

Robot Kebencanaan – Latar Belakang, Perancangan dan Realisasinya

Son Kuswadi¹, Indra Adji S¹, Riyanto Sigit²

¹P. Teknik Mekatronika, J. Teknik Mekanika & Energi, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

²P. Teknik Komputer, J. Teknik Informatika & Komputer, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

¹{sonk,indra}@pens.ac.id ²riyanto@pens.ac.id

ABSTRAK

Makalah ini memaparkan tentang latar belakang, perancangan dan realisasi robot kebencanaan (disaster robot), yang dikembangkan oleh group peneliti RABBIT (Robotics and Automation Based on Biologically-Inspired Technology) di Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS), yaitu robot pemadam api dan robot kapal (Unmanned Surface Vehicle) yang dirancang untuk mampu bekerja dalam operasi pencarian korban baik bencana gempa mau pun tsunami. Robot dirancang untuk mampu bekerja baik secara sendiri-sendiri, mau pun bekerja secara tim. Kemampuan bekerja secara tim dimungkinkan dengan perancangan sistem navigasi dengan teknik "behavior-based control" dan dirancang mampu bergerak secara semi-autonomous. Artinya pada level tertentu robot mampu digerakkan oleh operator untuk mencapai target tertentu, namun bila robot menghadapi halangan di depannya, bisa mengambil keputusan sendiri untuk menghindarinya. Latar belakang, perancangan, simulasi dan eksperimen pada daerah yang sesungguhnya dilakukan untuk memastikan kemampuan kerja robot.

Kata kunci: kebencanaan, robot, navigasi, kendali, gempa bumi, tsunami

ABSTRACT

This paper describes the background, design, simulation and realization of disaster robots, which were developed by the RABBIT (Robotics and Automation Based on Biologically-Inspired Technology) research group at the Surabaya State Electronics Polytechnic (PENS), namely fire fighting robots and ship robots. (Unmanned Surface Vehicle) which is designed to be able to work in search operations for victims of both earthquake and tsunami disasters. Robots are designed to be able to work both individually and in teams. The ability to work as a team is made possible by designing a navigation system with "behavior-based control" techniques and being able to move semi-autonomously. This means that at a certain level the robot can be moved by the operator to reach a certain target, but if the robot faces an obstacle in front of it, it can make its own decisions to avoid it. The experimentation in the actual field are carried out to ensure the workability of the robot.

Keywords: disaster, robot, navigation, control, earthquake, tsunami

1. PENDAHULUAN

Karena terletak di cincin api Pasifik, yang berarti berada pada wilayah dengan aktivitas tektonik yang banyak, maka Indonesia merupakan negara dengan resiko tinggi terhadap bencana alam seperti letusan gunung berapi, gempa bumi, banjir dan tsunami¹. Contohnya, letusan Gunung Tambora yang terjadi pada 10 April 1815, yang menelan

korban lebih dari 11 ribu orang meninggal yang langsung diakibatkan oleh letusan tersebut dan diperkirakan lebih dari 70 ribu². Letusan ini bahkan menyebabkan temperatur global rata-rata lebih dingin 5° C bahkan Amerika Serikat pada 1816 berlalu tanpa musim panas, dan letusannya mengakibatkan gempa setara dengan 12 ribu kali gempa dengan skala Richter 9,3 [1]. Gempa dahsyat yang kemudian diikuti dengan tsunami di Aceh berkekuatan 9,2 Skala Richter

¹ Bencana Alam di Indonesia, Indonesia-Investments, <http://www.indonesia-investments.com/id/bisnis/risiko/bencana-alam/item243>

² List of Natural Disasters in Indonesia, Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_natural_disasters_in_Indonesia

mengguncangkan bahkan negara-negara Bangladesh, India, Malaysia, Myanmar, Thailand, Singapore dan Maladewa [2]. Menurut UN-ISDR (United Nations – International Strategy for Disaster Reduction) korbannya lebih dari 170 ribu orang di Indonesia dan lebih dari 60 ribu di 13 negara lain. Di samping itu, kerugian berupa kerusakan pemukiman dan infrastruktur ditaksir lebih dari US\$ 9,9 milyar (setara Rp 130 trilyun), membuat tsunami di Aceh merupakan bencana alam tunggal terburuk dalam sejarah kemanusiaan moderen [3].

Pemakaian teknologi robotika dalam menangani bencana, terutama pasca bencana gempa bumi dan tsunami, untuk mencari dan menyelamatkan korban yang tertimpa reruntuhan bangunan telah lama dilakukan. Di Jepang, misalnya, setelah gempa bumi besar “Hanshin-Awaji” di Kobe pada 17 Januari 1995, telah menyadarkan peneliti robotika di Jepang akan pentingnya pengembangan robotika untuk penanganan pasca bencana gempa bumi, bukan hanya robotika untuk industri, di mana Jepang telah lama menjadi pelopornya. Kementerian Pendidikan dan Sains Jepang kemudian meluncurkan program nasional ambisius 5 tahun dengan fokus mengembangkan teknologi kebencanaan dengan target bencana di perkotaan harus menurun pada 2002. Proyek nasional tersebut melibatkan beberapa teknologi pencegahan bencana masa depan, termasuk robot untuk penanganan bencana. Robot tersebut bervariasi mulai dari instrumen sederhana yang dikendalikan secara manual oleh manusia hingga mesin cerdas yang dapat beroperasi mandiri. Beberapa penelitian seperti pengembangan selang (hose) aktif diameter kecil untuk pencarian dan pemberian pertolongan pertama pada korban bencana di reruntuhan [4] dan robot balon untuk pengumpulan informasi untuk penentuan strategi pencarian korban bencana [5] telah dilaporkan. Arena pengujian kinerja robot pencarian dan penyelamatan korban bencana juga dikembangkan [6].

Pengembangan robot penanganan bencana di Indonesia relatif baru. Group riset RABBIT (Robotics and Automation Based on

Biologically-Inspired Technology) PENS bekerjasama dengan Tokyo Institute of Technology, dengan pendanaan dari Japan International Cooperation Agency (JICA) mengembangkan beberapa purwarupa robot bencana sejak 2008 [7]. Makalah ini memaparkan beberapa hasil pengembangan robot kebencanaan dimaksud, yang telah dikembangkan dengan dana dari Kemristikdikti (sekarang Kemristek/BRIN).

Tujuan dari pengembangan robot bencana ini adalah membuat rancang bangun sistem multi-robotika untuk penanganan korban bencana khususnya pasca gempa dan tsunami, yang sesuai dengan kebutuhan medan. Hal tersebut dilakukan dengan sasaran tersedianya robot bencana yang harus berfungsi seperti yang dibutuhkan di medan bencana, memiliki ukuran yang cukup ringan untuk dibawa ke medan bencana, memiliki mekanisme gerak dan bentuk baru sehingga cukup fleksibel untuk memasuki daerah bencana yang sempit, berubah-ubah secara dinamis dan tidak beraturan. Robot-robot dirancang khusus berfungsi sebagai pencari korban, pertolongan pertama pada kecelakaan dan pencegahan kebakaran. Diharapkan bahwa dengan robot yang dikembangkan akan dapat mengurangi dan mencegah timbulnya korban, baik korban yang tertimpa bencana mau pun petugas penolongnya.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Lingkup dari penelitian ini adalah pengembangan sistem robotika untuk diimplementasikan pada pencarian dan pertolongan korban gempa bumi dan tsunami. Integrasi berbasis “Internet of Things” yang merupakan revolusi teknologi komputer dan komunikasi, yang didefinisikan sebagai *internetworking* beberapa obyek fisik dilengkapi dengan sistem benam yang terdiri atas komponen elektronika, perangkat lunak, sensor, aktuator dan konektivitas jaringan³. Bagan alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.

Sistem terintegrasi ini memiliki kemampuan untuk melakukan penginderaan, interpretasi dan bereaksi terhadap perubahan lingkungan karena kombinasi Internet,

³ International Telecommunication Union: Internet of Things Global Standards Initiative
<http://www.itu.int/en/ITU-T/gsi/iot/Pages/default.aspx>

kemampuan teknologi penjejakan (tracking) dan sensor embedded. Sistem bisa berhubungan dengan dunia luar melalui Internet. Eksperimen akan dilakukan di medan bencana standar, untuk robot pemadam api (dan robot-robot yang telah dikembangkan terlebih dahulu dengan skema dana yang berbeda) dan di perairan untuk kapal autonomus (Unmanned Surface Vehicle).



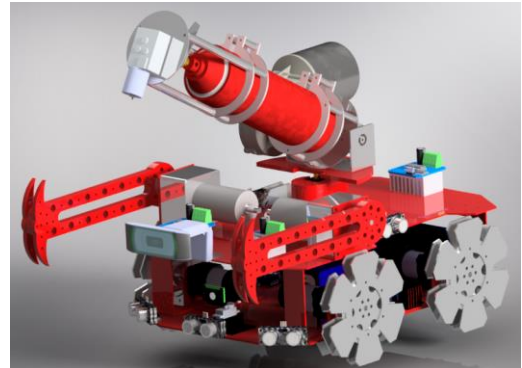
Gambar 1. Rencana pengembangan robot kebencanaan (disaster robot)

Tahun Pertama (2018), dilakukan kegiatan sebagai berikut: (1) Studi Literatur Mekanisme gerak (locomotion) robot, medan bencana standar (2) Perancangan Robot Pemadam Api: mekanisme gerak baru, sensor gerak, pengenalan posisi medan bencana, komunikasi antar robot (3) Pemodelan dan Simulasi gerak robot, sistem pengendalian (4) Implementasi dan integrasi mekanika robot, perangkat lunak dan komunikasinya.

Tahun kedua (2019), dilakukan kegiatan sebagai berikut: (1) Perancangan bodi kapal, mekanisme dorong dan kestabilan, multi sensor, komunikasi (2) Pembuatan kapal, beserta sistem navigasi, sensor dan komunikasinya (3) Pengujian lapangan untuk USV, baik aspek kestabilan, kemampuan tracking, manuver

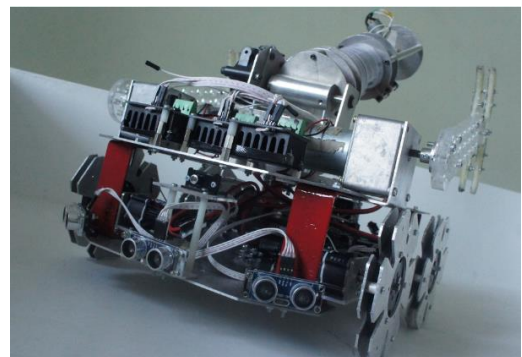
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian tahun pertama (2019) yaitu rancangan dari robot pemadam api yang akan dibuat tampak pada gambar 2. Robot tersebut memiliki kemampuan mobilitas yang unik. Pertama, dia memiliki roda bergerigi sehingga mudah mencengkeram di dalam medan yang tidak beraturan. Di samping itu, robot tersebut memiliki lengan seperti cangkul, yang akan digunakan bila robot menghadapi halangan yang dimensinya melebihi robot tersebut.



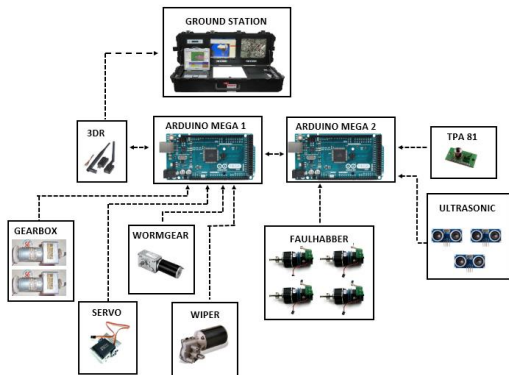
Gambar 2. Rancangan robot pemadam api

Robot memiliki lengan unik yang dengan 4 derajat kebebasan, yang memungkinkan lengan robot tersebut bergerak bebas untuk mengarahkan alat pemadam kebakaran portabel ke lokasi kebakaran yang diinginkan, meski pun badan robot tidak bisa bergerak (misalnya karena medan bencana sendiri yang memang terlalu sempit).



Gambar 3. Realisasi robot pemadam api

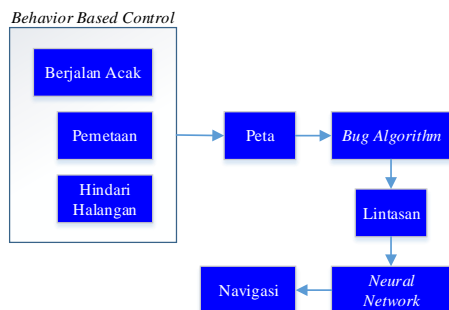
Pada gambar 3 merupakan realisasi total robot cangkul pemadam api. *Base robot* menggunakan material aluminium dengan tebal 2 mm. Desain robot direalisasikan menggunakan CNC untuk *part base robot*, dudukan motor dan *part* untuk mekanisme pemadaman api. Dudukan motor dan *spacer* dibentuk plat L menggunakan *bending plat*. Material untuk cangkul serta part dudukan sensor menggunakan akrilik dengan ketebalan yang bervariasi.



Gambar 4. Rancangan sistem elektronika robot

Gambar 4 merupakan sistem elektronik robot, menggunakan 2 Arduino Mega 2560 sebagai *microcontroller*. *Shield Arduino 1* berfungsi untuk mengontrol sensor ultrasonik, sensor TPA 81, serta mengontrol DDMR robot. Pada *Shield Arduino 2* berfungsi untuk mengontrol motor *gearbox* untuk pacul, motor *servo*, motor *wormgear* dan motor *wiper*. Data dari *Shield Arduino 1* dikirimkan secara serial menuju *Shield Arduino 2*. 3DR yang terdapat pada *Shield Arduino 2* berfungsi sebagai telemetri, sehingga robot dapat dikendalikan dari *ground station* melalui *radio frequency*. Perancangan sistem elektronik ini diharapkan dapat menunjang fungsional robot untuk mendeteksi, memadamkan dan mengontrol robot untuk bermanuver di medan bencana.

Sistem navigasi robot dikembangkan menggunakan metode bug dan jaringan syaraf tiruan serta dikembangkan atas teknik behavior-based control.



Gambar 5. Sistem navigasi robot

Perancangan sistem navigasi ditunjukkan pada Gambar 5. Navigasi robot yang beroperasi di daerah bencana menggunakan metode *behavior based control*. Seperti diketahui,

Behavior based control yang direncanakan memiliki beberapa *primitive behavior* yaitu berjalan acak dan menghindari halangan. Ketika robot melintasi medan yang tidak beraturan, navigasi behavior-based control diterapkan, lalu pada saat yang sama dilakukan proses pemetaan.

Hasil pemetaan tersebut digunakan untuk perencanaan lintasan daerah bencana. Dengan algoritma bug maka dilakukan desain lintasan, dengan cara membangkitkan lintasan bebas hambatan dari awal hingga titik sasaran.

Dengan memanfaatkan jaringan syaraf tiruan, maka dapat dipilih lintasan terpendek ketika menghadapi halangan [8].

Lintasan yang dipilih tersebut kemudian dijadikan rencana navigasi robot ketika berada di lingkungan bencana. Metode ini jelas lebih sederhana karena hanya membutuhkan robot di darat saja, tidak seperti metode yang ditawarkan oleh Delmerico [9] yang menggunakan robot terbang (*flying robot*) untuk observasi medan.

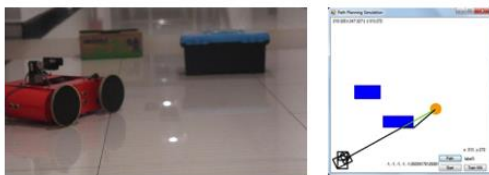
No	Hasil Bug Algorithm	Hasil kombinasi Bug Algorithm dan Neural Network
1.		
2.		
3.		
4.		

Gambar 6 (a) Hasil eksperimen dengan metode bug (b) menggunakan algoritma bug dan jaringan syaraf tiruan.

Gambar 6 menunjukkan hasil simulasi dari metode yang diusulkan. Pada gambar tersebut

dibandingkan antara algoritma bug saja (Gambar 6.a) dan menggunakan gabungan bug dan jaringan syaraf tiruan (Gambar 6.b).

Dari hasil simulasi seperti Gambar 6 tersebut maka dilakukan eksperimen pada robot yang sebenarnya. Gambar 7 (a) ditunjukkan lapangan eksperimen dimana robot yang berwarna merah menghadapi halangan sejumlah dua buah di hadapannya. Gambar 7 (b) merupakan hasil penghitungan simulasi lintasan menggunakan gabungan metode bug dan jaringan syaraf tiruan.



Gambar 7 (a) lapangan eksperimen (b) hasil perhitungan simulasi lintasan menggunakan metode bug dan jaringan syaraf tiruan

Gambar 8 menunjukkan snapshot dari hasil eksperimen, menggunakan lintasan seperti telah dihitung pada proses simulasi. Dari gambar tersebut nampak bahwa robot mampu melintasi dan menghindari halangan sesuai dengan hasil perhitungan. Memang halangan yang ada tidaklah berbentuk persegi panjang, tetapi lintasan yang dihasilkan dari implementasi ini masih bisa diterima, dalam arti meski lintasannya tidak sama persis dengan yang direncanakan (sebagaimana hal ini merupakan hal yang biasa dalam eksperimen robotika), tetapi robot mampu melintasi halangan dan mencapai tujuan yang diinginkan.

Hasil penelitian tahun kedua (2019) adalah pengembangan robot kapal yang secara ilmiah dikenal sebagai Unmanned Surface Vehicle (USV). USV merupakan obyek penelitian yang menarik banyak peneliti karena memiliki banyak manfaat seperti pencarian korban bencana di daerah yang sulit dijangkau [10], inspeksi kebocoran minyak [11] dan pengintaian dan pemindahan ubur-ubur [12].

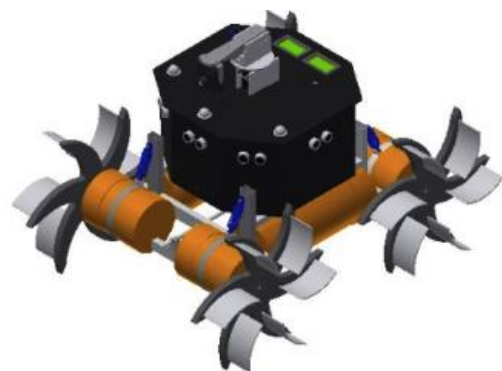
Autonomi USV bervariasi, tergantung kepada level teknologi yang berhasil dicapai, tujuan misi atau batasan biaya yang tersedia. Yang paling sederhana misalnya pemakaian teknologi kendali jarak jauh (remote control) di mana pengguna dapat mengendalikan setiap operasi. Untuk operasi kebencanaan, USV dengan kemampuan semi-autonomus-nya biasanya dibutuhkan. Operator

akan menentukan target daerah yang akan dituju, di mana bila ada halangan di depan USV, maka USV akan mampu menghindarinya, tidak memerlukan campur tangan operator. USV, pada derajat tertentu harus memiliki kemampuan untuk meminimalisir gangguan seperti gelombang dan angin selama beroperasi.

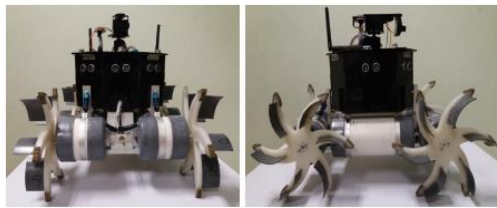


Gambar 8 Snapshot eksperimen menggunakan metode bug dan jaringan syaraf tiruan

Menurut *Kobe Fire Department*, Jepang, operasi cepat tim SAR sangat dibutuhkan karena laju keselamatan (survival rate) dari korban akan menurun dengan waktu. Operasi pencarian adalah yang paling sulit dan banyak penyelamat mengatakan bahwa jika dia bisa mengetahui posisi korban, operasi penyelamatan akan lebih cepat dan lebih banyak korban yang bisa diselamatkan. Namun terkadang posisi korban sangat sulit dijangkau dan / atau membahayakan penyelamat, sehingga dibutuhkan robot [13].



Gambar 9 Perancangan sistem robot USV

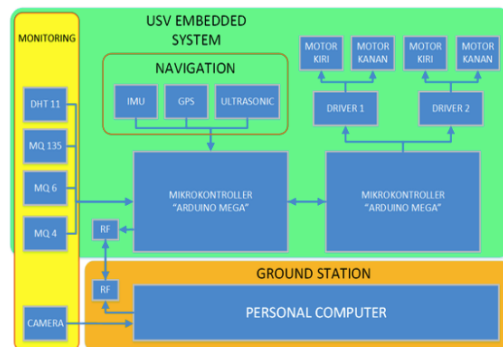


Gambar 10 Relisasi sistem robot USV

Oleh karena itu USV dapat menjadi kandidat yang tepat untuk operasi pencarian korban bencana, terutama untuk kecelakaan tsunami yang biasanya wilayahnya sempit, berlumpur, berair, tidak beraturan, strukturnya lemah atau tidak dapat diprediksi dan wilayah yang berubah secara dinamis. Penggunaan USV bermanfaat jika daerah bencana sulit dan / atau berbahaya untuk dimasuki oleh regu penyelamat. Oleh karena itu, USV sebaiknya berukuran relatif kecil untuk memasuki kawasan sempit, dengan mobilitas tinggi untuk memasuki kawasan yang tidak terstruktur dan berubah secara dinamis.

Karena kami mempertimbangkan penggunaan USV untuk bencana tsunami, seperti yang disebutkan di atas, kami merancang robot dengan menggunakan prinsip morfologi adaptif [14]. Dengan prinsip tersebut, robot dapat meluncur di air dan bergerak di darat. Gambar 9 menunjukkan desain USV di mana kami menggunakan mekanisme roda dayung sebagai aktuator utama. Mekanisme roda dayung merupakan roda yang dirancang untuk bergerak di beberapa medan yang berbeda, seperti permukaan air (sebagai baling-baling) dan tanah (sebagai roda) yang strukturnya tidak rata. Roda dayung akan dibuat sebanyak 4 buah yang dipasang seperti mobile robot. USV jenis ini menggunakan 2 buah lambung yang dipasang sejajar dan disebut katamaran. Desain mekanik robot USV ditunjukkan pada Gambar 10.

Robot tersebut dilengkapi dengan 4 buah motor DC sebagai sistem penggerak untuk menggerakkan kaki-kaki agar robot dapat berjalan di atas air maupun di darat. Sistem navigasi USV terdiri dari obstacle avoidance yang menggunakan sensor ultrasonik, pembacaan posisi menggunakan GPS, pose robot menggunakan sensor IMU. Ketika operasi otomatis GUI *Ground Station* AKTIF, USV akan menghitung jarak geografis (jarak posisi saat ini dan posisi target) dan *geobearing* (sudut antara posisi saat ini dan posisi target relatif ke utara).



Gambar 11 Arsitektur sistem navigasi USV

Geobearing akan dibandingkan dengan arah (menghadap arah USV relatif ke utara) yang terdeteksi dari sensor kompas. USV akan mencari tahu berapa banyak kesalahan sudut heading pada *geobearing*. Kesalahan tersebut kemudian digunakan sebagai bagian dari algoritma PID untuk menentukan kecepatan setiap motor. Gerakan ini akan menjaga kesalahan *heading* terhadap *geobearing zero*, sehingga lintasan yang akan dilalui USV diarahkan ke *waypoint*. Ini akan diulang selama *geodistance* kurang dari nilai toleransi jarak tujuan yang ditentukan oleh pengguna.

Gambar 11 menunjukkan arsitektur sistem USV yang dikembangkan.

Berikut adalah hasil eksperimen, terutama aspek kemampuan manuver dan tracking USV di permukaan air (sebagian dari eksperimen).

Uji kemampuan manuver USV di permukaan air dilakukan di perairan yang memiliki arus kecil, misalnya di danau atau sungai. Tes ini bertujuan untuk menguji beberapa kinerja USV seperti bagaimana USV berenang di permukaan air yang tenang, mengalir dan sedikit berombak. Juga dilakukan berbagai pengujian untuk menentukan kemampuan manuver dan kemampuan gerak robot di air. Gambar 12 menunjukkan snapshot dari hasil percobaan USV di dalam air.

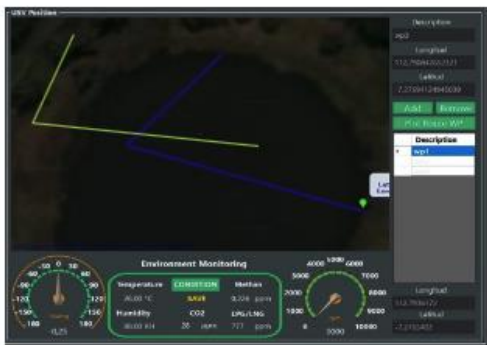
Secara desain mekanis, robot USV memiliki kapasitas perpindahan 3,3 kg. Sedangkan payload mass yang diangkut robot adalah 2,5 kg, oleh karena itu USV memiliki kemampuan mengapung di permukaan air. Dari pengujian ini dapat dianalisa bahwa dengan berat total 5,5 Kg, lambung USV mampu mengapung dipermukaan air hingga setengah dari diameter lambung. Roda USV bisa mendayung dengan baik dengan kecepatan 41 ms. Dengan putaran motor yang lambat, roda dapat menggerakkan USV untuk bergerak maju, mundur, belok kiri, dan belok kanan. Sistem gerak pada permukaan air menggunakan sistem DDMR

(Differential Drive Mobile Robot). Ada beberapa kelemahan USV saat bergerak di atas permukaan air. Pertama, penggunaan aktuator yang memiliki rpm kecil membuat USV bergerak lambat. Diameter roda kurang besar, sehingga daya dayung ke air kurang kuat. Dengan roda medan yang semuanya dirancang, USV dapat berpindah dari darat ke air atau sebaliknya secara langsung.



Gambar 12 Snapshot beberapa percobaan manuver USV di daerah berair

Berikut pengujian kemampuan tracking di permukaan air dari USV. Kami melakukan bereksperimen dengan kemampuan USV untuk mengikuti titik jalan yang telah ditentukan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13. Gambar 14 menunjukkan hasil percobaan. Hasil percobaan menunjukkan bahwa kemampuan pelacakan USV bekerja dengan baik. Mungkin karena penyetulan PID yang tepat dan cuaca pada saat itu cukup baik sehingga GPS dapat berfungsi dengan baik.



Gambar 13 Setting waypoint



Gambar 14 Hasil eksperimen mengikuti waypoint

Berdasarkan hasil percobaan dapat disimpulkan bahwa lintasan Waypoint dapat berjalan dengan baik dengan catatan cuaca pada saat percobaan data lintasan Waypoint harus dalam keadaan baik, atau dengan kata lain cuaca mendung dapat mengganggu pembacaan posisi USV yang dilakukan oleh GPS. Tidak hanya keakuratan pembacaan posisi USV, pembacaan yang lebih lambat membuat penundaan pengukuran yang cenderung menuju ketidakstabilan sistem.

4. KESIMPULAN

Makalah ini memaparkan hasil penelitian dalam bidang robot kebencanaan (disaster robot) utamanya untuk penanganan gempa bumi dan tsunami.

Robot pemadam api yang memiliki kemampuan bergerak di daerah bencana akibat gempa (yang seringkali diikuti oleh kebakaran) dan robot kapal (Unmanned Surface Vehicle) yang memiliki kemampuan bergerak di air dan berjalan di darat yang tidak beraturan. Kedua robot tersebut bisa dioperasikan sendiri-sendiri, mau pun bersamaan.

Latar belakang diikuti dengan perancangan sistem serta pengujian baik secara simulasi mau pun pada daerah yang sebenarnya telah dilakukan, dan menunjukkan hasil yang menjanjikan.

Tentu saja untuk bisa dioperasikan pada daerah bencana yang sesungguhnya masih membutuhkan modifikasi dan penambahan beberapa fungsi agar sesuai dengan medan bencana yang sesungguhnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Kepada Masyarakat (DRPM) Kemristek/BRIN yang telah memberikan dukungan

pada penelitian dengan judul: "Pengembangan Sistem Multi-Robotika Terintegrasi Berbasis "Internet of Things" untuk Penanganan Korban Bencana Gempa Bumi dan Tsunami", SPPK No 130/SP2H/AMD/LT/DRPM/2020

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Oppenheimer C. 2003, Climatic, environmental and human consequences of the largest known historic eruption: Tambora volcano (Indonesia) 1815, *Progress in Physical Geography*, Vol 27, 230-259
- [2] Lovholt F., Bungum H, Harbitz. C.B. Glimsall S., Lindholm C.D., and Pedersen G., 2006, Earthquake related tsunami hazard along the Western coast of Thailand, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6, 6, p979-997
- [3] Leoni B., 2014, A decade after Indian Ocean Tsunami, lesson learned, <https://www.unisdr.org/archive/41635>
- [4] Kitagawa A, H. Tsukagoshi, M. Igarashi 2003, Development of small diameter active hose -II for search and life-prolongation of victims under debris, *Journal of Robotics and Mechatronics*, 15, 5, 474-481
- [5] Takemura F, et.al. 2005, Development of the ballon-cable driven robot for information collection from sky and proposal of the search strategy at a major disaster, *Proceeding of the 2005 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, Monterey, California, 24-28 July 2005, 658-663
- [6] Jacoff A., et.al. 2003, Test arena and performance metrics for urban search and rescue robots, *Proceeding 2003 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robot and Systems*, Las Vegas NV, 27-31 October 2003
- [7] Son Kuswadi, et.al. 2009, The mobility performance of new wheeled and legged hybrid mechanism system robot iSRO, *Proceeding IEEE International Conference CAS-SICE*, Fukuoka, Japan.
- [8] Son Kuswadi et.al., 2018 Optimasi Sistem Navigasi Robot Bencana dengan Algoritma Bug dan Jaringan Syaraf Tiruan, *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (JTIK)*, 5,5, 635-642
- [9]. Delmerico J., et.al., 2017 Active autonomous aerial exploration for ground robot path planning, *IEEE Robotics and Automation Letter*, Vol. 2, No. 2, April.
- [10] Tanakitkorn, Kantapon, 2019 A Review on Unmanned Surface Vehicles Development. *Maritime Technology and Research*. 1(1), 1-7
- [11] G. Yang, X. Wu, J. Chen, B. Lu, H. Chen and C. Zhu, Design and Analysis of an Oil-contained Water Sampling Device for Unmanned Surface Vehicle 2018 *IEEE 3rd Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC)*, Chongqing, 2018, pp. 1989-1993. doi: 10.1109/IAEAC.2018.8577578
- [12] D. Kim, H. Kim, S. Jung, J. Koo, J. Kim, J. Shin, J. Myung, Development of a jellyfish reconnaissance and removal robot system using unmanned aerial and surface vehicles, 2015 *12th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI)*, Goyang, 2015, pp. 101-101. doi: 10.1109/URAI.2015.7358971
- [13] S. Tadokoro) 2009 *Rescue Robotics, DDT Project on Robots and Systems for Urban Search and Rescue*, (Frankfurt: Springer)
- [14] Daler L, Lecoer, J, Hählen P B, Floreano D 2013 A flying robot with adaptive morphology for multi-modal locomotion. *Proc. 2013 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 1361-1366