuba. Design of a robotic manipulator for handling products of automotive industry. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 17(1), 2020. doi: 10.1177/1729881420906290.
- [5] D. Feil-Seifer and M. J. Mataric. Defining socially assistive robotics. In *9th International Conference on Rehabilitation Robotics, 2005. ICORR 2005.*, pages 465–468, 2005. doi: 10.1109/ICORR.2005.1501143.
- [6] Z. Erickson, V. Gangaram, A. Kapusta, C. K. Liu, and C. C. Kemp. Assistive gym: A physics simulation framework for assistive robotics. In *2020 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, pages 10169–10176, 2020. doi: 10.1109/ICRA40945.2020.9197411.
- [7] K. Takaya, T. Asai, V. Kroumov, and F. Smarandache. Simulation environment for mobile robots testing using ros and gazebo. In *2016 20th International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC)*, pages 96–101, 2016. doi: 10.1109/ICSTCC.2016.7790647.

- [8] O. Michel. Cyberbotics ltd. webots™: Professional mobile robot simulation. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 1(1):5, 2004. doi: 10.5772/5618.
- [9] N. Koenig and A. Howard. Design and use paradigms for gazebo, an open-source multi-robot simulator. In *2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) (IEEE Cat. No.04CH37566)*, volume 3, pages 2149–2154 vol.3, 2004. doi: 10.1109/IROS.2004.1389727.
- [10] E. Rohmer, S. P. N. Singh, and M. Freese. V-rep: A versatile and scalable robot simulation framework. In *2013 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pages 1321–1326, 2013. doi: 10.1109/IROS.2013.6696520.
- [11] G. Brockman, V. Cheung, L. Pettersson, J. Schneider, J. Schulman, J. Tang, and W. Zaremba. Openai gym. *arXiv preprint arXiv:1606.01540*, 2016.
- [12] C. Rich and C. L. Sidner. Robots and avatars as hosts, advisors, companions, and jesters. *AI Magazine*, 30(1):29, 2009. doi: 10.1609/aimag.v30i1.2765.
- [13] M. Quigley, K. Conley, B. Gerkey, J. Faust, T. Foote, J. Leibs, R. Wheeler, and A. Ng. Ros: an open-source robot operating system. *ICRA Workshop on Open Source Software*, 3, 2009.
- [14] Y. Maruyama, S. Kato, and T. Azumi. Exploring the performance of ros2. In *2016 International Conference on Embedded Software (EMSOFT)*, pages 1–10, 2016. doi: 10.1145/2968478.2968502.
- [15] G. Pardo-Castellote. Omg data-distribution service: architectural overview. In *23rd International Conference on Distributed Computing Systems Workshops, 2003. Proceedings.*, pages 200–206, 2003. doi: 10.1109/ICDCSW.2003.1203555.
- [16] J. M. Schlesselman, G. Pardo-Castellote, and B. Farabaugh. Omg data-distribution service (dds): architectural update. In *IEEE MILCOM 2004. Military Communications Conference*,

2004., volume 2, pages 961–967 Vol. 2, 2004. doi: 10.1109/MILCOM.2004.1494965.

- [17] B. Gerkey, R. Vaughan, and A. Howard. The player/stage project: Tools for multi-robot and distributed sensor systems. *Proceedings of the International Conference on Advanced Robotics*, 2003.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]