



Bandung, Indonesia
25 - 27 Agustus 2021

SIK
2021

PROSIDING

Seminar Nasional Sistem
Instrumentasi dan Kontrol
2021

Diselenggarakan oleh :



Didukung oleh :



Prosiding

**Seminal Nasional Sistem, Instrumentasi dan Kontrol
(SIK) 2021**

Bandung, 25 - 27 Agustus 2021

Kelompok Keahlian Instrumentasi dan Kontrol

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Bandung

Prosiding Seminal Nasional Sistem, Instrumentasi, dan Kontrol (SIK) 2021

e-ISSN:

Editor:

Tim Seminar Nasional Sistem, Instrumentasi, dan Kontrol (SIK) 2021

Penyunting:

Khusnul Ain

Anna Antonyová

Nadana Ayzah Azis

Mattia Butta

Esmeralda Contessa Djamal

Nike Drantantiyas

Estiyanti Ekawati

Sutanto Hadisupadmo

Agus Hatta

Megarini Hersaputri

Endra Joelianto

Endang Juliastuti

Narendra Kurnia Putra

Edi Leksono

Miranti Indar Mandasari

Rahmat Maulana

Vebi Nadhira

Aulia Muhammad Taufiq Nasution

Yul Yunazwin Nazaruddin

Wandee Petchmaneelumka

Ayu Gareta Risangtuni

Yudi Samyudia

Arkanty Septivergy

Parsaulian Siregar

Anugrah Sabdono Sudarsono

Sunarno Sunarno

Suprijanto Suprijanto

Tua Agustinus Tamba

Augie Widyotriatmo

Elfi Yulia

Naila Zahra

Amalia Rakhmawati

Vera Firmansyah

Penerbit:

Kelompok Keahlian Instrumentasi dan Kontrol FTI ITB

Redaksi:

Kelompok Keahlian Instrumentasi dan Kontrol FTI ITB

Alamat : Gd. TP Rachmat, Labtek VI, Jl. Ganesa 10 Bandung 40132, Indonesia

Tel. +62-22-2504434 Fax. +62-22-2506281

Email : sekretariat@sikitb.id

Buku ini berisi mengenai makalah yang dipresentasikan pada Seminar Nasional Sistem, Instrumentasi, dan Kontrol (SIK) 2021, tanggal 25 – 27 Agustus 2021.

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apa pun, secara elektronik maupun mekanis, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan teknik perekaman lainnya, tanpa izin dari panitia.

© Seminar Nasional Sistem, Instrumentasi, dan Kontrol (SIK) 2021

Panitia SIK 2021

Kata Pengantar

Assalamu'alaykum Warahmatullah Wabarakatuh,
Salam Sejahtera,

Puji dan syukur ke hadirat Allah SWT bahwa Seminar Nasional Sistem, Instrumentasi, dan Kontrol 2021 dapat terlaksana pada tanggal 25 - 27 Agustus 2021.

Makalah-makalah yang dipresentasikan pada Seminar Nasional Sistem, Instrumentasi, dan Kontrol 2019 ini meliputi topik-topik sensor dan aktuator, sistem pengukuran, sistem kontrol, pencitraan dan pengolahan citra serta aplikasinya pada industri proses, industri manufaktur, kedokteran dan kesehatan, serta penerbangan. Seminar ini diselenggarakan oleh Kelompok Keahlian Instrumentasi dan Kontrol, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung.

Tujuan seminar ini antara lain sebagai wadah untuk memudahkan pertukaran informasi dan ilmu antara praktisi profesional, peneliti, maupun mahasiswa di bidang sistem, instrumentasi, dan kontrol di Indonesia dan menghadapi pasar bebas ASEAN dan perubahan trend teknologi Sistem instrumentasi dan kontrol secara global

Pada penyelenggaraan kali ini, akan dipresentasikan sebanyak 15 makalah dari berbagai industri, lembaga pemerintah, perguruan tinggi dan lembaga penelitian. Sejumlah makalah tersebut berasal tidak hanya dari praktisi dan peneliti dalam bidang yang terkait dengan instrumentasi saja, tetapi juga terdapat makalah- makalah dari bidang lain, seperti Teknik Geodesi, Teknik Penerbangan, Teknik Kimia, Teknik Material, Astronomi dan Farmasi. Dengan demikian, diharapkan sinergi keilmuan dan teknologi dari sudut pandang teknologi instrumentasi dapat dikembangkan, khususnya untuk pengembangan manajemen pengetahuan yang harus melihat dari berbagai aspek keilmuan.

Akhir kata, panitia atas nama Kelompok Keahlian Instrumentasi dan Kontrol, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung, mengucapkan terima kasih kepada para pemakalah, peserta, sponsor, serta seluruh pihak yang telah membantu hingga terlaksananya seminar ini. Tak lupa kami sampaikan juga permohonan maaf jika terdapat kekurangan dalam pelaksanaan seminar kali ini. Kami berharap, semoga hasil- hasil dari seminar ini dapat turut berkontribusi dalam pengembangan ilmu dan teknologi, khususnya dalam bidang instrumentasi dan kontrol di Indonesia.

Wassalamu'alaykum Warahmatullah Wabarakatuh,

Dr. Augie Widyotriatmo, ST., MT .
Ketua Panitia Pelaksana

Daftar Panitia

Seminar Sistem, Instrumentasi, dan Kontrol 2021

KOMITE NASIONAL

Yul Yunazwin Nazaruddin, Institut Teknologi Bandung
Joko Sarwono, Institut Teknologi Bandung
Iwan Prasetyo, Institut Teknologi Bandung
Eko Mursito Budi, Institut Teknologi Bandung
Estiyanti Ekawati, Institut Teknologi Bandung
Mitra Djamal, Institut Teknologi Bandung
Fourier Dzar Eljabar Latief, Institut Teknologi Bandung
Abdullah Nur Azis, Universitas Jenderal Soedirman
Khusnul Ain, Universitas Airlangga
Suyatno, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Melania Suweni Muntini, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Bambang Lelono Widjiantoro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Aulia MT. Nasution, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Esmeralda Contesa Djamal, Universitas Jenderal Achmad Yani
Ajat Sudrajat, Universitas Nasional
Fitria Hidayanti, Universitas Nasional
Dudi Darmawan, Telkom University
Reza Fauzi Iskandar, Telkom University
Ihsan Supono, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Yeffry Handoko Putra, Universitas Komputer Indonesia
Sentagi Sesotya Utami, Universitas Gadjah Mada
Gea F. Parikesit, Universitas Gadjah Mada

KOMITE PENYELENGGARA

Pelindung

Dekan Fakultas Teknologi Industri
Prof. Brian Yulianto S.T., M. Eng. Ph.D

Penanggung Jawab

Ketua KK Instrumentasi dan Kontrol, Fakultas Teknologi Industri – ITB
Prof. Dr.-Ing. Yul Yunazwin Nazaruddin, IPM.

Ketua Umum

Dr. Augie Widyotriatmo, ST., MT.

Wakil Ketua Umum

Ayu Gareta Risangtuni, ST., MT.

Sekretaris Umum

Nadana Ayzah Azis, S.Si., MT.

Bendahara Umum

Ayu Gareta Risangtuni, ST., MT.

Koordinator Teknis Acara

Rahmat Maulana, S.T

Koordinator Publikasi

Ir. Endra Joelianto, Ph.D.

Koordinator Humas dan Sponsor

Prof. Deddy Kurniadi, Dr. Eng.

Dr. Ir. Endang Juliastuti, MS., IPM.

Koordinator Hubungan Internasional

Prof. Dr.-Ing. Yul Yunazwin Nazaruddin, IPM.

Koordinator Arifin Wardiman Award

Dr. Suprijanto, ST., MT.

Panitia Teknis

Dr.-Ing. Ir. Parsaulian I. Siregar, Dipl.-Ing.

Dr. Ir. Sutanto Hadisupadmo, MT., IPM.

Naila Zahra, ST., MT.

Daftar Isi

Kata Pengantar	i
Daftar Panitia	ii
Daftar isi	iv
Kumpulan Makalah	1
Pengendali PID Serial untuk Jarak Antar Kendaraan	2
Prototipe Penimbangan Volume Bejana Ukur Standar pada Pompa Ukur Bahan Bakar Minyak (BBM) dengan Metode Gravimetri	10
Prototipe Alat Penyortir Telur Berdasarkan Warna dan Ukuran	19
Prototipe Alat Bantu Pengukur Diameter Cincin Referensi Tangki Ukur Tetap Silinder Tegak	28
Kontrol Penjejak Lintasan dan Simulasi pada Robot Beroda dalam Menghindari Halangan	36
Prototipe Detektor Tingkat Kematangan Buah Sawit (Elais Guineesis Jacq) Menggunakan Sensor Warna TCS3200 Dan Fotodiode Inframerah	47
Nilai Perhitungan Akurasi Prototipe yang Compact Untuk Mengkonversi Tulisan Menjadi Suara Sebagai Instrumentasi Alat Bantu Melihat	52
Perbandingan Nilai Akurasi Kalibrasi Rol Meter Menggunakan Linear Measurement Dan Prototipe Potensiometer Linear Tipe Kawat	57
Neraca dengan Penyeimbang Tarikan Solenoid Linear dan Redefinisi Satuan Kilogram	62
Analisis Metoda Estimasi Peta Kedalaman Dari Citra RGB 2D Untuk Penerapan Teknik Persepsi Pada Kendaraan Otonom	71
Rancang Bangun Sistem Penentuan Mutu Buah Lemon Berbasis Pengolahan Citra	79
Rancang Bangun Sistem Kendali Suhu dan Kelembapan Udara Ruang Pembibitan Tanaman Terung Ungu Berbasis Mikrokontroler	87
Pengembangan Trem Otonom Tanpa Rel	95
Studi Korelasi Sinyal Motorik Otot Wajah dan Sinyal Suara Ucapan pada Artikulasi Fonem Vokal	108
Data Logger Berat dan Tinggi Bayi Via Wifi Berbasis Android	116

Kumpulan Makalah

Pengendali PID Serial untuk Jarak Antar Kendaraan

Veronica Indrawati

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Surabaya

Gedung TB.2, Jl. Raya Kalirungkut 60293 Surabaya – Jawa Timur - Indonesia

Email: veronica@staff.ubaya.ac.id

Abstrak

Makalah ini menyajikan kontrol PID serial yang digunakan untuk menjaga jarak antara kendaraan yang berjalan dalam formasi peleton satu dimensi sesuai dengan konsep sistem multi-agen. Karena tidak semua kendaraan dilengkapi dengan alat komunikasi antar kendaraan, maka sistem kendali peleton yang diusulkan memanfaatkan perangkat elektronik berupa sensor jarak dan kecepatan yang ada pada kendaraan untuk membantu menjaga jarak antar kendaraan tetap konstan. Di awal akan dibahas kontrol posisi dan kecepatan untuk satu kendaraan, model sistem dianalisis untuk mendapatkan parameter kontroler PID. Pembahasan selanjutnya tentang sistem peleton pada beberapa kendaraan menggunakan PID serial sebagai pengontrol dan menganalisis parameter pengontrol untuk keseluruhan sistem. Terakhir, dilakukan simulasi untuk memverifikasi desain pengontrol yang telah diperoleh. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kontroler PID serial cocok untuk masalah jarak antar kendaraan.

Kata kunci: kendaraan homogen, jarak antar kendaraan, sistem peleton, PID serial, perilaku dinamik kendaraan.

1 Pendahuluan

Penelitian tentang sistem peleton telah banyak dipublikasikan dan telah menarik perhatian baik dari kalangan akademisi maupun industri. Hal ini dikarenakan sistem tersebut memberikan dampak yang signifikan terhadap bidang transportasi di jalan raya [1], [2]. Sistem peleton ini memberikan ide inovatif tentang cara otomatis mengemudi sekelompok kendaraan di jalan raya membentuk formasi berderet ke belakang yang biasa disebut dengan formasi peleton, dengan tujuan efisiensi bahan bakar dan pengurangan kecelakaan [3], [4]. Dalam kelompok N-kendaraan yang terhubung dalam formasi peleton, kendaraan depan disebut pemimpin sedangkan semua kendaraan di belakangnya disebut pengikut. Sistem ini merupakan gerakan terkoordinasi dari sekelompok kendaraan untuk bersama-sama mencapai tujuan, dimana kontrol peleton kendaraan dilihat dari perspektif kontrol jaringan. Peleton dibagi menjadi empat komponen, yaitu dinamika simpul, topologi aliran informasi, pengontrol terdistribusi, dan formasi geometri [3], [5]. Dengan adanya komunikasi Vehicle-to-Vehicle (V2V) memungkinkan kendaraan-kendaraan yang berjalan di jalan raya saling bertukar informasi dan kemudian membentuk sistem peleton, seperti yang telah disebutkan sebelumnya, kendaraan depan bertindak sebagai pemimpin dan kendaraan di belakangnya sebagai pengikut. Kendaraan di luar peleton dapat berkomunikasi dan bergabung dalam kelompok sebagai anggota peleton. Anggota dapat meninggalkan peleton begitu mereka mencapai tujuan mereka. Akibatnya, anggota peleton akan bervariasi kapan saja tergantung pada tujuan mereka. Pemimpin peleton juga akan bervariasi; ketika pemimpin telah mencapai tujuannya, ia dapat meminta kendaraan di belakang untuk mengambil alih pekerjaan sebagai pemimpin dalam sistem peleton. Sistem ini juga memungkinkan pengemudi mengambil alih pengereman saat jarak di depan kendaraan terlalu dekat untuk menghindari kecelakaan [1].

Ada berbagai jenis topologi arus informasi, yaitu pengikut menerima informasi dari pendahulunya, informasi dua arah dengan kendaraan di depan dan di belakangnya, pemimpin memberi informasi ke semua kendaraan pengikut dan tiap pengikut memberi informasi pada kendaraan di belakang nya, pemimpin memberi informasi ke semua kendaraan pengikut dan informasi dua arah dengan kendaraan di depan dan di belakang nya, informasi didapat dari kendaraan di depan nya dan 2 kendaraan pendahulu nya, topologi terakhir adalah pemimpin memberi informasi ke semua pengikut dan tiap pengikut mendapat informasi dari kendaraan sebelumnya dan dua kendaraan di depannya [2], [3], [4], [5], [6]. Topologi arus informasi memiliki dampak yang sangat mempengaruhi perilaku peleton.

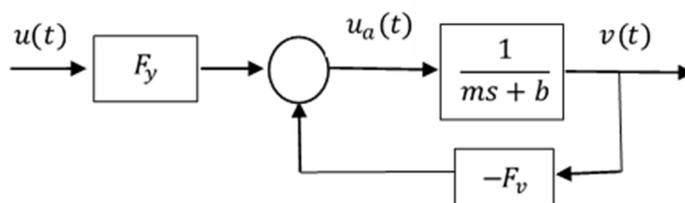
Secara umum, sistem peleton tergantung pada beberapa faktor, misalnya kualitas sinyal komunikasi, infrastruktur, dan komunikasi antar kendaraan. Makalah ini tidak membahas sistem komunikasi antar kendaraan, dan diasumsikan kendaraan yang tergabung dalam formasi peleton ini dilengkapi dengan sistem elektronik berupa sensor jarak dan kecepatan. Informasi ini dapat digunakan untuk menjaga jarak optimal antar kendaraan dan menjaga kecepatan kendaraan tetap konstan pada kondisi *steady*. Diusulkan untuk menggunakan pengontrol PID serial menggunakan parameter PID yang sesuai untuk menjaga jarak antar kendaraan konstan pada kondisi *steady*.

2 Sistem Peleton

Perilaku dinamis longitudinal kendaraan dari sistem peleton ditulis dalam model nonlinier. Parameter yang digunakan adalah *drive line*, sistem rem, gesekan udara, koefisien gesekan roda, dan gravitasi [2], [3], [4], [5]. Posisi dan kecepatan biasanya dinyatakan sebagai variabel $p(t)$ dan $v(t)$, kondisi awal diabaikan. Kecepatan adalah turunan dari posisi, sedangkan percepatan adalah turunan dari kecepatan. Dengan menggunakan analisis stabilitas sistem kontrol, stabilitas asimtotik dan stabilitas *string* dari sistem peleton dapat diperoleh dengan menentukan parameter kontrol. Ide utama dari makalah ini adalah untuk menemukan parameter kontrol PID yang sesuai untuk menyelesaikan masalah perilaku dinamik longitudinal kendaraan sehingga jarak dan antar kendaraan dipertahankan sesuai keinginan dan kecepatan masing-masing kendaraan sama-sama dalam keadaan *steady*.

2.1 Kontrol Kendaraan Tunggal

Model dinamik kendaraan tunggal dinyatakan dengan menggunakan model dinamik kendaraan umum pada [1] seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. model dinamik kendaraan tunggal [1]

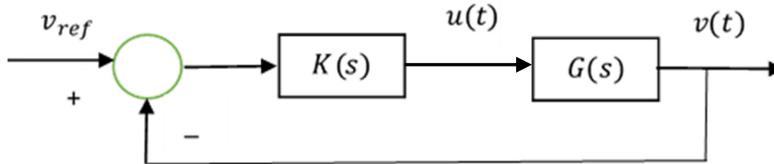
Diagram blok di atas dapat direpresentasikan dalam persamaan berikut ini:

$$-F_v v(t) + F_y u(t) = m\dot{v}(t) + bv(t) + w(t) \quad (1)$$

dimana F_y adalah *feedforward gain* dan F_v adalah *feedback gain* dari sinyal *driving / braking*; m adalah massa kendaraan; b adalah *tire/road rolling resistance*; $v(t)$ adalah kecepatan kendaraan; $u(t)$ adalah *control signal* dan $w(t) = cv^2(t)$. Pada keadaan ideal, diasumsikan $c = 0$; c adalah koefisien *aerodynamic drag*. Oleh karena itu model dinamis kendaraan (1) untuk variabel kecepatan [1] dapat dinyatakan sebagai

$$\dot{v} = -\left(\frac{b}{m} + \frac{F_v}{m}\right)v(t) + \frac{F_y}{m}u(t) \quad (2)$$

Model di atas dapat digambarkan dengan diagram blok seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. sistem control kecepatan kendaraan [1]

$K(s)$ adalah kontroler PID dan $G(s)$ adalah model kendaraan, dituliskan dalam bentuk Laplace:

$$K(s) = K_1 + \frac{K_2}{s} + K_3s \quad (3)$$

$$G(s) = \frac{F_y}{ms+b+F_v} \quad (4)$$

dimana K_1 adalah *proportional gain*, K_2 adalah *integral gain*, dan K_3 adalah *derivative gain*. Kemudian dapat dituliskan *open loop transfer function* dalam bentuk standar

$$G(s) = \frac{\omega_n^2}{s+2\zeta\omega_n} \quad (5)$$

Dengan membandingkan persamaan (4) dan (5), parameter ζ dan ω_n dapat dinyatakan dalam parameter kendaraan [1] sebagai berikut

$$\omega_n = \sqrt{\frac{F_y}{m}} \quad \text{and} \quad \zeta = \frac{b}{2\sqrt{mF_y}} + \frac{F_v}{2\sqrt{mF_y}}$$

Closed loop transfer function dari sistem kontrol kecepatan pada Gambar 2 dapat dituliskan sebagai:

$$\frac{V(s)}{V_{ref}(s)} = \frac{K(s)G(s)}{1 + K(s)G(s)}$$

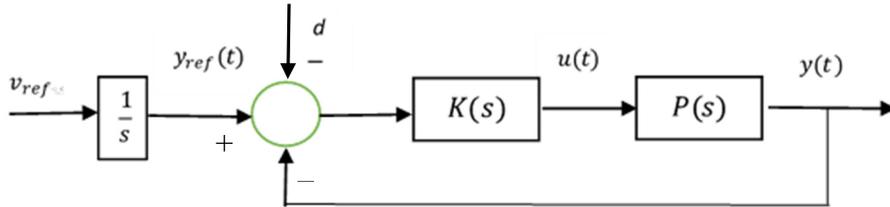
$$\frac{V(s)}{V_{ref}(s)} = \frac{K_3\omega_n^2s^2 + K_1\omega_n^2s + K_2\omega_n^2}{(1+K_3\omega_n^2)s^2 + (2\zeta\omega_n + K_1\omega_n^2)s + K_2\omega_n^2} \quad (6)$$

Transfer function ini menunjukkan bahwa sistem stabil secara internal, $\frac{V}{V_{ref}}(s) = 1$ untuk $s = 0$, mengindikasikan bahwa *error* ($v_{ref}(t) - v(t)$) $\rightarrow 0$ pada $t \rightarrow \infty$

Posisi kendaraan $y(t)$ yang bergerak lurus dinyatakan dengan integral dari kecepatan $v(t)$, sehingga *plant* $G(s)$ menjadi:

$$P(s) = \frac{1}{s} G(s) = \frac{\omega_n^2}{s(s+2\zeta\omega_n)} \quad (7)$$

Jika outputnya adalah posisi maka referensinya juga harus posisi. Itu berarti $y_{ref}(t)$ dapat diperoleh dari integral v_{ref} . Pada akhirnya, diagram blok sistem akan menjadi seperti yang diilustrasikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Sistem kontrol posisi kendaraan

dimana d adalah jarak antar kendaraan. Diasumsikan $d = 0$, dan $v_{ref} > 0$ bentuk Laplace dari $y(t)$ dengan kontroler PID seperti yang ditulis pada persamaan (3) dinyatakan dengan:

$$Y(s) = \frac{K_3\omega_n^2s^2 + K_1\omega_n^2s + K_2\omega_n^2}{s^3 + (2\zeta\omega_n + K_3\omega_n^2)s^2 + K_1\omega_n^2s + K_2\omega_n^2} Y_{ref}(s) \quad (8)$$

Dari *transfer function* (8) stabilitas internal sistem dapat ditentukan sebagai $2\zeta \geq \frac{K_2}{\omega_n K_1} - K_3$, dengan *steady state error* $e_y(t) = sE_y(s) = 0$

2.2 Kontrol Jarak Antar Kendaraan

Diasumsikan N kendaraan bergerak beriringan dalam formasi peleton dan sensor telah terpasang di kendaraan. Sekelompok N kendaraan $\{y_i(t), v_i(t)\}_{i=1}^N$ adalah variabel yang akan dikendalikan, sedangkan $\{\zeta_i, \omega_{ni}\}$ adalah parameter kendaraan ke- i . Struktur peleton ditunjukkan pada Gambar 4. Kendaraan pertama adalah pemimpin dan kendaraan berikutnya adalah pengikut. Kendaraan $(i+1)$ mengikuti kendaraan i , sedangkan sensor kendaraan i memberikan informasi jarak ke kendaraan $(i+1)$.



Gambar 4. Struktur kendaraan dalam formasi peleton

Dalam hal masing-masing kendaraan, *closed loop transfer function* $y(t)$ terhadap $y_{refi}(t)$ diberikan oleh

$$\frac{y_i(s)}{y_{refi}(s)} = \frac{K_{3i}\omega_{ni}^2s^2 + K_{1i}\omega_{ni}^2s + K_{2i}\omega_{ni}^2}{s^3 + (2\zeta_i\omega_{ni} + K_{3i}\omega_{ni}^2)s^2 + K_{1i}\omega_{ni}^2s + K_{2i}\omega_{ni}^2} \quad (9)$$

Data dari sensor adalah informasi jarak antara dua kendaraan, d_i , diberikan oleh (10) sering memiliki sedikit *error*

$$d_i = y_{i-1}(t) - y_i(t) ; i \geq 2 \quad (10)$$

Dengan menggunakan metode yang sama dengan yang digunakan pada *transfer function* pada persamaan (8), *transfer function* dari kendaraan ke-N pada persamaan (9) akan stabil untuk $2\zeta_i \geq \frac{K_{2i}}{\omega_{ni}K_{1i}} - K_{3i}$, sehingga $\lim_{t \rightarrow \infty} v(t) = v_{ref}$ dan $\lim_{t \rightarrow \infty} y_{i-1}(t) - y_i(t) = d_{ref}$ untuk semua $i \geq 2$

Transfer function untuk pemimpin / kendaraan yg paling depan $v_1(t)$ terhadap $v_{ref1}(t)$ dapat dinyatakan dengan

$$\frac{V_1(s)}{V_{ref1}(s)} = \frac{K_{31}\omega_{n1}^2s^2 + K_{11}\omega_{n1}^2s + K_{21}\omega_{n1}^2}{(1 + K_{31}\omega_{n1}^2)s^2 + (2\zeta_1\omega_{n1}^2 + K_{11}\omega_{n1}^2)s + K_{21}\omega_{n1}^2} \quad (11)$$

Posisi dari kendaraan pemimpin bisa didapatkan dengan mengintegrasikan kecepatan dari kendaraan pemimpin, sehingga posisi dari kendaraan pemimpin dapat dituliskan dengan

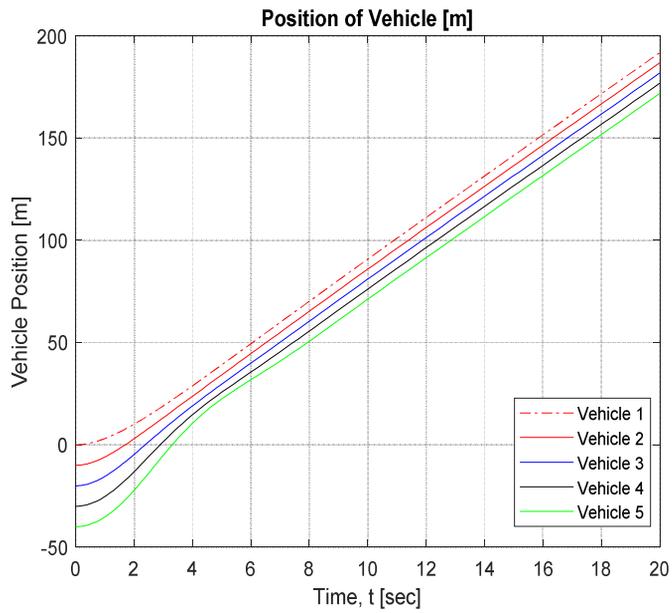
$$Y_1(s) = \frac{K_{31}\omega_{n1}^2s^2 + K_{11}\omega_{n1}^2s + K_{21}\omega_{n1}^2}{(1 + K_{31}\omega_{n1}^2)s^3 + (2\zeta_1\omega_{n1}^2 + K_{11}\omega_{n1}^2)s^2 + K_{21}\omega_{n1}^2s} \quad (12)$$

Sedangkan untuk kendaraan pengikut, yaitu kendaraan ke-2 sampai dengan kendaraan ke-N, jika $d_{ref} = 0$ maka output $y_i(t)$ akan mendekati $y_{i-1}(t)$, maka *transfer function* y_i terhadap y_{i-1} dapat dituliskan sebagai

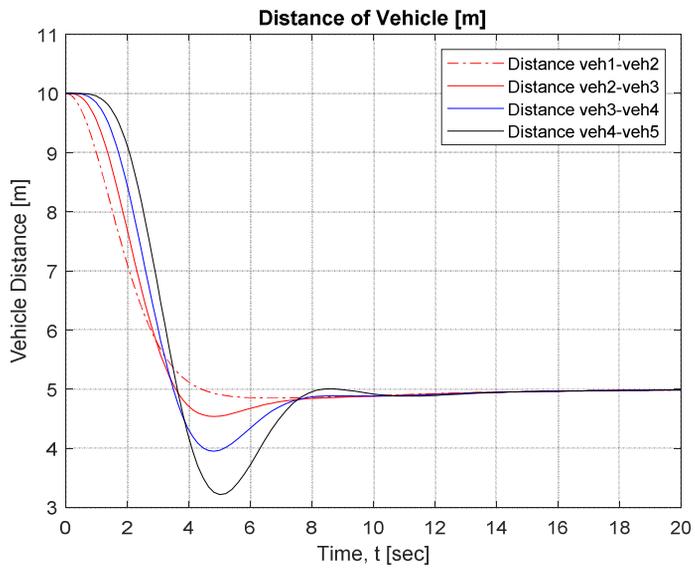
$$\frac{y_i(s)}{y_{i-1}(s)} = \frac{K_{3i}\omega_{ni}^2s^2 + K_{1i}\omega_{ni}^2s + K_{2i}\omega_{ni}^2}{s^3 + (2\zeta_i\omega_{ni} + K_{3i}\omega_{ni}^2)s^2 + K_{1i}\omega_{ni}^2s + K_{2i}\omega_{ni}^2} \quad (13)$$

3 Simulasi dan Hasil

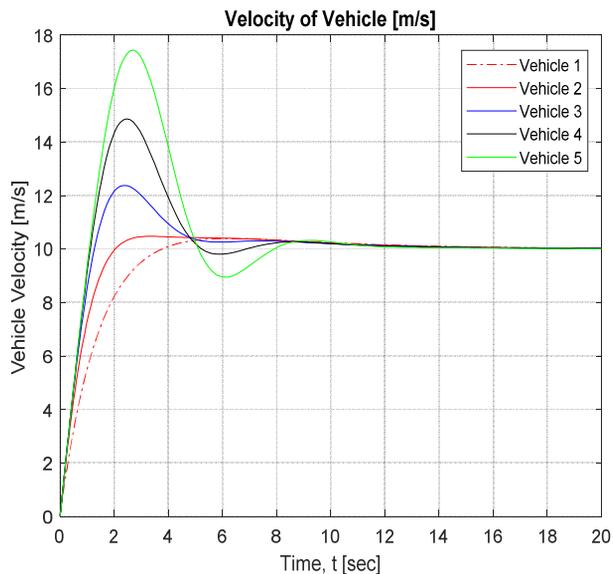
Dari desain kontroler yang telah diperoleh pada pembahasan sebelumnya, model akan disimulasikan menggunakan 5 kendaraan. Kendaraan pertama adalah pemimpin dan empat kendaraan di belakangnya adalah pengikut. Pada simulasi ini diasumsikan bahwa kelima kendaraan tersebut homogen dengan $\zeta_i = 0.82$ dan $\omega_{ni} = 0.2$ serta parameter PID yang diperoleh di atas memenuhi kriteria stabilitas. Parameter yang dipilih adalah gain proporsional $K_{1i} = 50$, gain integral $K_{2i} = 10$, dan gain derivative $K_{3i} = 40$. Pada kondisi awal, diberikan jarak masing-masing 10meter antar kendaraan, diinginkan pada $t \rightarrow \infty$, jarak antar kendaraan menjadi 5 meter. Hasil simulasi yang diperoleh adalah posisi lintasan kendaraan, jarak antar kendaraan, dan respon kecepatan.



Gambar 5. kontrol posisi lintasan kendaraan



Gambar 6. jarak kendaraan



Gambar 7. respon kecepatan kendaraan

Lintasan posisi kelima kendaraan pada Gambar 5 ditunjukkan bahwa pada awalnya lintasan masing-masing kendaraan menunjukkan jarak antar kendaraan yang tidak sama. Dengan bertambahnya waktu, jarak antar kendaraan menjadi 5meter sesuai dengan yang diharapkan, sesuai dengan respon kecepatan pada $t \rightarrow \infty$. Gambar 6 menunjukkan jarak antara lima kendaraan. Saat jarak antar kendaraan 10 meter, hasil simulasi menunjukkan bahwa jarak antara kendaraan pemimpin dengan kendaraan kedua mencapai jarak 5meter tanpa mengalami *overshoot* yang besar. Semakin jauh posisi kendaraan dari kendaraan pemimpin akan semakin besar *overshoot* yang terjadi. Ambil contoh jarak antara kendaraan 4 dan kendaraan 5. Pada keadaan awal, kecepatan kendaraan 5 terlalu cepat sehingga menjadi terlalu dekat dengan kendaraan 4. Seiring berjalannya waktu, jarak antara kendaraan menjadi sama 5meter sesuai dengan *setting point* yang diharapkan.

Gambar 7 menunjukkan respon kecepatan dari lima kendaraan. Tampaknya kendaraan pemimpin hanya mengalami *overshoot* kecil dengan *rise time* yang cukup besar. Semakin jauh posisi kendaraan dari kendaraan pemimpin maka akan semakin besar *overshoot*, namun akan semakin cepat *rise time* kendaraan dibandingkan dengan kendaraan di depan. *Settling time* semua kendaraan hampir sama, dan pada $t \rightarrow \infty$ semua kendaraan memiliki kecepatan yang sama.

4 Kesimpulan

Makalah ini membahas tentang pengendalian jarak antar kendaraan yang berjalan beriringan dengan menggunakan kontrol serial PID sebagai pengendalinya. Dari analisis yang telah dilakukan didapatkan range nilai parameter PID. Nilai parameter yang didapat ini diaplikasikan pada sistem untuk membuat sistem stabil dan jarak antar kendaraan konstan sesuai dengan *setting point* yang diinginkan. Namun pemodelan dan simulasi ini belum memasukkan pengaruh rem, gangguan, parameter heterogen dari semua kendaraan, serta ketidakpastian yang terjadi pada kendaraan di jalan raya secara nyata. Hal-hal ini akan menjadi topik diskusi selanjutnya.

5 Daftar Pustaka

- [1] J. Zhang, T. Feng, F. Yan, S. Qiao, X. Wang, *Analysis and Design on Intervehicle Distance Control of Autonomous Vehicle Platoons*, ISA Transactions, vol.100, pp. 446-453, May 2020.
- [2] S. Eben and K. Li, Y. Zheng, Y. Wu and J.K. Hedrick, F. Gao, H. Zhang, *Dynamical Modeling and Distributed Control of Connected and Automated Vehicles: Challenges and Opportunities*, IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, 9(3) pp. 46-58, Oct 2017.
- [3] S.E. Li, K. Li, Y. Zheng, J. Wang, *An Overview of Vehicular Platoon Control under the four-componen Framework*, IEEE Intelligent Vehicle Symposium (IV), pp. 286-291, June 2015.
- [4] S. Gong, S. Peeta, A. Zhou, *Cooperative Adaptive Cruise Control for a Platoon of Connected and Autonomous Vehicles Considering Dynamic Information Flow Technology*, Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board, DOI: 10.1177/0361198119847473, March 2019.
- [5] S.E. Li, L.Y. Wang, K. Li, H. Zhang, *Platoon Control of Connected Vehicles from a Networked Control Perspective Literature Review, Component Modeling, and Controller Synthesis*, IEEE Transactions on Vehicular Technology, DOI 10.1109/TVT.2017.2723881, 2018.
- [6] S.E. Li, F.Gao, K. Li, LY. Wang, K. You, D. Cao, *Robust Longitudinal Control of Multi-Vehicle Systems – a Distributed H-infinity Method*, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol.19, pp. 2779-2788, Sep 2018.

Prototipe Penimbangan Volume Bejana Ukur Standar pada Pompa Ukur Bahan Bakar Minyak (BBM) dengan Metode Gravimetri

³Irwati Dewi Syahwir, ⁴Agus Samsi, ¹Ni Made Adinda Pradnya Putri, ²Ni Ayu Miftah Nurani

¹Akademi Metrologi dan Instrumentasi

²Institut Teknologi Bandung

³Direktorat Metrologi

³*irawatidewisyahwir@gmail.com*

⁴*samsisridara@gmail.com*

¹*adindapradnya17@gmail.com*

²*niayumiftah19@gmail.com*

Abstrak

Bejana Ukur Standar (BUS) merupakan alat yang digunakan untuk mengukur volume seperti volume bahan bakar minyak di SPBU. Ketelusuran standar BUS adalah dengan metode penimbangan, sehingga kesalahan akan bertambah karena banyaknya rantai ketelusuran, sehingga pengujian dengan timbangan 3 load cell dengan metode gravimetri perlu untuk mengurangi kesalahan menggunakan BUS yang disebabkan kesalahan pembacaan, pemuain bahan, kemiringan posisi dan faktor lainnya. Timbangan ini memberikan hasil berupa volume sehingga penguji tidak perlu mengkonversi dari massa ke volume secara manual. Hal ini tentu saja akan mempermudah pekerjaan secara efektif dan efisien. Pengujian timbangan dengan 3 load cell ini menggunakan BUS 5 liter dengan hasil pengujian volume rata-rata terbaca sebesar 5008,26 mL, nilai standar deviasi sebesar 5,49 mL, nilai bias sebesar -8,26 mL, nilai akurasi sebesar 99,51%, nilai presisi sebesar 99,67% dan nilai kesalahan sebesar 0,49%.

Kata Kunci: Load cell, Timbangan, Volume, Bensin, Gravimetri, Densitas, Hidrometer

1 Pendahuluan

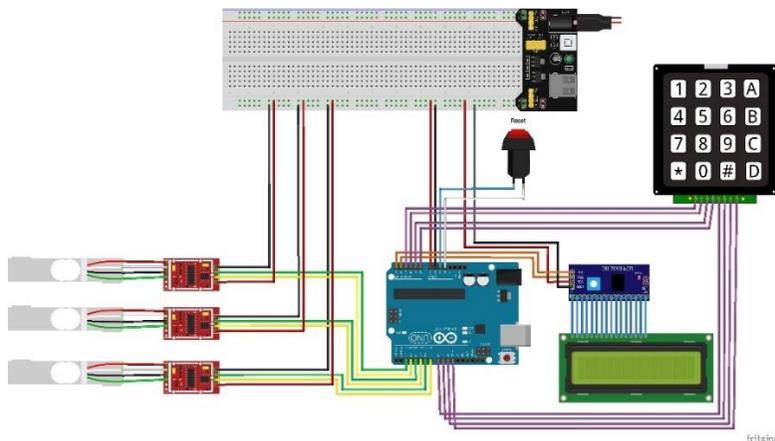
Standar uji adalah alat yang digunakan sebagai penguji dalam tera dan tera ulang pompa ukur BBM salah satunya ialah bejana ukur standar. Bejana ukur standar (BUS) adalah alat ukur volume statis yang digunakan untuk menguji alat ukur lainnya. Untuk mengetahui volume sebenarnya pada bejana ukur dapat dilakukan pengujian dengan metode volumetri atau gravimetri. Pengujian menggunakan metode volumetri ialah metode pengujian alat Ukur, Takar, Timbang, dan Perlengkapannya (UTTP) dengan cara menakar menggunakan alat ukur volume sejenis atau alat ukur lain dengan volume yang lebih kecil. Sedangkan pengujian menggunakan metode gravimetri ialah metode pengujian alat UTTP dengan cara penimbangan. Penggunaan BUS untuk kegiatan tera atau tera ulang pompa ukur BBM dilakukan pada fluida bensin jenis pertalite. Pada penelitian ini dibuat prototipe timbangan dengan 3 load cell yang akan mengkonversi massa bensin menjadi volume sebenarnya. Timbangan akan mengukur massa dari BUS

dan fluida di dalam BUS, kemudian nilai densitas dari fluida akan diukur dengan hydrometer. Setelah nilai massa dan densitas yang telah diperoleh, mikrokontroler akan melakukan perhitungan hingga dihasilkan nilai volume sebenarnya dari bensin yang ada di dalam BUS. Timbangan akan menampilkan nilai volume dari bensin tersebut melalui LCD.

2 Metode

2.1 Desain Skema Prototipe Timbangan

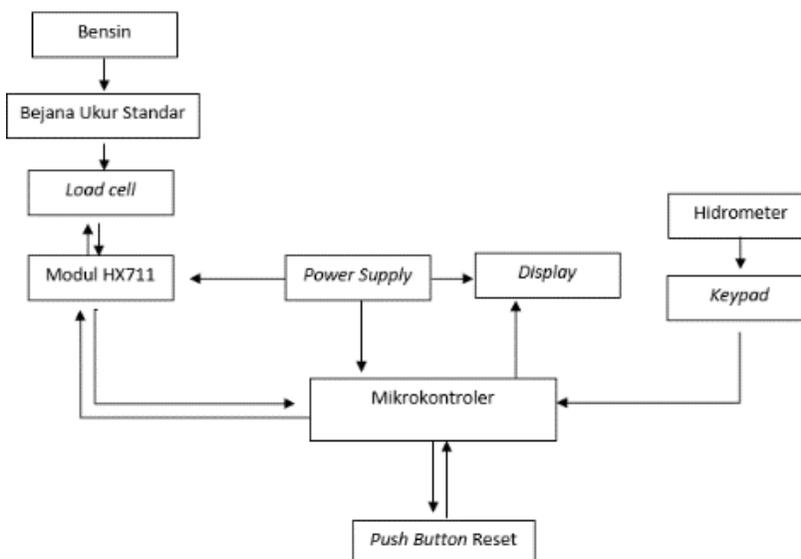
Prototipe ini menggunakan 3 buah load cell dengan kapasitas masing-masing load cell sebesar 20kg yang dapat mengukur perubahan beban akibat bensin yang dituang ke dalam BUS. Load cell dihubungkan ke modul HX711 yang berfungsi sebagai analog to digital converter (ADC) dan penguat dengan integrated amplifier yang menyediakan gain maksimal 128. Dalam prototipe ini Arduino Uno berfungsi sebagai mikrokontroler untuk mengatur jalannya program timbangan dan memproses input yang dalam hal ini ialah perubahan massa dari bensin dalam BUS dan nilai densitas bensin menjadi nilai volume bensin sebenarnya yang ada di dalam BUS. keypad berfungsi untuk memasukkan nilai hasil pengukuran hydrometer ke dalam perhitungan untuk mengetahui volume aktual bensin. Setelah itu hasilnya akan ditampilkan melalui Liquid Crystal Display (LCD) 16x2 I2C. Push button adalah sebuah sakelar yang berfungsi untuk menghubungkan dan memutuskan aliran arus listrik dan terdapat Normally Close (NC) dan Normally Open (NO). Pada prototipe ini, breadboard power supply akan memberikan tegangan melalui breadboard kepada 3 load cell, LCD 16x2 dan Arduino Uno. Lalu, digunakan power supply dengan tegangan 5V 1A.



Gambar 2.1 Skema Prototipe Timbangan

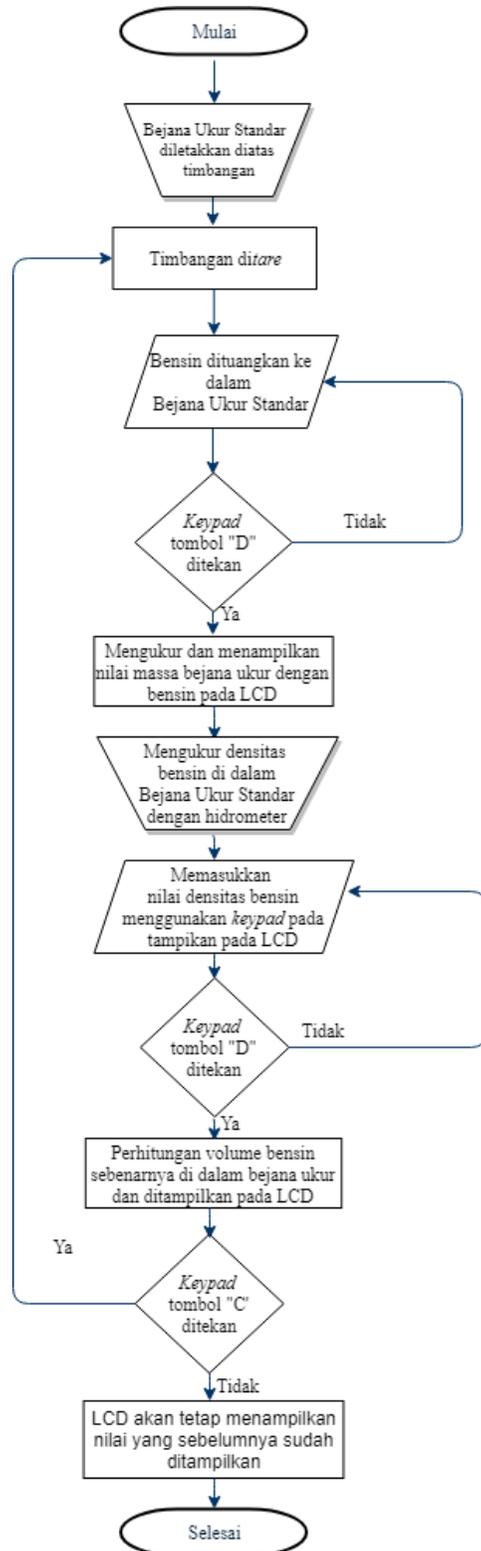
2.2 Prinsip Kerja Prototipe Timbangan

Prinsip kerja prototipe ini yaitu bejana ukur diberi bensin, masing-masing load cell akan mengukur perubahan beban yang terjadi. Output yang berasal dari load cell akan dikirim ke modul HX711. Pada Arduino IDE, dapat digunakan library dari HX711 untuk menentukan nilai massa dari timbangan. Perubahan beban yang terjadi akibat penambahan bensin ke dalam BUS menjadi input pertama prototipe timbangan. Untuk mengonversi massa bensin menjadi nilai volume, diperlukan nilai densitas sesuai dengan keadaan lingkungan saat pengujian, sehingga dilakukan pengukuran densitas bensin menggunakan hidrometer ketika pengujian dilakukan. Pengukuran densitas bensin dilakukan secara manual, sehingga diperlukan keypad untuk menginput nilai densitas agar dapat diproses oleh mikrokontroler Arduino Uno. Nilai densitas ialah input kedua dalam prototipe timbangan. Setelah nilai massa dan nilai densitas diketahui, maka dilakukan perhitungan konversi untuk mengubah nilai massa bensin menjadi volume sebenarnya. Arduino Uno pada prototipe ini berfungsi sebagai menerima data dan memproses data menjadi hasil akhir yang diinginkan yaitu dalam hal ini volume bensin sebenarnya yang berada di dalam BUS. Selanjutnya hasil proses data yang dilakukan Arduino akan ditampilkan melalui LCD I2C 16x2. Push button reset digunakan jika diperlukan untuk mengulang program timbangan dari awal.



Gambar 2.2 Diagram Blok Prinsip Kerja Prototipe Timbangan

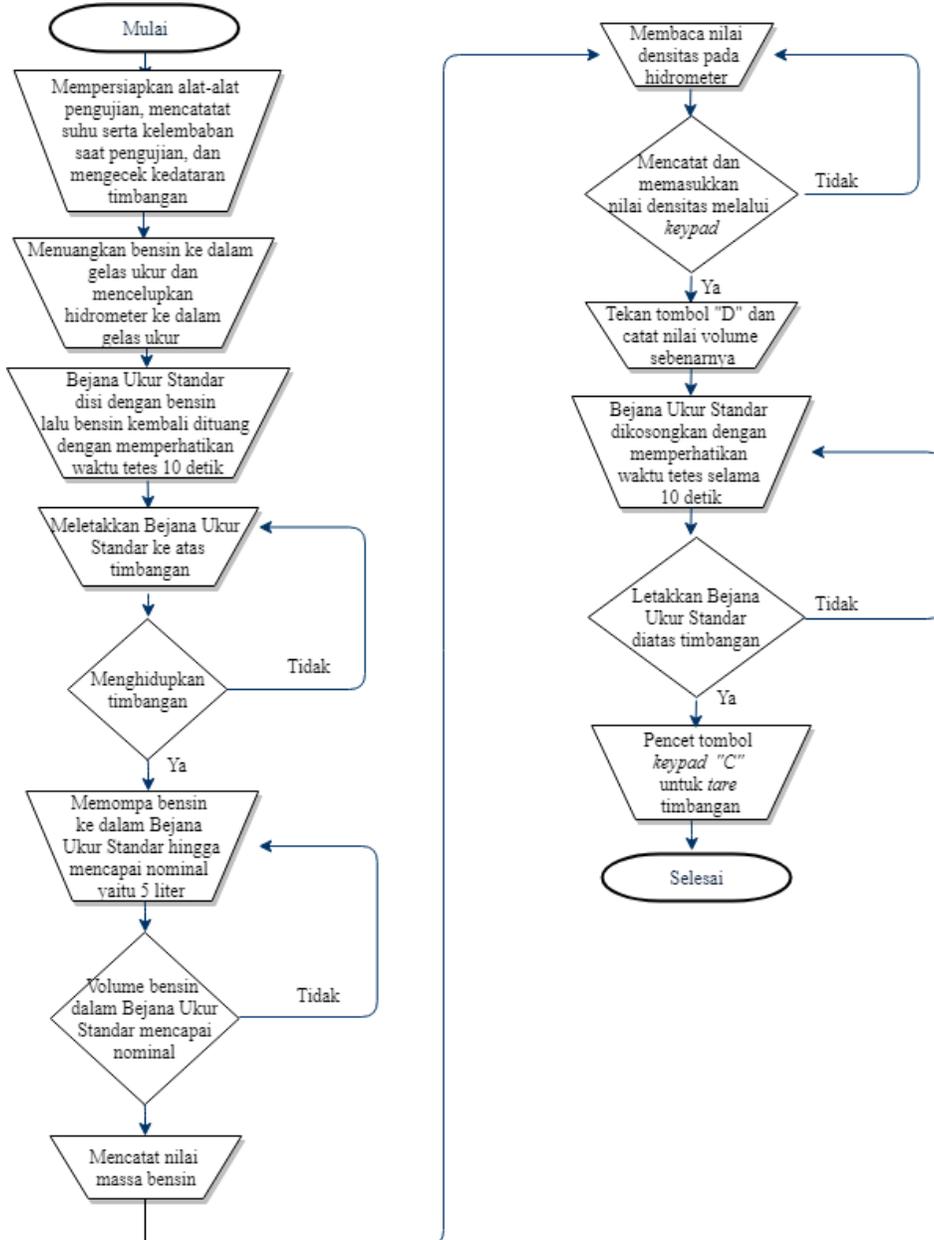
Untuk penjelasan alur kerja prototipe ini, dapat dilihat pada Gambar 2.3 Flow Chart berikut ini:



Gambar 2.3 Flowchart Alur Kerja Prototipe

2.3 Prosedur Pengujian Prototipe

Pengujian prototipe timbangan dilakukan sesuai dengan Gambar 2.4 dengan menyesuaikan banyaknya pengulangan data yang diambil ketika pengujian dilakukan.



Gambar 2.4 Flowchart Prosedur Pengujian Timbangan

3 Analisa

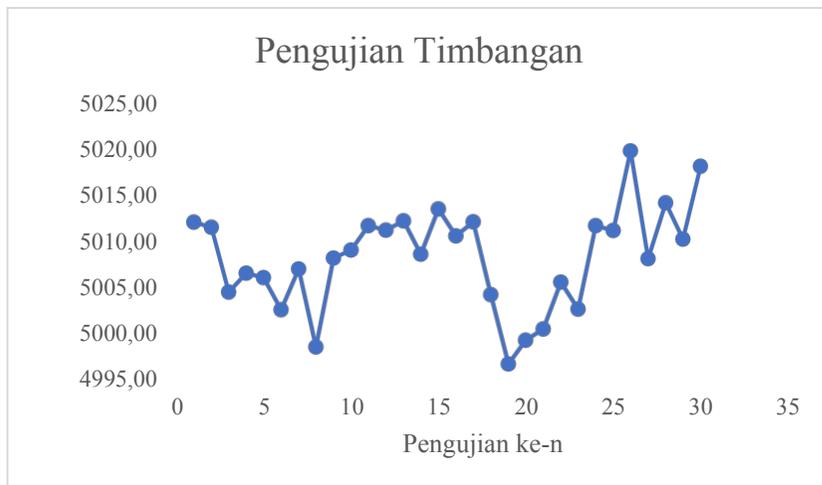
3.1 Pengujian Prototipe Timbangan menggunakan BUS Kapasitas 5 Liter

Pengujian timbangan dengan 3 load cell menggunakan BUS kapasitas 5 liter dengan fluida bensin dilakukan pada suhu ruangan 20.35°C dan kelembaban 50,5%. Pengujian dilakukan sebanyak 30 kali pengulangan.

Tabel 3.1 Hasil Pengujian Timbangan dengan 3 Load Cell

No	Massa Bensin	Densitas	Volume Terbaca
	Mb	Rb	Vb
	(g)	Kg/m ³	mL
1	3703,47	740	5012,07
2	3703,05	740	5011,50
3	3700,38	740,5	5004,50
4	3701,89	740,5	5006,54
5	3701,52	740,5	5002,58
6	3698,96	740,5	5007,00
7	3702,23	740,5	4998,57
8	3696,00	740,5	5008,16
9	3703,09	740,5	5009,04
10	3703,74	740,5	5011,67
11	3705,68	740,5	5011,18
12	3705,32	740,5	5012,19
13	3706,07	740,5	5008,58
14	3703,40	740,5	5013,48
15	3707,02	740,5	5010,56
16	3704,86	740,5	5012,10
17	3706,00	740,5	5004,23

18	3700,18	740,5	4996,73
19	3694,64	740,5	4999,29
20	3696,53	740,5	5000,51
21	3699,93	741	5005,58
22	3703,68	741	5002,66
23	3701,52	741	5011,68
24	3708,20	741	5011,14
25	3707,80	741	5019,77
26	3714,18	741	5008,09
27	3705,54	741	5014,14
28	3710,02	741	5010,22
29	3707,12	741	5018,09
30	3712,94	741	5008,26
V _b rata-rata			5008,26
Standar Deviasi			5,49



Gambar 3.1 Grafik Pengujian Timbangan

Berikut hasil karakteristik pengukuran dari pengujian prototipe timbangan dengan 3 load cell sebagai alat PU BBM yang telah dibuat:

Table 3.2 Karakteristik Hasil Pengujian Prototipe Timbangan dengan 3 Load cell

Bias (mL)	Akurasi (%)	Presisi (%)	Kesalahan (%)
-8,26	99,51	99,67	0,49

Pengujian timbangan dengan 3 *load cell* sebagai alat uji PU BBM dilakukan menggunakan BUS kapasitas 5 liter dan bensin jenis pertalite. Pengujian dilakukan dengan menimbang massa bensin yang terdapat di dalam BUS. Kedataran timbangan diperiksa terlebih dahulu untuk memastikan bahwa timbangan sudah datar. Bensin pertalite dituangkan ke dalam BUS dengan menggunakan pompa dan selang agar BUS menjadi basah, kemudian bensin dipompa dari bejana ukur ke dalam jerigen dengan memperhatikan waktu tetes selama 10 detik, hal ini dikarenakan metode yang digunakan pada pengujian ini adalah metode basah. Bensin pertalite dituangkan ke gelas ukur dan memasukkan hidrometer ke dalam gelas ukur yang telah berisi bensin untuk mengetahui nilai densitas bensin pada suhu ketika pengujian dilakukan. BUS diletakkan di atas timbangan, kemudian timbangan dihidupkan. Ketika timbangan dihidupkan, timbangan sudah otomatis melakukan *tare* untuk BUS yang sudah diletakkan di atas timbangan. Bensin pertalite kembali dipompa ke dalam BUS hingga mencapai skala nominal BUS. Setelah BUS terisi bensin, *keypad* tombol "D" ditekan agar LCD menampilkan hasil pengukuran massa bensin. Kemudian, lakukan pembacaan nilai densitas pada hidrometer, setelah mengetahui nilai densitas maka nilai densitas dapat diinput secara manual melalui *keypad*. Tombol "D" pada *keypad* kembali ditekan setelah memasukkan nilai densitas hingga LCD akan menampilkan volume yang diperoleh.

4 Kesimpulan

Terdapat tiga simpulan yang dapat diambil dari penelitian ini:

1. Prototipe timbangan dengan 3 load cell memiliki nilai rata-rata kesalahan sebesar 21,27 gram atau 0,29%, nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 1 dan standar deviasi sebesar 5,20 gram.
2. Prototipe timbangan pengkonversi massa menjadi volume telah digunakan untuk menentukan volume bensin sebenarnya dalam BUS kapasitas 5 liter dengan 30 kali pengulangan. Rata-rata volume terbaca yang diperoleh yaitu sebesar 5008,26 mL dengan standar deviasi 5,49 mL. Prototipe timbangan memiliki bias sebesar -8,26 mL, nilai akurasi sebesar 99,51%, nilai presisi sebesar 99,67% dan nilai kesalahan sebesar 0,49%.
3. Prototipe timbangan ini menampilkan volume bensin sebenarnya.

5 Ucapan Terima kasih

Ucapan terimakasih kepada Akademi Metrologi dan Instrumentasi, Pusat Pengembangan Sumber Daya Kemetrolgian dan Direktorat Metrologi.

6 Referensi

- [1] Andersen. J.E.T., Understanding Uncertainty to Weighing by Electronic Analytical Balance., Journal of AOAC International Vol 101 No.6, 2018
- [2] Direktorat Metrologi tentang Instruksi Kerja Kalibrasi Timbangan Tidak Otomatis Kode IK-202
- [3] Jufri, W., Hikmah, U., Sektiono, M,W,A., Lestari, R., Anwar, Z., Hendro, Rancang Bangun Neraca Digital untuk Mengetahui Massa Material Penyusun Alloy, Prosiding SKF 2016, hal 457-464. 2016
- [4] Keputusan DIRJEN Standardisasi dan Perlindungan Nomor 143/SPK/KEP/10/2015 tentang Meter Bahan Bakar Minyak dan Pompa Ukur Elpiji
- [5] Keputusan DIRJEN Perdagangan Dalam Negeri Nomor 23/PDN/KEP/3/2010 tentang Syarat Teknis Bejana Ukur
- [6] Maha., A.I. Konstruksi Timbangan Digital Menggunaka Load Cell Berbasis Arduino Uno dengan Tampilan LCD (Liquid Crystal Display). Skripsi. Universitas Negeri Medan. 2017
- [7] Organisation Internationale de Metrologie Legale (OIML), International Recommendation, OIML R111
- [8] Sollins, Phillip, Gregg.W Jillian, Soil organic matter accumulation in relation to changing soil volume, mass and structure : concepts and calculations, Journal Geoderma 301 (60-71), 2017

Soil organic matter accumulation in relation to changing soil volume, mass, and structure: Concepts and calculations



Phillip Sollins^{a,*}, Jillian W. Gregg^b

^a College of Forestry, Oregon State University, Corvallis, OR 97331, USA

^b Department of Crop and Soil Science, Oregon State University, Corvallis, OR 97331, USA

Prototipe Alat Penyortir Telur Berdasarkan Warna dan Ukuran

¹Nurul Lailatulfath*), ¹Maila Rahmah, ¹Willi Sutanto & ²Vebi Nadhira

¹Akademi Metrologi dan Instrumentasi

²Institut Teknologi Bandung

*nurullailatulfath123@gmail.com**)

Abstrak

Berdasarkan survei di Peternakan PT Johnson's Farm, kegiatan sortir telur dilakukan secara manual mengandalkan subjektivitas manusia. Untuk mengatasi hal tersebut, prototipe alat penyortir telur telah dibuat untuk memilah telur berdasarkan warna dan ukuran agar didapatkan hasil seragam. Prototipe ini dilengkapi dengan sensor inframerah sebagai pendeteksi keberadaan telur, sensor warna TCS3200 sebagai pendeteksi warna kerabang telur, sensor jarak HC-SR04 sebagai pendeteksi diameter minor telur, dan motor servo SG-90 sebagai pemilah hasil sortir. Prototipe ini terpasang pada sebuah sistem konveyor agar penyortir berjalan secara otomatis. Sensor jarak HC-SR04 dan sensor warna TCS3200 diletakkan pada bagian awal konveyor dengan ketinggian yang tetap untuk mendeteksi karakteristik telur. Hasil sortir dipisahkan ke dalam enam kategori. Keenam kategori tersebut yakni telur coklat jumbo, telur putih jumbo, telur coklat normal, telur putih normal, telur coklat kecil, dan telur putih kecil. Dalam menyortir 21 sampel telur yang bervariasi, sensor HC-SR04 memiliki persentase keberhasilan sebesar 98,1% dan sensor TCS3200 memiliki persentase keberhasilan sebesar 72,4%. Prototipe telah bekerja dengan baik dengan persentase rata-rata keberhasilan sebesar 72,4%. Hasil tersebut sangat dipengaruhi oleh keberhasilan kedua sensor dalam mendeteksi telur.

Kata Kunci: Telur, sortir, sensor jarak HC-SR04, sensor warna TCS3200, konveyor

1 Pendahuluan

Telur merupakan salah satu sumber protein hewani yang menjadi primadona di masyarakat. Hal ini didukung oleh banyaknya kandungan gizi yang terdapat dalam telur, harganya yang relatif terjangkau, dan mudah didapatkan baik di pasar modern maupun pasar tradisional. Terdapat berbagai macam telur yang lazim dikonsumsi oleh masyarakat Indonesia, seperti telur ayam ras, telur ayam kampung, telur bebek, dan telur ayam puyuh.

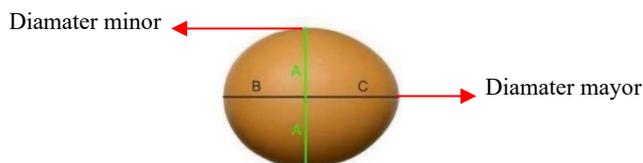
Najemah (2019) telah melakukan penelitian mengenai rancang bangun sistem penyortir kualitas telur ayam berbasis mikrokontroler [1]. Penelitian ini menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 sebagai pendeteksi ukuran telur dan menggunakan sensor *LDR* (*Light Dependent Resistance*) yang berfungsi sebagai pendeteksi baik atau buruknya kualitas telur. Adapun sampel telur diambil secara acak di pasaran. Selain itu, Sidiq & Irmawati (2016) telah meneliti terkait pengolahan citra untuk identifikasi telur berdasarkan ukuran [2]. Penelitian tersebut menggunakan citra digital dengan media *interface GUI* (*Graphical User Interface*) yang memanfaatkan *software* Matlab. Sandra et al (2020) juga melakukan penelitian berbasis pengolahan citra untuk memprediksi kematangan pisang [3]. Penelitian tersebut menggunakan sensor warna TCS3200 yang menghasilkan akurasi 100% untuk level 1 dan 5, 80% untuk level 3, dan 60% untuk level 7. Selanjutnya, Sholihin & Rohman (2018) telah melakukan penelitian mengenai klasifikasi kualitas mutu telur ayam ras berdasarkan fitur warna dan tekstur [4]. Pada penelitian ini, digunakan *K-Nearest Neighbor* dengan rata-rata akurasi tertinggi yang didapatkan sebesar 82,3%.

Berdasarkan uraian tersebut, menarik untuk dilakukan pengembangan terhadap prototipe yang telah ada. Pertama, objek yang diteliti adalah telur ayam ras *Lohmaan brown*. Untuk memperbaiki pemilihan sampel telur yang kurang spesifik pada penelitian sebelumnya, sampel telur yang digunakan pada penelitian ini berasal dari PT Johnson's Farm. Perusahaan ini bergerak di bidang penyortiran telur dan merupakan salah satu penyuplai telur ayam ras *Lohmaan brown* terbesar di Bandung. Selanjutnya, berdasarkan studi kasus di PT Johnson's Farm, telur dipisahkan menggunakan standar performa *Lohmaan brown* dan dilakukan secara manual berdasarkan subjektivitas manusia. Oleh karena itu, pada penelitian ini, akan dibuat prototipe alat penyortir telur berdasarkan warna menggunakan sensor TCS3200 dan ukuran menggunakan sensor HC-SR04. Penelitian ini diharapkan dapat mengatasi kelemahan pada kegiatan penyortiran di PT Johnson's Farm sekaligus menjadi inovasi baru dari penelitian sebelumnya.

2 Metode

2.1 Spesifikasi Prototipe dan Objek Ukur

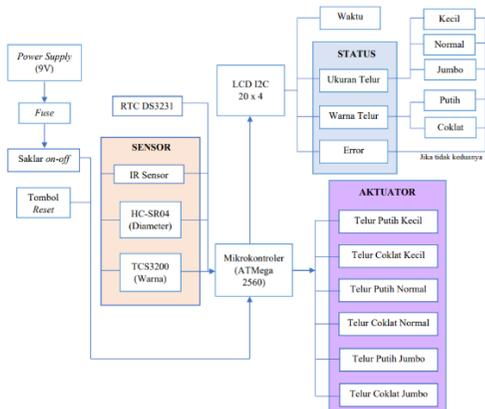
Objek ukur yang digunakan yakni jenis telur ayam ras Lohmann brown yang diasumsikan dalam kondisi bersih dari kotoran, tidak retak, dan tidak berbintik. Objek ukur tersebut diletakkan secara manual pada tatakan setebal 1 mm di atas konveyor. Digunakan tiga buah tatakan dengan jarak yang sama dan diasumsikan rata dengan karet konveyor. Konveyor terus berjalan kontinyu sesuai kecepatan yang telah diatur di awal. Sementara itu, di atas konveyor, diletakkan sensor TCS3200 dan HC-SR04 dengan ketinggian yang tetap. Kedua sensor tersebut berturut-turut digunakan untuk mengukur warna dan diameter objek ukur. Warna objek ukur dikategorikan ke dalam dua kelompok, yakni telur coklat dan putih, sedangkan diameter objek ukur dikategorikan ke dalam 3 ukuran, yakni telur kecil, normal, dan jumbo. Diameter objek ukur yang dihitung hanya diameter minor (Gambar 1).



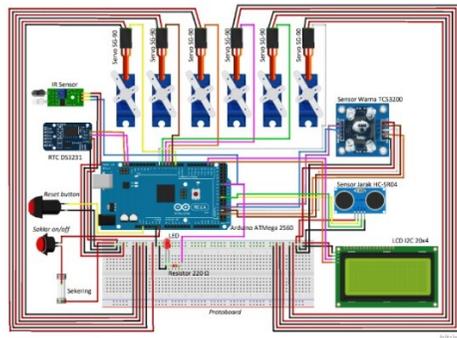
Gambar 1 posisi diameter telur yang diukur
Sumber: Sugiarto, 2017

2.2 Rancang Bangun Prototipe

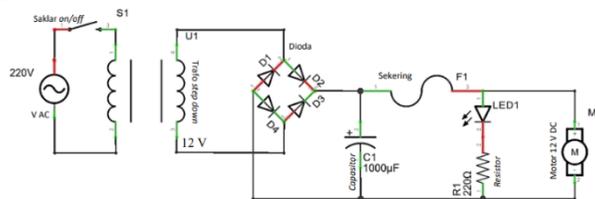
Prototipe dirancang dan dibangun berdasarkan kasus yang ditemui di PT Johnson's Farm, Arjasari - Banjaran. Adapun sistem kerja prototipe ini mengikuti diagram blok pada Gambar 2 dan komponen penyusunnya berupa perangkat keras yang dirangkai seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3. Selain itu, sistem konveyor terpisah mengikuti skematik pada Gambar 4.



Gambar 2 diagram blok sistem penyortir



Gambar 3 skematik rangkaian penyortir



Gambar 4 skematik rangkaian konveyor

Berdasarkan skematik tersebut, untuk mempermudah pengukuran, sensor HC-SR04 dan sensor TCS3200 diletakkan pada ketinggian dan posisi yang tetap yakni berturut-turut 15 cm dan 6,4 cm. Titik ini diambil dari hasil pengujian karakteristik masing-masing sensor. Sensor HC-SR04 diprogram untuk dapat mendeteksi 35 titik diameter saat sebuah telur berjalan di atas konveyor. Kemudian 1 titik terbesar akan dinyatakan sebagai diameter minor telur. Sensor TCS3200 diletakkan di dalam sebuah kotak supaya intensitas cahaya yang ditangkap oleh fotodiode tidak dipengaruhi oleh cahaya sekitar. Sensor diprogram untuk dapat mendeteksi 10 nilai RGB saat sebuah telur berjalan di atas konveyor. Selanjutnya 1 nilai RGB terendah dinyatakan sebagai nilai kadar coklat dari telur tersebut.

2.3 Teknik Pengujian

Rangkaian pengujian prototipe diawali dengan pengujian karakteristik data kedua sensor. Sensor warna TS3200 diuji untuk mendeteksi kertas dengan warna dasar (merah, biru, dan hijau) dalam 3 kondisi yakni kondisi gelap, cahaya ruang, dan cahaya matahari. Jarak sensor terhadap kertas uji yakni 0 – 5 cm. Selain itu, citra dari setiap kertas diambil dengan menggunakan kamera HP Asus Zenfone 2 Laser dan pengukuran nilai RGB dilakukan dengan menggunakan software Matlab. Selanjutnya, sensor HC-SR04 diuji dengan menggunakan komparator sidang pada rentang 2 – 15 cm. Kemudian diameter minor sebagai objek ukur akan diukur dengan menggunakan jangka sorong. Setelah hasil pengujian karakteristik didapatkan, seluruh rangkaian prototipe dikonfigurasi sesuai Gambar 3 dan Gambar 4. Selanjutnya dilakukan pengambilan data yang hasilnya akan dibandingkan dengan karakteristik data setiap sensor.

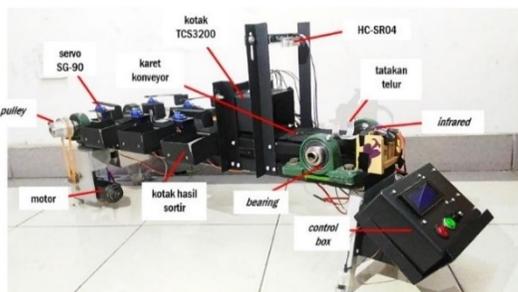
3 Hasil

Hasil dan pembahasan rancang bangun prototipe dibahas dalam tiga tahapan. Tahap pertama yakni sisi *hardware*, tahap kedua sisi *software*, dan pada tahap terakhir yakni sisi hasil pengukuran.

3.1 Prototipe dan Objek Ukur dari Sisi *Hardware*

Hasil perancangan prototipe dari sisi *hardware* dapat dilihat pada Gambar 5. Berdasarkan gambar tersebut, prototipe dibagi ke dalam dua sistem utama yakni sistem konveyor dan sistem sensor penyortir. Sistem konveyor terdiri dari bagian motor penggerak, sabuk konveyor, dan kotak hasil sortir. Bagian ini memiliki sistem kontrol yang terpisah dengan sistem sensor penyortir. Hal ini dikarenakan saat konveyor dinyalakan, sabuk konveyor akan berjalan terus menerus dengan kecepatan yang telah ditetapkan di awal. Pada bagian kotak pengontrol sistem konveyor dirangkai sedemikian rupa sesuai skematik Gambar 4. Adapun komponen-komponen penyusunnya di antara lain trafo *step down*, dioda, sekering, kapasitor, resistor, lampu indikator, dan motor penggerak.

Pada sistem sensor penyortir terdiri dari 2 sensor utama yakni sensor jarak HC-SR04 sebagai pendeteksi ukuran dan sensor warna TCS3200 sebagai pendeteksi warna kerabang telur. Selain itu terdapat 3 komponen pendukung yakni sensor infra merah sebagai pendeteksi keberadaan telur di atas konveyor, RTC DS3231 sebagai penampil waktu ketika pengambilan data, dan motor servo SG-90 sebagai pemilah hasil sortir. Komponen-komponen tersebut dirangkai sedemikian rupa sesuai skematik Gambar 3. Seluruh komponen tersebut dikemas dalam sebuah kotak pengontrol dan dihubungkan dengan tombol *on/off* dan *reset*.

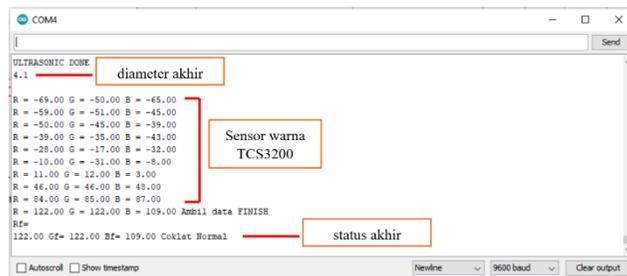


Gambar 5 prototipe alat penyortir

3.2 Hasil Prototipe dari Sisi *Software*

Pada sisi *software*, terbagi ke dalam 2 kategori yakni sistem sensor penyortir dan sistem konveyor. Pada sistem sensor penyortir, mikrokontroler yang digunakan yakni Arduino ATmega 2560 yang diprogram dengan menggunakan *software* Arduino IDE versi 1.8.42 agar prototipe tersebut dapat dioperasikan secara otomatis. Seluruh komponen yang dihubungkan dengan kotak pengontrol sistem sensor penyortir dipengaruhi oleh hasil pemrograman. Apabila tombol *on/off* pada kotak pengontrol tersebut diakifikan maka mikrokontroler memerintahkan sensor infra merah untuk terus menembak objek di depannya agar dapat mendeteksi ada tidaknya telur yang lewat di atas konveyor. Jika terdapat telur yang melintas, maka lampu indikator menyala dan mengaktifkan sensor jarak HC-SR04. Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip jarak tempuh saat tidak ada telur

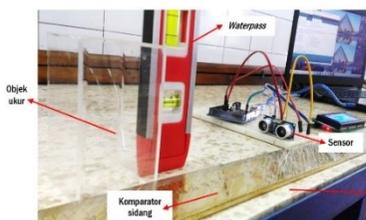
yang telah diatur dengan ketinggian tetap (15 cm) dikurangkan dengan jarak tempuh saat telur melintas. Kemudian sensor mulai melakukan pengukuran diameter minor telur sebanyak 35 titik pada kondisi telur terus berjalan dengan kecepatan konstan. Selanjutnya mikrokontroler memilih 1 nilai tertinggi. *Output* ini menjadi *input* untuk mengaktifkan sensor warna TCS3200 dalam mengukur nilai RGB telur tersebut. TCS3200 mengambil 10 sampel nilai RGB dalam 1 butir telur dan nilai RGB terendah menjadi penentu kategori warna telur tersebut. Proses diakhiri dengan pemilahan telur yang dilakukan oleh motor servo SG-90. Pada prototipe ini menggunakan 6 buah motor servo SG-90 untuk memisahkan tiap kategori telur. Keenam kategori tersebut yakni telur coklat jumbo, telur putih jumbo, telur coklat normal, telur putih normal, telur coklat kecil, dan telur putih kecil. Hasil kategori telur beserta besar diameter minor dan jenis warna kemudian ditampilkan pada *display* yang disajikan pada kotak pengontrol. Hasil pemilahan telur yang disortir juga dapat dilihat pada *serial monitor* seperti pada Gambar 6.



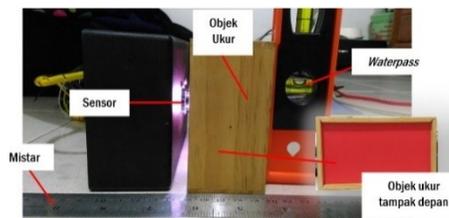
Gambar 6 tampilan serial monitor

3.3 Hasil Prototipe dari Sisi Karakteristik Pengukuran

Sebelum digunakan untuk mengukur karakteristik telur, prototipe yang telah dibuat diuji karakteristik pengukurannya terlebih dahulu. Karakteristik yang diuji adalah akurasi pengukuran jarak HC-SR04, penentuan jarak optimum pengukuran TCS3200, dan pengaruh cahaya sekitar terhadap pembacaan nilai RGB TCS3200. Pengujian karakteristik sensor HC-SR04 dapat dilihat pada Gambar 7. Sensor tersebut dipasang horizontal dan ditetapkan titik nolnya. Uji karakteristik ini dibandingkan dengan komparator sidang 100 cm dengan ketelitian 1 mm. Pada pengujian ini dilakukan pada rentang 2 cm hingga 15 cm dengan selisih antar titik sebesar 0,3 cm. Sedangkan pada sensor TCS3200 diuji dengan menggunakan sampel kertas warna dasar yang diletakkan di depan sensor pada rentang 0 – 4 cm sesuai Gambar 8.



Gambar 7 pengujian karakteristik HC-SR04



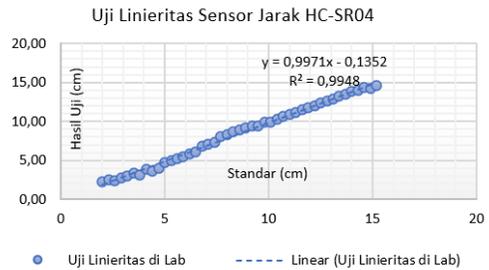
Gambar 8 pengujian karakteristik TCS3200

Data yang disajikan pada penelitian ini merupakan data sekunder, representasi penelitian proyek akhir Lailatulfath dan Rahmah pada tahun 2020 yang berjudul Prototipe Alat Penyortir Telur Berdasarkan Warna dan Ukuran. Berdasarkan Tabel 1,

dapat diketahui bahwa pembacaan sensor jarak HC-SR04 kurang stabil pada rentang pengukuran kurang dari 6,5 cm. Pada grafik pada Gambar 9 dapat dilihat bahwa hasil pengukuran sensor memiliki persamaan regresi linier sebesar $y = 0,9971x - 0,1352$ dan koefisien determinasi sebesar $R^2 = 0,9948$. Maka penggunaan sensor jarak HC-SR04 ditempatkan pada ketinggian yang tetap yakni 15 cm. Titik ini dipilih karena cukup stabil untuk mendeteksi diameter minor sampel telur terkecil yakni 3,59 cm dan diameter minor sampel telur terbesar yang didapatkan yakni 5,11 cm.

Tabel 1 Data karakteristik sensor HC-SR04

Standar (cm)	Rata-rata Hasil Pengujian (cm)	Galat (cm)	Galat (%)
2,0	2,3	0,3	14,6
3,8	3,1	0,7	18,4
5,6	5,3	0,3	5,9
7,7	8,0	0,3	4,1
9,5	9,5	0,0	0,3
11,3	11,2	0,1	1,0
13,1	12,9	0,1	1,3
14,9	14,3	0,7	4,4
Maksimum		0,7	18,4
Minimum		0,0	0,3



Gambar 9 linieritas sensor HC-SR04

Pada pengujian jarak optimum sensor TCS3200 dilakukan dengan membandingkan sampel kertas berwarna merah, hijau, biru, dan 4 gradasi warna coklat terhadap pengolahan citra oleh software Matlab sesuai pada Tabel 2. Sebagai contoh, hasil pengujian sampel kertas berwarna merah dapat dilihat pada Tabel 3. Pengukuran dilakukan pada titik 0 – 4 cm dengan perubahan titik sejauh 0,1 cm. Dapat dilihat bahwa kesalahan pembacaan akan semakin tinggi saat objek semakin jauh dari sensor. Oleh karena itu, ketinggian sensor warna diatur sedekat mungkin dengan objek yakni pada 6,4 cm. Titik ini dipilih karena cukup stabil untuk mendeteksi warna kerabang telur yang memiliki diameter minor sampel telur terkecil yakni 3,59 cm dan diameter minor sampel telur terbesar yang didapatkan yakni 5,11 cm.

Tabel 2 Pengukuran citra kertas berdasarkan Matlab

Warna	Software Matlab		
	Red	Green	Blue
merah	203.9	18.9	13.1
hijau	100.5	151.1	15.1
biru	48.1	86.0	173.4
hitam	33.6	30.6	28.5
putih	164.8	165.4	172.0
coklat 1	173.2	113.1	44.4
coklat 2	183.3	139.1	74.2
coklat 3	186.8	149.7	92.2
coklat 4	174.1	158.4	128.0

Tabel 3 Hasil pengukuran nilai RGB pada kertas merah

Jarak (mm)	Rata-rata total			Galat (%)		
	R	G	B	R	G	B
0	255	199	206	25.1	951.9	1467.0
5	244	187	194	19.7	888.4	1375.7
10	221	140	145	8.3	641.0	1001.1
15	193	100	105	5.2	427.9	700.6
20	167	70	73	18.3	269.2	457.2
25	143	50	52	29.9	164.6	295.6
30	121	32	33	40.9	68.0	151.0
35	100	16	21	51.1	16.6	55.9
40	87	14	19	57.6	28.6	40.7
45	73	7	14	64.2	63.0	2.7

Selanjutnya sensor TCS3200 dilakukan pengujian terhadap pengaruh cahaya di sekitar. Pengujian ini dilakukan pada tiga kondisi yakni kondisi gelap, kondisi cahaya ruang dan kondisi di bawah terik matahari. Penentuan ketiga lokasi tersebut dilakukan dengan menggunakan luxmeter. Berdasarkan data pada Tabel 4 kondisi paling ideal yakni pada saat gelap atau tidak terpengaruh oleh cahaya dari luar.

Tabel 4 Karakteristik TCS3200 terhadap cahaya

Jarak (mm)	Lumen	Gelap			Lumen	Ruang			Lumen	Matahari		
		R	G	B		R	G	B		R	G	B
10	0	182	145	101	30	193	153	111	956	207	171	131
20	0	93	40	0	30	105	54	0	1222	175	124	84
30	0	3	0	0	30	20	0	0	1300	173	116	79
40	0	0	0	0	30	0	0	0	1251	171	120	85

3.4 Hasil Prototipe dari Sisi Pengukuran Objek Ukur

Pada pengujian ini digunakan 21 sampel telur, yang terdiri dari 13 sampel telur berasal dari PT Johnson's Farm dan 8 sampel telur berasal dari sampel acak yang ditemui di pasar modern. Seluruh sampel yang dipakai mencakup seluruh kategori telur. Keseluruhan sampel telur tersebut diukur dengan pengulangan sebanyak 5 kali. Setiap sampel telur yang diperoleh dari PT Johnson's Farm diberi nomor telur. Adapun inisial J digunakan untuk sampel telur yang didapatkan secara acak di pasar, sehingga dinilai sebagai hasil *judgement* dan tidak dianggap sebagai standar. Hasil yang didapatkan dapat dilihat pada Tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5 Hasil pengujian

No. Telur	Personal Judgement		Rata-rata Hasil Pengujian					Hasil Sortir
	Ukuran	Warna	Diameter (cm)		Warna			
			HC-SR04	Standar	TCS3200			
					R	G	B	
4	Jumbo	Coklat	5,1	4,97	208	180	155	Sesuai
3	Jumbo	Coklat	5,3	4,98	189	149	118	Sesuai
2	Jumbo	Putih	5,1	5,11	228	220	192	Sesuai
5	Jumbo	Putih	5,6	4,95	228	215	192	Sesuai
9	Normal	Coklat	4,6	4,44	161	118	70	Sesuai
10	Normal	Coklat	4,6	4,51	172	131	97	Sesuai
7	Normal	Putih	4,1	4,58	210	208	249	Sesuai
12	Normal	Putih	4,5	4,29	198	189	231	Sesuai
16	Kecil	Coklat	3,9	3,90	98	49	40	Sesuai
15	Kecil	Putih	3,9	4,02	151	104	76	Tidak sesuai
17	Kecil	Putih	3,0	3,72	28	3	0	Sesuai
18	Kecil	Putih	3,2	3,86	64	84	7	Tidak sesuai
19	Kecil	Coklat	3,9	3,95	116	95	48	Tidak sesuai
J1	Normal	Coklat	4,7	-	186	135	109	Sesuai
J2	Normal	Coklat	4,1	-	174	158	77	Sesuai
J3	Normal	Coklat	4,1	-	140	92	54	Sesuai
J4	Normal	Putih	3,9	-	140	112	85	Tidak sesuai
J5	Normal	Putih	4,2	-	136	113	91	Tidak sesuai
J6	Normal	Coklat	4,5	-	175	129	97	Sesuai
J7	Normal	Coklat	4,6	-	127	58	44	Sesuai
J8	Normal	Coklat	4,5	-	161	85	58	Sesuai

Masing-masing telur yang diuji pada prototipe ini dipisahkan berdasarkan klasifikasi pada Tabel 6. Telur akan disortir berdasarkan ukuran terlebih dahulu, jika telah memenuhi salah satu kriteria rentang diameter yang telah ditentukan, maka dilanjutkan pada syarat nilai RGB yang harus dipenuhi. Rentang nilai RGB tidak dipisahkan berdasarkan kelompok warna saja, tetapi rentang nilai RGB ditentukan berdasarkan warna telur coklat dan warna telur putih berdasarkan besar diameter minor telur karena hal ini memengaruhi jarak keterbacaan sensor warna TCS3200 terhadap objek yang diukur. Pada kolom hasil sortir pada Tabel 5, telur dinyatakan sesuai apabila hasil pembacaan diameter minor oleh sensor HC-SR04 dan warna kerabang oleh TCS3200 sesuai dengan klasifikasi pada Tabel 6.

Tabel 6 Rentang klasifikasi telur

Ukuran	Syarat	Status
Diameter ≤ 4.04	nilai $R \geq 80$, $40 \leq \text{nilai } G \leq 90$, dan nilai $B \leq 83$	Coklat Kecil
Diameter ≤ 4.04	$66 \leq \text{nilai } R \leq 163$, nilai $G \leq 183$, dan nilai $B \leq 120$	Putih Kecil
Diameter ≤ 4.60	$110 \leq \text{nilai } R \leq 210$, $50 \leq \text{nilai } G \leq 180$, dan $30 \leq \text{nilai } B \leq 185$	Coklat Normal
Diameter ≤ 4.60	$185 \leq \text{nilai } R \leq 255$, dan nilai $G \geq 165$, dan nilai $B \geq 150$	Putih Normal
Diameter ≥ 4.60	$100 \leq \text{nilai } R \leq 215$ dan $100 \leq \text{nilai } G \leq 195$	Coklat Jumbo
Diameter ≥ 4.60	nilai $R > 215$ dan nilai $G \geq 196$	Putih Jumbo

Berdasarkan ketentuan pada Tabel 6, 76 dari 105 data, hasil sortir dinyatakan sesuai, sedangkan 29 data dinyatakan tidak sesuai. Hal ini dikarenakan sistem penyortir telur harus membaca diameter minor telur dan nilai RGB yang dihasilkan dengan benar. Apabila salah satu parameter mengakuisisi data dengan salah, maka akan mempengaruhi hasil pengklasifikasian telur yang diinginkan. Pada Tabel 5, galat yang ditimbulkan oleh kesalahan pengukuran sensor HC-SR04 akan mempengaruhi galat pembacaan pada pengukuran nilai RGB oleh sensor TCS3200.

Tabel 7 Persentase keberhasilan prototipe

Keterangan	Sensor Jarak HC-SR04	Sensor Warna TCS3200			Keberhasilan Alat
		Salah Deteksi Warna	Tidak Masuk Rentang	Total Respon TCS3200	
Salah	2	16	13	29	29
Benar	103	89	92	76	76
Galat	1,9 %	15,2 %	12,4 %	27,6 %	27,6 %
Keberhasilan	98,1 %	84,8 %	87,6 %	72,4 %	72,4 %

Berdasarkan data yang disajikan pada Tabel 7, total keberhasilan sensor jarak HC-SR04 dalam mendeteksi diameter minor telur yakni 98,1%. Kemudian sensor warna memiliki tingkat keberhasilan dalam mendeteksi warna kerabang telur sebesar 72,4% dengan rincian 15,2% salah mendeteksi warna telur dan 12,4% nilai yang didapatkan tidak masuk rentang yang telah ditentukan pada Tabel 6. Selanjutnya keberhasilan sistem dalam melakukan proses penyortiran telur berdasarkan warna dan ukuran adalah sebesar 72,4%. Besar diameter telur yang berbeda-beda dan posisi telur yang terus bergerak kontinyu mempengaruhi daya baca sensor warna TCS3200. Selain itu, banyaknya sinyal yang dikirimkan oleh sensor HC-SR04 dalam mendeteksi diameter minor telur terbilang lebih banyak yakni 35 titik jika dibandingkan dengan sinyal yang dikirimkan oleh sensor TCS3200 hanya 10 titik saja. Hal ini terjadi dipengaruhi oleh panjang lintasan yang cukup pendek. Disamping itu, meskipun telur memiliki permukaan yang halus, tetapi bentuk penampang telur adalah oval. Hal ini akan menimbulkan kesalahan acak sistem yang dipengaruhi oleh arah pantul sinyal yang diterima sensor. Hal ini menyebabkan mikrokontroler mengalami kegagalan sistem dalam mengklasifikasikan kategori telur yang diinginkan.

4 Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, prototipe alat penyortir telur berdasarkan warna dan ukuran telah berhasil mendeteksi warna kerabang telur dan diameter minor telur dengan baik. Untuk pengujian diameter telur, sensor HC-SR04 dapat mendeteksi diameter minor telur dengan keberhasilan sebesar 98,1%, sedangkan untuk pengujian warna telur, sensor TCS3200 dapat mendeteksi warna telur dengan keberhasilan sebesar 72,4%. Selain itu, keberhasilan keenam motor servo SG-90 dalam memilah hasil sortir sebesar 100%. Oleh karena itu, secara keseluruhan keberhasilan prototipe mencapai 72,4%.

Dari kesimpulan yang diperoleh, saran untuk pengembangan prototipe ini lebih lanjut dengan dapat menggunakan lebih dari 1 sensor pendeteksi diameter telur agar dapat diukur diameter mayor sekaligus. Selain itu, dapat menggunakan sebuah aktuator untuk mengatur sensor TCS3200 dapat naik/turun dalam mendeteksi nilai RGB telur agar didapatkan hasil yang lebih stabil. Selain itu, pengambilan data pada sensor TCS3200 seharusnya menggunakan nilai rata-rata RGB yang didapatkan bukan menggunakan nilai RGB terendah. Kemudian mengkaji ulang pengaruh 4 LED sumber cahaya pada sensor TCS3200 saat mengenai objek telur.

5 Referensi

- [1] Najemah, N. (2019). Rancang Bangun Sistem Penyortir Kualitas Telur Ayam Ras Berbasis Mikrokontroler. Makassar: Universitas Islam Negeri Alauiddin.
- [2] Sidiq, S. A., & Irmawati, D. (2016). Pengolahan Citra untuk Identifikasi Telur Berdasarkan Ukuran. *Jurnal Electronics, Informatics, and Vocantional Education (ELINVO)*, Volume 1, Nomor 3.
- [3] Sandra, Prayogi, I. Y., Darmayanti, R., & Djoyowasito, G. (2020). Design to Prediction Tools for Banana Marturity Based on Image Processing. *International Conference on Green Agro-industry and Bioeconomy*, 1-7.
- [4] Sholihin, M., & Rohman, M. G. (2018). Klasifikasi Kualitas Mutu Telur Ayam Ras Berdasarkan Fitur Warna dan Tekstur. *Jurnal Teknika*, 10(2), 1056-1059

Prototipe Alat Bantu Pengukur Diameter Cincin Referensi Tangki Ukur Tetap Silinder Tegak

^{1,1}Vera Firmansyah*), ¹ Dwi Putriyati Ningsih, ¹Yusup Maulana & ²Naila Zahra

¹Akademi Metrologi dan Instrumentasi

²Kelompok Keahlian Instrumentasi dan Kontrol, Institut Teknologi Bandung

*verafirmansyah@akmet.ac.id**)

Abstrak

Tangki Ukur Tetap Silinder Tegak (TUTSIT) selain dapat berfungsi sebagai alat penyimpanan dapat juga berfungsi sebagai alat ukur. Untuk menjaga akurasi hasil pengukuran, setiap alat ukur perlu dilakukan pengujian/kalibrasi. Terdapat beberapa metode untuk menguji TUTSIT, salah satunya metode optik dengan teodolit yang memiliki kelebihan yaitu waktu pengujian singkat dan keperluan jumlah personil yang sedikit. Selain kelebihan tersebut, teodolit tetap memiliki kekurangan yaitu harga yang mahal, menggunakan personil khusus, dan pengolahan data masih manual. Pengujian TUTSIT memanfaatkan fungsi teodolit untuk pengukuran sudut dan pengukuran jarak. Pada makalah ini membuat prototipe yang dapat mengukur diameter cincin referensi sebagai langkah awal pengujian TUTSIT. Diameter referensi ini sebagai acuan untuk pengukuran diameter pada cincin di atasnya. Proses pengujian prototipe yaitu dengan membandingkan terhadap teodolit pada posisi yang sama. Hasil pengukuran diameter cincin referensi oleh prototipe lebih besar 15,8 mm dibandingkan dengan teodolit. Adapun nilai-nilai karakteristik prototipe untuk akurasi sebesar 99,2%, presisi sebesar 99,9% dan kesalahan sebesar 0,8%. Prototipe ini memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai alternatif ekonomis instrumen pengujian TUTSIT.

Kata Kunci: metrologi, pengujian, TUTSIT, potensio rotary angle, laser rangefinder

1 Pendahuluan

Tangki Ukur Tetap Silinder Tegak (TUTSIT) adalah tangki ukur yang mempunyai penampang lintang berbentuk lingkaran, berdiri tegak di atas pondasi kokoh dan tetap[1]. TUTSIT dapat berfungsi sebagai alat penyimpan juga dapat berfungsi sebagai alat ukur[2]. Ketika TUTSIT berfungsi sebagai alat ukur, perlu melakukan kalibrasi terhadap alat ukur tersebut untuk menjamin hasil pengukurannya. Keputusan Direktur Jenderal Perdagangan, Kementerian Perdagangan, R.I mengatur jangka waktu tera dan tera ulang TUTSIT untuk bahan bakar minyak[3]. Tera dan tera ulang adalah pengujian terhadap alat ukur yang sifatnya wajib dan memiliki batas kesalahan yang diijinkan (BKD) untuk setiap alat ukurnya sesuai peraturan yang berlaku, sedangkan kalibrasi adalah pengujian terhadap alat ukur yang sifatnya tidak wajib dan tidak memiliki BKD. Hasil pengujian TUTSIT merupakan tabel volume tangki terhadap ketinggian yang digunakan sebagai referensi/acuan alat ukur lain, seperti *Automatic Tank Gauging* (ATG)[4].

Pada umumnya kalibrasi TUTSIT menggunakan metode volumetrik (kapasitas kurang dari 50 kl) dan metode geometrik (kapasitas lebih dari 50 kl). Untuk metode geometrik terbagi menjadi 2 (dua) bagian, yaitu: metode *strapping* dan metode optik. Metode *strapping* menggunakan standar ban ukur (meteran baja)[5], [6] dan metode optik menggunakan standar teodolit[7]-[10]. Perbedaan utama metode *strapping* dan metode optik adalah

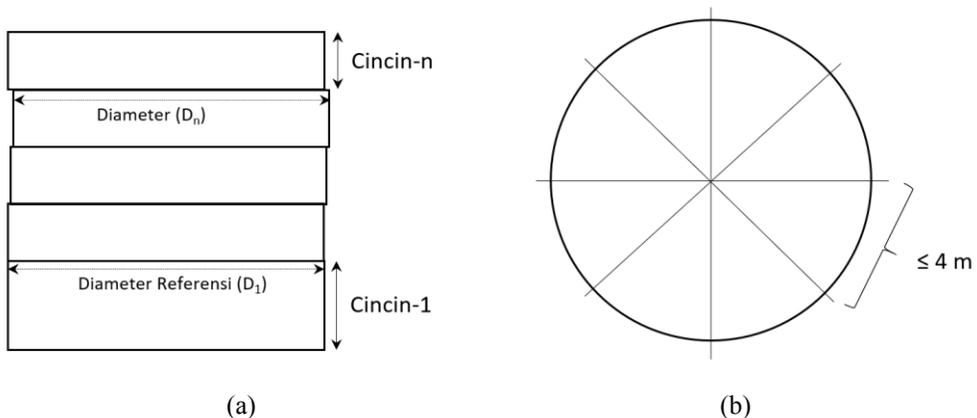
proses pengukuran cincin di atasnya, untuk metode *strapping* menggunakan roda ukur yang terpasang langsung di dinding TUSIT, sedangkan metode optik menggunakan teodolite yang dipasang pada jarak tertentu dari TUSIT. TUSIT dibagi menjadi beberapa bagian untuk setiap ketinggian tertentu yang disebut dengan cincin. Cincin pertama disebut juga sebagai cincin referensi, karena diameter pada cincin pertama digunakan untuk perhitungan diameter cincin di atasnya. Pengukuran diameter cincin referensi dapat menggunakan ban ukur atau teodolit. Untuk mendapatkan hasil pengukuran yang baik jika menggunakan ban ukur, dibutuhkan waktu yang lebih lama dan personil yang lebih banyak, agar tidak terjadi lengkungan pada ban ukur tersebut yang menyebabkan biaya kalibrasi TUSIT menjadi mahal[11]. Sedangkan teodolit, selain memiliki harga yang cukup mahal juga tidak dapat secara langsung mendapatkan hasil pengukuran dalam informasi diameter[12]. Untuk mendapatkannya, masih perlu dilakukan proses perhitungan secara manual.

Untuk menunjang terlaksananya kegiatan tera dan tera ulang Unit Metrologi Legal (UML) daerah alat ukur TUSIT bahan bakar minyak, maka dibuat sebuah prototipe pengukur diameter cincin referensi TUSIT menggunakan laser *rangefinder* dan *rotary angle sensor*. Prototipe ini juga dibandingkan dengan teodolit untuk mengukur obyek TUSIT di Pusat Pengembangan Sumber Daya Kemetrolgian. Prototipe ini dapat secara langsung mendapatkan informasi diameter untuk setiap pengukurannya.

2 Metode

2.1 Pengukuran Diameter TUSIT

Tahap pertama pada pengujian TUSIT yaitu mengukur diameter TUSIT cincin referensi (D_1), yang akan dijadikan acuan untuk mengukur diameter TUSIT di atasnya. TUSIT dibagi menjadi beberapa bagian/cincin seperti pada Gambar 1.a dan setiap cincin dibagi menjadi beberapa seksi seperti pada Gambar 1.b.



Gambar 1. (a) pembagian TUSIT arah vertikal menjadi beberapa cincin. (b) pembagian tiap cincin menjadi beberapa seksi

Untuk mendapatkan hasil pengukuran yang baik metode *strapping*, pada setiap cincin dilakukan pengukuran berulang yang disesuaikan dengan jumlah seksinya. Pada Gambar 2 di bawah ini memperlihatkan ilustrasi pengukuran berulang pada setiap cincin.



Gambar 2. pengukuran berulang pada setiap cincin

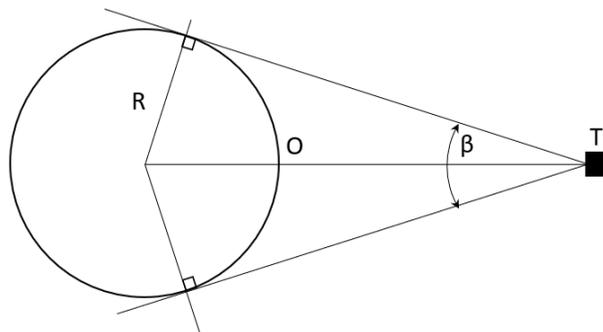
Kondisi TUSIT tampak seperti pada Gambar 1.b, yang memiliki 8 seksi dengan jarak A ke A' adalah A_1 . Pengulangan dilakukan pada setiap seksi sebanyak 3 (tiga) kali, untuk mendapatkan diameternya, selanjutnya dijumlahkan seperti pada persamaan 1 di bawah ini

$$\begin{aligned}
 A &= A_1 + A_2 + \dots + A_8 \\
 B &= B_1 + B_2 + \dots + B_8 \\
 C &= C_1 + C_2 + \dots + C_8
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Maka diameter TUSIT dapat ditentukan dengan persamaan 2 di bawah ini

$$D_1 = \frac{A + B + C}{3}
 \tag{2}$$

dengan ketentuan selisih antara A, B, dan C tidak lebih dari 3 mm [1][5]. Pengukuran diameter dengan metode *strapping* yang menggunakan ban ukur, setiap hasil pengukuran perlu dikoreksi sesuai sertifikatnya. Pada metode optik, proses pengukuran diameter referensi diilustrasikan seperti pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. ilustrasi pengukuran diameter referensi metode optik

T adalah titik teodolit, O adalah titik tengah TUSIT pada cincin-1, R adalah jari-jari referensi, dan β adalah sudut antara titik teodolit dengan kedua sisi tepi TUSIT. Untuk menghitung diameter referensi (D_1) dapat menggunakan persamaan 3 di bawah ini[6].

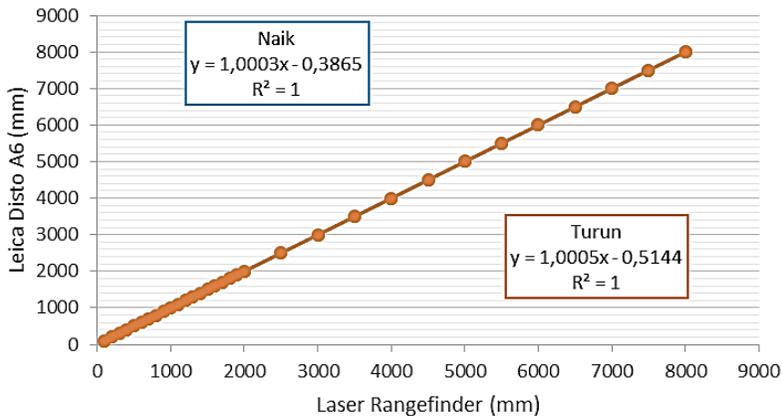
$$D_1 = \frac{2TO \sin\left(\frac{\beta}{2}\right)}{1 - \sin\left(\frac{\beta}{2}\right)}
 \tag{3}$$

Pada makalah ini, prototipe menggunakan metode optik menggunakan laser *rangefinder* untuk mengukur jarak TO dan *potensio rotary angle* untuk mengukur sudut β . Jarak TO ditentukan dengan menentukan sudut β terlebih dahulu untuk mendapatkan titik tengahnya. Selanjutnya dengan bantuan *laser pointer* yang diarahkan pada titik tengah TUSIT untuk mendapatkan jarak TO.

2.2 Sensor Yang Digunakan

2.2.1 Laser Rangefinder

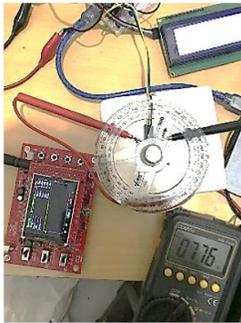
Laser merupakan gelombang elektromagnetik nampak yang berada dalam kisaran panjang gelombang tertentu. Berdasarkan sifat keluarannya, jenis laser dapat dibagi menjadi dua kategori yaitu: laser kontinu dan laser pulsa. Laser *Rangefinder* termasuk laser pulsa yang dapat digunakan untuk mengukur jarak[13]. Spesifikasi laser *rangefinder* yang digunakan memiliki akurasi sebesar 1 mm dan jaraknya pada rentang 0,02 m – 50 m pada suhu 0 – 40 °C. Hasil pengujian linearisasi laser *rangefinder* yang dibandingkan dengan laser *rangefinder* standar merek *Leica Disto A6*, terlihat pada Gambar 4 di bawah ini.



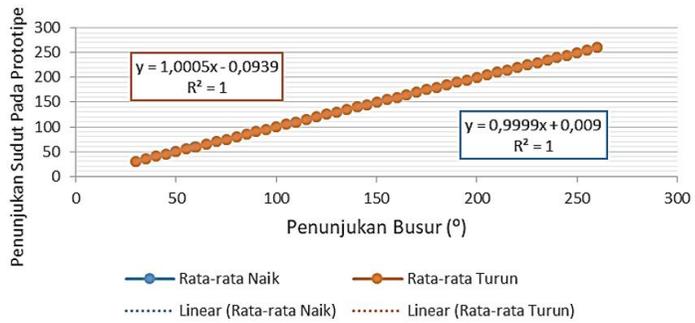
Gambar 4. grafik linearitas laser *rangefinder*

2.2.2 Potensio Rotary Angle

Potensio Rotary Angle merupakan jenis potensiometer linear. Perubahan tahanan potensiometer ini yang akan mempengaruhi nilai tegangan masukan pada *Analog Digital Converter* (ADC). Semakin besar nilai tahanan yang diberikan maka akan semakin besar nilai tegangan input pada ADC. Jika tegangan input pada ADC kecil maka nilai sudutnya akan semakin kecil pula. Perubahan tahanan pada potensiometer akan mengakibatkan perubahan tegangan masukan ADC sesuai dengan perubahan tahanan potensiometer[14]. Adapun *potensio rotary angle* yang digunakan memiliki akurasi sebesar 1°. Hasil pengujian linearitas *potensio rotary angle* dengan busur terlihat pada Gambar 5.



(a)



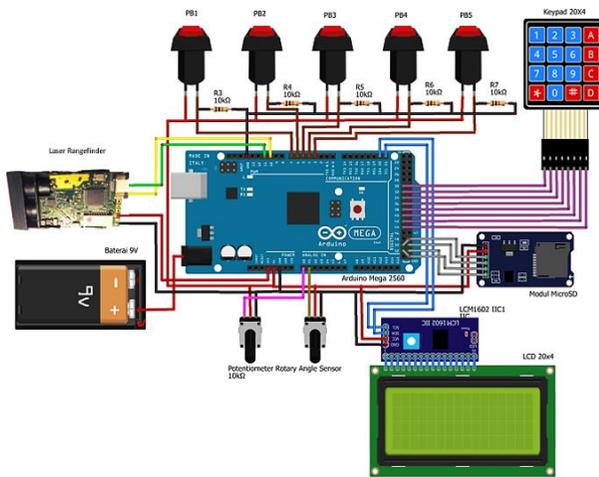
(b)

Gambar 5. (a) pengujian karakteristik menggunakan multimeter dan osiloskop. (b) grafik linearitas potensio *rotary angle*

Pada Gambar 5.b terlihat bahwa potensio *rotary angle* memiliki hasil yang baik pada rentang $30^{\circ} - 270^{\circ}$. Mengingat penggunaannya untuk mengukur sudut kedua sisi TUSIT (β), maka sensor ini masuk dalam rentang pengukuran.

3 Rancang Bangun Prototipe

Pada rancang bangun protipe seperti pada Gambar 6 di bawah ini, beberapa komponen yang digunakan adalah: Arduino Mega 2560, Laser *Rangefinder*, *Potensio Rotary Angle*, *LCD*, *MicroSD*, *Keypad* dan *Push Button*.



(a)



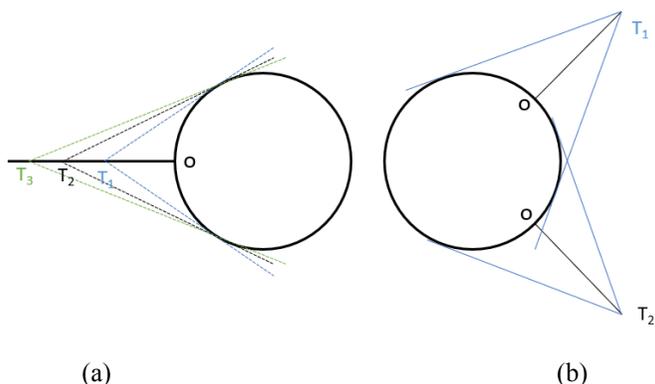
(b)

Gambar 6. (a) rancang bangun prototipe (b) prototipe

Selain komponen utama berupa sensor jarak dan sensor sudut, ada beberapa komponen tambahan, yaitu: *push button* berfungsi sebagai pengambil data, *keypad* berfungsi memasukkan data tebal pelat untuk mendapatkan nilai diameter dalam karena hasil pengukuran berupa diameter luar, *MicroSD* berfungsi menyimpan hasil akhir (diameter) dan *LCD* berfungsi menampilkan (diameter, sudut dan jarak secara *realtime*).

4 Hasil

Pengujian prototipe dilakukan dengan cara membandingkan dengan teodolit pada obyek yang sama, yaitu TUSIT yang ada di Pusat Pengembangan Sumber Daya Kemetrolagian (PPSDK) Kementerian Perdagangan. TUSIT ini memiliki kapasitas 78,494 liter, koefisien muai bahan dinding tangki $1,12 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ dan diameter cincin referensi (D_1) sebesar 12,720 mm pada suhu 28°C yang tertera pada sertifikat. Pengujian dilakukan dengan 2 (dua) cara, cara pertama yaitu posisi pada seksi yang sama dan jarak prototipe/teodolit (TO) ke dinding TUSIT yang berbeda (Gambar 7.a). cara kedua yaitu posisi dengan jarak TO yang sama tetapi pada seksi yang berbeda (Gambar 7.b). Selain itu juga, untuk setiap pengambilan data prototipe pada cincin referensi dilakukan pengukuran berulang dengan jarak 30 cm di atas dan di bawah cincin referensi[1].



Gambar 7. (a) variasi jarak TO pada seksi yang sama. (b) variasi posisi seksi dengan jarak TO yang sama

Pada Tabel 1 diperlihatkan hasil pengukuran prototipe yang dibandingkan dengan hasil pengukuran teodolit sesuai dengan ilustrasi Gambar 6.a. Prototipe memperlihatkan hasil yang stabil di tiga posisi tersebut dengan rata-rata koreksi sebesar 15,7 mm lebih besar terhadap teodolit.

Tabel 1 data pengukuran prototipe dengan ilustrasi gambar 6.a

Posisi	Teodolit (mm)	Prototipe (mm)				Koreksi (mm)
		Bawah	Tengah	Atas	Rerata	
T ₁	2027,7	2007,9	2043,3	2078,5	2043,2	15,5
T ₂		2008,6	2043,3	2079,6	2043,8	16,1
T ₃		2008,0	2043,4	2078,0	2043,1	15,4
Rerata(mm)					2043,4	15,7

Pada Tabel 2 diperlihatkan hasil pengukuran prototipe yang dibandingkan dengan hasil pengukuran teodolit sesuai dengan ilustrasi Gambar 7.b. Prototipe memperlihatkan hasil yang stabil di dua posisi tersebut dengan rata-rata koreksi sebesar 15,9 mm lebih besar terhadap teodolit.

Tabel 2 data pengukuran prototipe dengan ilustrasi gambar 7.b

Posisi	Teodolit (mm)	Prototipe (mm)				Koreksi (mm)
		Bawah	Tengah	Atas	Rerata	
T ₁	2027,7	2008,3	2042,7	2078,8	2043,3	15,6
T ₂		2008,6	2043,3	2079,8	2043,9	16,2
Rerata (mm)					2043,6	15,9

Rata-rata koreksi pada Tabel 1 dan Tabel 2 didapatkan sebesar 15,8 mm. hasil koreksi ini masih masuk dalam BKD sesuai syarat teknis yang berlaku[1]. Pada Tabel 3 memperlihatkan karakteristik prototipe untuk nilai bias, akurasi, presisi, dan kesalahan yang dibandingkan terhadap teodolit.

Tabel 3 karakteristik prototipe

Bias (mm)	Akurasi (%)	Presisi (%)	Kesalahan (%)
-15,8	99,2	99,9	0,8

Dengan karakteristik prototipe seperti pada Tabel 3 di atas, akurasi dan presisi sekitar 99%, tetap masih banyak yang dapat dikembangkan lebih lanjut terutama dari sisi konstruksi prototipe. Konstruksi yang dimaksud adalah potensio *rotary angle* yang dijadikan poros secara langsung untuk mengarahkan sudut kedua sisi TUTSIT, sehingga reliabilitasnya kurang baik. Untuk pengembangan selanjutnya dapat dilakukan dengan mengganti potensio *rotary angle* dengan motor stepper dan gabungan konversi roda gigi, sehingga bisa menghasilkan sudut yang memiliki resolusi lebih kecil. Selain itu, prototipe ini baru dapat mengukur diameter cincin referensi saja, sedangkan pengujian keseluruhan TUTSIT juga harus dapat mengukur diameter pada cincin di atasnya.

5 Kesimpulan

Prototipe alat bantu pengukur diameter cincin referensi tangki ukur tetap silinder tegak berhasil dibuat dengan dua buah sensor, yaitu laser *rangefinder* dan potensio *rotary angle*. Hasil pengukuran diameter cincin referensi oleh prototipe lebih besar 15,8 mm dibandingkan dengan teodolit. Adapun nilai-nilai karakteristik prototipe untuk akurasi sebesar 99,2%, presisi sebesar 99,9% dan kesalahan sebesar 0,8%.

6 Ucapan Terima kasih

Makalah ini merupakan hasil proyek akhir mahasiswa D3 Metrologi dan Instrumentasi Akademi Metrologi dan Instrumentasi Kementerian Perdagangan dengan pola kerjasama pendidikan dengan FTI-ITB pada Program Studi Teknik Fisika.

7 Referensi

- [1] D. M. ST-25, "Syarat Teknis Tangki Ukur Silinder Tegak," in *Keputusan Direktur Jenderal Dalam Negeri Nomor 25/PDN/KEP/3/2010*, Direktur Jenderal Perdagangan Dalam Negeri, Kementerian Perdagangan, 2010.

- [2] OIML R71, "Fixed storage tanks. General requirements," in *OIML Recommendation*, France: OIML, 2008, pp. 1–32.
- [3] D. Permendag-68, *Tera dan Tera Ulang Alat-alat Ukur, Takar, Timbang dan Perlengkapannya*. 2018.
- [4] OIML-R85, "Automatic level gauges for measuring the level of liquid in stationary storage tanks," 2008.
- [5] ISO7507-1, "Petroleum and liquid petroleum products – Calibration of vertical cylindrical tanks – Part 1: Strapping method," 2003.
- [6] API-MPMS-2.2A, *Manual of Petroleum Management Standard Chapter 2-Tank Calibration. Measurement and Calibration of Upright Cylindrical Tanks by the Manual Tank Strapping Method*. 1995.
- [7] ISO7507-2, "Petroleum and liquid petroleum products – Calibration of vertical cylindrical tanks – Part 2: Optical-reference-line method," 2005.
- [8] ISO7507-3, "Petroleum and liquid petroleum products – Calibration of vertical cylindrical tanks – Part 3: Optical-triangulation method," 2006.
- [9] ISO7507-4, "Petroleum and liquid petroleum products – Calibration of vertical cylindrical tanks – Part 4: Internal electro-optical distance-ranging method," 2010.
- [10] ISO7507-5, "Petroleum and liquid petroleum products – Calibration of vertical cylindrical tanks – Part 5: External electro-optical distance-ranging method," 2000.
- [11] O. O. Agboola, O. B. Akinnuli, A. M. Akintunde, and B. Kareem, "Modelling of cost estimates for the geometrical calibration of upright oil storage tanks," *Int. J. Energy Econ. Policy*, vol. 10, no. 1, pp. 464–470, 2020, doi: 10.32479/ijeeep.8271.
- [12] O. O. Agboola, P. P. Ikubanni, R. A. Ibikunle, A. A. Adediran, and B. T. Ogunsemi, "Generation of Calibration Charts for Horizontal Petroleum Storage Tanks Using Microsoft Excel," *Mapan - J. Metrol. Soc. India*, vol. 32, no. 4, pp. 321–327, 2017, doi: 10.1007/s12647-017-0224-6.
- [13] J. A. S. D. Fonseca, A. Baptista, M. J. Martins, and J. P. N. Torres, "Distance Measurement Systems Using Lasers and Their Applications," *Appl. Phys. Res.*, vol. 9, no. 4, p. 33, 2017, doi: 10.5539/apr.v9n4p33.
- [14] R. Ekawita, H. Nawir, Suprijadi, and Khairurrijal, "A simple and inexpensive vertical deformation measurement system for soil compression tests," *AIP Conf. Proc.*, vol. 1589, no. 2014, pp. 104–107, 2014, doi: 10.1063/1.4868760.

Kontrol Penjejak Lintasan dan Simulasi pada Robot Beroda dalam Menghindari Halangan

^{1,2}Aditya Febrianto^{*}, ¹Augie Widyotriatmo

¹Head of Autonomous Systems Laboratory, Faculty of Industrial Technology, ITB, Indonesia

Departemen Instrumentasi dan Kontrol, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung. Jl. Ganesha No. 10 Bandung, 40132

23820008@mahasiswa.itb.ac.id*

Abstrak

Teknologi saat ini telah berkembang pesat di dunia industri, transportasi, dan keamanan, salah satunya adalah *Wheeled Mobile Robot*. *Trajectory tracking* merupakan masalah kontrol yang penting dalam merancang pergerakan *Wheeled Mobile Robot*. Dalam pengontrolan *trajectory* dibutuhkan syarat, yaitu *trajectory* yang sebenarnya dengan *trajectory* yang diinginkan harus sesuai supaya pergerakan *Wheeled Mobile Robot* dapat diterapkan dengan tepat terhadap posisi dan orientasi. Dan dalam suatu lintasan, kadang memiliki suatu *obstacle*, maka diperlukan penghindaran dari *obstacle* tersebut. Pada paper ini bertujuan untuk mensimulasikan pengontrolan *trajectory* kinematik *Wheeled Mobile Robot* supaya dapat menyesuaikan dengan *desired trajectory* serta mensimulasikan pergerakan *Wheeled Mobile Robot* untuk menghindari suatu *obstacle* yang diam. Metode untuk pengontrolan *trajectory tracking* adalah menggunakan *Lyapunov Based Controller* dengan adanya *control law*. Pada *control law*, ditentukan kecepatan linier dan kecepatan sudut yang tepat sehingga menghasilkan bentuk *trajectory* yang sesuai. *Trajectory* yang dihasilkan berbentuk kuadratik sehingga disebut *Quadratic Trajectory Tracking*. Pada hasil simulasi, didapatkan bahwa *trajectory* yang dikontrol dapat beradaptasi dengan *trajectory* yang diinginkan, yaitu dari kesalahan posisi awal pada sumbu x dan y adalah masing-masing 2,5 meter dan 2,5 meter berubah menjadi masing-masing 0,1155 meter dan $-0,0834$ meter saat waktu akhir. Serta *trajectory* yang dikontrol dan berbentuk kuadratik dapat menghindari suatu *obstacle* yang diam.

Kata Kunci: Quadratic Trajectory Tracking; Desired Trajectory; Wheeled Mobile Robot; Static Obstacle; Lyapunov Based Controller

1. Pendahuluan

Autonomous Vehicles adalah salah satu topik yang paling menarik di dunia penelitian pada tiga dekade terakhir [1]. Kemajuan teknologi saat ini dalam kehidupan manusia termasuk industri, transportasi dan keamanan telah berkembang pesat, salah satunya adalah *Wheeled Mobile Robot*. Penggunaan yang luas dari *Wheeled Mobile Robot* dapat diprediksi di masa depan. Pandangan ke depan ini menarik banyak penelitian dan investasi terhadap tantangan *Wheeled Mobile Robot* dalam dua dekade terakhir. Masalah utama di bidang pengontrolan gerak *Wheeled Mobile Robot* dapat diklasifikasikan menjadi tiga kategori utama, yaitu *trajectory tracking*, *path following* dan *point stabilization* di mana merupakan masalah umum yang dapat dipertimbangkan untuk semua jenis *Wheeled Mobile Robot* seperti *driven robots*, *car-like vehicles* dan *tractor-trailers* [2]. Beberapa bandara mencoba untuk menerapkan *Autonomous Wheeled Mobile Robot* sebagai keamanan, pembersihan dan pengiriman. Robot semacam itu memotivasi kebutuhan untuk merancang pengontrolan *trajectory* yang menggerakkan robot ke lintasan yang diinginkan, *trajectory tracking* merupakan masalah kontrol yang penting [3]. *Trajectory tracking* berkaitan dengan desain *control law* yang mengatur kendaraan untuk mencapai dan mengikuti suatu jalur

sesuai dengan parameter waktu referensi [4]. Sedangkan *Quadratic Trajectory Tracking* adalah *trajectory tracking* yang membentuk kurva dalam satu *segment control law*. Penelitian tentang aplikasi kecerdasan buatan dalam kontrol *mobile robot* lebih ditujukan untuk memperoleh kinematik yang canggih, misalnya metode navigasi, pemetaan, *path planning*, *obstacle avoidance* dan *collision* [5]. Robot yang dapat menghindari dari suatu halangan dengan menentukan jalur yang sesuai terhadap lingkungannya disebut dengan *obstacle avoidance* [6].

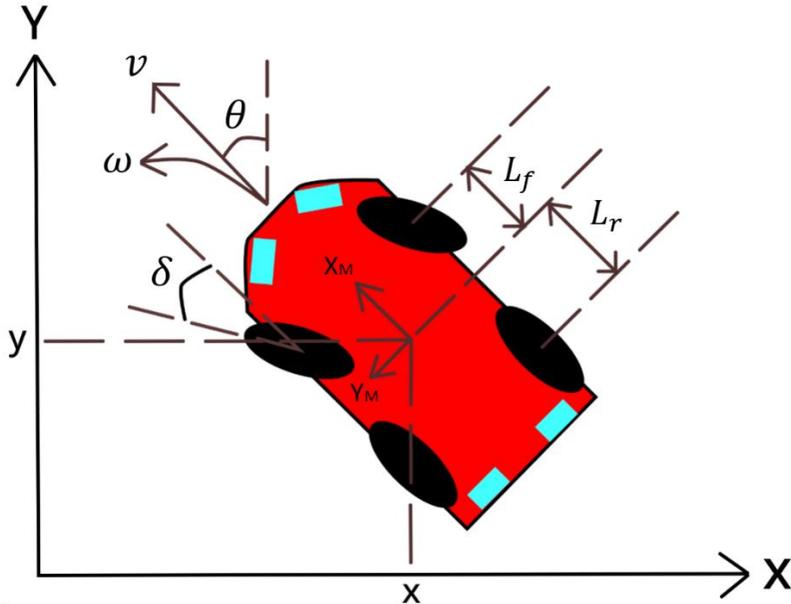
Terdapat banyak metode yang diterapkan dalam pengontrolan baik *trajectory tracking* maupun *path following*. Sebagai contoh, metode *Lyapunov* dan *Sliding Mode Control* digunakan untuk menyesuaikan *trajectory* yang diinginkan dengan *trajectory* yang sebenarnya [7]. *Path Following Control* digunakan untuk mengendalikan *mobile robot* yang salah satu penerapannya adalah untuk mendorong sebuah bola [8]. Algoritma *Iterative Learning Control* (ILC) diterapkan untuk *trajectory tracking* pada *mobile robot* [9]. *Adaptive Dynamic Controller* digunakan pada lingkungan dinamis untuk *mobile robot* [10]. Pengontrol PID [11] dan *Fuzzy Neural Networks* [12] dapat pula diterapkan untuk *path-tracking* pada *mobile robot*. Dan terdapat banyak metode lainnya. Kemudian untuk *obstacle avoidance* sudah dapat dilakukan pada beberapa literatur. Sebagai contoh, *trajectory planning* dan *tracking control* untuk menghindari *obstacle* pada *Wheeled Inverted Pendulum Vehicles* [13]. Dan dapat menggunakan *Potential Functions Method* untuk *obstacle avoidance* [14].

Dalam pengontrolan *trajectory* yang sebenarnya dengan *trajectory* yang diinginkan harus sesuai supaya pergerakan *Wheeled Mobile Robot* dapat diterapkan dengan tepat terhadap posisi dan orientasi sepanjang waktu atau disebut dengan *point stabilization* [15]. Sebuah *control law* nonlinier dibangun dalam analisis stabilitas *Lyapunov* untuk mencapai *global asymptotic stability* pada sistem [16]. Pada pergerakan *Wheeled Mobile Robot*, dibutuhkan *trajectory tracking* dalam bentuk kurva jika *trajectory* tersebut berbelok baik ke kiri maupun ke kanan dikarenakan ketika *Wheeled Mobile Robot* berbelok dengan sudut roda depan δ maka *Wheeled Mobile Robot* akan bergerak membentuk suatu kurva. Kemudian dalam suatu lintasan, kadang memiliki *obstacle* baik yang diam maupun yang bergerak, maka diperlukan penghindaran dari *obstacle* tersebut.

Paper ini mensimulasikan pergerakan *Wheeled Mobile Robot*, dengan *obstacle avoidance*, menggunakan metode *Lyapunov* pada *Quadratic Trajectory Tracking*. Pada kasus *obstacle avoidance* hanya diterapkan untuk *obstacle* yang diam dan sudah diketahui titik posisi *obstacle* tersebut. Pada paper ini bertujuan untuk mensimulasikan pengontrolan *trajectory* kinematik *Wheeled Mobile Robot* supaya dapat menyesuaikan dengan *desired trajectory* di mana berawal dari *error real trajectory* yang besar. Tujuan yang kedua dari paper ini, yaitu mensimulasikan pergerakan *Wheeled Mobile Robot* untuk menghindari suatu *obstacle* yang diam. Kemudian untuk pembagian dalam paper ini, yaitu bagian 2 membahas mengenai formulasi masalah yang mencakup persamaan model kinematik kendaraan. Bagian 3 menjelaskan mengenai metode atau strategi dalam melakukan kontrol tak-linier menggunakan *Lyapunov Based Controller*. Bagian 4 membahas mengenai hasil simulasi menggunakan software MATLAB untuk model kinematik *Wheeled Mobile Robot*. Kemudian kesimpulan dari paper ini terdapat pada bagian 5.

2. Model Kinematik Kendaraan

Pada bagian ini akan dijelaskan model kinematik robot beroda. Salah satu perbedaan utama dalam model kinematik sehubungan dengan model dinamis adalah *null skidding assumption*. Ada asumsi penting lainnya yang merupakan pertimbangan gaya lateral kecil. Kedua asumsi tersebut memiliki penjelasan untuk kecepatan yang rendah, maka dapat dinyatakan bahwa model kinematik merepresentasikan hasil yang dapat diterima saat kendaraan berjalan dengan kecepatan yang rendah. Perbedaan lainnya adalah bahwa model ini tidak mempertimbangkan baik massa maupun kelembaman di antara keduanya [7].



Gambar 1. Representasi model kinematik robot beroda

Pada **Gambar 1**, di mana v dan ω adalah kecepatan linier dan kecepatan sudut CoG (*Center of Gravity* pada mobil), masing-masing. l_f dan l_r adalah jarak dari titik tengah kendaraan sampai roda depan dan jarak dari titik tengah kendaraan sampai roda belakang, masing-masing. X_M dan Y_M adalah sebagai sumbu mobil longitudinal dan lateral, masing-masing. Dan θ dan δ adalah sudut kendaraan berbelok dan sudut kemudi, masing-masing. Jadi, persamaan kinematik untuk posisi kartesian (x, y) dan orientasi (θ) dari kendaraan nyata direpresentasikan sebagai berikut [7]:

$$\begin{cases} \dot{x} = v \cdot \sin(\theta) \\ \dot{y} = v \cdot \cos(\theta) \\ \dot{\theta} = \omega = \frac{v}{l_f} \cdot \tan(\delta) \end{cases} \quad (1)$$

Pada bagian ini akan dikembangkan model *error* antara kendaraan virtual dan nyata.

Persamaan kinematik untuk kendaraan virtual dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$\begin{cases} \dot{x}_d = v_d \cdot \sin(\theta_d) \\ \dot{y}_d = v_d \cdot \cos(\theta_d) \\ \dot{\theta}_d = \omega_d = \frac{v_d}{l_f} \cdot \tan(\delta_d) \end{cases} \quad (2)$$

Di mana x_d , y_d dan θ_d adalah posisi dan orientasi titik jalan selanjutnya yang dihasilkan oleh *trajectory planner*.

Vektor kesalahan telah didefinisikan sebagai perbedaan antara pengukuran nyata dengan nilai yang diinginkan dikalikan dengan matriks rotasi yang ortogonal terhadap bidang jalan:

$$\begin{bmatrix} x_e \\ y_e \\ \theta_e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_d & \sin\theta_d & 0 \\ -\sin\theta_d & \cos\theta_d & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x - x_d \\ y - y_d \\ \theta - \theta_d \end{bmatrix} \quad (3)$$

Turunan dari vektor kesalahan memberikan sistem kesalahan loop terbuka di mana akan digunakan untuk mengembangkan teknik kontrol:

$$\begin{cases} \dot{x}_e = v \cdot \cos(\theta_e) + y_e \cdot \frac{v_d}{l_f} \cdot \tan(\delta_d) - v_d \\ \dot{y}_e = v \cdot \sin(\theta_e) - x_e \cdot \frac{v_d}{l_f} \cdot \tan(\delta_d) \\ \dot{\theta}_e = \frac{v}{l_f} \cdot \tan(\delta) - \frac{v_d}{l_f} \cdot \tan(\delta_d) \end{cases} \quad (4)$$

3. Metode Kontrol Tak-Linier

Pada bagian ini, dijelaskan strategi kontrol tak-linier menggunakan metode *Lyapunov* untuk membuat *trajectory* tertentu dengan bentuk kuadratik. Dengan menggunakan persamaan (3), vektor kesalahan dapat digunakan untuk menurunkan *control law*. Setelah mengevaluasi *time derivative* dari vektor kesalahan (4) dan menerapkan beberapa operasi maka turunan dari vektor kesalahan tercapai sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_e \\ \dot{y}_e \\ \dot{\theta}_e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{e}_1 \\ \dot{e}_2 \\ \dot{e}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{\theta} e_2 + \mu_1 \\ -\dot{\theta} e_1 + v_d \sin(e_3) \\ \mu_2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Di mana $\mu = [\mu_1 \mu_2]^T \in R^2$ adalah *auxiliary input vector* yang diformulasikan sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_d \cos(e_3) \\ \dot{\theta}_d \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} v \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Pada persamaan (6), matriks v dan $\dot{\theta}$ merupakan parameter pada *control law* yang akan dicari.

Berdasarkan (5) dan pengembangan sistem kesalahan loop tertutup yang akan dijelaskan berikutnya, *auxiliary input vector* dapat diekstrak lalu mendapatkan matriks berikut:

$$\begin{bmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -k_1 \cdot x_e \\ -k_2 \cdot v_d \cdot \frac{\sin \theta_e}{\theta_e} \cdot y_e - k_3 \cdot \theta_e \end{bmatrix} \quad (7)$$

Di mana k_1, k_2 dan $k_3 \in R^1$ adalah konstanta dan *positive gains* untuk memastikan *asymptotic stability* pada *closed loop*.

Berdasarkan (6) dan (7), diperoleh *control law* berikut:

$$\begin{bmatrix} v \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_d \cos(\theta_e) \\ \dot{\theta}_d \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_d \cdot \cos \theta_e + k_1 \cdot x_e \\ \dot{\theta}_d + k_2 \cdot v_d \cdot \frac{\sin \theta_e}{\theta_e} \cdot y_e + k_3 \cdot \theta_e \end{bmatrix} \quad (8)$$

Pada persamaan (8), dengan mengestimasi v_d dan $\dot{\theta}_d$ maka dapat membuat *trajectory* yang berbentuk kuadrat dalam parameter v dan $\dot{\theta}$.

Dengan mensubstitusikan (7) ke (5), turunan dari sistem kesalahan loop tertutup diperoleh sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \dot{e}_1 \\ \dot{e}_2 \\ \dot{e}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{\theta} y_e - k_1 x_e \\ -\dot{\theta} x_e + v_d \sin(\theta_e) \\ -k_2 \cdot v_d \cdot \frac{\sin \theta_e}{\theta_e} \cdot y_e - k_3 \cdot \theta_e \end{bmatrix} \quad (9)$$

Mengenai stabilitas sistem, digunakan teorema *Lyapunov* untuk stabilitas lokal dan global. Untuk melakukannya, *Lyapunov function candidate* ditentukan sebagai berikut [7]:

$$V(e) = \frac{k_2}{2} e_1^2 + \frac{k_2}{2} e_2^2 + \frac{1}{2} e_3^2 \quad (10)$$

Turunan dari fungsi tersebut adalah:

$$\dot{V}(e) = k_2 e_1 \dot{e}_1 + k_2 e_2 \dot{e}_2 + e_3 \dot{e}_3 \quad (11)$$

Setelah mensubstitusikan (9) ke (11), diperoleh persamaan berikut:

$$\dot{V}(e) = -k_2 k_1 e_1^2 - k_3 e_3^2 \leq 0 \quad (12)$$

Pada persamaan (12), didapatkan e_1 dan e_3 adalah *negative semi-definite*.

Menurut *La Salle's Invariant Set Theory*, misal $V(x): \mathfrak{R}^n \rightarrow \mathfrak{R}$ sedemikian rupa sehingga pada $\Omega_l = \{x \in \mathfrak{R}^n: V(x) \leq l\}$ didapatkan $\dot{V}(x) \leq 0$. Didefinisikan $R = \{x \in \mathfrak{R}^n: \dot{V}(x) = 0\}$. Maka, jika R contains no other trajectories other than $x = 0$, maka titik origin 0 adalah *asymptotically stable*. Jika Ω_l dalam teorema ini extends to the whole space \mathfrak{R}^n , lalu *global asymptotic stability* dapat didirikan.

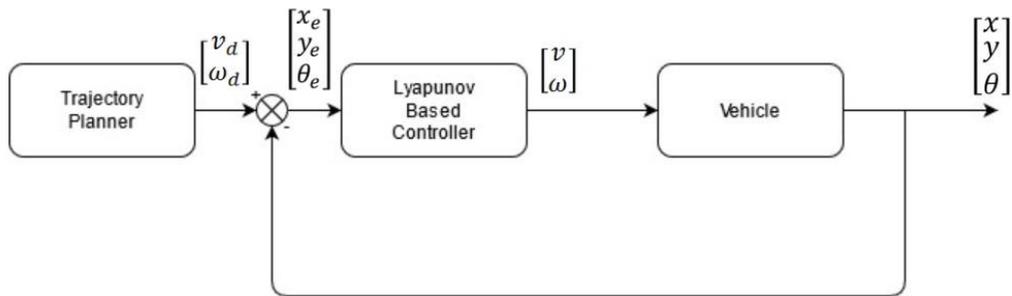
Invariant set theorems mencerminkan intuisi bahwa penurunan fungsi *Lyapunov* V harus *gradually vanish* (Dengan kata lain \dot{V} harus *converge to zero*) karena V *lower bounded*. Maka e_1 dan e_3 akan bernilai nol pada waktu tertentu sampai dengan waktu tak terhingga [17].

Kemudian k_1 , k_2 dan k_3 telah didefinisikan dalam (7) sebagai *positive definite constants*. Persamaan (10) dan (11) memenuhi teorema berikut:

$$\begin{cases} V(0) = 0 \\ V(e) > 0, \forall e \neq 0 \\ \dot{V}(e) < 0, \forall e \neq 0, t = 0 \\ \dot{V}(e) = 0, \forall e \neq 0, t \rightarrow \infty \end{cases} \quad (13)$$

Maka kestabilan sistem dikategorikan sebagai *globally asymptotically stable*.

Pada **Gambar 2**, ditunjukkan *closed loop* untuk merancang *Quadratic Trajectory Tracking* menggunakan *Lyapunov Based Controller*.



Gambar 2. Diagram blok untuk desain *trajectory* pada kendaraan

Trajectory Planner adalah perencanaan dalam merancang suatu jalur yang harus dilalui oleh *wheeled mobile robot* dalam waktu tertentu. *Quadratic Trajectory Tracking* dapat berfokus pada penentuan kecepatan linier dan kecepatan sudut pergerakan *wheeled mobile robot* dikarenakan titik posisi yang harus dicapai bergantung pada waktu yang ditentukan dan juga *trajectory* yang berbentuk kurva. Satu *loop* dari diagram blok pada **Gambar 2** merupakan satu *segment*. Satu *segment* dengan *segment* lainnya memiliki waktu yang sama. Lintasan akhir pada setiap *segment* direpresentasikan sebagai $[x_i, y_i, \theta_i, t_i]$, di mana i adalah *segment*. Maka gambaran *trajectory* secara lengkap yaitu:

$$[(x_0, y_0, \theta_0, t_0) (x_1, y_1, \theta_1, t_1), (x_2, y_2, \theta_2, t_2), \dots, (x_n, y_n, \theta_n, t_n)] \quad (14)$$

Persamaan (14) menggambarkan bahwa x , y dan θ bergantung pada waktu dalam lintasan akhir setiap *segment*. Dengan x_0 , y_0 dan θ_0 adalah posisi dan orientasi awal saat t_0 ($t = 0$).

Diagram blok pada **Gambar 2** menggambarkan bahwa sistem untuk merancang *Quadratic Trajectory Tracking* dimulai dari *trajectory planner* yang diinginkan dengan cara mengestimasi nilai v_d dan ω_d pada setiap *segment* di mana disebut dengan *desired trajectory*. Nilai v_d dan ω_d dikalkulasikan menggunakan persamaan kinematik kendaraan virtual untuk mendapatkan nilai x_d , y_d dan θ_d . Pada *segment* pertama, nilai x_e , y_e dan θ_e ditentukan dari posisi dan orientasi awal yang memiliki *error*. Kemudian nilai v_d , ω_d , x_e , y_e dan θ_e dikalkulasikan menggunakan *control law* yang terdapat pada *Lyapunov Based Controller* sehingga didapatkan nilai v dan ω di mana disebut dengan *trajectory by controller*. Nilai v dan ω tersebut dikalkulasikan menggunakan persamaan kinematik kendaraan nyata untuk mendapatkan nilai x , y dan θ . Setelah itu, dilakukan *feedback* dengan

membandingkan nilai x_d , y_d dan θ_d dengan nilai x , y dan θ dikalikan dengan matriks rotasi yang ortogonal terhadap bidang jalan sesuai pada persamaan (3) sehingga didapatkan nilai x_e , y_e dan θ_e untuk *segment* selanjutnya. *Loop* dilakukan secara terus-menerus sampai dengan *segment* terakhir. Nilai x_e , y_e dan θ_e akan mengecil atau menuju nol setiap pergantian *segment* jika digunakan nilai k_1 , k_2 dan k_3 yang optimum.

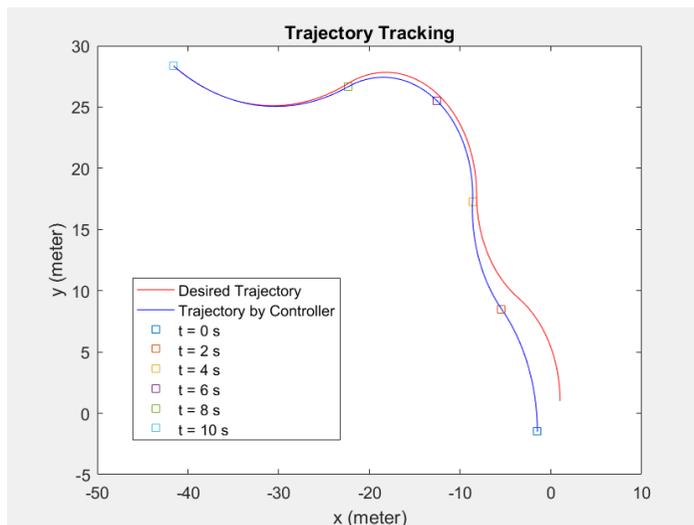
Notation. $\dot{\theta} = \omega$ adalah kecepatan sudut pergerakan *wheeled mobile robot*.

4. Hasil Simulasi MATLAB

Simulasi ini dilakukan pada *software* MATLAB untuk menerapkan kinematik *Wheeled Mobile Robot*, yaitu merancang *Quadratic Trajectory Tracking* dengan membandingkan *desired trajectory* dengan *trajectory by controller*. Kontrol tak-linier yang digunakan adalah *Lyapunov Based Controller* dengan menggunakan *control law* pada persamaan (8). Pada hasil simulasi, dibagi menjadi 2 kasus, yaitu penyesuaian *trajectory* yang memiliki *error* posisi awal yang besar dan *obstacle avoidance*.

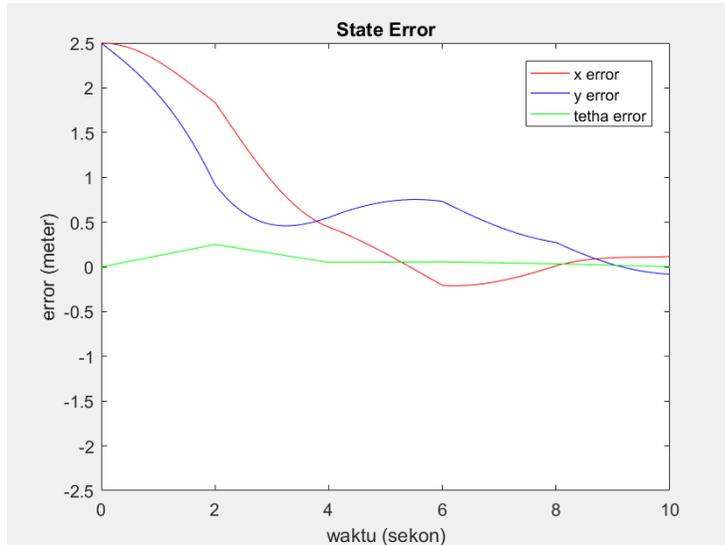
A. Kasus 1 (*error* posisi awal yang besar)

Pada kasus pertama ini memiliki *error* posisi awal yang besar sehingga titik awal *trajectory* yang diinginkan berbeda dengan titik awal *trajectory* yang dikontrol. Disimulasikan menggunakan nilai k_1 , k_2 dan k_3 adalah masing-masing 0,2 ; 0,01 dan 0,005. Titik posisi awal yang diinginkan adalah pada $x = 1$ dan $y = 1$ dalam bidang kartesian (x , y). Dan *error* posisi awal pada sumbu x dan y adalah masing-masing 2,5 meter dan 2,5 meter. Kemudian untuk *error* orientasi awal adalah mendekati nilai nol. Kasus ini menggunakan 5 *segment* di mana setiap *segment* memiliki waktu selama 2 sekon. Berdasarkan **Gambar 3**, didapatkan hasil bahwa pada posisi awal *trajectory by controller* yang dipisahkan terhadap *desired trajectory*, maka *trajectory by controller* akan mengikuti dan beradaptasi terhadap *desired trajectory* seiring waktu.



Gambar 3. *Trajectory Tracking* pada kasus 1

Kemudian pada *state error*, didapatkan bahwa kesalahan posisi (x, y) yaitu mendekati nilai nol dari waktu awal sampai dengan akhir yang ditunjukkan pada **Gambar 4**. Sehingga didapatkan kesalahan posisi yang telah dikecilkan pada sumbu *x* dan *y* adalah masing-masing 0,1155 meter dan $-0,0834$ meter saat waktu akhir ($t = 10$).



Gambar 4. State Error pada kasus 1

B. Kasus 2 (*obstacle avoidance*)

Pada kasus kedua ini, diinginkan *trajectory* untuk menghindari suatu *obstacle* yang diam. *Obstacle* tersebut sudah diketahui titik posisi dengan pasti. Sehingga *trajectory* yang dikontrol, harus menghindari titik posisi tersebut untuk *obstacle avoidance* dengan mengestimasi nilai v_d dan ω_d pada setiap *segment*.

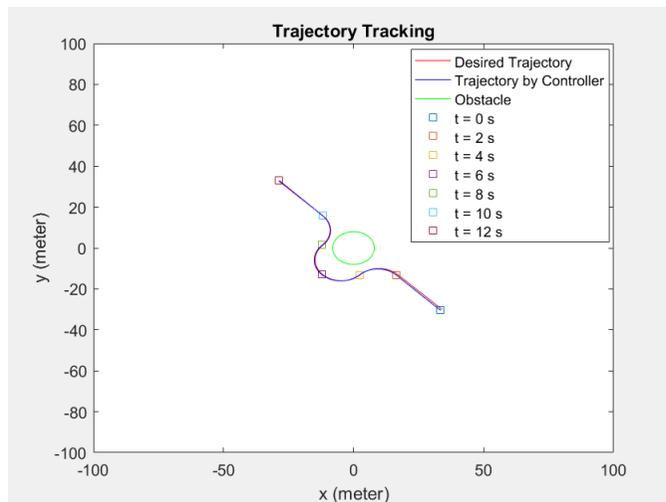
Tabel 1. Nilai v_d dan ω_d pada setiap *segment*

Segment	v_d (m/s)	ω_d (rad/s)
1	12	0
2	8	$-\frac{1}{4} * \pi$
3	8	$\frac{1}{4} * \pi$
4	8	$\frac{1}{4} * \pi$
5	8	$-\frac{1}{4} * \pi$
6	12	0

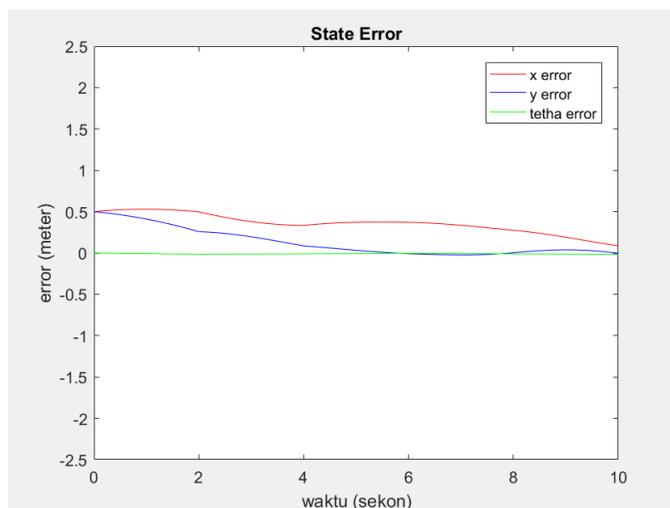
Tabel 2. Nilai k yang digunakan

k_1	k_2	k_3
0,17	0,0012	0,01

Pada **Tabel 1**, ditunjukkan nilai v_d dan ω_d yang digunakan. Kemudian parameter k yang digunakan untuk meminimalkan *state error* ditunjukkan pada **Tabel 2**. Pada **Gambar 5**, didapatkan *trajectory* berbentuk kuadratik yang dapat menghindari *obstacle* yang diam. *Obstacle* tersebut terletak pada titik posisi $x = 0$ dan $y = 0$ dengan radius sebesar 8 meter pada bidang kartesian (x, y) .



Gambar 5. *Trajectory Tracking* pada kasus 2



Gambar 6. *State Error* pada kasus 2

Pada **Gambar 6**, didapatkan *state error* yang dikecilkan oleh nilai k yang digunakan. Pada kasus ini digunakan 6 *segment* di mana setiap *segment* menggunakan waktu selama 2 sekon.

Notation. Pada **Gambar 3** dan **Gambar 5**, ditunjukkan kartesian (x, y) di mana x dan y merupakan *area* sebagai tempat untuk *wheeled mobile robot* bergerak, masing-masing memiliki satuan meter. Serta pada **Gambar 4** dan **Gambar 6**, ditunjukkan *state error* di mana “ x error” dan “ y error” adalah masing-masing kesalahan posisi pada sumbu x dan sumbu y dalam bidang kartesian (x, y) , sedangkan “ θ error” adalah kesalahan orientasi antara arah kendaraan nyata dan virtual. Kesalahan posisi dan orientasi ditentukan dengan cara membandingkan nilai yang diinginkan (*virtual*), yaitu x_d , y_d dan θ_d , dengan nilai yang dikontrol (nyata), yaitu x , y dan θ .

5. Kesimpulan

Dalam pengontrolan *trajectory* pada *Wheeled Mobile Robot* menggunakan *Lyapunov Based Controller*, dapat disimpulkan bahwa *trajectory* yang sebenarnya pada *Wheeled Mobile Robot* dapat menyesuaikan terhadap *desired trajectory*, didapatkan dari kesalahan posisi awal pada sumbu x dan y adalah masing-masing 2,5 meter dan 2,5 meter berubah menjadi masing-masing 0,1155 meter dan $-0,0834$ meter saat waktu akhir, maka *trajectory by controller* akan mengikuti dan beradaptasi terhadap *desired trajectory* seiring waktu. Serta *Wheeled Mobile Robot* dapat menghindari suatu *obstacle* yang diam di mana sudah diketahui titik posisi *obstacle* tersebut dengan *trajectory* berbentuk kuadratik menggunakan *Lyapunov Based Controller*.

Daftar Pustaka

- [1] N. Uddin, *Trajectory Tracking Control System Design For Autonomous Two-Wheeled Robot*, Jurnal Infotel, 10 (3), 2018. <https://doi.org/10.20895/infotel.v10i3.393>
- [2] P. Panahandeh, K. Alipour, B. Tarvirdizadeh, A. Hadi, *A Kinematic Lyapunov-Based Controller to Posture Stabilization of Wheeled Mobile Robots*, Mechanical Systems and Signal Processing, 134, hal 106319, 2019.
- [3] R. Kubo, Y. Fujii, H. Nakamura, *Control Lyapunov Function Design for Trajectory Tracking Problems of Wheeled Mobile Robot*, IFAC-PapersOnLine, 53 (2), hal 6177-6182, 2020.
- [4] A. Pedro Aguiar, João P. Hespanha, *Trajectory-Tracking and Path-Following of Underactuated Autonomous Vehicles With Parametric Modeling Uncertainty*, IEEE Transactions on Automatic Control, 52 (8), 2007.
- [5] F. Umam, *Kestabilan Kecepatan Mobile Robot pada Lintasan Mendatar, Tanjakan Serta Turunan*, Rekayasa, 12(2), hal 168- 173, 2019.

- [6] A.P. Suparno, H. Widyantara, Harianto, *Simulasi Trajectory Planning dan Pembentukan Formasi pada Robot Obstacle Avoidance*, Journal of Control and Network Systems, 4 (1), hal 31-38, 2015.
- [7] E.A. Baselga, *Modelling, Planning and Nonlinear Control Techniques For Autonomous Vehicles*, Spanyol: Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, 2016.
- [8] X. Li, A. Zell, *Path Following Control For a Mobile Robot Pushing a Ball*, Jerman: ScienceDirect, 2006.
- [9] X. Jin, *Fault-tolerant iterative learning control for mobile robots non-repetitive trajectory tracking with output constraints*, Automatica, 94, hal 63-71, 2018.
- [10] F.N. Martins, W.C. Celeste, R. Carelli, M. Sarcinelli-Filho, T.F. Bastos-Filho, *An adaptive dynamic controller for autonomous mobile robot trajectory tracking*, Control Engineering Practice, 16, hal 1354–1363, 2008.
- [11] Y. Kanayama, Y. Kimura, F. Miyazaki, T. Noguchi, *A stable tracking control method for an autonomous mobile robot*, in: Proceedings 1990 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1, hal 384–389, 1990.
- [12] R.-J. Wai, C.-M. Liu, *Design of dynamic petri recurrent fuzzy neural network and its application to path-tracking control of nonholonomic mobile robot*, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 56 (7), hal 2667–2683, 2009.
- [13] Y. Ning, M. Yue, L. Yang, X. Hou, *A Trajectory Planning and Tracking Control Approach for Obstacle Avoidance of Wheeled Inverted Pendulum Vehicles*, International Journal of Control, 2018. DOI: 10.1080/00207179.2018.1530455
- [14] G. Hoang, H.K. Kim, S.B. Kim, *Path Tracking Controller of Quadruped Robot for Obstacle Avoidance Using Potential Functions Method*, Internat. J. of Sci. and Eng., 4 (1), hal 1-5, 2013.
- [15] Lionel Lapierre, René Zapata. *A guaranteed obstacle avoidance guidance system: The safe maneuvering zone*. Autonomous Robots, Springer Verlag, hal 177-187, 2012. ff10.1007/s10514-011-9269-5ff. fhal-00733826f
- [16] S. Blazic, *A novel trajectory-tracking control law for wheeled mobile robots*, Robotics and Autonomous Systems, 59, hal 1001-1007, 2011.
- [17] R.J. Mitchell, *La Salle's Invariant Set Theory*, Cybernetics, <https://weber.itn.liu.se/~krzma/DS2020/lecture3%20-%20LaSalle%20sets.pdf>, 20 April 2007.

Prototipe Detektor Tingkat Kematangan Buah Sawit (Elais Guineesis Jacq) Menggunakan Sensor Warna TCS3200 Dan Fotodiode Inframerah

¹Amalia Rakhmawati, ²Endang Juliastuti, Felinnanda Afrilia, Riska Mu'amariza, ³Aji

¹Akademi Metrologi dan Instrumentasi, ²Kelompok Keahlian Instrumentasi dan Kontrol FTI ITB, ³PT. Sawit Sumbermas Sarana Citra Borneo Indah Group

amelchantique@gmail.com, yulias@tf.itb.ac.id

Abstrak

Crude Palm Oil (CPO) merupakan ekspor non migas terbesar di Indonesia sehingga penjaminan mutu CPO penting dilakukan. Salah satunya yaitu dengan melakukan pemanenan kelapa sawit pada tingkat kematangan yang sesuai. Biasanya kematangan buah sawit hanya ditaksir berdasarkan tampilan visual atau jumlah berondol yang lepas, namun terkadang hal tersebut tidak menjamin buah sawit matang secara keseluruhan. Sehingga untuk mengatasi permasalahan tersebut dibuatlah prototipe detektor tingkat kematangan buah sawit, agar buah sawit yang dipanen dapat memiliki tingkat kematangan yang ideal secara keseluruhan. Prototipe ini dirancang dalam bentuk konveyor yang memiliki box deteksi dengan menggunakan sensor warna TCS3200, probe optik (fotodiode inframerah dan laser dioda). Berdasarkan hasil pengujian nilai rata-rata parameter warna RGB dan tegangan pada buah sawit matang lebih tinggi dibandingkan dengan buah sawit mentah. Dan juga pada nilai maksimum dan nilai minimum parameter warna dan tegangan. Hal ini disebabkan karena warna pada buah sawit matang lebih gelap sehingga sehingga parameter warna memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan buah sawit mentah.

Kata Kunci: Sawit, warna, inframerah, fotodiode

1 Pendahuluan

Indonesia adalah negara dengan luas perkebunan kelapa sawit dan produsen *Crude Palm Oil* (CPO) nomor satu di dunia, dengan nilai sebesar 24 juta ton [1]. Pemanenan kelapa sawit merupakan salah satu kegiatan yang penting pada pengelolaan tanaman kelapa sawit. Dalam memanen buah sawit para petani sawit juga harus mengetahui kriteria/tingkat kematangan dari buah sawit karena kematangan buah sawit sangat mempengaruhi kandungan asam lemak bebas (ALB) CPO yang dihasilkan. Oleh karena itu, saat memanen pun menjadi faktor penentu. Jika pemanenan buah dilakukan dalam keadaan lewat matang, maka CPO yang dihasilkan mengandung ALB dalam presentase tinggi (>5%). Sebaliknya jika pemanenan dilakukan dalam keadaan buah belum matang, selain kadar ALB nya rendah dan rendemen CPO yang dihasilkan juga rendah. Oleh karena itu, mengetahui tingkat kematangan buah mempunyai arti penting sebab rendemen CPO yang akan diperoleh sangat ditentukan oleh faktor ini [3,4].

Beberapa penelitian telah dilakukan terkait pendeteksian kematangan buah sawit oleh Nurmaya Sari. Dkk tahun 2016 untuk pendeteksian kematangan buah sawit menggunakan probe optik yang mendeteksi intensitas cahaya hasil dari reflektansi cahaya pada warna kulit dari buah sawit yang nantinya dikonversi menjadi keluaran berupa tegangan yang memiliki korelasi dengan kekerasan buah sawit [5]. Selain itu penelitian pendeteksian kematangan buah sawit juga pernah dilakukan oleh Murinto

Yesiansyah, 2016 dengan perbandingan histogram citra menggunakan aplikasi matlab R2010a untuk mempresentasikan citra buah sawit menjadi nilai derajat keabuan. Kemudian dibandingkan dengan basis data berupa perhitungan nilai ekstraksi ciri yang terdiri dari mean, skewness, kurtosis dan entropi [6]. Penelitian terkait berikutnya yaitu pendeteksian kematangan buah sawit berdasarkan kadar air dan total karoten pada buah sawit menggunakan NIR Spektroskopi. Penelitian tersebut melakukan, deteksian kematangan buah sawit hanya berdasarkan pada satu parameter tingkat kematangan buah sawit saja.

Berdasarkan hal tersebut diatas, maka penelitian ini membuat prototipe detektor tingkat kematangan buah sawit berdasarkan lebih dari satu parameter untuk menambah akurasi hasil deteksi berupa parameter warna dan kekerasan. Penggunaan parameter warna, dan kekerasan didasarkan pada kasus di lapangan bahwa buah sawit tidak bisa hanya ditentukan kematangannya dari segi visual saja yakni dari segi warna kulit pada buah sawit. Karena kondisi di lapangan sering kali ditemukan kasus bahwa pada buah sawit yang matang dan mentah memiliki kemiripan warna. Selain itu penentuan kematangan buah sawit pada tandan buah segar (TBS) yaitu dengan melihat jumlah buah sawit yang membrondol pada TBS. Dimana TBS buah sawit dapat dikatakan matang apabila terdapat buah sawit yang membrondol sebanyak 5 buah dan/atau dibawah 50%. Sehingga dilakukan juga pengukuran dari segi bagian dalam buah sawit dengan indikator pengukuran berupa parameter kekerasan. Hal tersebut yang juga menjadi dasar pemilihan parameter pengukuran dalam penelitian ini yaitu warna dan kekerasan. Dan diharapkan dapat bermanfaat untuk membantu petani buah sawit lebih mudah menentukan tingkat kematangan pada buah sawit secara keseluruhan. Sehingga buah sawit yang dipanen dapat memiliki tingkat kematangan sesuai standar secara keseluruhan dan CPO yang dihasilkan memiliki kualitas yang diinginkan konsumen detektor juga dirancang dengan ukuran kecil sehingga mudah untuk melakukan pengukuran di lapangan dengan non kontak dan tanpa merusak buah sawit

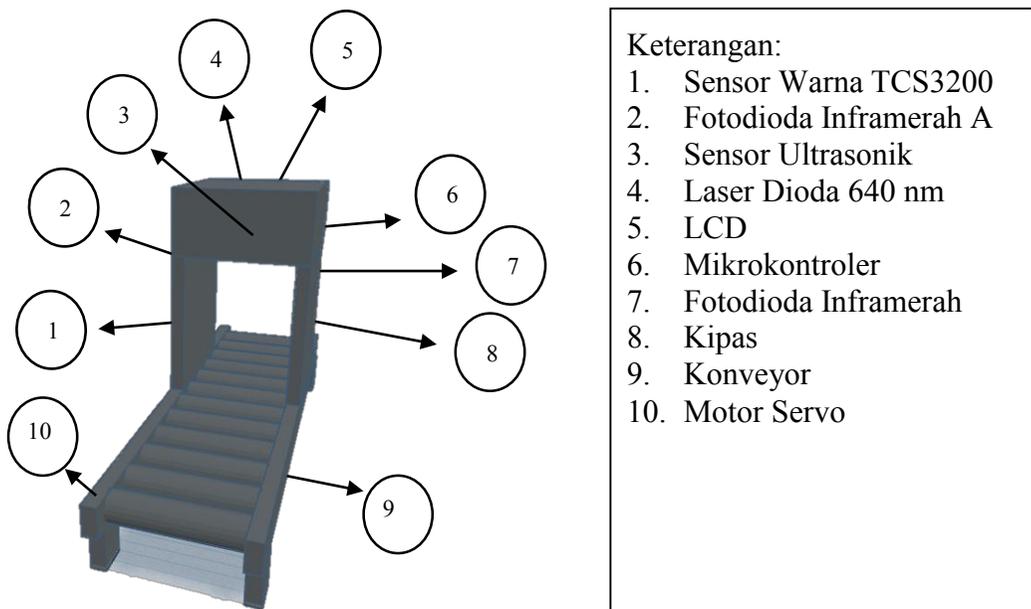
2 Metode

Prototipe alat pendeteksi kematangan buah sawit terdiri dari 4 komponen utama dan 8 komponen pendukung. Adapun komponen utama yang digunakan dalam prototipe ini antara lain ESP 32, sensor warna TCS3200 dan sensor fotodiode inframerah. Sedangkan komponen pendukung dalam prototipe ini antara lain sensor : sensor ultrasonik HC-SR04, motor servo SG-90, LCD I2C 20 x 4, adaptor sebagai *power supply*, sensor ultrasonik HC-SR04, motor DC, *smartphone* dan *protoboard*.

Sensor warna ini mendapatkan *supply* cahaya dari 4 LED yang sudah tertanam dalam modul sensor ini. Oleh karena itu, sensor warna sangat dipengaruhi oleh cahaya sekitar. Dalam prototipe ini pengkondisian cahaya ruang diminimalisir dengan membuat kotak khusus untuk meletakkan sensor warna. Seluruh dinding dalam kotak di cat warna hitam agar tidak memantulkan cahaya sehingga tidak terdapat pengaruh yang signifikan terhadap hasil pengukuran. Selain itu, karet konveyor dipilih dengan menggunakan warna hitam supaya sensor TCS3200 lebih mudah membedakan objek ukur yang berupa telur atau bukan. Berdasarkan data dari pengujian karakteristik sensor warna, didapatkan hasil yang optimum dalam mendeteksi objek dengan jarak 1 cm. Oleh karena itu ketinggian sensor warna ditetapkan pada ketinggian 6 cm di atas permukaan konveyor. Hal ini dipilih karena diameter sebesar 4,2 cm dan diameter maksimum sampel telur adalah 5.1 cm. Sehingga jarak minimum sensor warna terhadap objek yakni sejauh 0,9 cm dan jarak maksimum sensor warna mendeteksi objek adalah 1,8 cm.

Sistem deteksi kematangan buah sawit dengan metode optik pada modul ini dilakukan dengan menggunakan komponen yang terdiri dari satu foto dioda merah 640 nm 20 mW dari Roithner dan juga satu LED inframerah yang dirangkai dengan resistor. Jarak fotodiode ke sampel adalah 4 cm dijaga konstan agar sampel dapat ditangkap dengan baik oleh fotodiode. Jarak laser ke fotodiode adalah 3 cm dan jarak laser ke sampel adalah 4 cm agar didapat posisi penyorotan yang tepat. Sensor fotodiode inframerah ini melakukan pendeteksian dengan cara LED inframerah akan menembakan cahaya kepada obyek yang akan di ukur, sehingga nantinya akan menghasilkan sinar pantul yang akan diterima oleh sensor fotodiode dan dengan pemrograman yang telah ditambahkan dalam mikrokontroler maka hasil pendeteksian sensor fotodiode inframerah tersebut akan di olah sehingga menghasilkan nilai tegangan yang dapat merepresentasikan nilai tegangan dari buah sawit yang di deteksi

Sensor tersebut dipasang secara berurutan pada atap dari box deteksi yang memiliki ketinggian 6 cm dengan urutan sensor yang berada pada posisi paling depan adalah sensor TCS3200 dengan jarak 1 cm dari pintu depan konveyor, kemudian ditengahnya terdapat sensor fotodiode inframerah. Semua sensor tersebut dipasang tepat di tengah dari box deteksi. Posisi tersebut dipilih dengan pertimbangan dari ukuran rata- rata buah sawit, sensitivitas, serta efektivitas dari pengukuran ketiga sensor yang digunakan. Saat infrared aktif, LED sebagai indikasi akan menyala. Susunan tersebut ditunjukkan pada Gambar 1 Prototipe Deteksi Kematangan Buah Sawit.



Gambar 1. Prototipe Deteksi Kematangan Buah Sawit

3 Hasil

Berdasarkan hasil pengujian dari 60 contoh yang terdiri dari Contoh Matang dan Contoh Mentah sebanyak 30 contoh masing-masing parameter, didapatkan hasil pengujian seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Buah Sawit

Contoh		Parameter				Tegangan (Volt)	Contoh		Parameter				Tegangan (Volt)
		Warna			R				G	B	Warna		
Matang	Tandan 1	1	9	3		3	0.69	Mentah			Tandan 11	31	8
		2	9	4	3	0.69	32		8	2		2	0.44
		3	9	4	4	0.69	33		6	2		2	0.36
	Tandan 2	4	10	5	4	0.69	34		6	3	3	0.41	
		5	10	5	5	0.72	35		7	3	2	0.55	
		6	12	6	5	0.73	36		7	3	3	0.46	
	Tandan 3	7	12	6	5	0.70	37		7	2	2	0.43	
		8	11	5	3	0.70	38		7	4	3	0.48	
		9	12	4	3	0.65	39		6	2	2	0.48	
	Tandan 4	10	12	5	4	0.70	40		7	3	3	0.51	
		11	10	3	3	0.72	41		7	3	3	0.44	
		12	11	5	5	0.67	42		6	4	4	0.49	
	Tandan 5	13	12	6	6	0.75	43		6	2	2	0.48	
		14	7	3	3	0.78	44		6	2	2	0.38	
		15	11	7	8	0.69	45		7	2	2	0.40	
	Tandan 6	16	11	4	3	0.63	46		6	2	2	0.46	
		17	12	7	5	0.73	47		6	2	2	0.45	
		18	12	5	5	0.65	48		3	2	2	0.46	
	Tandan 7	19	10	4	3	0.69	49		3	1	2	0.49	
		20	10	3	3	0.63	50		2	1	1	0.48	
		21	10	3	3	0.88	51		2	1	2	0.47	
	Tandan 8	22	11	4	3	0.63	52		3	1	2	0.48	
		23	11	4	4	0.67	53		5	2	2	0.49	
		24	11	5	4	0.69	54		4	3	3	0.50	
	Tandan 9	25	11	5	5	0.69	55		7	4	3	0.44	
		26	10	5	4	0.70	56		7	3	3	0.45	
		27	10	3	2	0.65	57		7	4	4	0.39	
	Tandan 10	28	11	5	4	0.66	58		4	2	2	0.46	
		29	8	4	4	0.70	59		4	3	3	0.46	
		30	11	5	5	0.66	60		3	2	2	0.45	
Nilai Rata-Rata		11	5	4	0.69	Nilai Rata-Rata		6	2	2	0.46		
Nilai Maksimum		12	7	8	0.88	Nilai Maksimum		8	4	4	0.55		
Nilai Minimum		7	3	2	0.63	Nilai Minimum		2	1	1	0.36		

Berdasarkan data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai rata-rata parameter warna RGB dan tegangan pada buah sawit matang lebih tinggi dibandingkan dengan buah sawit mentah. Dan juga pada nilai maksimum dan nilai minimum parameter warna dan tegangan. Hal ini disebabkan karena warna pada buah sawit matang lebih gelap sehingga sehingga parameter warna memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan buah sawit mentah.

4 Kesimpulan

Prototipe deteksi kematangan buah sawit dirancang dalam bentuk konveyor yang memiliki box deteksi dengan menggunakan sensor warna TCS3200, probe optik (fotodiode inframerah dan laser diode). Berdasarkan hasil pengujian nilai rata-rata parameter warna RGB dan tegangan pada buah sawit matang lebih tinggi dibandingkan dengan buah sawit mentah. Dan juga pada nilai maksimum dan nilai minimum parameter warna dan tegangan. Hal ini disebabkan karena warna pada buah sawit matang lebih gelap sehingga sehingga parameter warna memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan buah sawit mentah.

5 Ucapan Terima kasih

PT. Sawit Sumbermas Sarana Citra Borneo Indah Group yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan penelitian.

6 Referensi

- [1] P. A. Lukito., Sudradjat., Pengaruh Kerusakan Buah Kelapa Sawit terhadap Kandungan Free Fatty Acid dan Rendemen CPO di Kebun Talisayan 1 Berau, Bul. Agrohorti 5 (1) : 37 – 44 (2017), 2017.
- [2] Wiyono., Hasrat menguasai pasar minyak sawit. Info Sawit. 7(1):12-15, 2013.
- [3] Y. Siswanto., Z. Lubis., E. N. Akoeb., Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Produksi Kelapa Sawit Rakyat di Desa Tebing Linggahara Kecamatan Bilah Barat Kabupaten Labuhanbatu, Agrisains: Jurnal Ilmiah Magister Agribisnis, Vol 2, No 1 (2020), 2020.
- [4] M. Pardamean., Cara Cerdas Mengelola Perkebunan Kelapa Sawit. Penerbit Andi, Yogyakarta, 2011.
- [5] N. Sari., M. Shiddiq., M. Hamdi., N. Z. Yasmin., Evaluasi Tingkat Kematangan Tandan Buah Segar Kelapa Sawit Menggunakan Metode Optik Dengan Laser Modulasi, VOL. 12 NO. 1 (2020): JURNAL APTEK EDISI XII NO 1 2020, 2020
- [6] M. Yesiansyah., Aplikasi Deteksi Kematangan Buah Sawit Menggunakan Metode Perbandingan Histogram Citra, Bulletin of Electrical Engineering and Informatics, 2016.

Nilai Perhitungan Akurasi Prototipe yang Compact Untuk Mengkonversi Tulisan Menjadi Suara Sebagai Instrumentasi Alat Bantu Melihat

Amalia Rakhmawati dan Vera Firmansyah

Akademi Metrologi dan Instrumentasi

amelchantique@gmail.com, verafirmansyah@gmail.com

Abstrak

Semakin tinggi nilai akurasi maka semakin baik kemampuan instrumentasi tersebut. Nilai akurasi juga dipengaruhi oleh sumber ketidakpastian pengukuran dimensi huruf pada citra tulisan yang dikonversi menjadi suara. Nilai estimasi ketidakpastian prototipe terhadap nilai panjang artefak mistar baja yang sudah dikalibrasi menggunakan *measuring microscope* pada panjang 1 mm sebesar $\pm 1,1$ piksel per metrik. Sumber ketidakpastian tersebut dapat dikurangi dengan melakukan pengukuran menggunakan prototipe dengan baik seperti mengurangi pengaruh geometris dan pencahayaan.

Kata Kunci: Akurasi, Tesseract OCR, TTS Engine

1 Pendahuluan

Untuk membantu meningkatkan kualitas hidup orang dengan gangguan penglihatan diperlukan instrumentasi untuk membaca tulisan dalam artikel [1]. Tingkat penglihatan gangguan dapat bervariasi pada setiap individu [2]. Prototipe konversi tulisan menjadi suara dilakukan dengan ekstraksi tulisan dari citra yang didapatkan melalui kamera kemudian mengubah tulisan menjadi suara untuk mendapatkan informasi dari artikel yang ingin dibaca [2].

Semakin tinggi nilai akurasi maka semakin baik kemampuan instrumentasi tersebut. Nilai akurasi juga dipengaruhi oleh sumber ketidakpastian pengukuran dimensi huruf pada citra tulisan yang dikonversi menjadi suara.

Contoh prototipe yang akan dilakukan perhitungan estimasi ketidakpastian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Prototipe Konversi Tulisan menjadi Suara

Prototipe terdiri dari kamera digital yang akan melakukan akuisisi citra digital kemudian menjadi masukan untuk dilakukan pengolahan serta analisis citra pada Raspberry Pi. Raspberry Pi mendapatkan daya dari catu daya dan penyimpanan data dilakukan di SD

Card. Tesseract OCR [3,4] pada Raspberry Pi akan melakukan konversi citra tulisan menjadi text file. *Text file* akan di konversi menjadi suara oleh TTS Engine [3,4,5] pada Raspberry Pi. Suara akan masuk ke audio dan oleh pengeras suara akan dapat didengar oleh orang yang menggunakan. Penelitian ini menggunakan eSpeak pada Raspberry Pi untuk mensintesis suara dari tulisan. Prototipe yang dihasilkan cukup *compact* dan mudah dibawa walaupun belum menggunakan baterai untuk dapat digunakan diluar ruangan. Perhitungan estimasi ketidakpastian dilakukan untuk mengetahui pengaruh sumber terhadap kegiatan pengukuran yang dilakukan.

2 Metode

Kamera digital yang digunakan dilakukan kalibrasi terhadap nilai dimensi yang direpresentasikan dengan nilai panjang piksel per metrik pada ketinggian 40 cm sesuai dengan kondisi pada saat akuisisi citra. Sehingga diperoleh nilai estimasi ketidakpastian prototipe terhadap nilai panjang artefak mistar baja yang sudah dikalibrasi menggunakan *measuring microscope* pada panjang 1 mm.

Pengambilan citra digital masih dengan pengkondisian cahaya pada ruang gelap dengan sumber pencahayaan pada intensitas tertentu yang diukur dengan luxmeter seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengkondisian Cahaya Akuisisi Citra

Data hasil pengulangan tersebut akan diolah secara statistik untuk mendapatkan nilai akurasi alat ukur direpresentasikan dengan nilai eror dan ketidakpastian. Estimasi ketidakpastian dimulai dari identifikasi sumber ketidakpastian yang berpengaruh dalam melakukan pengujian atau kalibrasi alat ukur berdasarkan model matematis perhitungan dimensi yang ditunjukkan pada persamaan (2.1) dan (2.2).

$$E = L - L_S \quad (2.1)$$

E : Nilai eror, piksel per metrik

L : Penunjukkan nilai panjang prototipe, piksel per metrik

L_S : Penunjukkan panjang standar pada suhu 20 °C, piksel per metrik

$$E = L - L_{drift} - G \quad (2.2)$$

L_{drift} : *Drift* standar sejak terakhir dikalibrasi, piksel per metrik

G : Error geometris akibat ketidaksempurnaan *setting* alat atau kondisi, termasuk *cosine error* dan ketidakratahan serta ketidaksejajaran muka ukur, piksel per metrik.

1. Ketidakpastian

Perhitungan ketidakpastian ditunjukkan pada persamaan (3.3)

$$u_C^2(E) = u^2(L) + u^2(L_S) + u^2(L_{drift}) + u^2(G) \quad (3.3)$$

2. Sumber Ketidakpastian pada Kalibrasi Panjang

2.1. Tipe A, *Repeatability*,

$$s_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

$$u(L_1) = \frac{s_d}{n}$$

2.2. Tipe B, U_{95} Sertifikat Standar

$$u(L_S) = \frac{U_{95}}{2}$$

2.3. Tipe B, *Drift* Alat Standar, U_{Drift} = absolut beda koreksi standar dengan sebelumnya

$$u(L_{drift}) = \frac{U_{drift}}{\sqrt{3}}$$

2.4. Tipe B, Error Geometris, $UG = 0,15.L_S$

$$u(G) = \frac{UG}{\sqrt{3}}$$

3. Ketidakpastian Gabungan

$$u_C = \sqrt{\left(c_{L,u}(L)\right)^2 + \left(c_{L_S,u}(L_S)\right)^2 + \left(c_{L_{drift},u}(L_{drift})\right)^2 + \left(c_{G,u}(G)\right)^2}$$

4. Derajat bebas efektif, ν_{eff}

$$\nu_{eff} = \frac{4}{\frac{\left(c_{L,u}(L)\right)^4}{\nu_{L_1}} + \frac{\left(c_{L_S,u}(L_S)\right)^4}{\nu_{L_S}} + \frac{\left(c_{G,u}(G)\right)^4}{\nu_G}}$$

5. Faktor cakupan, k

k dari tabel t-Student pada level kepercayaan 95% dengan derajat bebas = ν_{eff}

6. Ketidakpastian bentangan

$$U_{95} = \pm k.u_C$$

3 Hasil

Data nilai piksel per metrik ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Nilai Piksel per Metrik

Ulangan pengukuran	Nilai Piksel Per Metrik	
	Standar Measuring Microscope	Prototipe
1	24	25
2	22	27
3	23	26
4	22	27
5	23	26
6	24	25
7	23	27
8	22	26
9	23	26
10	22	27

Perhitungan estimasi ketidakpastian ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 1. Perhitungan Estimasi Nilai Ketidakpastian

SUMBER	DIST	DOF (ni)	NILAI (Uj)	SATUAN	DIV	(ci)	(ciu) ²	U _{i4} /ni
Repeatability (Sd)	Normal	49	0,789	piksel per metrik	2,236	1,000	1,2E-01	0,000316032
Standar	t-Student	60	0,776	piksel per metrik	2,000	1,000	1,5E-01	0,000376791
Drift Standar	Rectangular	50	0,3	piksel per metrik	1,732	1,000	2,2E-02	9,92372E-06
Geometris	Rectangular	50	0,15	piksel per metrik	1,732	1,000	7,5E-03	0,000001125
Jumlah							3,0E-01	7,0E-04
Combine uncertainty (u_c)							0,5518824	0,092765405
Effective degrees of freedom (n_{ef})							1,318E+02	
Coverage factor (k)							1,9782385	
Expanded uncertainty (U₉₅)							1,1	piksel per metrik

Nilai estimasi ketidakpastian prototipe terhadap nilai panjang artefak mistar baja yang sudah dikalibrasi menggunakan *measuring microscope* pada panjang 1 mm sebesar $\pm 1,1$ piksel per metrik. Hal ini menunjukkan bahwa setiap 1 mm pada hasil citra digital memberikan nilai ketidakpastian sebesar $\pm 1,1$ piksel per metrik.

Sumber ketidakpastian tersebut dapat dikurangi dengan melakukan pengukuran menggunakan prototipe dengan baik seperti mengurangi pengaruh geometris dan pencahayaan.

4 Kesimpulan

Nilai estimasi ketidakpastian prototipe terhadap nilai panjang artefak mistar baja yang sudah dikalibrasi menggunakan *measuring microscope* pada panjang 1 mm sebesar $\pm 1,1$ piksel per metrik. Sumber ketidakpastian tersebut dapat dikurangi dengan melakukan pengukuran menggunakan prototipe dengan baik seperti mengurangi pengaruh geometris dan pencahayaan.

5 Referensi

- [1] Edward. S., Jothimani. A., Jayaprakash. V., Xavier. J.B., Text-To-Speech Device for Visually Impaired People, International Journal of Pure and Applied Mathematics Volume 119 No. 15 2018, 1061-1067, 2018
- [2] Kementerian Kesehatan RI, Situasi Gangguan Penglihatan, Infodatin Kementerian Kesehatan RI, 2018
- [3] Rithika, H., B. N. Santhoshi., Image Text to Speech Conversion In The Desired Language By Translating With Raspberry Pi, IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (ICCIC), 2016
- [4] Isewon. I., Oyelade. J., Oladipupo. O., Design and Implementation of Text to Speech Conversion for Visually Impaired People, International Journal of Applied Information Systems (IJ AIS) - ISSN: 2249-0868 Foundation of Computer Science FCS, New York, USA, 2014
- [5] Nagpal. G. S., Singh. G., Singh. J., & Yadav. N., Facial Detection and Recognition using OpenCV on Raspberry Pi Zero, International Conference on Advances in Computing, Communication Control and Networking, 2018
- [6] Widja. I. B. P., Rancangan Binarisasi Citra dan Pengenalan Karakter Teks Dengan Raspberry Pi, Konferensi Nasional Sistem & Informatika, 2017

Perbandingan Nilai Akurasi Kalibrasi Rol Meter Menggunakan Linear Measurement Dan Prototipe Potensiometer Linear Tipe Kawat

¹Amalia Rakhmawati, ²Dani Kurniawan

¹Akademi Metrologi dan Instrumentasi, ²Balai Kalibrasi Dit. Standardisasi dan Pengendalian Mutu Kementerian Perdagangan

amelchantique@gmail.com, fujiwara.ito@gmail.com

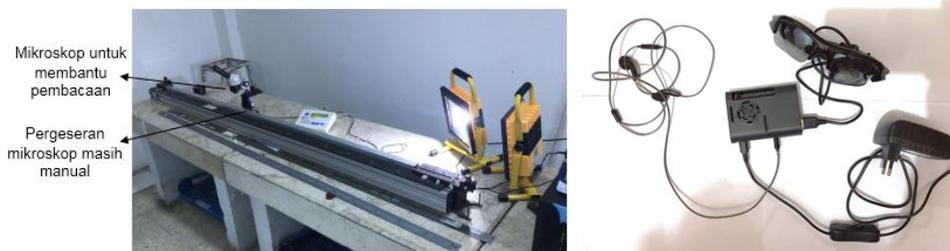
Abstrak

Alat ukur kalibrasi yang digunakan sebagai standar panjang dengan skala besar yang ditemui di laboratorium saat ini berupa batangan berskala serta standar panjang dengan sistem kelistrikan. Alat tersebut dapat menimbulkan kesalahan paralaks dan Abbe karena penentuan titik ukur dilakukan secara manual oleh petugas secara langsung dengan atau tanpa bantuan mikroskop. Untuk mengurangi faktor kesalahan dan mempercepat proses kalibrasi dengan pergeseran secara otomatis menggunakan motor step dan slider seperti pada prototipe pengukuran panjang skala besar menggunakan sensor potensiometer linear tipe kawat. Nilai eror rol meter menggunakan linear *measurement* sedikit lebih besar dibandingkan dengan potensiometer linear. Hal ini disebabkan antara lain yaitu faktor kesalahan paralaks dan Abbe yang masih muncul karena penentuan titik ukur oleh Petugas dilakukan secara manual. Namun nilai eror masih masuk kedalam kelas ketelitian II dengan BKD sebesar $\pm 10,3$ mm. $U_{95} \pm 12 \mu\text{m}$ untuk linear measurement dan $\pm 17 \mu\text{m}$ untuk potensiometer linear. Nilai U_{95} pada linear measurement lebih besar karena digunakan sebagai standar untuk melakukan kalibrasi potensiometer linear.

Kata Kunci: panjang, linear measurement, potensiometer linear, ketidakpastian

1 Pendahuluan

Alat ukur kalibrasi yang digunakan sebagai standar panjang dengan skala besar yang ditemui di laboratorium saat ini berupa batangan berskala serta standar panjang dengan sistem kelistrikan. Alat standar tersebut memiliki nilai ketelitian masing-masing dari mulai 0,01 mm hingga 0,005 mm [1,2]. Alat standar dengan sistem kelistrikan sering disebut dengan *linear measurement* atau *ruler calibrator*. Alat tersebut seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Alat standar tersebut memiliki kapasitas panjang 2 m dan ketelitian 0,005 mm.



Gambar 1. Standar Panjang Sistem Kelistrikan 2 m dan Ketelitian 0,005 mm [3]

Alat tersebut dapat menimbulkan kesalahan paralaks dan Abbe karena penentuan titik ukur dilakukan secara manual oleh petugas secara langsung dengan atau tanpa bantuan mikroskop [3]. Untuk mengurangi faktor kesalahan dan mempercepat proses kalibrasi dengan pergeseran secara otomatis menggunakan motor step dan slider [3] seperti pada prototipe pengukuran panjang skala besar menggunakan sensor potensiometer linear tipe kawat ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Prototipe Pengukuran Panjang Skala Besar

Kedua alat tersebut memiliki nilai ketelitian yang sama yaitu 0,005 mm sehingga penelitian ini akan membandingkan nilai akurasi yang ditunjukkan pada nilai kesesuaian Batas Kesalahan yang Dijinkan (BKD) untuk kelas ketelitian I dengan ketelitian skala ≤ 1 mm yaitu $\pm 0,1$ yang akan digunakan untuk melakukan kalibrasi rol meter atau ban ukur dengan panjang 50 m [4].

2 Metode

A. Kalibrasi

Kalibrasi dilakukan dengan membandingkan nilai penunjukkan panjang rol meter dari hasil kalibrasi dengan standar linear measurement dan prototipe potensiometer linear.

B. Akurasi

Nilai akurasi alat ukur direpresentasikan dengan nilai eror dan ketidakpastian [5] berdasarkan *ISO Guide to the expression of uncertainty in measurement* (GUM). Estimasi ketidakpastian dimulai dari identifikasi sumber ketidakpastian yang berpengaruh dalam melakukan pengujian atau kalibrasi alat ukur berdasarkan model matematis perhitungan dimensi yang ditunjukkan pada persamaan (1) dan (2).

$$E = L - L_s \quad (1)$$

E : Nilai eror, μm

L : Penunjukkan nilai panjang, μm

L_S : Penunjukkan panjang standar pada suhu 20 °C, μm

$$E = L - L_S + L_S(\theta_S \cdot \delta\alpha + \alpha_S \cdot \delta\theta) - L_{drift} - G \quad (2)$$

θ_S : Suhu standar, °C

$\delta\alpha$: Beda antara koefisien muai termal rol meter dan standar, °C

α_S : Koefisien muai termal standar, °C

$\delta\theta$: Beda suhu antara UUT dan standar, °C

L_{drift} : *Drift* standar sejak terakhir dikalibrasi, μm

G : Error geometris akibat ketidaksempurnaan *setting* alat atau kondisi, termasuk *cosine error* dan ketidakratahan serta ketidaksejajaran muka ukur, μm

1. Ketidakpastian

Perhitungan ketidakpastian ditunjukkan pada persamaan (6)

$$u_c^2(E) = u^2(L) + u^2(L_S) + u^2(L_S \cdot \theta_S \cdot \delta\alpha) + u^2(L_S \cdot \alpha_S \cdot \delta\theta) + u^2(L_{drift}) + u^2(G) \quad (3)$$

2. Sumber Ketidakpastian

2.1. Tipe A, *Repeatability*,

$$s_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

$$u(L_1) = \frac{s_d}{n}$$

2.2. Tipe B, *Readability*,

$$res = \frac{1}{2} \cdot std_{resolution}$$

$$u(L_2) = \frac{res}{\sqrt{3}}$$

2.3. Tipe B, U_{95} Sertifikat Standar

$$u(L_S) = \frac{U_{95}}{2}$$

2.4. Tipe B, Beda Koefisien Muai, $U_{\delta\alpha} = \text{Estimasi} \pm 2 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

$$u(\delta\alpha) = \frac{U_{\delta\alpha}}{\sqrt{3}}$$

2.5. Tipe B, Beda Suhu Logam Pelat dan Standar, $U_{\delta\theta} = \text{Estimasi} \pm 0,05^\circ\text{C}$

$$u(\delta\theta) = \frac{U_{\delta\theta}}{\sqrt{3}}$$

2.6. Tipe B, *Drift* Alat Standar, $U_{Drift} = \text{absolut beda koreksi standar dengan sebelumnya}$

$$u(L_{drift}) = \frac{U_{drift}}{\sqrt{3}}$$

2.7. Tipe B, Error Geometris, $UG = \pm 2 \text{kaliketelitian}$

$$u(G) = \frac{UG}{\sqrt{3}}$$

3. Ketidakpastian Gabungan

$$u_C = \sqrt{(c_{L_1} \cdot u(L_1))^2 + (c_{L_2} \cdot u(L_2))^2 + (c_{L_3} \cdot u(L_3))^2 + (c_{\Delta a} \cdot u(\Delta a))^2 + (c_{\Delta b} \cdot u(\Delta b))^2 + (c_{L_{drift}} \cdot u(L_{drift}))^2 + (c_G \cdot u(G))^2}$$

4. Derajat bebas efektif, ν_{eff}

$$\nu_{eff} = \frac{u_C^4}{\frac{(c_{L_1} \cdot u(L_1))^4}{\nu_{L_1}} + \frac{(c_{L_2} \cdot u(L_2))^4}{\nu_{L_2}} + \frac{(c_{L_3} \cdot u(L_3))^4}{\nu_{L_3}} + \frac{(c_{\Delta a} \cdot u(\Delta a))^4}{\nu_{\Delta a}} + \frac{(c_{\Delta b} \cdot u(\Delta b))^4}{\nu_{\Delta b}} + \frac{(c_{L_{drift}} \cdot u(L_{drift}))^4}{\nu_{drift}} + \frac{(c_G \cdot u(G))^4}{\nu_G}}$$

5. Faktor cakupan, k

k dari tabel t-Student pada level kepercayaan 95% dengan derajat bebas = ν_{eff}

6. Ketidakpastian bentangan

$$U_{95} = \pm k \cdot u_C$$

3 Hasil

Hasil rata-rata kalibrasi menggunakan 2 standar pada titik ukur tertentu rol meter dengan 5 kali pengulangan diperoleh seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Kalibrasi

Titik Ukur Rol Meter (mm)	Potensiometer Linear (mm)	Linear Measurement (mm)	Error Potensiometer Linear (mm)	Error Linear Measurement (mm)
0	0,000	0,000	0,000	0,000
200	197,785	197,685	2,215	2,315
400	397,005	397,000	2,995	3,000
600	596,785	596,775	3,215	3,225
800	796,885	796,878	3,115	3,122
1000	996,695	996,680	3,305	3,320
1200	1196,495	1196,486	3,505	3,514
1400	1396,595	1396,580	3,405	3,420
1600	1595,885	1595,885	4,115	4,115
1800	1795,890	1795,780	4,110	4,220
2000	1995,875	1995,770	4,125	4,230
10000	9994,785	9994,775	5,215	5,225
20000	19994,755	19994,760	5,245	5,240
30000	29993,685	29993,670	6,315	6,330
40000	39992,385	39992,360	7,615	7,640
50000	49992,380	49992,365	7,620	7,635

Dari Tabel 1 didapatkan nilai error rol meter menggunakan linear *measurement* sedikit lebih besar dibandingkan dengan potensiometer linear. Hal ini disebabkan antara lain yaitu faktor kesalahan paralaks dan Abbe yang masih muncul karena penentuan titik ukur oleh Petugas dilakukan secara manual. Namun nilai error masih masuk kedalam kelas ketelitian II dengan BKD sebesar $\pm 10,3$ mm.

Perhitungan ketidakpastian seperti pada subbagian 2.B didapatkan $U_{95} \pm 12$ μ m untuk linear *measurement* dan ± 17 μ m untuk potensiometer linear. Nilai U_{95} pada linear *measurement* lebih besar karena digunakan sebagai standar untuk melakukan kalibrasi potensiometer linear. Kalibrasi alat ukur tersebut tertelusur ke Dit. Standar Nasional Satuan Ukuran Mekanika, Radiasi dan Biologi Badan Standardisasi Nasional.

4 Kesimpulan

Nilai eror kedua potensiometer linear dan linear *measurement* tidak berbeda jauh dan rol meter masih masuk kedalam kelas ketelitian II dengan BKD sebesar $\pm 10,3$ mm. U95 ± 12 μ m untuk linear *measurement* dan ± 17 μ m untuk potensiometer linear. Nilai U95 pada linear *measurement* lebih besar karena digunakan sebagai standar untuk melakukan kalibrasi potensiometer linear.

5 Referensi

- [1] Wicaksono, A., Susanto, D. W. (2014). Sistem Otomasi Penggerak Kamera Dengan Motor *Step* Sebagai Alat Bantu Kalibrasi Alat Ukur Panjang. *J.Oto.Ktrl.Inst (J.Auto.Ctrl.Inst)* Vol 6 (2).
- [2] JIS B 7516 5th edition (2005). *Metal Rules*. JIS.
- [3] Rakhmawati, A., Kurniawan, D., Prototipe Sistem Kalibrasi Pengukuran Panjang Berbiaya Rendah Menggunakan Potensiometer Linear Tipe Kawat dengan Skala Pengukuran Besar, Seminar Nasional Efisiensi Energi untuk Peningkatan Daya Saing Industri Manufaktur dan Otomotif Nasional (SNEEMO) Politeknik Manufaktur Astra 2020.
- [4] Kementerian Perdagangan RI. (2010). SK Dirjen PDN No.32 Tahun 2010 tentang Syarat Teknis Alat Ukur Panjang dan Lampiran. Kementerian Perdagangan RI.
- [5] ISO/IEC 17025:2017. (2017). *Testing and Calibration Laboratories*. ISO/IEC.

Neraca dengan Penyeimbang Tarikan Solenoid Linear dan Redefinisi Satuan Kilogram

¹Dudi Adi Firmansyah*), ¹Shely Arindita Pawistri, ¹Muhammad Daffa Kemal Maulana dan ²Suprijanto

¹D3 Metrologi dan Instrumentasi, Akademi Metrologi dan Instrumentasi

²Teknik Fisika FTI Institut Teknologi Bandung

(*corresponding author*) dudiadif@akmet.ac.id *)

Abstrak

Bertepatan dengan Hari Metrologi Dunia pada tanggal 20 Mei 2019, CGPM menetapkan redefinisi satuan besaran massa yang sebelumnya berdasarkan massa dari artefak *International Prototype of Kilogram* menjadi sebuah definisi berdasarkan konstanta Planck $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-1}$. Perubahan tersebut direalisasikan dengan Neraca Watt yang dapat memberikan hubungan antara massa, arus listrik, dan konstanta Planck. Pada alat tersebut dilakukan dua tahap percobaan yaitu mode *weighing* dan mode *moving*. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan secara sederhana hubungan massa dan arus melalui satu tahap percobaan menggunakan prototipe neraca yang dimodifikasi dengan solenoid linear pada salah satu lengannya sebagai penyeimbangannya. Besarnya arus diatur oleh modul XL4015 dan diukur oleh sensor ACS712 untuk diolah oleh mikrokontroler dan ditampilkan pada layar *LCD*. Hasil dari pengujian didapatkan nilai arus pada rentang 0,23 A – 1,06 A dibutuhkan untuk menyeimbangkan muatan mulai dari 0 gram hingga 335 gram. Linearitas dan kepresisian hubungan arus dan massa yang didapat sangat baik yaitu nilai koefisien determinasi 0,99; persen presisi 80,3-94,4%; dan *RSD* 0,34-1,2%. Dengan demikian, prototipe ini dapat digunakan sebagai representasi Neraca Watt secara sederhana dalam menyatakan kesebandingan massa dan arus listrik.

Kata Kunci: redefinisi satuan besaran massa; konstanta Planck; Neraca Watt, solenoid linear; kesebandingan massa dan arus.

1 Pendahuluan

Hingga tahun 2017, diantara tujuh satuan besaran dasar yaitu meter, kilogram, ampere, Kelvin, mol dan candela, hanya satuan kilogram yang masih didefinisikan berdasarkan material atau artefak [1], [2]. Kilogram merupakan satuan massa yang sama dengan massa dari *International Prototype of Kilogram (IPK)*. Meskipun *IPK* sudah sejak tahun 1889 digunakan sebagai standar tertinggi massa, akan tetapi sebagai artefak, *IPK* memiliki keterbatasan yaitu dapat rusak atau bahkan hancur, dapat terkena debu dari lingkungan sekitar, dapat terkena gesekan jika digunakan rutin, hanya dapat digunakan di *BIPM*, dan massanya ternyata mengalami perubahan terhadap standar Pt-Ir lainnya sebesar $50 \mu\text{g}/100$ tahun [1]. Karena berbagai keterbatasan tersebut, sejak tahun 1976 dan mulai intensif pada dekade 1990-an diadakan usaha internasional untuk menghubungkan massa *IPK* dengan suatu konstanta alam atau massa suatu atom dengan ketidakpastian sekitar 10^{-8} [1]-[5].

Hasilnya pada bulan November 2018, CGPM menyetujui redefinisi kilogram sesuai dengan konstanta Planck mulai tanggal 20 Mei 2019 [2]. Untuk merealisasikan

hubungan antara konstanta Planck dengan massa *IPK*, *BIPM* dan beberapa laboratorium metrologi di dunia telah mengembangkan Neraca Watt atau Neraca Kible [2], [5]. Neraca ini membandingkan energi mekanik dan energi listrik secara kuantum dalam dua fasa pengukuran yaitu fasa penimbangan dan fasa gerakan [2], [5]. Pada fasa penimbangan, berat artefak (mg) diseimbangkan dengan gaya elektromagnetik pada kumparan induktif sepanjang L yang membawa arus I di dalam medan magnet dengan densitas *flux* B . Pada fasa gerakan, kumparan bergerak vertikal dengan kecepatan v melintasi medan magnet yang kemudian menginduksi tegangan U dari kumparan. Jika gaya yang dilepaskan kumparan dan kecepatan kumparan berada sejajar dengan percepatan gravitasi g pada arah vertikal juga, maka dua fasa pengukuran tersebut dapat digambarkan dengan dua persamaan yaitu $mg = I(BL)$ dan $U = v(BL)$. Saat digabungkan dengan asumsi nilai tetap dari BL , maka akan diperoleh kesamaan energi listrik virtual dengan energi mekanik dalam persamaan $mgv = I(BL)U$ [2], [5]. Dengan mengukur besaran listrik berdasarkan efek hambatan *Quantum Hall* dan standar tegangan Josephson, Neraca Watt memungkinkan penentuan massa dari artefak dalam ungkapan konstanta Planck menggunakan persamaan $m = h(Cf_1f_2/gv)$ dimana C adalah factor kalibrasi, f_1 dan f_2 merupakan frekuensi gelombang mikro yang digunakan dalam standar tegangan Josephson [2], [5]. Proses penentuan massa *IPK* tersebut menghasilkan nilai ketidakpastian sebesar $4,9 \cdot 10^{-8}$ yang memenuhi persyaratan *mise en pratique* dari redefinisi kilogram dan persyaratan ketidakpastian dari Rekomendasi *OIML R-111* [2], [4], [5].

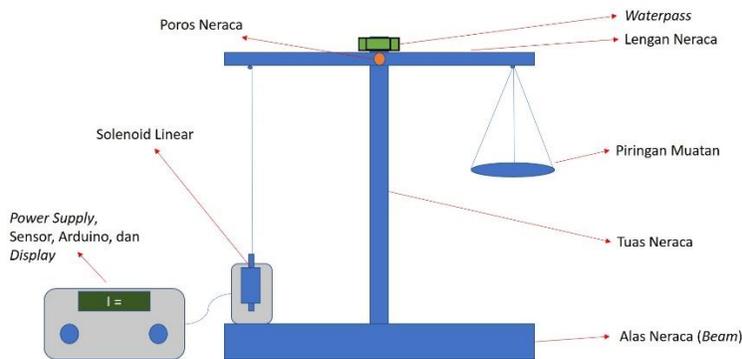
Berdasarkan proses redefinisi kilogram tersebut [1]–[5], terdapat dua tahap untuk merealisasikan hubungan massa, arus dan konstanta Planck dalam percobaan Neraca Watt. Pada penelitian ini, realisasi hubungan massa dan arus listrik dalam satu tahap percobaan akan dipelajari. Hal ini dikarenakan hubungan kesebandingan antara massa dan arus seperti ditunjukkan pada salah satu tahap Neraca Watt hingga saat ini belum ada perangkat yang dapat merealisasikan hubungan ini dengan cara sederhana [6]–[13]. Sesuai dengan prinsip kerja Neraca Watt, kesebandingan tersebut dicapai melalui keseimbangan gaya berat dan gaya elektromagnetik [2], [5]. Untuk menentukan suatu kesebandingan massa atau gaya berat, alat yang digunakan biasanya dikenal sebagai neraca [10]. Sedangkan untuk membangkitkan gaya elektromagnetik dari arus listrik biasanya digunakan solenoid [8], [9], [11], [12], [14]. Solenoid merupakan aktuatur yang dapat menghasilkan gerakan linear setelah diberikan sumber tegangan [8].

Neraca adalah jenis timbangan paling sederhana yang menggunakan satu tuas dengan sumbu atau pisau untuk menumpu lengan neraca di bagian tengah-tengahnya untuk menggantung dua piringan muatan untuk benda yang ditimbang dan anak timbangan yang diketahui massanya [10]. Jadi jika terdapat dua benda dengan massa yang sama, maka dua benda tersebut akan ditarik dengan gaya gravitasi sama besar dan neraca akan menunjukkan prosisi seimbang. Teori neraca pada umumnya merupakan dasar untuk pengembangan timbangan mekanik lainnya, terutama untuk timbangan yang prinsip kerjanya menggunakan sifat tuas seperti timbangan seperti timbangan meja dan timbangan sentisimal [10]. Pada studi ini, solenoid akan digunakan untuk menyeimbangkan gaya berat dari benda yang ditimbang pada salah satu lengan neraca untuk menunjukkan kesebandingan gaya berat dari suatu massa dan gaya elektromagnetik dari suatu kuat arus listrik sebagai salah aspek penting dalam Neraca Watt [2], [5]. Kesebandingan tersebut terjadi karena gaya berat dapat diimbangi oleh tarikan dari solenoid saat diberikan arus listrik. Di dalam solenoid terdapat kawat melingkar pada inti besi, ketika arus listrik melalui kawat ini, maka terjadi medan magnet untuk menghasilkan energi yang dapat mendorong inti besi. Poros dalam dari solenoid adalah piston seperti silinder terbuat dari besi atau baja, yang disebut *pluger*, medan

magnet kemudian menerapkan kekuatan untuk *pluger* ini, baik menarik atau *replying* (kembali posisi), ketika medan magnet dimatikan, *pluger* kemudian kembali ke posisi semula [8]. Modifikasi tersebut juga merupakan hal yang baru karena selama ini neraca banyak digunakan untuk menguji anak timbangan [7], [10], menimbang [13], dan menguji bejana ukur [15]. Sedangkan studi tentang solenoid hingga saat ini banyak terkait dengan gaya magnet atau medan magnet yang dapat dihasilkan pada suatu kombinasi jumlah lapisan dan jumlah lilitan tertentu [9] dan aplikasi solenoid pada berbagai bidang seperti pembuatan pintu otomatis [8], katup irigasi [6], katup infus [13] dan penghasil medan magnet [16].

2 Metode Penelitian

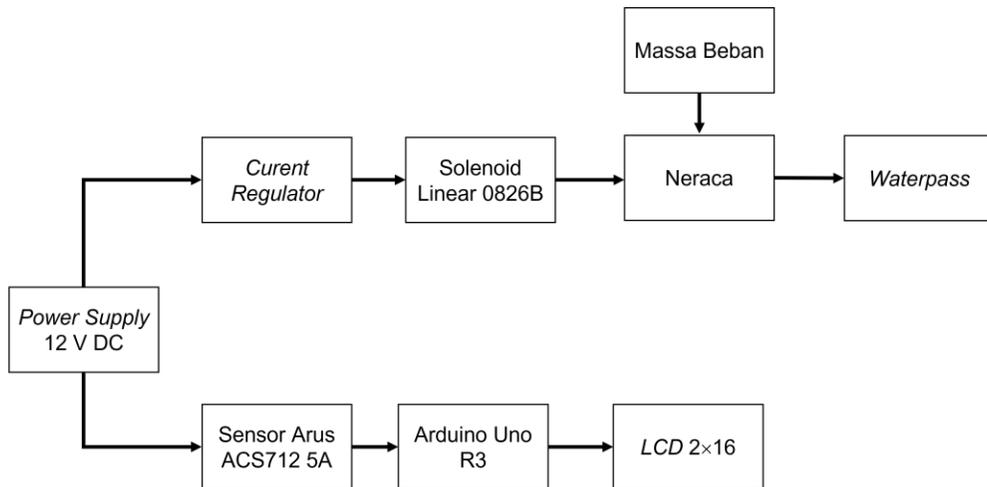
Penelitian ini dilakukan dalam tiga tahap yaitu pembuatan prototipe, kalibrasi prototipe dan penentuan hubungan arus dan massa. Seperti telah dijelaskan pada bagian pendahuluan, prototipe yang dibuat adalah modifikasi neraca dengan penyeimbang oleh solenoid. Tahap pertama, pembuatan prototipe dilakukan membuat konstruksi neraca terbuat dari kayu yang terdiri dari (a) alas neraca (sebagai tempat berdirinya tuas neraca), (b) tuas neraca (sebagai tempat menopang lengan neraca tepat di posisi tengahnya), (c) poros neraca (sebagai penghubung tuas neraca dan lengan neraca di posisi tengahnya agar dapat menunjukkan keseimbangan massa dari beban di lengan kiri dan lengan kanan), (d) piringan neraca (sebagai tempat menyimpan muatan) pada lengan sebelah kanan, (e) *waterpass* (untuk mendeteksi keseimbangan neraca), dan (f) solenoid linear yang terhubung dengan mikrokontroler, sensor arus, layar penampil dan catu daya yang dapat menarik dan menyeimbangkan beban pada piringan muatan. Konstruksi desain prototipe ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Rancangan prototipe

Berdasarkan konstruksi tersebut, prototipe ini merupakan suatu neraca yang diseimbangkan dengan solenoid linier tipe 0826B (beban maksimum 20 N). Keseimbangan tersebut ditunjukkan dengan *waterpass* yang terdapat di tengah neraca. Pergerakan dari solenoid diatur dengan *kit regulator* arus dan tegangan, dimana tegangannya telah ditetapkan sebesar 12 V, sehingga kekuatan tarikan solenoid hanya ditentukan oleh besarnya arus. Arus maksimum yang digunakan adalah 5 A dan besarnya arus yang digunakan solenoid diukur dengan sensor ACS712 [17]. Hasil pembacaan arus akan ditampilkan pada layar LCD untuk kemudian dianalisis hubungan antara arus dengan massa pada piringan muatan neraca. Komponen yang dibutuhkan dalam pembuatan prototipe ini adalah Arduino Uno R2, *power supply* 12 V, *kit regulator* arus

dan tegangan (Modul *Current Regulator* XL4015)[18], sensor arus ACS712, solenoid linear, *LCD-I2C*, dan *converter AC/DC* 12 V. Hubungan antar komponen tersebut ditunjukkan pada diagram blok berikut (Gambar 2).



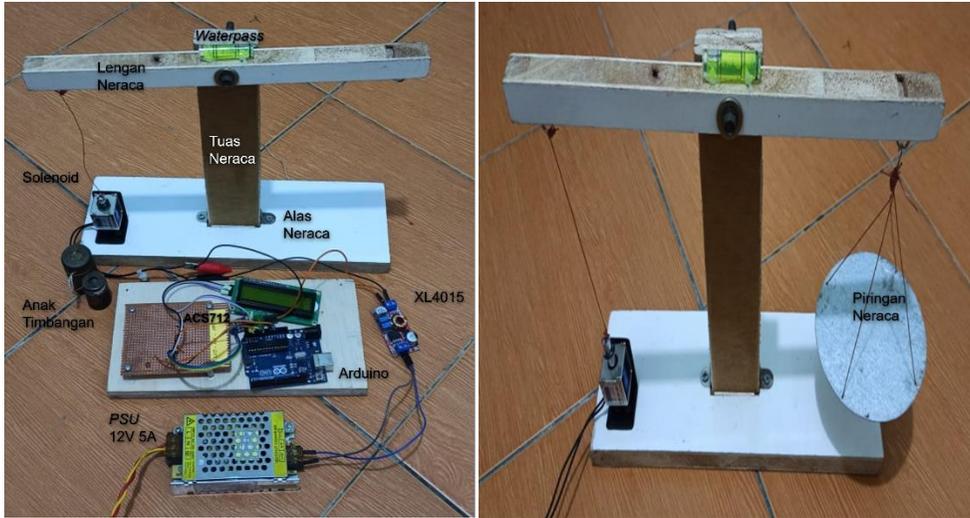
Gambar 2 Diagram blok prototipe

Tahap kedua adalah kalibrasi prototipe yaitu kalibrasi sensor ACS712. Hal ini bertujuan untuk mengetahui nilai *error* sensor dengan membandingkan hasil pembacaan sensor dengan multimeter komersial. Rangkaiannya dibuat dengan memasang sensor arus dan multimeter secara seri di antara beban dan keluaran positif dari modul regulator arus XL4015. Pengujian ini dilakukan pada rentang 0 A hingga 1 A, dan setiap titik diukur sebanyak 30 kali.

Tahap ketiga adalah penentuan hubungan arus dan massa. Tahap ini diawali dengan penentuan arus pada saat neraca tanpa beban untuk memastikan neraca berada pada kesetimbangan meskipun belum ada beban yang disimpan di atas piringan muatan. Hal ini dikarenakan piringan muatan juga memiliki massa yang dapat mempengaruhi hasil percobaan. Untuk menguji hal tersebut, prototipe dengan piringan muatan kosong dihubungkan dengan catu daya sesuai spesifikasi, lalu arus yang mengalir pada solenoid diatur (dengan trimpot arus setelah tegangan dibuat tetap sebesar 12 V) agar solenoid dapat menyeimbangkan neraca yang teramat dari *waterpass*. Tahap selanjutnya adalah dengan menambahkan satu persatu anak timbangan kelas M3 lalu kemudian dicari arus pada solenoid yang dapat menyeimbangkan muatan pada neraca tersebut. Besarnya nominal arus yang dibutuhkan solenoid untuk menyeimbangkan muatan tersebut lalu dicatat untuk dianalisis. Pengambilan data dilakukan sebanyak 30 kali pada setiap titik uji beban.

3 Hasil dan Pembahasan

Hasil pembuatan prototipe ditunjukkan pada Gambar 3. Sesuai dengan rancangan pada Gambar 1 dan Gambar 2, Gambar 3 (kiri) menunjukkan prototipe lengkap yang terdiri dari catu daya 12 V 5A, regulator arus XL4015, Arduino Uno R3, LCD-I2C, sensor arus ACS712, solenoid, *waterpass*, dan neraca tanpa piring muatan. Sedangkan Gambar 3 (kanan) menunjukkan prototipe dengan piring muatan yang juga menunjukkan contoh pengujian kesetimbangan neraca tanpa ada muatan. Pada gambar tersebut, solenoid tampak menarik lengan neraca untuk menyeimbangkan beban dari piring neraca tanpa muatan.



Gambar 3 Hasil pembuatan prototipe: tanpa piring muatan (kiri) dan dengan piring muatan (kanan)

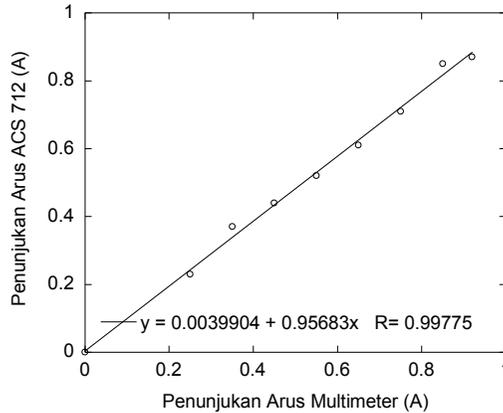
Sebelum pengujian neraca untuk menentukan hubungan massa dan arus, sensor arus ACS712 dikalibrasi. Pada tahap ini, rangkaian sensor dan multimeter komersial dipasang secara seri pada beban yaitu solenoid yang belum dirangkai dengan neraca. Kalibrasi tersebut dilakukan pada 9 (Sembilan) titik pada rentang arus 0,00 A hingga 1,00 A. Hasilnya ditunjukkan pada Tabel 1. Pada tiap nominal arus yang diuji merupakan hasil rata-rata yang diambil dari 30 kali percobaan.

Tabel 1 Ringkasan parameter fisik

No	Arus Multimeter (A)	Arus Sensor (A)	Error (A)	Tegangan (mV)
1	0,00	0,00	0,00	2470,21
2	0,25	0,23	-0,02	2542,97
3	0,35	0,37	0,02	2567,71
4	0,45	0,44	-0,01	2583,01
5	0,55	0,52	-0,03	2596,35
6	0,65	0,61	-0,04	2612,79
7	0,75	0,71	-0,04	2632,16
8	0,85	0,85	0,00	2657,06
9	0,92	0,87	-0,05	2660,81

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 1, nilai *error* terbesar terjadi pada nilai arus 0,92 A. Salah satu penyebabnya adalah rentang pembacaan multimeter digital yang lebih cepat yaitu 0,25 ms [19]. Akibatnya pada saat nilai arus sudah berubah pada multimeter, namun pada layar LCD masih belum terjadi perubahan nilai arus, karena jeda pembacaan disetel pada 1000 ms atau 1 detik. Selain itu, nilai arus baik pada multimeter digital maupun sensor ACS712 keduanya bersifat fluktuatif [20], [21], sedangkan hasil

pembacaan dari multimeter dilakukan secara manual. Selanjutnya hasil pembacaan arus dari sensor diplot terhadap nilai arus dari multimeter untuk menentukan linearitas dari sensor. Hasilnya ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Grafik hasil pengujian Sensor Arus ACS712

Gambar 4 menunjukkan linearitas dari hasil pengujian sensor arus ACS712. Plot penunjukan arus dari sensor terhadap arus dari multimeter menghasilkan persamaan garis linear $y = 0,0039904 + 0,95683x$ dengan nilai $R = 0,99775$ atau $R^2 = 0,995505$. Dengan nilai R^2 mendekati nilai 1 (satu), maka sensor memiliki kinerja linearitas yang baik [22]. Dengan hasil tersebut, sensor sudah siap untuk digunakan dalam pengujian prototipe neraca dalam rangka penentuan hubungan arus dan massa.

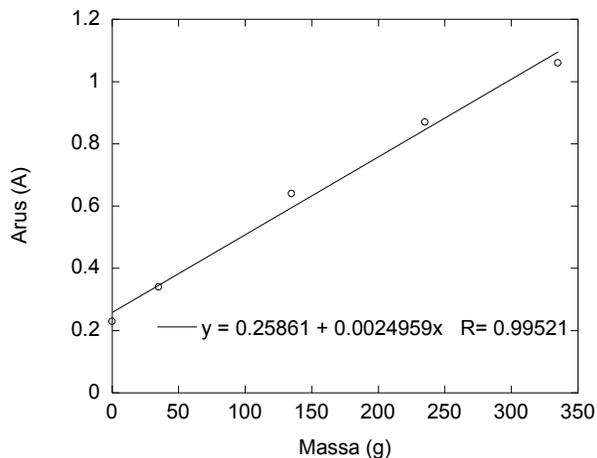
Pada pengujian prototipe neraca, anak timbangan yang digunakan adalah anak timbangan kelas M3 dengan massa nominal 100 g, 200 g, dan 300 g. Pemilihan muatan tersebut dikarenakan konstruksi neraca yang dibuat mirip dengan neraca parama kelas C yang juga diuji pada muatan 100 g, 200 g dan 500 g [23]. Selain itu, dikarenakan piringan neraca juga memiliki massa sebesar 35 g, maka muatan yang harus ditarik oleh solenoid menjadi bertambah sebesar 135 g, 235 g dan 335 g. Dengan demikian, data pembacaan arus yang didapat akan dibandingkan dengan massa anak timbangan ditambah dengan massa piringan neraca. Pada pengujian ini, trimpot pengatur arus diputar secara perlahan sampai solenoid dapat menarik muatan hingga neraca seimbang. Hasil pengujian dari 30 kali pengambilan data pada setiap muatan uji ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Ringkasan hasil pengujian neraca

No	Muatan (g)	Arus rata-rata (A)	Standar Deviasi (A)	RSD (%)	Presisi (%)
1	0	0,23	0,0148	1,20	80,27
2	35	0,34	0,0117	0,64	89,55
3	135	0,64	0,0256	0,72	88,11
4	235	0,87	0,0182	0,38	93,73
5	335	1,06	0,0196	0,34	94,44

Pada Tabel 2, kepresisian hasil pengujian rata-rata ditunjukkan dari nilai *RSD* (*Relative Standard Deviation*) dan persen presisi. Nilai *RSD* ditentukan dari hasil bagi standar deviasi dengan nilai rata-rata [24] dan didapatkan nilai *RSD* pada rentang 0,34 hingga 1,20. Dengan rentang tersebut, data yang dihasilkan memenuhi persyaratan uji validasi kepresisian karena memiliki nilai *RSD* lebih kecil dari 2 % [24]. Kemudian dari nilai standar deviasi dan nilai rata-rata juga dapat dihitung nilai persen presisi [25] dan dihasilkan nilai persen presisi antara 80,27% hingga 94,44%. Dengan demikian, hasil pengukuran pada titik tanpa beban memiliki kepresisian terendah yaitu 80,27% dan *RSD* sebesar 1,20%; kepresisian tertinggi terjadi pada titik 335 g yaitu 94,44% dan *RSD* sebesar 0,34%.

Untuk menentukan hubungan arus dan massa, data arus rata-rata diplot terhadap data muatan yang ada pada Tabel 2. Pada Gambar 5 tampak arus meningkat seiring dengan naiknya muatan pada piringan neraca. Linearitas antar keduanya ditunjukkan pada persamaan regresi linear $y = 0,25861 + 0,0024959x$ dengan nilai $R = 0,99521$ atau $R^2 = 0,9904$. Dengan nilai R^2 melebihi 0,9, maka hubungan arus dan massa dari prototipe neraca ini linear[22]. Dengan demikian, besarnya arus berbanding lurus dengan besarnya massa yang menyerupai salah satu persamaan atau kesebandingan massa dan arus listrik di dalam Neraca Watt dalam versi yang lebih sederhana [2], [5]. Tarikan untuk menyeimbangkan muatan pada neraca tersebut didapatkan dari arus listrik yang menimbulkan gaya elektromagnetik pada solenoid, dimana gaya elektromagnetik kumparan solenoid sebanding dengan jumlah lilitan dan arus listrik [9]. Pada studi ini, jenis solenoid yang digunakan adalah solenoid linear tipe Tarik, karena tipe ini pada saat diberi arus listrik pada kumparan kawat yang melingkari inti besi, inti besi tersebut terdorong ke arah dalam atau melakukan gerakan tarikan [9], [26].



Gambar 5 Hubungan arus dan massa hasil dari pengujian prototipe

4 Kesimpulan

Prototipe neraca dengan penyeimbang tarikan solenoid linear telah berhasil dibuat dengan prinsip keseimbangan antara muatan pada piringan neraca di salah satu lengan neraca dengan tarikan dari solenoid linear pada lengan neraca lainnya, dimana

pergerakannya ditentukan oleh besarnya arus listrik yang diatur oleh *regulator modul* XL4015 dan diukur oleh sensor arus ACS712. Hasil kalibrasi sensor arus ACS712 terhadap multimeter komersial menunjukkan nilai kesalahan relatif kecil sebesar 0,00 A hingga -0,05 A dan hubungan linearitas dengan nilai R2 sebesar 0,995505. Selanjutnya, hubungan arus dan massa ditentukan dari kesetimbangan neraca yaitu dengan mengatur nilai arus yang dibutuhkan untuk menarik beban tertentu hingga neraca setimbang yang dideteksi dengan *waterpass*. Hasilnya terjadi kenaikan arus bertahap dari 0,23 A menjadi 1,06 A pada saat muatan pada piringan neraca dinaikan bertahap dari 0 gram menjadi 335 gram. Analisis dari arus dan massa tersebut menghasilkan persamaan garis linear dengan koefisien determinasi 0,9904; persen presisi 80,27% - 94,44% dan RSD 0,34% hingga 1,20%. Dengan demikian, prototipe ini dapat menunjukkan kesebandingan massa dan arus listrik menyerupai Neraca Watt dalam versi yang lebih sederhana dengan linearitas dan kepresisian yang baik.

5 Referensi

- [1] I. M. Mills, P. J. Mohr, T. J. Quinn, B. N. Taylor, and E. R. Williams, *Redefinition of the kilogram: A decision whose time has come*, *Metrologia*, 42 (2), hal. 71–80, 2005.
- [2] H. Fang, F. Bielsa, A. Kiss, and M. Stock, *The BIPM Kibble balance for realizing the kilogram definition*, *Metrologia*, 57 (4), hal. 045009, 2020.
- [3] B. N. Taylor and P. J. Mohr, *On the redefinition of the kilogram*, *Metrologia*, 36 (1), hal. 63–64, 1999.
- [4] P. Richard, H. Fang, and R. Davis, *Foundation for the redefinition of the kilogram*, *Metrologia*, 53 (5), hal. A6–A11, 2016.
- [5] S. Schlamminger and D. Haddad, *The Kibble balance and the kilogram*, *Comptes Rendus Phys.*, 20 (1-2), hal. 55–63, 2019.
- [6] Wiranto, B. I. Setiawan, and S. K. Saptomo, *Sistem Kontrol Irigasi Otomatis Nirkabel*, *J. Irig.*, 9 (2), hal. 108, 2014.
- [7] E. Nurimedika, *Analisis kalibrasi anak timbangan menggunakan neraca dengan metode borda dan gauss*, Karya Akhir, Universitas Gadjah Mada, 2015.
- [8] S. H. Pratama, *RFID Sebagai Pengaman Pintu Laboratorium Jurusan Teknik Elektro*, Tugas Akhir, Universitas Negeri Semarang, 2015.
- [9] B. Winarno and I. Yuwono, *Optimalisasi Gaya pada Coil dengan Modifikasi Dimensi menggunakan Metoda Algoritma Genetika*, *JEECAE (Journal Electr. Electron. Control. Automot. Eng.*, 2 (1), hal. 77–82, 2017.
- [10] S. M. R. B. Ginting, *Perancangan Alat Pembaca Simpangan Skala Neraca secara Digital dengan Sensor Gyroscope Untuk Pengujian AT Menggunakan Metode Borda*, Skripsi, Universitas Sumatera Utara, 2017.
- [11] Ishaq, Azhar, and Muhaimin, *Rancang Bangun Neraca Elektronik Menggunakan Sensor Load Cell Pada Mesin Penggiling Kunyit Kering*, *J. Tektro*, 3 (1), hal. 14–19, 2019.
- [12] M. D. Rahayu, R. Agustrina, N. Nukmal, and S. Wahyuningsih, *Pertumbuhan Vegetatif Benih Lama Tanaman Tomat (*Lycopersicum esculentum* Mill.) Di Bawah Pengaruh Lama Pemaparan Medan Magnet 0, 2 Mt Yang Berbeda*, *Pros. Semin. Nas. Perhimpun. Biol. Indones.* XXV, hal. 169–177, 2019.
- [13] K. N. T. Yayer, W. A. Weliamto, R. Sitepu, and H. Pranjoto, *Monitoring Dan Penghentian Cairan Infus Menggunakan Timbangan Infus Digital Dengan Memanfaatkan Web Server*, *Simetris J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput.*, 11 (1), hal. 55–64, 2020.
- [14] W. Arnandi and S. Iswahyudi, *Studi Eksperimental Pembangkitan Gaya Magnetik pada Kumparan Bearus dalam Medan Magnet Neodymium*, *J. WAHANA ILMUWAN*,

- 3 (1), hal. 175–180, 2017.
- [15] M. Hendrawan, *Analisis Peletakkan Imbuh terhadap Pengujian Bejana Ukur Standar Dengan Metode Borda Menggunakan Neraca*, Karya Akhir, Universitas Gadjah Mada, 2018.
- [16] N. R. Prabowo, T. Sugiarto, and T. D. Susanto, *Studi Eksperimental Penambahan Selenoid Pada Saluran Bahan Bakar Motor Diesel Putaran Stasioner Terhadap Unjuk Kerjanya*, ITEKS Intuisi Teknol. dan Seni, 12 (1), hal. 68–78, 2020.
- [17] R. Khwanrit, S. Kittipiyakul, J. Kudtonanggam, and H. Fujita, *Accuracy Comparison of Present Low-cost Current Sensors for Building Energy Monitoring*, 2018 Int. Conf. Embed. Syst. Intell. Technol. Int. Conf. Inf. Commun. Technol. Embed. Syst. ICESIT-ICICTES 2018, hal. 3–8, 2018.
- [18] R. Regivan and Almasari, *Analisis Perbandingan Ic Regulator Linier Dengan IC Regulator Switching Dalam Rangkaian Regulator Tegangan Pada Power Supply DC*, J. Multidisciplinary Res. Dev., hal. 1090–1099, 2019.
- [19] W. O. English, *Digital storage oscilloscope vs digital multimeter*, Conf. Rec. - Ind. Commer. Power Syst. Tech. Conf., hal. 1–7, 2006.
- [20] S. M. R. Nadeak and D. Susanti, *Variasi temperatur dan waktu tahan kalsinasi terhadap unjuk kerja semikonduktor TiO₂ sebagai dye sensitizer solar cell (DSSC) dengan dye dari ekstrak buah naga merah*, J. Tek. ITS, 1 (1), hal. 81–86, 2012.
- [21] T. P. Satya, F. Puspasari, H. Prisyanti, and E. R. M. Saragih, *Perancangan Dan Analisis Sistem Alat Ukur Arus Listrik Menggunakan Sensor ACS712 Berbasis Arduino Uno Dengan Standard Clampmeter*, *Simetris J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput.*, 11 (1), hal. 39–44, 2020.
- [22] S. Setiawan, G. Djoyowasito, and S. M. Sutan, *Rancang Bangun Alat Pengukur Tinggi Pohon Tegak Berbasis Mikrokontroler AT- Mega*, J. Keteknikan dan Sains - LPPM UNHAS, 2 (1), hal. 14–19, 2019.
- [23] N. K. M. Diah and Sudiartono, *Analisis Penentuan Nilai Skala Pada Neraca Parama C Kapasitas 1 kg*, Karya Akhir, Universitas Gajah Mada, 2017.
- [24] S. Musiam and R. Alfian, *Validasi Metode Spektrofotometri UV pada Analisis Penetapan Kadar Asam Mefenamamat dalam Sediaan Tablet Generik*, J. Ilm. Ibnu Sina, 2 (1), hal. 31–43, 2013.
- [25] E. M. Mikhail and G. Gracie, *Analysis and Adjustment of Survey Measurements*, Van Nonstrand Reinhold, 1981.
- [26] N. A. Utari, *Rancang Bangun Sistem Keamanan Lemari Meja Menggunakan Barcode Berbasis Android*, Laporan Akhir, Politeknik Negeri Sriwijaya, 2019.

Analisis Metoda Estimasi Peta Kedalaman Dari Citra RGB 2D Untuk Penerapan Teknik Persepsi Pada Kendaraan Otonom

¹Yan Setiaji^{*}, ¹Muhammad Raihan Miransyahputra^{**}) & ^{1,2}Yul Yunazwin Nazaruddin^{***})

¹Program Studi Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

²Kelompok Keahlian Instrumentasi dan Kontrol, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

yan.setiaji@gmail.com^{}, raihanmiransyah@gmail.com^{**}, yul@tf.itb.ac.id^{***}*

Abstrak

Seiring berjalannya perkembangan teknologi kendaraan otonom, dilakukan berbagai usaha untuk dapat menciptakan metode pengolahan data sebagai masukan pada sistem kontrolnya. Salah satunya adalah pengembangan metode pada sistem persepsi visual, yaitu estimasi peta kedalaman dari pengolahan citra RGB 2D. Metode ini dikembangkan untuk dapat memperkuat penggunaan kamera 2D yang tidak mampu memberikan informasi ruang 3D dari lingkungan layaknya LiDAR, Radar, atau teknik ultrasonik. Metode yang akan dipresentasikan pada makalah ini menerapkan teknik Jaringan Syaraf Tiruan untuk dapat mengestimasi jarak objek dari titik perekaman. Analisis yang tajam mengenai persepsi yang dihasilkan telah dilakukan dengan menggunakan tiga arsitektur, penggunaan jaringan penskalaan global dan lokal pada arsitektur pertama, penambahan jaringan prediksi menengah pada arsitektur kedua, serta penggunaan empat modul jaringan yang terdiri dari pengkode, dekoder, gabungan fitur multi skala, dan jaringan perbaikan pada arsitektur ketiga. Pelatihan dan pengujian dicoba dengan menggunakan beberapa data set yang merepresentasikan kondisi di dalam dan di luar ruangan. Hasil simulasi dan analisis yang diperoleh memperlihatkan bahwa arsitektur ketiga memberikan hasil yang paling baik dalam memberikan informasi ruang 3D dari lingkungannya.

Kata Kunci: kendaraan otonom, peta kedalaman, visi komputer, jaringan syaraf, tiruan

1 Pendahuluan

Salah satu aspek penting pada penggunaan kendaraan otonom adalah persepsi. Aspek persepsi merupakan kemampuan sistem otonom untuk mengekstrak informasi penting dari lingkungan dan menentukan lokasi [1]. Pada saat kendaraan otonom berjalan dibutuhkan perangkat atau instrumen yang mampu memetakan atau merekam kondisi lingkungan sehingga dapat dilakukan ekstraksi informasi tersebut. Pada penelitian terdahulu dilakukan studi terkait penggunaan instrumen *Light Detection and Ranging* (LiDAR) oleh Royo dan Ballesta-Garcia [2], pengajuan penggunaan *Radio Detection and Ranging* (RADAR) oleh Bilik et al. [3] dan Roos et al. [4], penggunaan sensor ultrasonik oleh Xu dan Yan [5], dan kamera dilengkapi visi komputer oleh Pidurkar et al. [6]. Namun saat ini penggunaan LiDAR mendominasi sebagai perangkat yang dipilih, karena kelebihannya dari segi presisi, akurasi, dan kemampuan merekam ruang 3D dari lingkungan. Namun LiDAR memiliki kekurangan pada segi ketersediaan dan biaya perangkat yang relatif lebih mahal, sehingga dibutuhkan alternatif lain untuk dapat berfungsi layaknya LiDAR. Solusi alternatif yang ditawarkan adalah penggunaan kamera RGB 2D dilengkapi algoritma komputer visi untuk melakukan estimasi peta kedalaman. Estimasi ini digunakan untuk memberikan informasi ruang 3D dari lingkungan.

Pada makalah ini dilakukan komparasi performa dari 3 (tiga) arsitektur yang berbeda untuk metode tersebut. Selanjutnya juga dilakukan analisis kemungkinan penerapan metode estimasi peta kedalaman pada kendaraan otonom.

2 Dasar Teori

2.1 Peta Kedalaman

Peta kedalaman merupakan istilah yang diberikan pada hasil pencitraan 3D baik dengan perekaman kamera stereo ataupun pemindaian 3D dengan laser. Penggunaan kata kedalaman merupakan penjelasan dari jarak objek pada citra dengan titik perekaman sensor. Besar jarak diwakili dengan nilai piksel untuk menentukan jauh dekatnya, sehingga gabungan piksel yang menyusun citra hasil rekam menjadikan citra memberikan informasi posisi objek layaknya peta [7]. Pada metode estimasi peta kedalaman dari citra RGB 2D, dilakukan sebuah pendekatan untuk dapat mengekstrak aspek kedalaman dari sebuah citra 2D, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1. Untuk melakukan pendekatan tersebut dibutuhkan suatu algoritma yang mampu mempelajari fitur citra, dan untuk itu akan digunakan algoritma Jaringan Syaraf Tiruan (JST).



Gambar 1 (kiri) Citra RGB 2D, (kanan) *Depth map*

2.2 Jaringan Syaraf Tiruan (JST)

Jaringan Syaraf Tiruan adalah suatu pengolah informasi atau prosesor yang mencoba untuk memodelkan otak manusia, yang terdistribusi secara paralel dan memiliki kemampuan natural untuk menyimpan pengetahuan berdasarkan pengalaman, sehingga dapat digunakan untuk penyelesaian berbagai permasalahan yang memerlukan informasi-informasi masa lampau [8,9]. Algoritma JST dirancang untuk memiliki kemampuan belajar, mensarikan, dan memberikan kesimpulan. JST sendiri terbagi menjadi 3 model berdasarkan data belajarnya, yaitu perseptron multi-lapis (*Multi Layer Perceptron/MLP*) untuk data tabular, jaringan syaraf konvolusi (*Convolutional Neural Network/CNN*) untuk data citra, dan jaringan syaraf berulang (*Recurrent Neural Network/NN*) untuk data sekuensial. Pada metode estimasi peta kedalaman digunakan jaringan syaraf konvolusi (CNN) untuk mengekstrak fitur citra.

3 Perancangan Model

3.1 Arsitektur

Untuk proses estimasi peta kedalaman dari citra RGB 2D dibutuhkan model Jaringan Syaraf Konvolusi yang perlu dilatih terlebih dahulu. Pada penelitian analisis metode ini digunakan 3 varian arsitektur Jaringan Syaraf Konvolusi dari Eigen et al. (2014) [10],

yang selanjutnya disebut arsitektur 1, Eigen dan Fergus (2015) [11], disebut arsitektur 2, dan Hu et al. (2019) [12] disebut arsitektur 3. Juga pada pengembangan perangkat lunak yang diperlukan untuk analisis digunakan PyTorch sebagai pustaka pembelajaran mesin, karena lebih mudah dalam proses implementasi model.

Pada arsitektur 1, struktur lapisan JST yang digunakan mempunyai 2 kelompok lapisan, yaitu kelompok lapisan kasar (*coarse*) dan halus (*fine*). Kasar dan halus ini dibedakan berdasarkan proses ekstraksi fitur citra masukan. Citra masukan terlebih dahulu melewati kelompok x^k kasar, lalu terjadi proses konvolusi, *pooling*, dan ekstraksi fitur melewati lapisan linier. Selanjutnya keluaran fitur dari kelompok lapisan kasar digabung (*concatenate*) dengan citra masukan awal untuk menjadi masukan pada kelompok lapisan halus. Penggabungan kedua citra tersebut digunakan untuk proses penghalusan citra, sehingga fitur yang didapat dari proses kelompok lapisan kasar dapat dikoreksi kembali terkait informasi spasialnya dengan citra masukan awal. Proses detail ukuran citra setiap lapisan telah diinformasikan pada [10].

Selanjutnya, arsitektur 2 merupakan pengembangan lanjutan dari arsitektur yang pertama, masih dengan prinsip lapisan konvolusi dan *pooling* dengan mengganti kelompok lapisan kasar (*Scale 1*) dengan model VGG [13] yang sudah dilatih dengan dataset Imagenet [14] untuk mengekstraksi fitur-fitur yang terdapat pada gambar. Sedangkan pada kelompok lapisan tengah (*Scale 2*) digunakan untuk memprediksi pada resolusi sedang dengan gambar yang lebih jelas digabungkan (*concatenate*) dengan informasi yang dihasilkan oleh *Scale 1*. Hasil dari *Scale 2* digabungkan dengan citra masukan untuk diolah pada kelompok lapisan halus. [11]

Perbedaan yang cukup signifikan dibandingkan dengan kedua arsitektur yang sebelumnya dimiliki oleh arsitektur 3, yang terdiri dari empat bagian utama, yaitu *encoder*, *decoder*, *multiscale feature fusion*, dan *refinement module*. Pada arsitektur 3 selain menggunakan *pre-train* dari ResNet [15] yang berada pada blok *encoder* untuk mengekstraksi fitur-fitur yang terdapat pada citra 2D, model ini juga menerapkan skema *up-projection* [16] pada blok *decoder*. *Up-projection* merupakan pengembangan dari metode *unpooling* yang berguna untuk meningkatkan skala (*upscale*) dari blok terakhir *encoder*. Keluaran-keluaran dari masing-masing lapisan *encoder* digabung pada bagian *multiscale feature fusion* untuk dilakukan penghalusan pada *refinement module* seperti dua arsitektur yang sebelumnya. [12]

3.2 Dataset

Untuk penelitian ini telah digunakan 2 jenis dataset, yaitu *NYU Depth Dataset* dan *Kitti Dataset*. *NYU Depth Dataset* berisi kumpulan perekaman citra pada lingkungan dalam ruang, terdapat berbagai furnitur yang berperan sebagai objek (Gambar 1) [17]. Kemudian *Kitti Dataset* berisi kumpulan perekaman citra lingkungan luar ruang dari sudut pandang kendaraan, terdapat mobil, pembatas jalan, dan lain-lain sebagai objek (seperti diperlihatkan pada Gambar 2) [18].



Gambar 2. Contoh-contoh Citra pada *Kitti Dataset*

3.3 Fungsi rugi-rugi (loss function)

Untuk ketiga arsitektur yang disebutkan sebelumnya, maka fungsi rugi-rugi (*loss function*) yang digunakan adalah persamaan yang memberikan nilai selisih dari citra keluaran model (hasil estimasi) D dengan citra *ground-truth* D^* . Nilai selisih ini dilakukan untuk setiap nilai piksel pada citra, yang dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan berikut

$$L_{depth}(D, D^*) = \frac{1}{n} \sum_i d_i^2 - \frac{1}{2n^2} \left(\sum_i d_i \right)^2 + \frac{1}{n} \sum_i [(\nabla_x d_i)^2 + (\nabla_y d_i)^2] \quad (1)$$

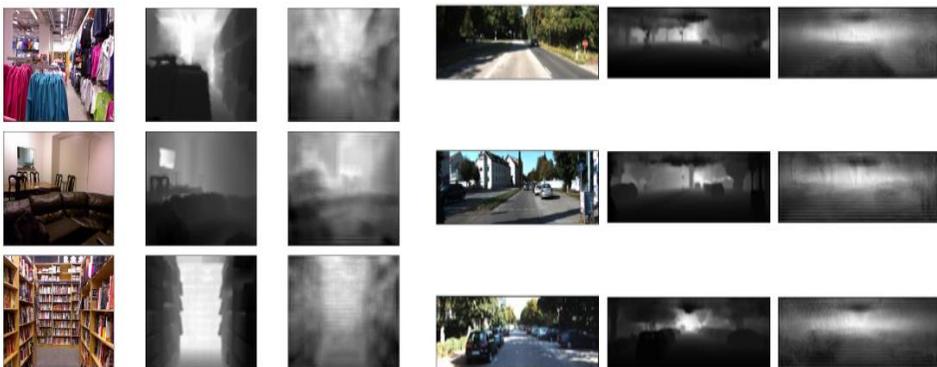
dimana $d = D - D^*$, i adalah indeks piksel, dan n adalah jumlah piksel. Kemudian pada ruas $\nabla_x d_i$ dan $\nabla_y d_i$ dilakukan perhitungan selisih gradien kedua sumbu (x dan y) citra prediksi dan citra *ground-truth* agar perhitungan rugi-rugi juga mempertimbangkan kesamaan struktur citra [11].

3.4 Pelatihan Model

Pada arsitektur 1 dilakukan modifikasi parameter pelatihan yang diajukan pada [10]. Modifikasi dilakukan karena pada penggunaan parameter awal didapatkan nilai rugi-rugi yang melonjak tinggi dan tidak stabil. Untuk itu digunakan *optimizer* Adam dan *learning rate* 0.0001 untuk kedua kelompok lapisan, dan kemudian ditambahkan *learning rate decay* secara eksponensial dengan nilai *gamma* 0.9. *Optimizer* Adam merupakan metode optimasi stokastik yang mudah diterapkan dengan penggunaan memori yang ringan [19]. Selanjutnya untuk jumlah *epoch* diberikan 25, karena tidak ada perubahan *error* yang signifikan setelah itu. Kemudian untuk arsitektur 2 dan 3 digunakan *optimizer* Adam dan *learning rate* 0.00001. Nilai *learning rate* ditentukan berdasarkan uji coba variasi, karena apabila terlalu kecil komputasi menuju rugi-rugi yang optimal cukup lama dicapainya dan jika terlalu besar maka nilai rugi-rugi menjadi tidak stabil.

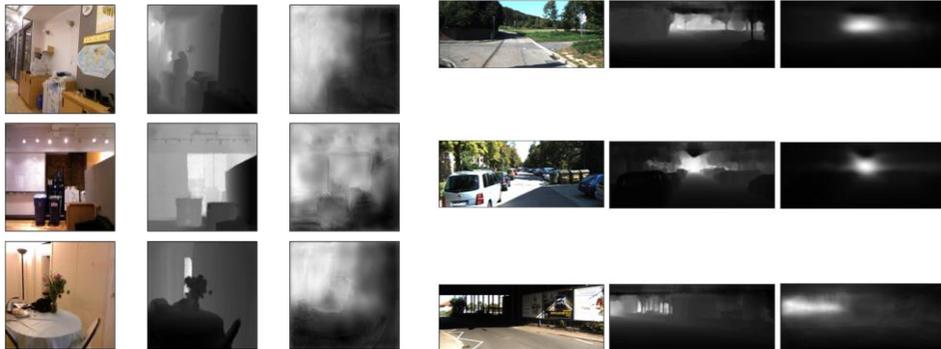
4 Hasil Simulasi dan Analisis

Gambar 3,4, dan 5 berturut-turut memperlihatkan hasil pengujian dengan menggunakan arsitektur 1, 2, dan 3 yang telah dilatih. Pada gambar-gambar tersebut maka kolom 1 adalah citra masukan, kolom 2 adalah citra *ground-truth*, dan kolom 3 adalah citra hasil estimasi model.



Gambar 3. (kiri) Keluaran dengan *NYU Depth Dataset*, (kanan) Keluaran dengan *Kitti Dataset*

Simulasi dan pelatihan dilakukan dengan menggunakan GPU accelerator NVIDIA Tesla T4 16 GB.



Gambar 4. (kiri) Keluaran dengan *NYU Depth Dataset*, (kanan) Keluaran dengan *Kitti Dataset*



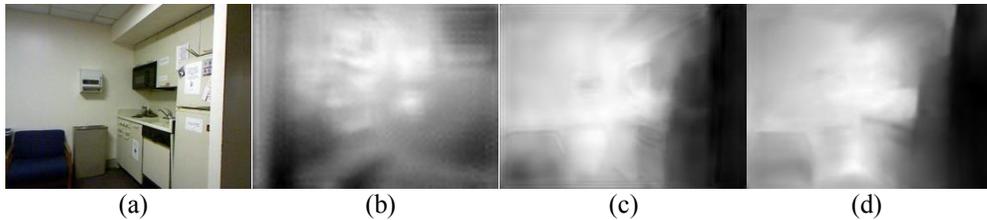
Gambar 5. (kiri) Keluaran dengan *NYU Depth Dataset*, (kanan) Keluaran dengan *Kitti Dataset*

Selanjutnya, setelah dilakukan pelatihan model diuji untuk menerima citra tunggal untuk pengujian durasi komputasi dan nilai rugi-rugi dari *ground-truth* nya. Citra diambil disesuaikan dengan kondisi dalam ruang dan kondisi luar ruang, seperti diperlihatkan pada Gambar 6 dan 7.

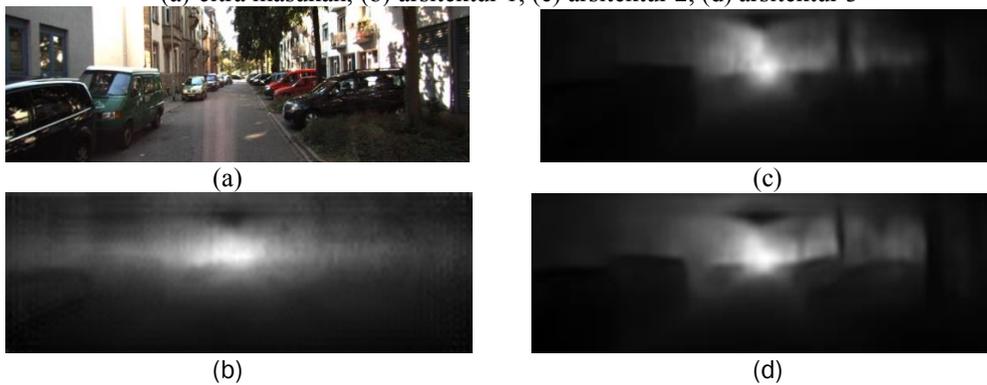
Tabel 1. Hasil pelatihan model dengan *NYU Depth Dataset* dan *Kitti Dataset*

Arsitektur	GPU	<i>NYU Depth Dataset</i>		<i>Kitti Dataset</i>	
		Durasi Pelatihan	Rugi-rugi per batch	Durasi Pelatihan	Rugi-rugi per batch
1	Tesla T4	1 j 20 menit	2,4707	54 m 10 detik	4,1981
2	Tesla T4	2 j 44 menit	0,8056	1 j 32 menit	3,2540
3	Tesla T4	11 j 1 menit	0,6914	3 j 45 menit	2,3708

Dari hasil simulasi ketiga arsitektur diperoleh informasi terkait perkembangan yang terjadi pada sistem visi komputer. Perkembangan yang dilakukan diantaranya adalah pengajuan arsitektur baru, fungsi rugi-rugi baru, dan diimplementasikannya teknik *pre training* dengan menggunakan Imagenet [14].



Gambar 6. Hasil pengujian penerimaan citra RGB tunggal (dalam ruang)
(a) citra masukan, (b) arsitektur 1, (c) arsitektur 2, (d) arsitektur 3



Gambar 7. Hasil pengujian penerimaan citra RGB tunggal (luar ruang)
(a) citra masukan, (b) arsitektur 1., (c) arsitektur 2., (d) arsitektur 3.

Tabel 2 Hasil Pengujian dengan data citra tunggal

Arsitektur	GPU	Durasi pengolahan citra tunggal		Rugi-rugi	
		NYU Depth Dataset	Kitti Dataset	NYU Depth Dataset	Kitti Dataset
1	Tesla T4	0,06 detik	0,05 detik	0,3117	0,6317
2	Tesla T4	0,1 detik	0,06 detik	0,3420	0,6815
3	Tesla T4	0,28 detik	0,14 detik	0,0714	0,4207

Berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada tabel 1, arsitektur 3 menghasilkan citra kedalaman dengan rugi-rugi per *batch* paling kecil. Kemudian pada gambar 6 dan 7, terlihat sangat jelas bahwa citra keluaran model yang paling baik diberikan juga oleh arsitektur 3, kemudian arsitektur 2, dan terakhir arsitektur 1. Hasil pada gambar 6 dan 7 diperkuat dengan hasil kuantitatif perhitungan nilai rugi-rugi dari keluaran model pada tabel 2. Hasil yang baik didapatkan dari kemampuan arsitektur JST untuk mengekstrak

fitur citra dan mengolah informasi. Namun untuk meningkatkan kemampuan tersebut struktur lapisan menjadi semakin kompleks dan hal ini mengakibatkan peningkatan durasi pelatihan dan pengolahan masukan pada pengujian model. Hal tersebut terbukti oleh arsitektur 3, dengan pengajuan lapis *up-projection* untuk menjaga informasi spasial pada penskalaan citra, sedangkan pada arsitektur 1 dan 2 masih digunakan struktur jaringan syaraf konvolusi sederhana. Lalu apabila ditinjau pada tabel 2, nilai rugi-rugi yang dihasilkan dari pengolahan citra tunggal tidak berselisih jauh untuk ketiga arsitektur, namun apabila ditinjau secara visual pada gambar 6 dan 7 perbedaan hasil antara ketiga arsitektur tersebut dapat terlihat sangat jelas. Disini dapat dipahami bahwa perubahan nilai rugi-rugi sangat mempengaruhi hasil estimasi peta kedalaman. Dapat disimpulkan metode yang digunakan pada arsitektur 3 memberikan hasil estimasi peta kedalaman paling baik, namun dengan konsekuensi durasi komputasi lebih lama.

Dengan permasalahan tersebut, maka dibutuhkan sumber daya komputasi yang cukup besar apabila sistem ini hendak diimplementasikan pada kendaraan otonom. Jika ditinjau pada tabel 2, terlihat waktu yang dibutuhkan untuk model mengolah citra masukan, namun waktu tersebut didapatkan dengan citra beresolusi kecil. Kemudian perlu dipertimbangkan juga waktu untuk sistem kendaraan otonom mengolah informasi persepsi visual dan melakukan pengambilan keputusan, karena kendaraan otonom harus bertindak responsif untuk keselamatan pengendara dan lingkungan.

Dari segi fungsional didapatkan bahwa metode estimasi peta kedalaman melalui citra RGB 2D mampu memberikan informasi kondisi lingkungan khususnya terkait jarak objek dengan titik perekaman. Metode ini mampu digunakan untuk memperkuat penggunaan kamera RGB sebagai instrumen persepsi di segala bidang baik penggunaan dalam ruang atau luar ruang. Hal tersebut menjadikan metode ini sangat berpotensi untuk diterapkan pada kendaraan otonom, dengan hanya menggunakan kamera 2D tetap didapatkan informasi ruang 3D.

5 Kesimpulan

Analisis estimasi peta kedalaman yang ditunjukkan pada makalah ini berhasil menyimpulkan bagaimana pengujian yang dilakukan pada tiga arsitektur, berdasarkan parameter rugi-rugi per *batch* dan rugi-rugi sampel citra tunggal diperoleh bahwa arsitektur ketiga memberikan hasil yang paling baik dalam memberikan informasi mengenai persepsi terhadap lingkungan, Hal ini juga menunjukkan bahwa perkembangan yang cukup pesat dari tahun ke tahun mengenai peningkatan penggunaan metoda persepsi yang dikembangkan. Dengan sumber daya komputasi yang memadai metode ini dapat menjadi pilihan untuk memberikan informasi persepsi pada ranah robotika khususnya pada penerapan kendaraan otonom, dimana dengan melalui informasi 2 dimensi dapat diperoleh informasi tambahan aspek 3 dimensi pada citra.

6 Referensi

- [1] S. D. Pendleton *et al.*, "Perception, planning, control, and coordination for autonomous vehicles," *Machines*, vol. 5, no. 1, pp. 1–54, 2017, doi: 10.3390/machines5010006.
- [2] S. Royo and M. Ballesta-Garcia, "An overview of lidar imaging systems for autonomous vehicles," *Appl. Sci.*, vol. 9, no. 19, 2019, doi: 10.3390/app9194093.

- [3] I. Bilik, O. Longman, S. Villeval, and J. Tabrikian, "The Rise of Radar for Autonomous Vehicles: Signal processing solutions and future research directions," *IEEE Signal Process. Mag.*, vol. 36, no. 5, pp. 20–31, 2019, doi: 10.1109/MSP.2019.2926573.
- [4] F. Roos, J. Bechter, C. Knill, B. Schweizer, and C. Waldschmidt, "Radar sensors for autonomous driving," *IEEE Microw. Mag.*, vol. 20, no. 9, pp. 58–72, 2019, doi: 10.1109/MMM.2019.2922120.
- [5] W. Xu, C. Yan, W. Jia, X. Ji, and J. Liu, "Analyzing and Enhancing the Security of Ultrasonic Sensors for Autonomous Vehicles," *IEEE Internet Things J.*, vol. 5, no. 6, pp. 5015–5029, 2018, doi: 10.1109/JIOT.2018.2867917.
- [6] A. Pidurkar, R. Sadakale, and A. K. Prakash, "Monocular Camera based Computer Vision System for Cost Effective Autonomous Vehicle," *2019 10th Int. Conf. Comput. Commun. Netw. Technol. ICCCNT 2019*, pp. 1–5, 2019, doi: 10.1109/ICCCNT45670.2019.8944496.
- [7] Solomon, C. and Breckon, T., 2011. *Fundamentals of Digital Image Processing: A Practical Approach with Examples in Matlab (1st. ed.)*, Wiley Publishing.
- [8] Haykin, S., 2009. *Neural Networks and Learning Machines (3rd. ed.)*, Prentice Hall.
- [9] Y.Y. Nazaruddin, *Sistem Kontrol Cerdas*, 2020, Program Studi Teknik Fisika, ITB
- [10] D. Eigen, C. Puhrsch, and R. Fergus, "Depth map prediction from a single image using a multi-scale deep network," *Adv. Neural Inf. Process. Syst.*, vol. 3, no. January, pp. 2366–2374, 2014.
- [11] D. Eigen and R. Fergus, "Predicting depth, surface normals and semantic labels with a common multi-scale convolutional architecture," *Proc. IEEE Int. Conf. Comput. Vis.*, vol. 2015 Inter, pp. 2650–2658, 2015, doi: 10.1109/ICCV.2015.304.
- [12] J. Hu, M. Ozay, Y. Zhang, and T. Okatani, "Revisiting single image depth estimation: Toward higher resolution maps with accurate object boundaries," *Proc. - 2019 IEEE Winter Conf. Appl. Comput. Vision, WACV 2019*, pp. 1043–1051, 2019, doi: 10.1109/WACV.2019.00116.
- [13] K. Simonyan and A. Zisserman, "VERY DEEP CONVOLUTIONAL NETWORKS FOR LARGE-SCALE IMAGE RECOGNITION," 2015. Accessed: Dec. 05, 2020. [Online]. Available: <http://www.robots.ox.ac.uk/>.
- [14] Deng, J., Dong, W., Socher, R., Li, L.-J., Li, K., & Fei-Fei, L. (2009). Imagenet: A large-scale hierarchical image database. In 2009 IEEE conference on computer vision and pattern recognition (pp. 248–255).
- [15] K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun, "Deep Residual Learning for Image Recognition." Accessed: Dec. 05, 2020. [Online]. Available: <http://image-net.org/challenges/LSVRC/2015/>.
- [16] I. Laina, C. Rupprecht, V. Belagiannis, F. Tombari, and N. Navab, "Deeper Depth Prediction with Fully Convolutional Residual Networks." *3D Vision (3DV), 2016 Fourth International Conference on*, 239-248
- [17] N. Silberman, D. Hoiem, P. Kohli, and R. Fergus. Indoor segmentation and support inference from rgb-d images. In *ECCV*, 2012.
- [18] A. Geiger, P. Lenz, C. Stiller, and R. Urtasun. Vision meets robotics: The kitti dataset. *International Journal of Robotics Research (IJRR)*, 2013.
- [19] Kingma, Diederik P., and Jimmy Ba. "Adam: A Method for Stochastic Optimization." *ArXiv:1412.6980 [Cs]*, Jan. 2017. arXiv.org, <http://arxiv.org/abs/1412.6980>.

Rancang Bangun Sistem Penentuan Mutu Buah Lemon Berbasis Pengolahan Citra

¹Muhammad Reza Arifandie, ²Naila Zahra, & ^{2*}Endang Juliastuti

¹Program Studi Teknik Fisika, Institut Teknologi Bandung

²Kelompok Keahlian Instrumentasi dan Kontrol, Institut Teknologi Bandung

*yulias@tf.itb.ac.id

Abstrak

Lemon merupakan buah yang memiliki banyak manfaat dan dapat dinilai kualitasnya berdasarkan kematangan, ukuran, dan cacat. Warna dan ukuran adalah parameter utama bagi konsumen dalam menentukan kualitas lemon. Saat ini, mayoritas proses penentuan mutu lemon di Indonesia masih dilakukan secara manual. Penentuan mutu lemon secara manual merupakan pekerjaan yang melelahkan dan memakan banyak waktu dan biaya. Sebuah sistem penentuan mutu lemon secara otomatis dapat mengurangi biaya yang dikeluarkan oleh petani untuk tenaga kerja. Pada penelitian ini akan dibuat sebuah sistem yang dapat menentukan tingkatan mutu lemon dengan menganalisis warna dan ukuran lemon. Sistem yang dirancang terdiri dari komputer Raspberry Pi 2B, kamera, dan sistem pencahayaan untuk pengambilan dan pemrosesan citra lemon. Tiga jenis klasifikasi dilakukan oleh sistem, yaitu klasifikasi berdasarkan ukuran, warna, dan ada tidaknya cacat. Dengan metode tersebut, sistem yang dibuat memiliki performa yang cukup baik yaitu sebesar 47,08%. Sistem yang dibuat dapat mengukur diameter lemon dengan akurasi sebesar 98,79%, dan dapat menentukan mutu dalam waktu 0,34 detik.

Kata Kunci: penentuan mutu, sortir buah, pengolahan citra, thresholding, citra HSI, lemon

1 Pendahuluan

Lemon adalah buah yang tergolong dalam golongan sitrun yang memiliki banyak manfaat dalam kehidupan sehari-hari, baik sebagai bahan dasar maupun pelengkap pembuatan berbagai produk makanan, minuman, dan obat-obatan, juga dapat dimanfaatkan sebagai pembersih noda. Terdapat banyak varietas buah lemon, namun kebanyakan akan memiliki buah yang berwarna hijau yang berubah menjadi kuning seiring dengan peningkatan kematangannya [1].

Dalam memilih produk pertanian konsumen umumnya mengharapkan konsistensi dan terjaminnya kualitas produk yang biasanya dapat ditentukan berdasarkan warna, bentuk, ukuran, maupun tekstur. Kualitas buah golongan sitrun dapat ditentukan baik berdasarkan ukuran dan warna kulit buah [2] [3]. Salah satu fitur morfologi dalam penentuan mutu berdasarkan ukuran adalah dengan pendeteksian diameter minimum dan maksimum buah [4]. Sedangkan penentuan kualitas warna dapat dilakukan dengan klasifikasi kematangan berdasarkan warna spesifik ataupun analisa homogenitas warna untuk penentuan cacat [5]. Di beberapa negara maju, terdapat klasifikasi mutu buah lemon yang menjadi petunjuk dalam kegiatan perdagangan. Di Amerika Serikat, berdasarkan standar buah lemon dengan kualitas terbaik memiliki kulit dengan warna kuning merata dan bebas dari cacat karena hama, penyakit, atau cacat akibat kesalahan penanganan [6]. Sedangkan menurut *United Nations Economic Commission for Europe (UNECE)*, tingkatan buah lemon dibagi menjadi tiga kelas berdasarkan tingkat homogenitas warna dan keberadaan cacat. Selain itu, berdasarkan ukurannya, lemon minimum memiliki diameter 45 mm dengan ukuran yang seragam [7].

Untuk mewujudkan harapan tersebut, maka tahap pasca panen, terutama sortir dan penentuan mutu, memiliki peran penting dalam proses budidaya produk pertanian, termasuk pada budidaya lemon [8]. Saat ini, para petani lemon di Indonesia umumnya masih melakukan proses penentuan mutu secara manual, sehingga memerlukan waktu dan tenaga kerja yang ekstra. Selain itu, faktor manusia pada proses sortir sangat terpengaruh oleh kelelahan dan ketidaktepatan yang dapat berpotensi pada rendahnya efektivitas dan konsistensi proses sortir dan penentuan mutu. Semakin besar skala pertanian, maka presisi proses sortir dan penentuan mutu semakin menantang sehingga banyak dikembangkan beragam teknologi untuk otomatisasi sortir dan penentuan mutu [9]. Sistem penentuan mutu otomatis dapat menekan biaya produksi sekaligus meningkatkan kualitas buah hasil produksi dengan cara menyelesaikan masalah yang dihadapi oleh proses penentuan mutu manual dalam mempertahankan konsistensi dan keseragaman [10].

Pada penelitian ini, akan dirancang sebuah perangkat yang dapat menentukan kualitas lemon jenis California sesuai kriteria warna dan ukuran dengan memanfaatkan sistem visi berbasis raspberry pi dan pengolahan citra. Sistem visi yang dirancang terdiri dari sebuah kamera, raspberry pi, dan sistem pencahayaan. Pemrosesan citra dilakukan dengan tahapan prapemrosesan untuk mengondisikan citra terakuisisi, eliminasi latar belakang, dan ekstraksi fitur yang di dalamnya termasuk konversi ruang warna dari *Red-Green-Blue* (RGB) menjadi *Hue-Saturation-Intensity* (HSI). Selanjutnya, tiga jenis klasifikasi dilakukan, yaitu klasifikasi berdasarkan ukuran, warna, dan ada tidaknya cacat.

2 Metode

2.1 Survei Kebutuhan

Pada penelitian ini akan dilakukan survei yang meliputi kebutuhan data, spesifikasi, narasumber, referensi, dan sistem yang akan diimplementasikan. Data yang dibutuhkan dalam tahap ini adalah kriteria klasifikasi menurut petani lemon serta sampel berupa lemon yang sudah diklasifikasi. Lemon yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis lemon California. Secara manual, petani lemon biasanya memisahkan dahulu lemon yang tidak memiliki cacat secara kualitatif. Lemon yang sudah matang kemudian dikelompokkan berdasarkan ukuran, petani menggunakan sebuah alat berupa papan kayu yang memiliki beberapa lubang berbentuk lingkaran dengan diameter tertentu yang dapat dilihat pada Gambar 1. Jika lemon memiliki cacat, belum matang, dan atau terlalu kecil maka lemon dimasukkan ke kategori "Reject".



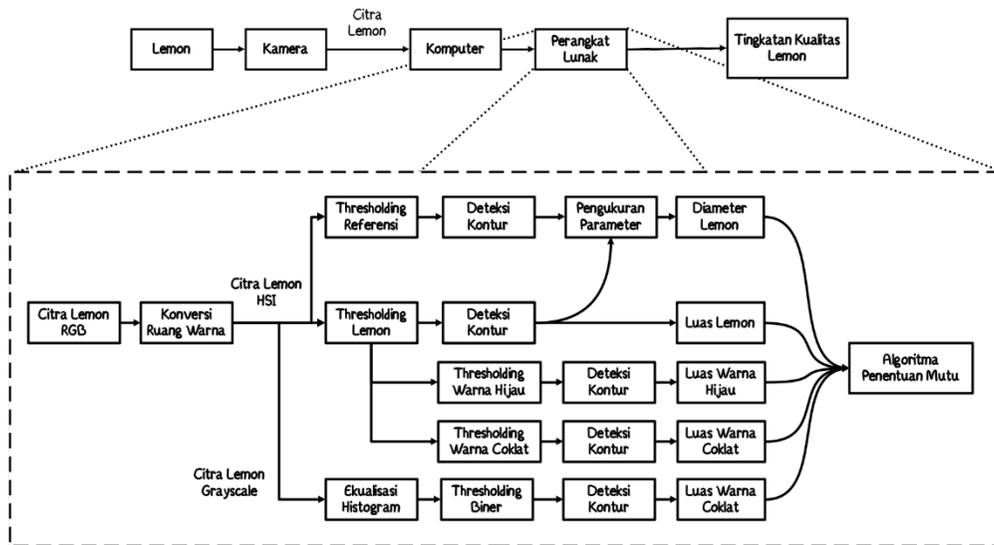
Gambar 1 Proses sortir lemon manual.

Survei tersebut menjadi dasar penentuan klasifikasi pada sistem yang diajukan. Secara serial sistem akan melakukan kuantifikasi terhadap diameter, keberadaan cacat, dan

tingkat kematangan. Selanjutnya, sistem yang dirancang dibuat dengan spesifikasi akurasi pengukuran diameter minimum 90%, kecepatan deteksi maksimum 5 detik, dan akurasi penentuan mutu minimum 90%.

2.2 Rancangan Arsitektur Sistem

Pada sistem yang dibuat, data citra lemon yang sudah dikondisikan dengan perangkat pencahayaan akan ditangkap oleh kamera. Kemudian data citra akan disimpan dan diolah oleh algoritma pada sebuah komputer dan menghasilkan keluaran berupa tingkat kualitas lemon seperti tampak pada Gambar 2. Penjelasan mengenai proses sistem visi lebih lanjut akan dijelaskan pada bagian selanjutnya.

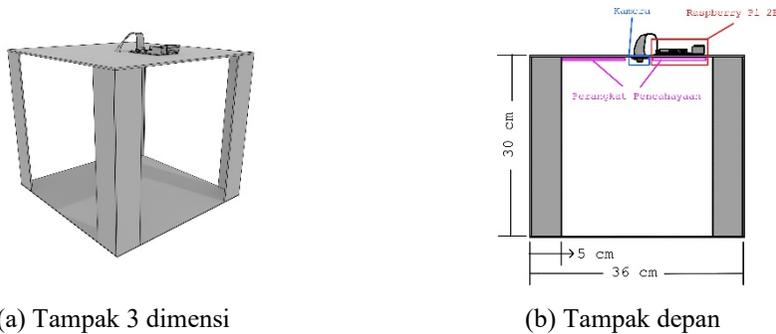


Gambar 2 Diagram blok sistem visi untuk penentuan kualitas lemon

Penelitian ini membutuhkan kamera dengan reproduksi citra yang baik, kompatibilitas dengan sistem operasi Linux, dan harga yang relatif murah. Dengan kriteria tersebut maka dipilih kamera OV5647 untuk mengakuisisi citra buah lemon. Proses pengolahan citra adalah suatu proses dengan beban komputasi yang berat sehingga dibutuhkan komputer dengan prosesor yang dapat melakukan komputasi dengan cepat. Kriteria terakhir yang harus diperhatikan adalah harga dan konsumsi daya listrik dari komputer. Dengan kriteria tersebut maka dipilih Raspberry Pi 2B sebagai komputer untuk pemrosesan citra. Karena akan digunakan deteksi warna, maka purwarupa membutuhkan pencahayaan warna cahaya putih dan cahaya yang merata. Dengan kriteria tersebut maka dipilih LED strip putih 6500K sebagai perangkat pencahayaan.

2.2.1 Rancangan perangkat keras

Dari komponen yang sudah ditentukan, dirancang sebuah selubung yang menjadi tempat seluruh komponen. Selubung didesain menggunakan aplikasi Blender untuk pembuatan model 3 dimensi dan Krita untuk memasukkan dimensi. Desain perangkat keras dapat dilihat pada Gambar 3.

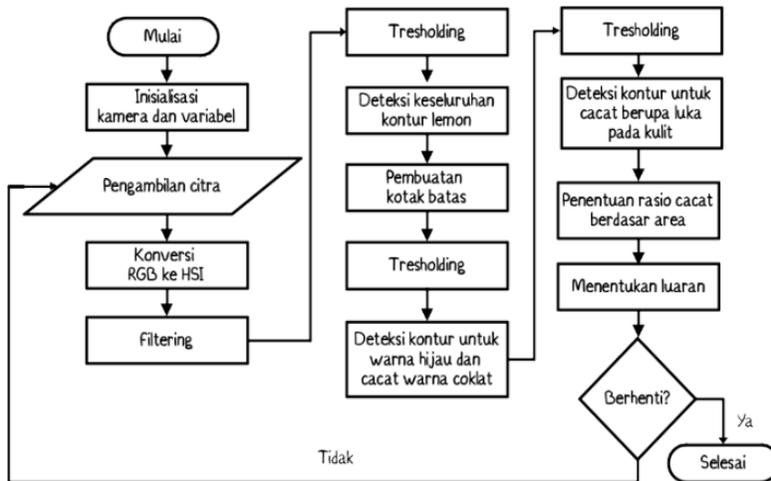


Gambar 3 Desain purwarupa perangkat keras

Desain kemudian diimplementasikan dengan bahan berupa papan kayu *medium-density fibreboard* (MDF) dengan ketebalan 3mm. Komputer dan kamera dipasang ke selubung menggunakan set mur-baut M2 x 10 mm dan M3 x 10 mm, sedangkan LED strip dipasang menggunakan selotip dua-sisi pada bagian langit-langit.

2.2.2 Rancangan Perangkat Lunak

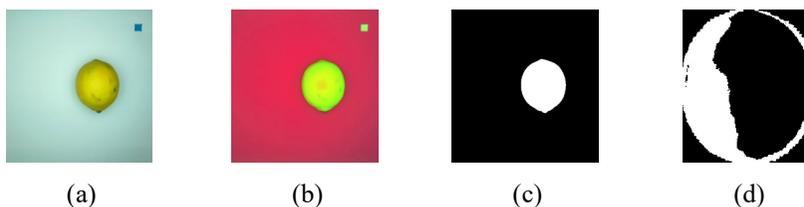
Perangkat lunak ditulis menggunakan bahasa pemrograman Python dan *library* OpenCV. Desain algoritma perangkat lunak dapat dilihat pada Gambar 4. Perangkat lunak melakukan pengambilan citra serta memproses citra untuk mendapatkan data berupa mutu lemon.



Gambar 4 Diagram alur perangkat lunak pengolahan citra

Penentuan kualitas buah dan sayur dengan menggunakan pengolahan citra secara umum terdiri dari 5 tahapan, akuisisi citra, prapemrosesan citra, segmentasi citra, ekstraksi fitur, dan klasifikasi [2]. Pengolahan citra dilakukan pada ruang warna *Hue-Saturation-Intensity* (HSI) karena keunggulannya yang cenderung tidak terpengaruh oleh perubahan cahaya jika dibandingkan citra *Red-Green-Blue* (RGB). Pada tahap prapemrosesan citra, dilakukan operasi *filtering* dan konversi dari ruang warna RGB ke ruang warna HSI. Operasi *filtering* berfungsi untuk memperhalus citra dan mengurangi bintik yang dihasilkan oleh kamera. Pada tahap ini dilakukan teknik pengolahan citra *thresholding* pada ruang warna HSI yang menghasilkan citra biner

yang akan digunakan sebagai *region of interest* (ROI) lemon dan persegi referensi. Setelah itu dilakukan deteksi kontur untuk mendapatkan kontur lemon dan persegi referensi yang akan digunakan untuk melakukan operasi *fitting* elips pada lemon dan *fitting* persegi untuk persegi referensi. Dari hasil *fitting* didapatkan diameter mayor dan minor untuk lemon dan dimensi dari persegi referensi dalam satuan piksel. Untuk mengonversi satuan piksel ke cm, diameter dari lemon dibagi dengan dimensi persegi referensi. Untuk menentukan luas bagian yang berwarna coklat dan hijau, digunakan teknik pengolahan citra *thresholding* HSI. Cacat pada lemon umumnya berwarna sangat gelap sehingga dalam penentuan ada tidaknya cacat, dapat digunakan teknik pengolahan citra *thresholding* biner. Gambar 5 menunjukkan hasil pengolahan citra. Data yang diperlukan untuk menentukan mutu lemon yaitu diameter, luas bagian yang berwarna coklat, luas bagian yang berwarna hijau, dan ada tidaknya cacat.



Gambar 5 (a) Input citra RGB, (b) konversi citra ke ruang HSI, (c) *thresholding* ROI lemon, (d) *thresholding* HSI pada deteksi warna hijau

2.3 Optimasi Perangkat Lunak

Pada mulanya, perangkat lunak memerlukan waktu 1,42 detik dalam menentukan mutu setiap citra lemon. Untuk meningkatkan waktu deteksi, maka dilakukan tiga optimasi; pada bagian akuisisi citra, penentuan ROI, dan penentuan luas warna.

Pada bagian akuisisi citra, kamera mengambil citra dengan ukuran 1920×1080 piksel yang kemudian diperkecil menjadi 640×480 piksel. Proses ini memerlukan rata-rata waktu sebesar 0,80 detik. Salah satu proses penghambat dalam bagian ini adalah proses *encoding* pada kamera yang sebetulnya tidak dibutuhkan, sehingga untuk menghindari proses tersebut maka proses akuisisi citra menggunakan mode video. Hal penting yang harus diperhatikan dalam menggunakan mode video pada kamera adalah resolusi citra harus merupakan kelipatan 32 sehingga resolusi pengambilan citra diubah menjadi 672×480 piksel. Setelah optimasi tersebut, rata-rata waktu yang diperlukan untuk mengambil citra menjadi 0,20 detik.

Optimasi kedua dilakukan pada bagian penentuan ROI persegi referensi. Bagian ini memerlukan rata-rata waktu sebesar 0,12 detik. Pada bagian ini, teknik pengolahan citra *thresholding* dioperasikan ke seluruh bagian citra, sedangkan persegi referensi selalu terletak pada bagian kanan-atas citra. Optimasi dilakukan dengan cara membatasi citra yang diproses ke daerah sekitar persegi referensi. Dengan optimasi ini rata-rata waktu yang diperlukan menjadi 0,03 detik.

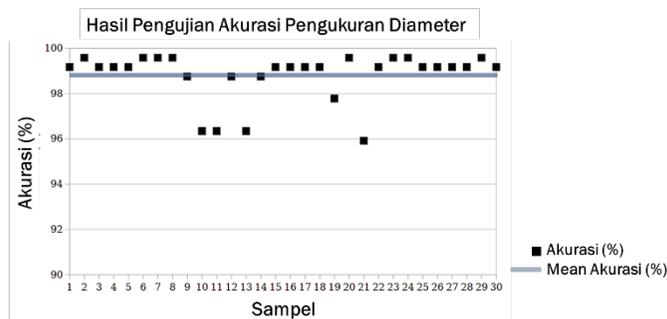
Optimasi ketiga dilakukan pada bagian penentuan luas bagian lemon yang berwarna coklat, yang berwarna hijau, serta ada tidaknya cacat. Seperti sebelumnya, pada bagian ini perangkat lunak memproses keseluruhan citra. Optimasi yang dilakukan adalah menggunakan ROI lemon sebagai batasan citra yang akan diproses. Setelah dilakukan

optimasi, rata-rata waktu yang diperlukan untuk bagian ini menjadi 0,06 detik dari sebelumnya adalah 0,40 detik.

3 Hasil

3.1 Pengujian Awal Akurasi Pengukuran Diameter

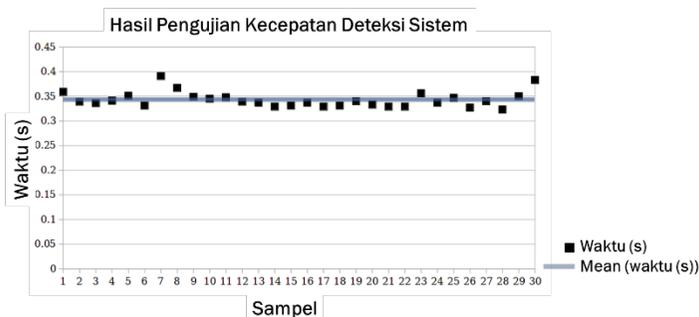
Pengujian dilakukan dengan cara mengukur diameter dari sebuah objek berupa sebuah wadah berbentuk silinder dengan diameter sebesar 7,5 cm. Objek tersebut kemudian diukur diameternya oleh sistem sebanyak 30 kali, dengan perubahan posisi objek tiap pengambilan citra. Setelah dilakukan pengujian, didapat data yang dapat dilihat pada Gambar 6. Data diameter yang terukur menunjukkan nilai akurasi sebesar 98,8%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sistem cukup akurat dalam melakukan pengukuran diameter sehingga layak dipakai untuk melakukan pengukuran diameter lemon nantinya.



Gambar 6. Hasil uji pengukuran diameter.

3.2 Pengujian Kecepatan Deteksi Sistem

Agar sistem dapat menjadi alternatif proses penentuan mutu secara manual, maka sistem harus dapat menentukan mutu lemon dalam waktu di bawah 5 detik. Sistem diuji dengan cara mengukur waktu yang dibutuhkan untuk menentukan mutu lemon sebanyak 30 kali.



Gambar 7. Hasil uji kecepatan deteksi sistem.

Dapat dilihat pada Gambar 7 bahwa sistem membutuhkan waktu yang singkat dengan konsistensi yang cukup baik. Data hasil pengukuran kecepatan sistem dihitung rata-

ratanya dan didapat nilai sebesar 0,34 detik untuk mendeteksi satu lemon. Waktu tersebut cukup cepat dibandingkan dengan proses penentuan mutu secara manual yang memakan waktu setidaknya 10 detik.

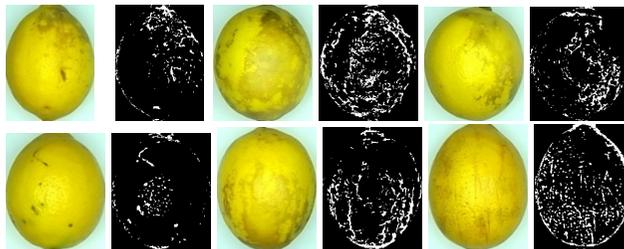
3.3 Pengujian Akurasi Penentuan Mutu Sistem

Untuk menguji sistem, diambil 308 sampel berupa citra lemon yang sudah diketahui mutunya. Kemudian tingkatan mutu keluaran sistem dibandingkan dengan mutu lemon yang sudah diketahui. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil pengujian akurasi penentuan mutu.

Tingkatan Kualitas Menurut Petani	Jumlah Sampel	Jumlah Deteksi Benar	Jumlah Deteksi Salah	Akurasi (%)
A	57	18	35	38,60
B	64	12	52	18,75
C	69	25	44	36,23
Belum Matang	40	40	0	100,00
<i>Reject</i>	78	46	32	58,97
Jumlah	308	145	163	47,08

Sistem memiliki akurasi keseluruhan sebesar 47,08%. Nilai tersebut jauh lebih rendah daripada spesifikasi yang ditentukan. Akurasi yang rendah disebabkan oleh sampel lemon yang dibeli dari petani memiliki kualitas yang tidak konsisten. Kesalahan yang paling banyak adalah pada kumpulan sampel yang masuk ke dalam kategori "A", "B", dan "C" menurut petani. Pada sampel yang memiliki kesalahan pada tingkatan mutu tersebut, permukaan kulit lemon tampak memiliki luasan cacat melebihi 1%, sehingga seharusnya lemon tersebut termasuk ke kategori "*Reject*". Kesalahan tersebut dapat terjadi karena kelalaian atau perbedaan persepsi dari petani yang melakukan proses penentuan mutu secara manual.



Gambar 8. Lemon yang seharusnya masuk kategori "*Reject*".

Contoh kesalahan penentuan mutu dapat dilihat pada Gambar 8. Menurut petani, lemon-lemon pada gambar tersebut tidak termasuk ke kategori "*Reject*". Namun, dapat dilihat bahwa tiap lemon-lemon tersebut memiliki bagian cacat dengan luasan lebih dari 1% dari luas lemon keseluruhan yang berarti bahwa seharusnya lemon-lemon tersebut masuk ke dalam kategori "*Reject*". Pada kasus ini, sistem mendeteksi secara benar bahwa lemon tersebut termasuk ke dalam kategori "*Reject*". Kesalahan tersebut dapat menjadi bukti bahwa sistem penentuan mutu secara otomatis dapat memberikan hasil yang lebih konsisten daripada proses penentuan mutu secara manual.

Akurasi tertinggi sebesar 100% dicapai oleh kategori "Belum Matang". Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem berhasil untuk mengelompokkan buah lemon yang belum

matang. Keberhasilan sistem dalam membedakan lemon yang sudah dan belum matang menunjukkan bahwa deteksi warna hijau merupakan sebuah metode yang efektif dalam menentukan kematangan lemon.

4 Kesimpulan

Telah dibuat sebuah sistem penentuan mutu lemon dengan sistem visi dan pengolahan citra dengan spesifikasi akurasi pengukuran diameter sebesar 98,79%, kecepatan deteksi sebesar 0,34 detik, dan akurasi penentuan mutu sebesar 47,08%. Sistem dapat dikembangkan lebih lanjut dengan mengintegrasikan purwarupa dengan sistem sabuk konveyor juga mengimplementasikan teknik pembelajaran mesin dalam menentukan kategori mutu. Selain itu juga untuk meningkatkan akurasi penentuan mutu maka diperlukan juga kesepakatan atau standar mutu lemon yang berlaku lokal di Indonesia yang dapat dijadikan rujukan untuk perancangan algoritma purwarupa.

5 Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada CV. BERTAN (Berkah Tani) yang telah memfasilitasi survei dan sampel untuk penelitian ini.

Referensi

- [1] J. F. Morton, *Fruit of Warm Climate*, Miami: Julia F. Morton, 1987.
- [2] A. Bhargava and A. Bansal, "Fruits and vegetables quality evaluation using computer vision: A review," *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, vol. 33, no. 3, pp. 243-257, 2021.
- [3] M. Khojastehnazhand, M. Omid and A. Tabatabaeefar, "Development of a lemon sorting system based on color and size," *African Journal of Plant Science*, vol. 4, no. 4, pp. 122-127, 2010.
- [4] J. Blasco, N. Aleixos and E. Moltó, "Computer vision detection of peel defects in citrus by means of a region oriented segmentation algorithm," *Journal of Food Engineering*, vol. 81, no. 3, pp. 535-543, 2007.
- [5] U.-O. Dorj, M. Lee and S.-s. Yun, "An yield estimation in citrus orchards via fruit detection and counting using image processing," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 140, pp. 103-112, 2017.
- [6] US Department of Agriculture. "United States Standards for Grades of Lemons," 27 Desember 1999. [Online]. Available: <https://www.ams.usda.gov/grades-standards/lemon-grades-and-standards>. [Diakses 25 April 2021].
- [7] UNECE. "UNECE STANDARD FF-14 concerning the marketing and commercial quality control of CITRUS FRUIT," 2017. [Online]. Available: https://unece.org/fileadmin/DAM/trade/agr/standard/standard/fresh/FFV-Std/English/14_CitrusFruit.pdf. [Diakses 25 April 2021].
- [8] C. J. Studman, "Computers and electronics in postharvest technology - A review," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 30, no. 1-3, pp. 109-124, 2001.
- [9] S. Cubero, W. S. Lee, N. Aleixos, F. Albert and J. Blasco, "Automated Systems Based on Machine Vision for Inspecting," *Food and Bioprocess Technology*, vol. 9, no. 10, pp. 1623 - 1639, 2016.
- [10] M. A. H. Ali and K. W. Thai, "Automated fruit grading system," in *2017 IEEE 3rd International Symposium in Robotics and Manufacturing Automation*, Roma, 2017.

Rancang Bangun Sistem Kendali Suhu dan Kelembapan Udara Ruang Pembibitan Tanaman Terung Ungu Berbasis Mikrokontroler

^{1,2}Ni Luh Gede Sri Yadnya Ningsih, ¹Ahmad Qurthobi, & ²Indra Wahyudhin Fathona

¹Kelompok Keahlian Instrumentasi dan Kontrol

Jurusan Teknik Fisika, Universitas Telkom

Jl. Telekomunikasi no.1, Bandung 40257, Indonesia

^{1,2}sriyadnyan@student.telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Pada penelitian ini dilakukan pengontrolan suhu dan kelembapan pada ruang pembibitan tanaman terung ungu. Suhu dan kelembapan udara pada ruang pembibitan sangat mempengaruhi pertumbuhan bibit. Suhu yang dibutuhkan pada pembibitan tanaman terung ungu adalah 25 °C - 30 °C sedangkan kelembapan diantara 80% - 90%. Apabila suhu dan kelembapan udara tidak sesuai dengan suhu dan kelembapan ideal, maka pertumbuhan bibit terung ungu akan terhambat. Untuk menjaga suhu dan kelembapan pada ruang pembibitan tanaman diperlukan adanya sistem kendali. Sistem kendali yang digunakan pada penelitian ini yaitu *fuzzy logic control* dengan tambahan metode histeresis. Sistem kendali tersebut akan diproses oleh mikrokontroler yang bekerja sebagai otak dari sistem. *Fuzzy logic* akan mengendalikan aktuator yang berupa pompa air, pemanas, dan pendingin untuk menjaga nilai parameter agar sesuai dengan yang sudah ditentukan. Berdasarkan hasil pengujian, perancangan sistem kendali pada simulasi dan algoritma pemograman memiliki kesalahan (error) yang minim. Error rata-rata pada sensor suhu udara adalah 0,18 °C dengan akurasi mencapai 99,30%. Error rata-rata sensor kelembapan udara adalah 1,24% dengan akurasi mencapai 98,26%. Penggunaan sistem kendali suhu dan kelembapan udara dapat meningkatkan pertumbuhan bibit terung sebesar 40,6%- 46,9%.

Kata Kunci: Sistem kendali suhu dan kelembapan udara, Terung ungu, Fuzzy Logic

1 Pendahuluan

Terung merupakan salah satu tanaman hortikultura yang digemari untuk di konsumsi oleh masyarakat Indonesia. Tanaman ini memiliki gizi yang cukup tinggi dan memiliki komposisi yang tepat sehingga bagus untuk dikonsumsi. Buah terung ungu memiliki kandungan vitamin A (4,8%), kandungan protein (34,8%), kandungan vitamin C (13,1%), air (81,6%), kadar abu (3,9%), karbohidrat (28,7%), kalsiumnya (75%) dan zat besi sebesar (12,5%). Sedangkan komposisi yang dikandung oleh tanaman terung biasa yaitu vitamin A (4,78), kadar abu (5,8%), karbohidrat (28,7%), %, kandungan vitamin C (12,8%), zat besi (6,8%) protein (34,8%), air (86,1%), dan kalsium (70,2%) [1].

Tanaman terung dapat dibudidayakan di dataran rendah sampai dataran tinggi sekitar 1.000 meter di atas permukaan laut. Selain unsur hara, suhu dan kelembapan juga akan berpengaruh dalam proses pembibitan serta budidaya tanaman terung. Tanaman terung akan tumbuh dan berkembang dengan baik apabila berada pada suhu dan kelembapan yang optimum. Suhu yang paling tepat untuk pembibitan tanaman terung adalah 25 °C - 30 °C dengan kelembapan udara antara 80% - 90% [2,3]. Apabila suhu terlalu rendah, maka pertumbuhan tanaman terung akan terhambat [4]. Demikian juga jika suhu terlalu tinggi, maka tanaman terung akan mengalami kekeringan

dan mati. Untuk mengatasi permasalahan itu maka diperlukan suatu sistem yang dapat mengendalikan suhu dan kelembapan udara supaya bisa tetap berada pada *range* yang dibutuhkan tanaman.

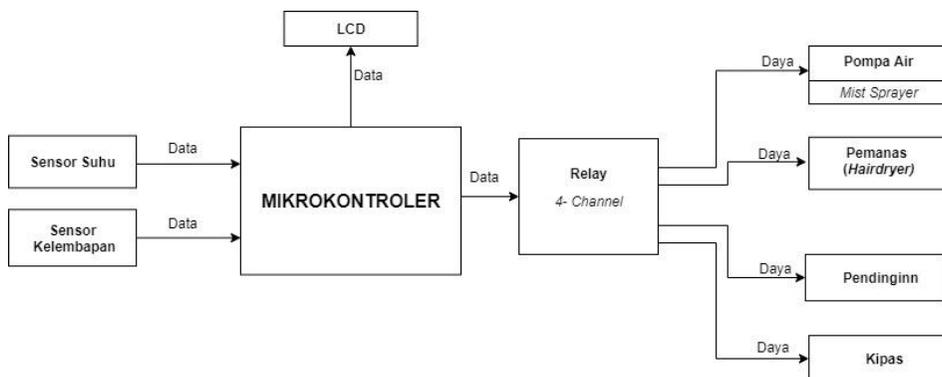
Terdapat banyak sistem kendali yang dapat digunakan untuk mengontrol suhu dan kelembapan udara. Tetapi setiap sistem kendali memiliki beberapa kelemahan dan kelebihan masing-masing. Sistem kendali yang digunakan untuk mengontrol suhu dan kelembapan udara pada penelitian ini yaitu *fuzzy logic controller*. Logika *fuzzy* memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan jenis sistem kontrol lain, diantaranya kemampuannya dalam proses penalaran secara bahasa (*linguistic reasoning*) sehingga dalam perancangannya tidak membutuhkan permodelan matematika yang rumit dari objek yang dikendalikan[5]. Selain itu kelebihan menggunakan sistem kendali ini yaitu input dari sistem bisa lebih dari satu input.

Alat yang dirancang berupa *greenhouse* mini yang dilengkapi dengan sistem kendali suhu dan kelembapan udara otomatis berbasis mikrokontroler. Terung ungu merupakan jenis tanaman yang dijadikan objek penelitian. Penelitian ini bertujuan guna menjaga nilai suhu dan kelembapan udara pada ruang pembibitan (*greenhouse* mini). Alasan utama penulis melakukan penelitian ini yaitu diharapkan dapat meningkatkan jumlah produksi tanaman terung dengan cara mengoptimasi tanaman terung ini pada masa pembibitan sehingga dapat menghasilkan bibit yang sehat.

2 Pembahasan

2.1 Desain Sistem

Diagram blok sistem pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1



Gambar 1. Diagram Blok Sistem Keseluruhan

Pada Gambar 1 dijelaskan mengenai diagram blok sistem dan diagram blok sistem kendali sebagai fokus sistematisa cara kerja dari perancangan sistem kendali suhu dan kelembapan udara pada ruang pembibitan tanaman terung ungu. *Input* yang akan di proses oleh sistem adalah nilai yang didapat dari pembacaan sensor suhu dan kelembapan udara yang telah terintegrasi dengan sistem. Selanjutnya sistem akan melakukan kalkulasi dengan algoritma yang sudah diprogramkan dengan bantuan logika *fuzzy* dan metode histeresis sebagai metode kendalinya. Sistem yang dirancang pada penelitian ini bekerja untuk menjaga nilai suhu minimal 25 °C dan maksimal pada 30 °C serta kelembapan udara pada interval 80% - 90%.

2.2 Desain Sistem Kendali

1. Perancangan Simulasi *Fuzzy Logic*

Pada dasarnya terdapat tiga proses utama dalam merancang *Fuzzy Logic Controller*, yaitu [6, 7] :

1. *Fuzzyfikasi*
2. *Inferensi fuzzy*
3. *Defuzzyfikasi*

Pengolahan utama *Fuzzy Logic Controller* terjadi pada proses inferensi *fuzzy* dimana masukan pada proses tersebut adalah nilai tegas yang telah dikonversi melalui proses *fuzzyfikasi* dan juga *rules* yang sudah dibuat. Pada proses akhir *defuzzyfikasi* mengembalikan nilai hasil dari proses inferensi *fuzzy* kembali menjadi nilai tegas.

2. Perancangan Metode Histeresis

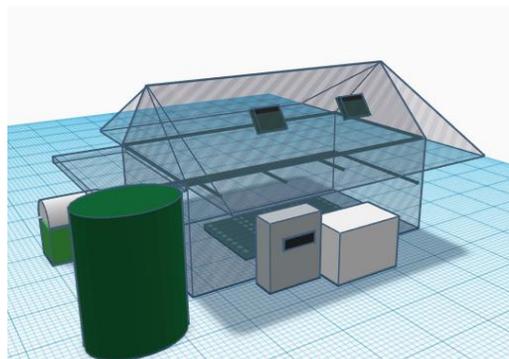
Histeresis merupakan keterikatan sebuah sistem, tidak hanya pada keadaannya saat ini, tetapi juga pada keadaannya pada sebelumnya. Keterikatan ini muncul karena sistem tersebut dapat berada kondisi internal yang lebih dari satu. Untuk memproyeksikan perubahan berikutnya, baik kondisi internal maupun kondisi sebelumnya harus diketahui [6, 8]. Adapun batas-batas Histeresis yang digunakan pada sistem ini terdapat pada table 1:

Tabel 1 Limit Bawah dan Limit Atas Histeresis

Aktuator	Limit Bawah	Limit Atas
Pompa	80%	85,5%
Fan	90%	88%
Heater	25 °C	28 °C
Cooler	30 °C	26 °C

2.3 Desain Mekanik

Gambar 2 menunjukkan Realisasi alat yang telah dibuat untuk penelitian ini.



Gambar 2. Desain Mekanik

Berdasarkan Gambar 2, Sistem yang dibuat pada penelitian ini berada pada media tanam *greenhouse* mini dengan ukuran panjang 1 meter, lebar 0.5 meter, dan tinggi 0.7 meter. Alat ukur yang digunakan berupa sensor suhu dan kelembapan yang terletak di dalam *greenhouse* serta pengendali berada di samping *greenhouse* tersebut. Di dalam kotak pengendali sudah terhubung dengan mikrokontroler Arduino Mega2560. Arduino Mega 2560 berhubungan dengan aktuator yang akan aktif saat suhu dan kelembapan udara di dalam *greenhouse* (media tanam) tidak berada pada suhu dan kelembapan udara yang ideal. Aktuator yang digunakan pada sistem ini yaitu pompa air, pemanas, pendingin, dan kipas DC mini. Adapun keadaan aktuator yang dirancang dalam penelitian ini tertera pada tabel 2:

Tabel 2. Keadaan aktuator pada masing-masing kondisi lingkungan

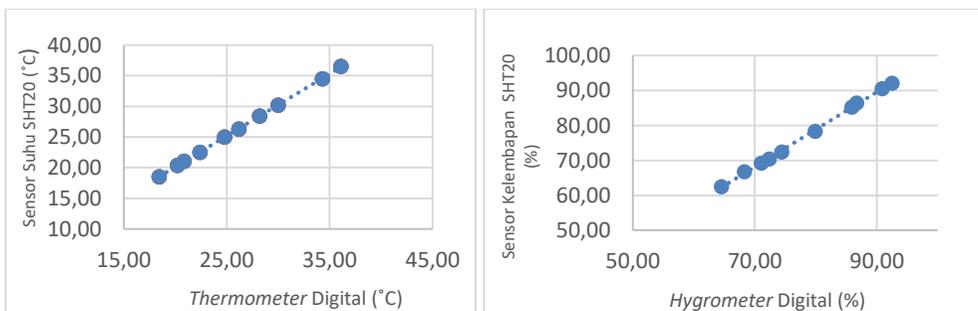
No	Aktuator	Fuzzy On	Fuzzy Off (Setpoint)	Histeresis On	Histeresis Off
1	Pemanas	25 °C	27 °C	27,1 °C	28 °C
2	Pendingin	30 °C	27 °C	26,9 °C	26 °C
3	Pompa	80%	85%	85,1%	85,5%
4	Fan	-	-	90%	88%

3 Hasil Pengujian dan Pembahasan

3.1 Pengujian Sensor

Pengujian sensor bertujuan untuk mengecek dan mengatur akurasi dari sensor suhu dan sensor kelembapan udara SHT20. Pada pengujian ini dilakukan dengan cara membandingkan sensor dengan menggunakan nilai *thermometer* dan *hygrometer* digital (UT333). Kemudian memperbaiki kesalahan (error) yang ada dengan melakukan *adjustment* pada *software*.

Pengujian akurasi dan kalibrasi sensor diawali dengan mengaktifkan sensor dengan menggunakan Arduino Mega 2560. Setelah itu mencatat nilai yang dibaca oleh sensor bersamaan dengan mencatat nilai yang terbaca pada UT333. Pengujian sensor dilakukan di dalam ruangan dengan ukuran ruangan 4m x 3m. Ruangan tersebut dilengkapi dengan *air conditioner* (AC) untuk mengatur kondisi lingkungan sebagai acuan dalam pengambilan data. Sensor SHT20 diletakan di sebelah UT333 (jarak 0,05) supaya tidak terjadi perbedaan kondisi lingkungan yang jauh. Pada saat melakukan pengujian, suhu udara diatur dalam ruangan tersebut untuk mendapatkan nilai yang berbeda-beda.

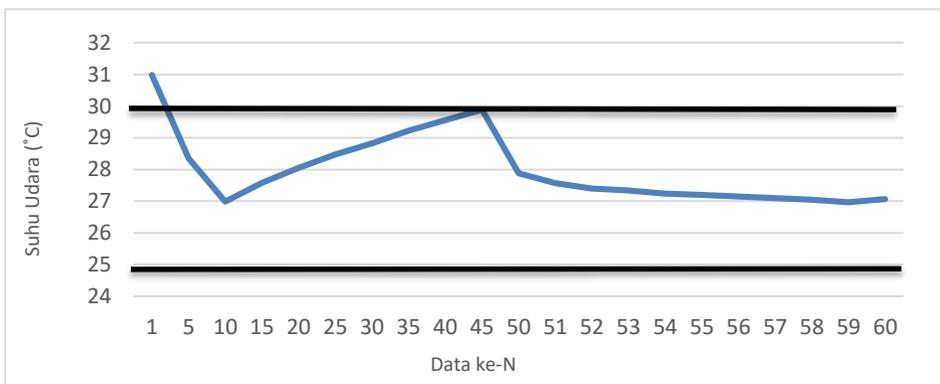


Gambar 3. Grafik Kalibrasi Sensor Kelembapan Udara SHT20

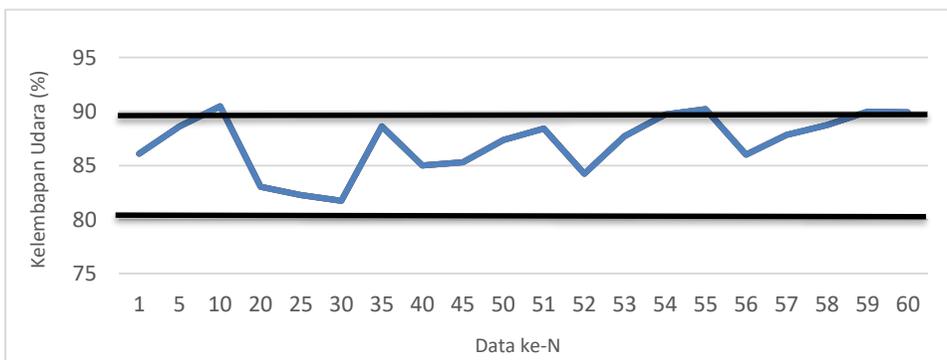
Gambar 3 menunjukkan grafik linieritas hasil pembacaan sensor SHT20 terhadap *thermometer digital*. Hasil pembacaan suhu dari sensor SHT20 memiliki eror rata-rata sebesar 0,7% dan akurasi sebesar 99,30%. Hasil pembacaan kelembapan udara dari sensor SHT20 memiliki eror rata-rata sebesar 1,74% dan akurasi sebesar 98,26%. Maka dari itu, sensor SHT20 layak digunakan pada sistem ini karena memiliki akurasi tinggi.

3.2 Pengujian Sistem Kendali dan Monitoring

Pengujian sistem kendali bertujuan untuk mengamati hasil dari sistem apakah sudah sesuai dengan tujuan. Pengujian ini juga bertujuan untuk monitoring sistem kendali selama masa pembibitan. Pada penelitian ini berhasil mendesain sistem kendali *fuzzy logic* untuk mengatur *output* lama aktuator pompa dengan nilai eror sistem kendali adalah 2,1%. Aktuator pemanas memiliki nilai eror sistem kendali 0,001% serta aktuator pendingin memiliki nilai eror sebesar 0,068%



Gambar 4. Pengujian Seluruh Sistem (Suhu Udara)



Gambar 5. Pengujian Seluruh Sistem (Kelembapan Udara)

Berdasarkan gambar 4 dan gambar 5 dapat dilihat hasil pengujian sistem secara keseluruhan. Sistem yang di desain untuk penelitian ini dapat dikatakan berhasil. Sistem kendali dapat mengendalikan suhu dan kelembapan udara untuk tetap berada pada *range* ideal yang dibutuhkan tanaman. Sistem kendali *fuzzy logic* memiliki nilai eror yang minim dan metode histeresis dapat berjalan sesuai dengan parameter yang diinginkan.

3.3 Perbandingan Hasil Tanaman

Pada penelitian ini akan dilakukan perbandingan hasil pembibitan dari tiga perlakuan yang berbeda terhadap ruang yang akan digunakan untuk pembibitan. Perlakuan pertama yaitu pembibitan yang dilakukan pada ruang yang telah dikontrol suhu dan kelembapan udaranya. Perlakuan kedua yaitu pembibitan dilakukan pada *greenhouse* tanpa sistem, dan perlakuan terakhir yaitu pembibitan dilakukan secara manual di ruang terbuka. Adapun hasil pembibitan yang didapatkan berdasarkan masing masing perlakuan kondisi ruang pembibitan. Untuk menentukan hasil dari variasi tinggi tanaman dan jumlah daun yang tumbuh pada bibit dilakukannya berdasarkan uji *Sample T Test*. H_0 yaitu hipotesis dimana dengan menggunakan sistem kendali dapat meningkatkan hasil pembibitan tanaman, sedangkan hipotesis H_a yaitu sistem kendali tidak memiliki peran yang penting dalam pembibitan tanaman.

1. Perbandingan Hasil Tanaman berdasarkan Jumlah Bibit yang Tumbuh

Tabel 3. Perbandingan hasil tanaman berdasarkan jumlah bibit yang tumbuh

Nama	Jumlah bibit yang ditanam	Jumlah bibit yang tumbuh	Rasio pertumbuhan
<i>Greenhouse</i> dengan sistem	128	96	0,75
<i>Greenhouse</i> tanpa sistem	128	57	0,45
Tanpa <i>greenhouse</i>	128	51	0,4

Berdasarkan tabel 3 dari 128 bibit yang ditanam, didapatkan rasio pertumbuhan untuk jumlah bibit yang hidup yang pembibitannya pada *greenhouse* yang diberi sistem sebesar 0,75. Artinya persentase perbandingan antara jumlah bibit yang tumbuh dengan yang tidak tumbuh adalah 75%. Jumlah bibit terung ungu yang pembibitannya dilakukan di dalam *greenhouse* yang tidak diberi sistem memiliki rasio pertumbuhan sebesar 0,45. Sedangkan untuk bibit yang pembibitannya dilakukan di ruang terbuka memiliki rasio pertumbuhan 0,4. Hal ini menunjukkan bahwa dengan diberikannya sistem kendali suhu dan kelembapan pada ruang pembibitan dapat meningkatkan produksi bibit terung sebesar 40,6% - 46,9%

2. Perbandingan Hasil Tanaman berdasarkan Tinggi Bibit

Perbandingan hasil tanaman yang pembibitannya dilakukan pada ruang yang berbeda berdasarkan tinggi bibit dapat dilihat berdasarkan uji sampel T test. Hasil analisis dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan Hasil Tanaman berdasarkan Tinggi Tanaman

Ruang Pembibitan	Rata-Rata (cm)		Hasil Signifikan Uji Beda (t)	
	Ruang Pembibitan dengan Sistem	Ruang Pembibitan Tanpa Sistem	T stat	T kritis
Dengan <i>greenhouse</i>	4,71	4,28	-2,2885	1,97928
Tanpa <i>greenhouse</i>	4,71	3,99	-3,6844	1,982597

Tabel 4 menunjukkan hasil analisis uji rata-rata bibit terung ungu yang dilakukan pada ruang pembibitan menggunakan sistem kendali dan tidak. Berdasarkan tabel tersebut, dapat dilihat hasil uji terung ungu yang pembibitannya dilakukan menggunakan sistem kendali dengan yang tidak menggunakan sistem kendali (pada *greenhouse* maupun di ruang terbuka) memperoleh nilai T kritis > T Stat, maka dari itu Ho diterima dan Ha ditolak. Berdasarkan uji tersebut dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan sistem kendali dapat mempercepat pertumbuhan tinggi pada pembibitan terung ungu

3. Perbandingan Hasil Tanaman berdasarkan Jumlah Daun pada Bibit

Perbandingan hasil tanaman yang pembibitannya dilakukan pada ruang yang berbeda berdasarkan jumlah daun dapat dilihat berdasarkan uji sampel T test. Hasil analisis dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan Hasil Tanaman berdasarkan Jumlah Daun

Ruang Pembibitan	Rata-Rata (lembar)		Hasil Signifikan Uji Beda (t)	
	Ruang Pembibitan dengan Sistem	Ruang Pembibitan Tanpa Sistem	T stat	T kritis
Dengan <i>greenhouse</i>	3,19	3,56	3,432621	1,975905
Tanpa <i>greenhouse</i>	3,19	3,06	-1,10534	1,97646

Tabel 5 menunjukkan hasil analisis uji rata-rata jumlah daun pada bibit terung ungu yang dilakukan pada ruang pembibitan menggunakan sistem kendali dan tidak. Berdasarkan tabel tersebut, hasil dari pembibitan yang dilakukan menggunakan sistem kendali dengan pembibitan yang dilakukan pada *greenhouse* tanpa sistem kendali memperoleh nilai T kritis < T Stat, maka dari itu Ho ditolak dan Ha diterima. Tetapi pada uji yang dilakukan pada pembibitan yang menggunakan sistem kendali dengan pembibitan yang dilakukan secara manual memperoleh nilai T kritis > T stat, maka dari itu Ho diterima dan Ha ditolak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan sistem kendali suhu dan kelembapan udara tidak berbeda nyata terhadap rata-rata jumlah daun. Hal ini disebabkan karena dari ketiga penelitian yang dilakukan jumlah bibit yang tumbuh tidak sama merata sehingga menyebabkan perebutan kadar sirkulasi CO₂ dan intensitas cahaya matahari

4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan sistem kendali *fuzzy logic* yang dibantu dengan metode histeresis dapat menjaga nilai suhu dan kelembapan udara pada rentang suhu udara 25 °C - 30 °C dengan kelembapan udara diantara 80% - 90%. Kalibrasi sensor suhu dan kelembapan udara SHT20 memiliki eror sebesar pada suhu udara = 0,70 % dan kelembapan udara = 1,74 %. Maka dari itu, sensor SHT20 layak digunakan pada sistem ini. Sensor ini memiliki akurasi yang bagus, dengan nilai akurasi suhu udara = 99,30% dan kelembapan udara = 98,26%. Pada penelitian ini berhasil untuk mendesain sistem kendali *fuzzy logic* untuk mengatur output lama relay aktif dengan *input* suhu dan kelembapan udara. Persentase eror pada sistem kendali dengan aktuator pompa yaitu 2,1%, pada aktuator pemanas yaitu 0,001% dan pada aktuator pendingin yaitu 0,068%. Rasio pertumbuhan bibit pada *greenhouse* dengan menggunakan sistem memiliki nilai 0,75 sedangkan pada *greenhouse* tanpa sistem yaitu 0,45 dan pada ruang terbuka

memiliki rasio pertumbuhan sebesar 0,4. Hal ini menunjukkan bahwa dengan diberikannya sistem kendali suhu dan kelembapan pada ruang pembibitan ini dapat meningkatkan produksi bibit terung sebesar 40,6% - 46,9%.

5 Referensi

- [1] R. Rukmana, Bertanam Terung, Yogyakarta: Kanisius, 1994
- [2] E. Budiman, Budidaya Terung, Bandung: CV. Wahana Iptek, 2008.
- [3] E. Mustamir, "Respon Tanaman Terung Terhadap Pemberian Amelioran pada Tanah Gambut," AGROISTA Jurnal Agroteknologi, pp. 18-25, 2019.
- [4] Hayonto, Bertanam Terung dalam pot, Yogyakarta: Kanisius, 2009
- [5] P. Reni, W.Waris, dan Salengke, "Rancang Bangun Sistem Kendali Kecepatan Putaran Motor Dc Berbasis Logika Fuzzy Untuk Mesin Pengaduk Hasil Pertanian (Studi Kasus Pengadukan Biji Kedelai)," ISSN : 1979-7362, 2019
- [6] D. Setiawan, "Sistem Kendali Suhu dan Kelembapan Udara pada Pembibitan Tanaman Teh di PPTK (Pusat Penelitian Teh dan Kina) Gambung Jawa Barat," ISSN : 2355-9365, p. 218, 2020.
- [7] Sudrajat, "Dasar-Dasar Fuzzy Logic," Media Start, vol. 1, p. 1, 2012.
- [8] Setiawan Iwan, "Perancangan Software System Berbasis FSM" Edisi 1, Semarang: Universitas Diponegoro, 2006
- [9] Morris Allan S, "*Measurement & Instrumentation Principles*," Edisi 2, Inggris: Oxford. 2001
- [10] S. Sukandar, P. Deitje S, dan R. Ali, "Rancang Bangun Sistem Kontrol Temperatur dan Kelembapan Ruangan dengan Android," Industrial Research Workshop and Nation Seminar, vol. 9, 2018.

Pengembangan Trem Otonom Tanpa Rel

¹Muhamad Asa Nurritzqita Adhiem, ^{2,3}Yul Yunazwin Nazaruddin*), ²Naila Zahra,

¹Program Studi Teknik Fisika,

²Kelompok Keahlian Instrumentasi dan Kontrol,

³National Center for Sustainable Transportation Technology, Indonesia

Institut Teknologi Bandung, Indonesia

yul@tf.itb.ac.id*)

Abstrak

Perkembangan sistem transportasi memegang peranan penting dalam menunjang mobilisasi. Perkembangan tersebut sejalan dengan perkembangan zaman dan kebutuhan masyarakat akan transportasi. Salah satu pengembangan yang mulai banyak diperhatikan orang adalah trem tanpa rel, yang terjadi karena adanya perkembangan teknologi kecerdasan buatan, sensor, dan metode kontrol pengikut jalur. Pada makalah ini dibahas pengembangan sistem kontrol dan sistem pendeteksi objek yang diterapkan pada trem otonom tanpa rel, dengan tujuan agar trem mampu berjalan mengikuti jalur virtual yang sudah ditetapkan serta mendeteksi objek penghalang beserta rambu lalu lintas. Ketika trem berhasil mendeteksi objek penghalang, trem akan melakukan pengukuran jarak dengan menggunakan konsep penglihatan stereo. Untuk itu maka metode kontrol pengikut jalur yang diterapkan pada penelitian ini adalah kontrol logika fuzzy. Selain itu, metode *Line of Sight* (LoS) diterapkan agar selisih jarak antara lokomotif terhadap segmen garis yang diikuti dapat diminimumkan sehingga trem dapat berjalan mengikuti garis virtual yang sudah ditentukan. Implementasi metoda-metoda tersebut pada model kereta dan juga teknik mendeteksi beberapa penghalang perjalanan kereta menunjukkan hasil yang memuaskan.

Kata Kunci: trem tanpa rel, kecerdasan buatan, kontrol pengikut jalur, pendeteksi objek

1 Pendahuluan

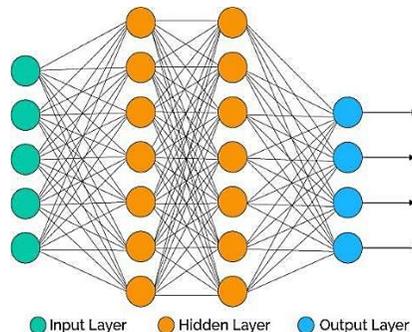
Trem otonom merupakan salah satu inovasi untuk moda transportasi publik yang menggabungkan karakteristik kereta dengan bis. Trem otonom beroperasi di jalan raya dengan menggunakan jalur virtual [1] dan merupakan trem yang dirancang dengan tujuan diantaranya adalah sifat ramah lingkungan karena trem beroperasi dengan menggunakan superkapasitor [2]. Agar trem otonom dapat beroperasi di jalan raya, maka trem menggunakan berbagai macam sensor untuk keperluan penentuan posisi atau lokalisasi dari trem, teknologi kecerdasan buatan untuk mendeteksi objek penghalang dan rambu lalu lintas dan sekaligus juga menghindari objek, dan penggunaan metode metoda kontrol tertentu agar dapat bergerak secara terkontrol di jalan raya, seperti misalnya dengan menerapkan metoda kontrol untuk pengikut jalur (*line following control*).

Penelitian mengenai kontrol pengikut jalur sudah dilakukan pada kasus pengontrolan *truck trailer*. Pada penelitian tersebut, *truck trailer* dikontrol pergerakannya agar dapat mengikuti suatu garis virtual [3]. Selain kontrol pengikut jalur, penelitian mengenai implementasi penggunaan *deep learning* pada kendaraan bergerak lainnya, seperti misalnya mobil otonom, bus otonom dan lainnya sudah dilakukan untuk mendeteksi objek penghalang [4].

Makalah ini akan membahas mengenai pengembangan trem otonom tanpa rel dengan tujuan yang ingin dicapai adalah trem mampu berjalan mengikuti jalur *virtual* yang sudah ditetapkan dan mampu mendeteksi objek penghalang serta rambu lalu lintas. Konsep penglihatan stereo (*stereo vision*) digunakan pada penelitian ini karena konsep ini bersifat efektif untuk keperluan deteksi yang bersifat non kontak [5]. Metode kontrol pengikut jalur yang diterapkan pada penelitian ini adalah logika fuzzy. Penggunaan metode *Line of Sight* (LoS) pada penelitian ini dimaksudkan agar lokomotif trem dapat mengikuti orientasi dari vektor LoS. Dengan demikian, jarak antara trem otonom terhadap segmen garis yang diikuti dapat diminimumkan sehingga trem otonom tanpa rel dapat mengikuti jalur *virtual* yang sudah ditentukan dengan optimal,

1.1 Penerapan Metoda Kecerdasan Buatan

Untuk menerapkan teknik pengontrolan dan pendeteksian objek pada perancangan trem otonom maka perlu digunakan metoda kecerdasan buatan seperti teknik logika fuzzy dan Jaringan Syaraf Tiruan [6]. Logika fuzzy adalah transisi dari kebenaran mutlak ke kebenaran parsial yang menggeneralisasi logika klasik dua nilai dengan mengizinkan nilai kebenaran parsial dari proposisi diwakili oleh angka dalam interval 0 sampai 1. Logika fuzzy memungkinkan untuk mengolah data selayaknya manusia. Secara umum himpunan fuzzy dapat menggambarkan nilai-nilai kebenaran dari suatu proporsi dalam bentuk fungsi. Sementara itu, Jaringan syaraf tiruan (JST) merupakan sistem pemroses informasi yang terinspirasi oleh cara kerja sistem syaraf manusia [6]. Salah satu keunggulan dari JST adalah melakukan proses pembelajaran yang dinamik dari pengenalan bentuk atau pola. Pada dasarnya JST secara pokok tersusun oleh banyak neuron, yang diasumsikan merepresentasikan neuron-neuron yang ada di otak manusia, yang saling terkoneksi satu sama lain secara komputasiona dengan melalui beberapa lapisan (*layer*), yang disebut dengan lapisan masukan, tersembunyi dan keluaran, dengan struktur dasar seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1 [6].



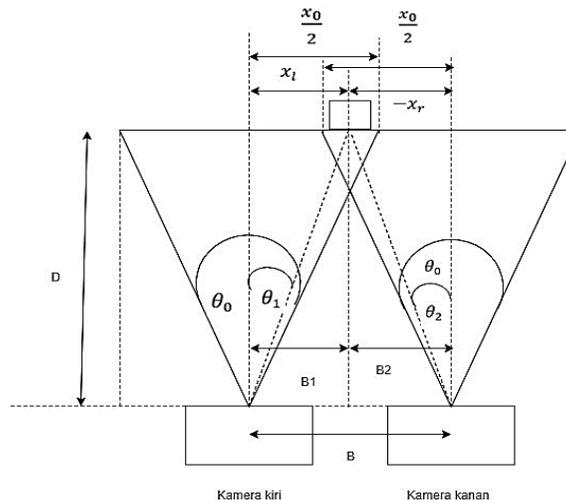
Gambar 1. Struktur dasar Jaringan Saraf Tiruan

1.2 SSD-MobileNet

Untuk melakukan pendeteksian objek, maka penelitian ini menggunakan konsep MobileNet, yang menerapkan *konvolusi depthwise separable* [7]. *Konvolusi depthwise separable* adalah bentuk dari konvolusi terfaktorasi yang memfaktorkan konvolusi standar menjadi konvolusi *depthwise* dan konvolusi *pointwise* [8]. *Single Shot Multibox Detector* (SSD) adalah metode yang digunakan untuk mendeteksi objek pada suatu gambar dengan menerapkan *neural network* untuk menghasilkan lokalisasi dan klasifikasi [8]. Lapisan jaringan dasar pada SSD menggunakan arsitektur konvolusional standar yang digunakan untuk klasifikasi gambar. Lapisan konvolusional menghasilkan suatu lapisan yang disebut dengan lapisan ekstraksi filter untuk melakukan klasifikasi kelas suatu objek. SSD melakukan klasifikasi objek dengan cara konvolusi terhadap data masukan gambar. Konvolusi ini bertujuan untuk melakukan ekstraksi fitur dan memperkecil dimensi data agar komputasi lebih ringan.

1.3 Penglihatan Stereo

Metode pengukuran stereoskopik adalah sebuah metode pengukuran jarak dengan menggunakan dua buah kamera identik. Dua buah kamera identik digunakan untuk menimbulkan efek kedalaman sehingga jarak antara objek penghalang dengan kamera dapat diketahui. Pengukuran jarak objek dapat dihitung berdasarkan perbedaan relatif dari posisi objek pada masing-masing gambar yang ditangkap kamera, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema Penglihatan Stereo

Berdasarkan gambar tersebut, jarak antara objek dengan kamera dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [9]:

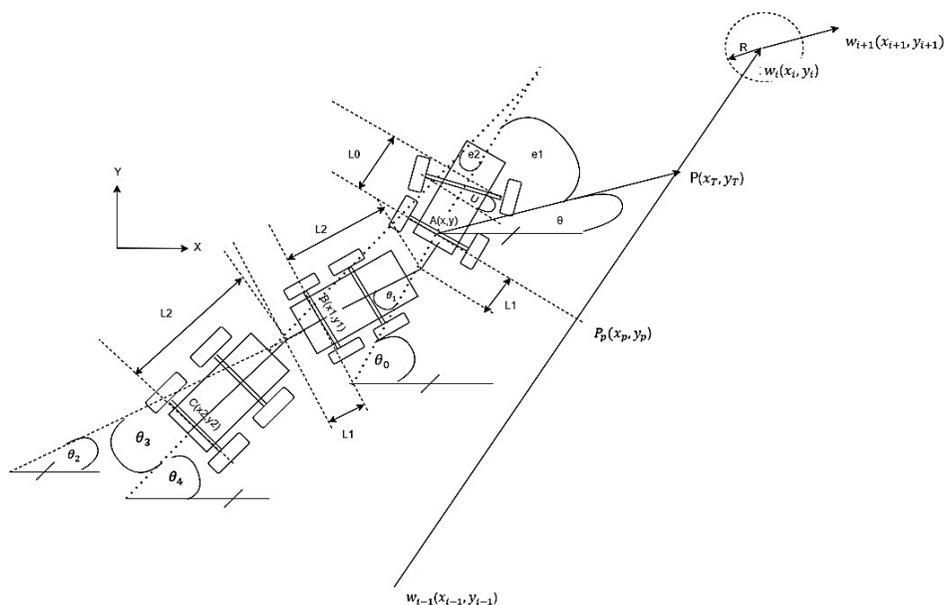
$$D = \frac{B x_0}{2 \tan\left(\frac{\theta_0}{2}\right)(x_l - x_r)} \quad (1)$$

2 Perancangan Pengontrol dan Sistem Pendeteksi Objek

2.1 Deskripsi Sistem

2.1.1 Model Kinematika Kereta tanpa Rel

Gambar skematik trem tanpa rel ditentukan untuk mendapatkan rumus kinematika dari trem tanpa rel. Selain itu, gambar skematik dari trem tanpa rel diperlukan untuk menentukan error yang akan digunakan sebagai masukan pada pengontrol fuzzy. Karena trem memiliki kemudi dan tergolong sebagai kendaraan berbadan jamak, model skematik trem tanpa rel didekati oleh model skematik truk dengan dua buah trailer seperti diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Skematik Trem Tanpa Rel

Dengan menggunakan pendekatan model kinematika truk dengan dua buah trailer, persamaan kinematika untuk trem tanpa rel dapat dirumuskan sebagai berikut [10].

$$\dot{\theta}_0 = \frac{v \tan U}{L_0} \quad (2)$$

$$\theta_1 = \theta_0 - \theta_2 \quad (3)$$

$$\dot{\theta}_2 = \frac{v \sin \theta_1}{L_2} \quad (4)$$

$$\theta_3 = \theta_2 - \theta_4 \quad (5)$$

$$\dot{\theta}_4 = \frac{v \cos \theta_1 \sin \theta_3}{L_2} \quad (6)$$

$$\dot{x} = v \cdot \cos \theta_0 \quad (7)$$

$$\dot{y} = v \cdot \sin \theta_2 \quad (8)$$

$$x_1 = x - L_1 \cdot \cos \theta_0 - L_2 \cos \theta_2 \quad (9)$$

$$y_1 = y - L_1 \sin \theta_0 - L_2 \sin \theta_2 \quad (10)$$

$$x_2 = x_1 - L_1 \cdot \cos \theta_2 - L_2 \cos \theta_4 \quad (11)$$

$$y_2 = y_1 - L_1 \sin \theta_2 - L_2 \sin \theta_4 \quad (12)$$

Pada trem tanpa rel, gerakan trem diasumsikan hanya berada pada bidang XoY. Berdasarkan persamaan kinematika tersebut, sudut orientasi dari lokomotif (θ_0), orientasi gerbong pertama (θ_2), orientasi gerbong kedua (θ_4), serta koordinat dalam bidang XoY dipengaruhi oleh kecepatan lokomotif (v) dan sudut kemudi (U). Selain itu, sudut orientasi dan posisi lokomotif beserta gerbong dalam sistem koordinat XoY dipengaruhi oleh dimensi L_0 , L_1 , dan L_2 . L_1 menyatakan dimensi panjang dari titik sambung ke sumbu roda belakang, L_2 menyatakan dimensi panjang dari titik sambung ke sumbu roda belakang pada gerbong pertama, dan L_0 menyatakan dimensi panjang dari sumbu roda depan ke sumbu roda belakang pada lokomotif. Koordinat dari gerbong pertama dan kedua berturut – turut dinyatakan oleh B (x_1, y_1) dan C (x_2, y_2).

2.1.2 Metode *Line of Sight*

Pada kasus kontrol pengikot jalur ini, trem tanpa rel bergerak maju sehingga vektor LoS merupakan sebuah vektor garis yang menghubungkan koordinat lokomotif trem atau A (x, y) dengan titik referensi atau P (x_T, y_T) yang terletak pada segmen garis yang diikuti. Titik $P_p (x_p, y_p)$ merupakan proyeksi dari posisi lokomotif sehingga titik referensi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [10].

$$(x_T - x_p)^2 + (y_T - y_p)^2 = (k \cdot L)^2 \quad (13)$$

$$\frac{y_T - y_p}{x_T - x_p} = \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} \quad (14)$$

dengan k merupakan bilangan positif dan L merupakan dimensi total dari panjang kereta tanpa rel. Titik $w_i (x_i, y_i)$ dan $w_{i+1} (x_{i+1}, y_{i+1})$ merupakan dua buah titik yang terletak pada segmen garis yang diikuti. Titik referensi tersebut diperbarui dengan waktu sampling tertentu. Lintasan yang diikuti oleh trem tanpa rel terdiri dari banyak segmen garis sehingga diperlukan mekanisme pergantian segmen garis. Pergantian segmen garis yang diikuti dilakukan ketika pertidaksamaan berikut terpenuhi [10].

$$(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 \leq R^2 \quad (15)$$

Ketika lokomotif dari trem tanpa rel berada di dalam lingkaran dengan radius R , segmen garis berikutnya dengan titik $w_i (x_i, y_i)$ dan $w_{i+1} (x_{i+1}, y_{i+1})$ akan dipilih.

2.1.3 Sistem Pendeteksi Objek

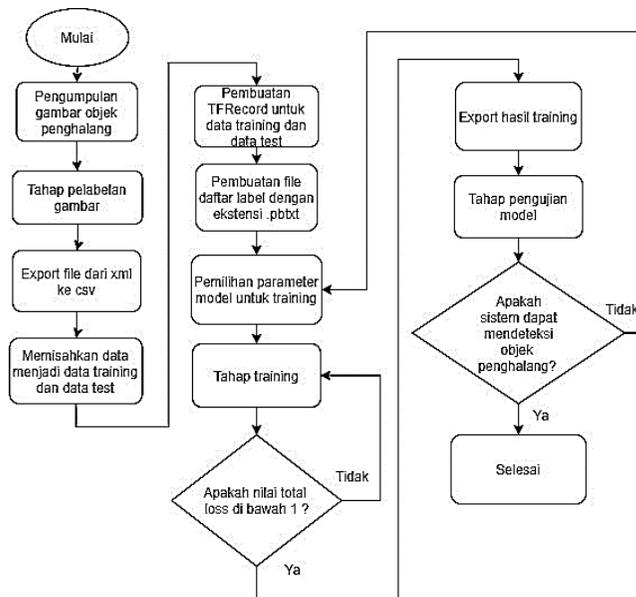
Trem tanpa rel dilengkapi dengan sistem pendeteksi objek berupa dua buah kamera identik dan algoritma *deep learning*. Sebelum diterapkan pada trem tanpa rel, sistem dilatih dengan menggunakan data gambar berjumlah 1200 yang terdiri atas enam jenis objek meliputi miniatur mobil, orang, truck, serta rambu-rambu stop, belok kanan, dan belok kiri. Algoritma yang digunakan untuk tahap pelatihan adalah *SSD Mobilenet* [9]. Diagram alir dari tahap pelatihan algoritma deteksi objek diperlihatkan pada Gambar 4.

2.2 Desain Pengontrol Fuzzy

Pengontrol fuzzy dirancang agar sudut error e_1 dan e_2 (lihat Gambar 3.) bernilai nol sehingga trem tanpa rel dapat bergerak mengikuti jalur virtual yang sudah ditetapkan. Masukan dari pengontrol fuzzy dirumuskan sebagai berikut.

$$e_1 = \theta - \theta_0 \quad (16)$$

$$e_2 = \theta_0 - \theta_4 \quad (17)$$



Gambar 4. Diagram Alir Pelatihan Algoritma Deteksi Objek

sedangkan keluaran dari pengontrol fuzzy adalah sudut kemudi lokomotif, U . Untuk perancangan pengontrol Fuzzy tersebut maka variabel linguistik dari e_1 , e_2 , dan U didefinisikan sebagai berikut.

$$e_1 = \{NB, NS, Z, PS, PB\}$$

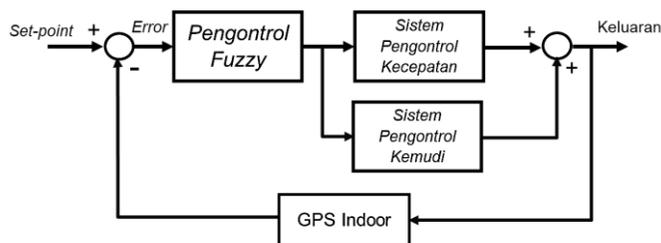
$$e_2 = \{N, Z, P\}$$

$$U = \{NB, NS, Z, PS, PB\}$$

Variabel linguistik NB, NS, N, Z, P, PS, dan PB masing – masing menyatakan *Negative Big, Negative Small, Negative, Zero, Positive, Positive Small, dan Positive Big*. Dari berbagai pertimbangan serta pengamatan yang dilakukan, maka aturan fuzzy untuk kontrol pengikut jalur pada kereta tanpa rel dapat disusun sebagai berikut.

1. IF (e1 is NB) AND (e2 is N) THEN U is NB
2. IF (e1 is NB) AND (e2 is Z) THEN U is NB
3. IF (e1 is NB) AND (e2 is P) THEN U is NB
4. IF (e1 is NS) AND (e2 is P) THEN U is NS
5. IF (e1 is NS) AND (e2 is Z) THEN U is NS
6. IF (e1 is NS) AND (e2 is N) THEN U is NS
7. IF (e1 is Z) AND (e2 is N) THEN U is Z
8. IF (e1 is Z) AND (e2 is Z) THEN U is Z
9. IF (e1 is Z) AND (e2 is P) THEN U is Z
10. IF (e1 is PS) AND (e2 is P) THEN U is PS
11. IF (e1 is PS) AND (e2 is Z) THEN U is PS
12. IF (e1 is PS) AND (e2 is N) THEN U is PS
13. IF (e1 is PB) AND (e2 is N) THEN U is PB
14. IF (e1 is PB) AND (e2 is Z) THEN U is PB
15. IF (e1 is PB) AND (e2 is P) THEN U is PB

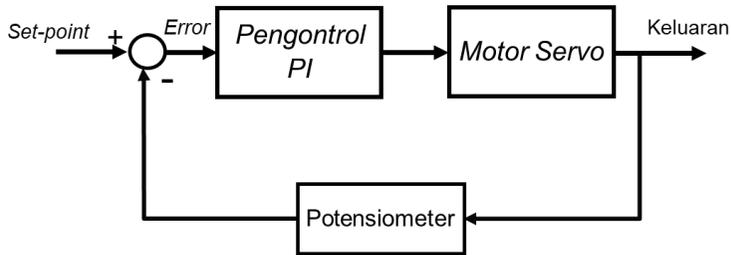
Metode minimum dan maksimum digunakan untuk keperluan inferensi sedangkan metode *Center of Area (CoA)* digunakan untuk proses defuzzifikasi. Agar tram dapat bergerak mengikuti jalur yang telah ditentukan, titik – titik pada segmen garis akan dimasukkan ke dalam komputer dan komputer akan menerima data berupa sudut orientasi dari kereta melalui komunikasi secara nirkabel. Komputer akan menghitung error sudut orientasi dan memasukkan nilai error tersebut ke dalam pengontrol fuzzy. Output yang dihasilkan berupa sudut kemudi yang dikirim ke kereta melalui komunikasi nirkabel. Diagram blok sistem kontrol pengikut jalur untuk trem tanpa rel tersebut dapat dilihat pada Gambar 5., yang terdiri atas sistem pengontrol untuk kecepatan dan sistem pengontrol untuk kemudi.



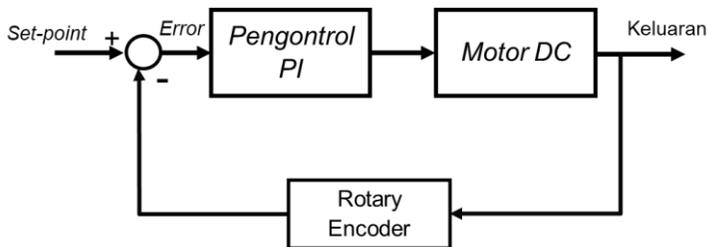
Gambar 5. Diagram Blok Sistem Kontrol Pengikut Jalur Untuk Trem Tanpa Rel

Diagram blok untuk sistem pengontrol kecepatan dan sistem pengontrol kemudi, dimana masing-masing menggunakan pengontrol jenis Proporsioanal dan Integral (PI) diperlihatkan pada Gambar 6. Untuk pengontrolan kemudi, potensiometer digunakan sebagai umpan balik sudut kemudi sedangkan sensor *rotary encoder* digunakan

sebagai umpan balik kecepatan pada pengontrolan kecepatan. GPS indoor digunakan sebagai umpan balik posisi pada Gambar 5.



(a).



(b).

Gambar 6. Diagram Blok untuk (a). Sistem Pengontrol Kemudi dan (b). Kecepatan

3 Hasil-hasil Studi Simulasi

3.1 Simulasi Pengontrol Fuzzy

Simulasi pengontrol fuzzy dilakukan secara numerik dengan menggunakan persamaan (2) hingga persamaan (12). Simulasi dilakukan dengan kecepatan rendah dan konstan, yaitu 0,1 m/det.. Titik-titik pada segmen-segmen garis yang diikuti adalah sebagai berikut.

$$w_0(1,0), w_1(4,1), w_2(4,5), w_3(8,5), w_4(8,0), w_5(12,0)$$

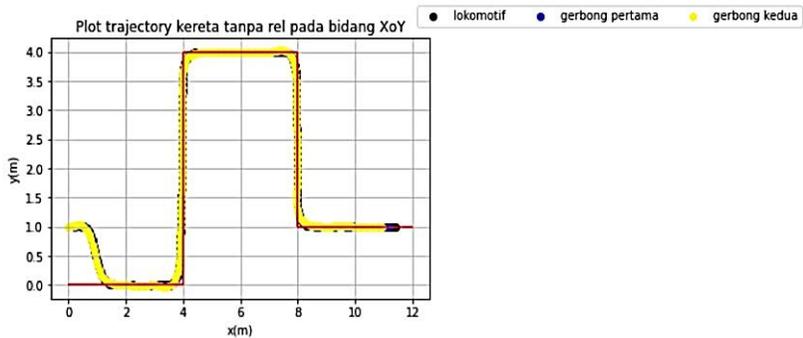
sedangkan rentang nilai dari variabel linguistik diberikan dalam besaran-besaran berikut.

$$e1 \in \{-\pi, \pi\}, e2 \in \{-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\}, U \in \{-\frac{\pi}{3}, \frac{\pi}{3}\}$$

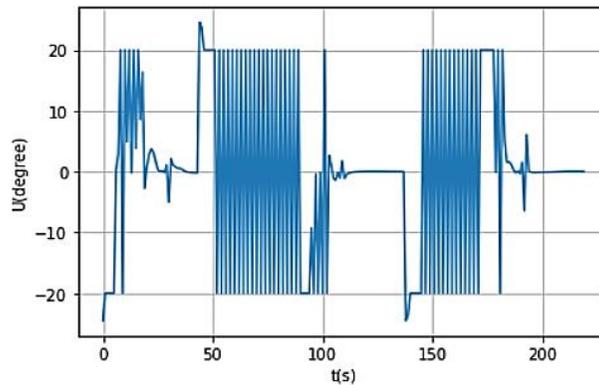
Pada studi simulasi, maka nilai k yang dipilih adalah sebesar 0,5. Parameter berupa dimensi panjang yang dipilih merupakan dimensi pada miniatur kereta yang digunakan pada penelitian ini. Parameter-parameter tersebut adalah diberikan oleh

$$L_0 = 0,15 \text{ m}, L_2 = 0,19 \text{ m}, L_1 = 0,03 \text{ m}$$

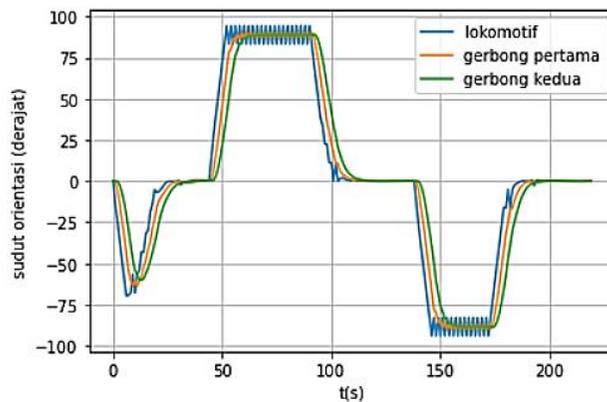
Kondisi awal kereta adalah sudut orientasi dari gerbong dan lokomotif, yaitu sebesar 0° dan kereta berada sejauh 1 m di atas segmen garis yang akan diikuti, dan besarnya waktu sampling yang digunakan adalah 1 detik. Pergerakan kereta tanpa rel pada bidang XoY diperlihatkan pada Gambar 7, dengan grafik besarnya error yang dihasilkan, yaitu error e1 dan e2 diperlihatkan pada Gambar 12.



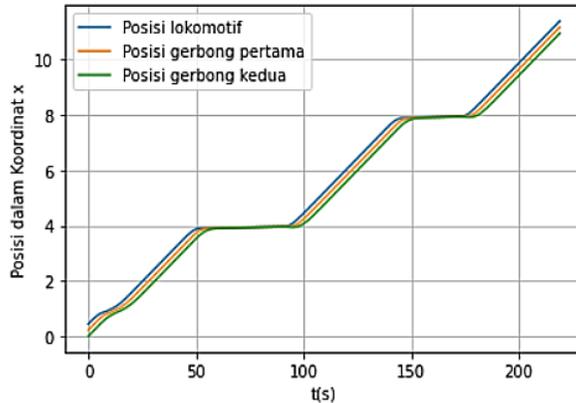
Gambar 7. Plot Pergerakan Trem tanpa Rel



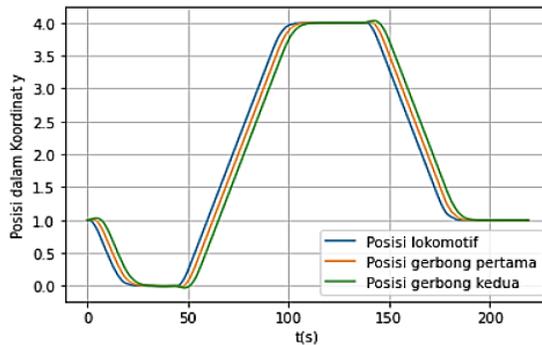
Gambar 8. Grafik Sudut Kemudi terhadap Waktu



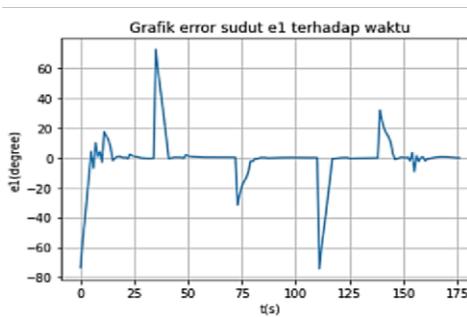
Gambar 9. Grafik Sudut Orientasi dari Lokomotif dan Gerbong terhadap Waktu



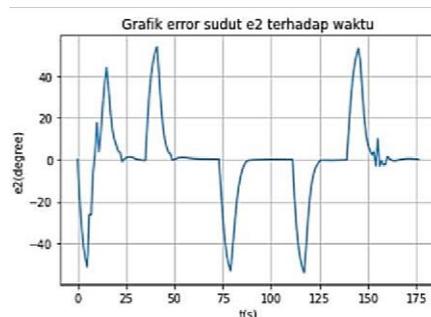
Gambar 10. Grafik Perubahan Posisi dalam Koordinat x terhadap Waktu



Gambar 11. Grafik Perubahan Posisi dalam Koordinat y terhadap Waktu



(a).



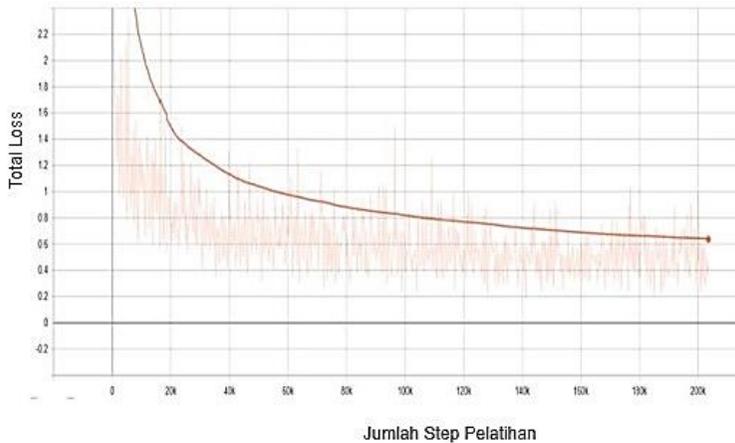
(b).

Gambar 12. Grafik Sudut (a). Error e_1 dan (b). Error e_2 terhadap Waktu

Lokomotif, gerbong pertama, dan gerbong kedua masing-masing ditandai dengan lingkaran berwarna ungu, biru, dan kuning. Grafik perubahan posisi dan orientasi untuk lokomotif dan gerbong terhadap waktu terdapat pada gambar 9 hingga gambar 11. Berdasarkan gambar 7 dan 12, implementasi pengontrol fuzzy dan metode LoS menunjukkan bahwa trem dapat mengikuti orientasi dari vektor LoS sehingga trem dapat mengikuti jalur yang sudah ditentukan.

3.2 Simulasi Deteksi Objek

Untuk mengetahui bagaimana performa dari algoritma pendeteksi objek yang digunakan pada pada tahap pelatihnnya, maka pada Gambar 13 diperlihatkan grafik *total loss* yang dihasilkan terhadap jumlah step pelatihan.



Gambar 13. Grafik Total Loss terhadap Jumlah Pelatihan

Setelah tahap pelatihan dilakukan, didapatkan nilai *average precision* sebesar 0,782 dan *total Loss* sebesar 0,8672 yang menyatakan bahwa model dapat mendeteksi objek dengan akurat. Selanjutnya, hasil-hasil dari simulasi pendeteksi objek adalah bidang pembatas berwarna dengan label beserta hasil prediksi yang dinyatakan dalam persentasi untuk berbagai objek seperti yang diperlihatkan pada Gambar 14.



(a). Objek berupa Rambu Lalu Lintas

(b). Objek berupa Mobil

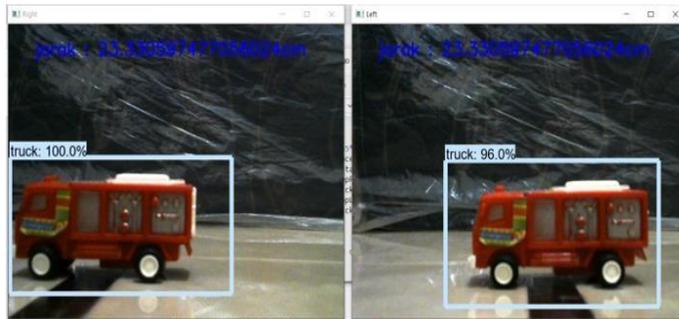
(c). Objek berupa Orang

Gambar 14. Hasil-hasil algoritma pendeteksi objek

Berdasarkan gambar 14, model yang sudah dilatih dapat mendeteksi objek dengan akurat yang ditandai dengan label hasil deteksi berupa kelas objek beserta presentase hasil prediksi yang bernilai tinggi.

Setelah model yang dilatih berhasil melakukan pendeteksian objek dengan memuaskan, langkah berikutnya adalah menerapkan konsep penglihatan stereo untuk mengukur jarak antara kamera dengan objek seperti yang diperlihatkan pada Gambar 15. Ketika sebuah objek penghalang berhasil terdeteksi, kotak pembatas objek tersebut akan dibuat dan dilakukan perhitungan koordinat titik tengah kotak

tersebut dan titik tengah kamera dalam sumbu x untuk dimasukkan ke dalam persamaan (1) untuk menghitung jarak antara objek penghalang dengan kamera. Dengan menggunakan konsep penglihatan stereo ini maka jarak yang diukur dapat diketahui dengan kesalahan $\pm 1,43\%$. Dengan mengetahui jarak antara kereta dan objek di depannya maka dapat dilakukan langkah-langkah yang diperlukan seperti misalnya melakukan pengereman atau mencoba menghindari dari objek-objek tersebut.



Gambar 15. Implementasi Konsep Penglihatan Stereo

4 Kesimpulan

Makalah ini berhasil memperlihatkan bagaimana pengontrolan trem tanpa rel dan pendeteksian objek-objek yang berada di depan trem tanpa rel dengan hasil yang cukup memuaskan. Berdasarkan studi simulasi yang dilakukan maka metode pengontrol fuzzy dengan teknik LoS dapat meminimumkan sudut *error* e_1 dan e_2 sehingga kereta tanpa rel dapat bergerak mengikuti jalur virtual yang sudah ditetapkan. Selain itu algoritma pendeteksian objek yang dikembangkan mampu mendeteksi objek berupa mobil, orang, truk, dan rambu lalu lintas yang meliputi tanda stop, belok kanan, dan belok kiri dengan *average precision* sebesar 0,782, serta mengenali objek-objek tersebut dengan persentasi yang cukup baik. Demikian juga konsep penglihatan stereo berhasil menentukan jarak antara kereta dengan objek di depannya dengan ketelitian yang cukup baik.

5 Referensi

- [1] Yuan, X., Huang, R., Zhang, Q., Zhang, X., Zhang, S., & Yunqin, H. (2020). *Longitudinal control of Autonomous-rail Rapid Tram in platooning using Model Predictive Control*, 2020 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, Gijon, Spanyol, 26-29 Oct., 2020.
- [2] Rail, A., & Vehicles, T. (2020). *Autonomous Rail Transit Vehicles*. 1–12. <https://doi.org/10.3390/en13194992>
- [3] Widyotriatmo, A., Nazaruddin, Y.Y, Raka, M., & Putranto, F. (2020). *Forward and backward motions path following controls of a truck-trailer with references on the head-truck and on the trailer*. *ISA Transactions*, xxx. <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2020.05.046>

- [4] Widyotriatmo A., Pranajati, I.G., Muhammad, F.A., and Nazaruddin, Y.Y., *Machine vision object recognition using dual-stage deep learning*, The 16th International Conference on Automation Technology (Automation 2019), Taipei, Taiwan, November 22-24, 2019
- [5] Sun, X., Jiang, Y., Ji, Y., Fu, W., Yan, S., Chen, Q., Yu, B., & Gan, X. (2019). *Distance Measurement System Based on Binocular Stereo Vision*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 252(5). <https://doi.org/10.1088/17551315/252/5/052051>
- [6] Y.Y. Nazaruddin, *Sistem Kontrol Cerdas*, 2020, Program Studi Teknik Fisika, ITB
- [7] A. Howard dkk, "MobileNets: Efficient Convolutional Neural Networks for Mobile Vision Applications. *American Journal of Computing Research Repository*", *American Journal of Computing Research Repository*, pp. 5686-5695, 2017.
- [8] W. Liu dkk, "SSD: Single Shot MultiBox Detector", *14th European Conference on Computer Vision*, pp. 21-37, 2016.
- [9] Mrovlje, J., & Vran, D. (2008). *Distance measuring based on stereoscopic pictures.2*(October), 1–6.
- [10] J. Cheng, Y. Zhang, and Z. Wang, "Motion planning and control for mobile robot with two trailers," *J. Inf. Comput. Sci.*, vol. 12, no. 13, pp. 5183–5195, 2015, doi: 10.12733/jics20106491.

Studi Korelasi Sinyal Motorik Otot Wajah dan Sinyal Suara Ucap pada Artikulasi Fonem Vokal

^{1,2}Faza Lisan Sadida*), ^{1,2}Muhammad Rady Irawan, ²Miranti Indar Mandasari*),
¹Suprijanto

¹Laboratorium Instrumentasi Medik, Teknik Fisika, Institut Teknologi Bandung

²Laboratorium Fisika Bangunan, Teknik Fisika, Institut Teknologi Bandung

fazalisans@gmail.com, miranti.indar.mandasari@gmail.com)*

Abstrak

Perubahan bentuk artikulator memiliki pengaruh pada suara ucap yang dihasilkan, sehingga setiap fonem memiliki karakteristik pola artikulasi yang berbeda. Penelitian ini meninjau hubungan otot artikulator wajah dengan sinyal suara ucap yang dihasilkan pada proses artikulasi fonem vokal. Digunakan 4 elektroda untuk merekam sinyal otot yang diletakkan pada otot *depressor anguli oris* dan *zygomaticus major* berdasarkan hasil analisa *optical flow* citra wajah saat mengucapkan fonem vokal. Dilakukan korelasi silang pada setiap pasang *envelope* sinyal EMG untuk mengetahui kecenderungan bentuk artikulator pada proses artikulasi. Diperoleh hasil bahwa setiap responden memiliki kecenderungan pola kontraksi pada otot artikulator yang unik, dan terdapat sinkronisasi untuk keempat titik artikulator yang ditandai dengan rendahnya nilai *delay* hasil korelasi silang untuk keempat pasang elektroda. Selain itu, dilakukan pula analisis total energi kontraksi yang dibutuhkan untuk menggerakkan, menahan serta mengembalikan posisi artikulator pada proses artikulasi. Berdasarkan analisa perbandingan energi, diperoleh hasil bahwa kontribusi otot *depressor anguli oris* lebih dominan dibandingkan otot *zygomaticus major* pada proses artikulasi fonem vokal.

Kata Kunci: electromyography, suara ucap, artikulasi, korelasi, envelope, energi.

1 Pendahuluan

Informasi aktivitas motorik otot serta suara ucap saat ini telah dimanfaatkan pada berbagai bidang. Terdapat beberapa penelitian yang memanfaatkan sinyal motorik otot pada proses pengenalan suara ucap (*speech recognition*) [1]-[3]. Penggunaan sinyal otot dan suara ucap pada penelitian tersebut dapat digunakan juga pada bidang rehabilitasi bicara, namun penelitian terkait pemanfaatan kedua sinyal pada bidang rehabilitasi bicara masih sangat terbatas dan dilakukan di luar negeri [1].

Sistem gerak pada setiap bagian tubuh manusia sangat erat kaitannya dengan aktivitas saraf motorik otot. Sistem saraf motorik berkomunikasi dengan menggunakan perubahan ion pada *neurotransmitter*. Perubahan ion tersebut mengakibatkan terjadinya perbedaan tegangan yang dapat dideteksi oleh elektroda, sehingga aktivitas saraf motorik dapat terukur dengan jelas [4]. Teknik perekaman aktivitas sinyal listrik dari otot menggunakan elektroda dinamakan *electromyography* (EMG). Sementara itu, suara ucap manusia dihasilkan dari kontraksi otot-otot pembentuk artikulator serta kontraksi pada bentuk pita suara [3]. Proses ini melibatkan berbagai organ artikulator, salah satunya

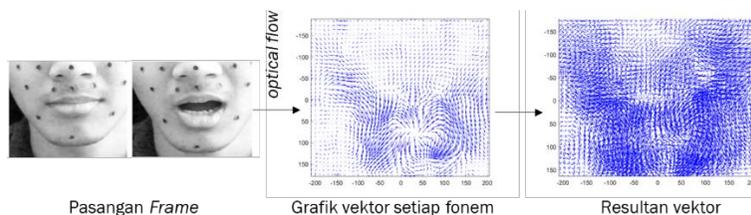
adalah organ artikulator di sekitar rongga mulut. Perubahan bentuk artikulator ini berpengaruh pada suara ucap yang dihasilkan, sehingga setiap fonem memiliki karakteristik pola artikulasi yang berbeda-beda. Karakteristik pola artikulasi otot rongga mulut terhadap pembentukan suara setiap fonem dapat dilihat dengan menggunakan informasi sinyal suara ucap dan sinyal motorik otot artikulator wajah yang diukur menggunakan EMG. Namun pengukuran sinyal EMG pada wajah juga memiliki tantangan dalam menentukan titik ukur yang tepat serta menghindari artefak akibat pergerakan tubuh responden. Penelitian terkini [1] membuktikan bahwa terdapat peningkatan akurasi sistem pengenalan suara saat menggunakan informasi multimodal (sinyal otot dan sinyal suara ucap), namun penelitian ini dilakukan dengan menggunakan suku kata pada bahasa Thailand. Organ artikulator setiap suku bangsa tentu memiliki bentuk fisiologis yang berbeda menyesuaikan dengan kondisi geografis dan bahasa yang digunakan, sehingga penggunaan referensi dari penelitian ini perlu disesuaikan dengan kondisi di Indonesia. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada konfigurasi sistem pengambilan data multifisis serta studi awal terkait pola kontraksi otot artikulator wajah terhadap suara ucap yang dihasilkan pada proses pengucapan fonem vokal di Indonesia. Temuan dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi awal dalam membangun sistem kuantifikasi terapi bicara di Indonesia.

2 Metode

Penelitian diawali oleh perancangan konfigurasi *bioamplifier* untuk menghindari artefak yang disebabkan oleh gerakan tubuh responden. Dilakukan pula penentuan titik peletakan elektroda pada wajah. Selanjutnya dilakukan perekaman data suara ucap dan sinyal EMG yang kemudian diolah dan dianalisis untuk mendapatkan kesimpulan.

2.1 Penentuan Peletakan Elektroda

Konfigurasi elektroda pada EMG bergantung pada tujuan penggunaannya. Pada penelitian ini sinyal EMG diukur pada otot-otot artikulator wajah yang berperan pada artikulasi fonem vokal. Untuk mendapatkan titik ukur yang optimal dilakukan pencarian titik kontraksi maksimum dengan pengolahan *optical flow* pada *frame* dengan perubahan posisi artikulator. *Optical flow* merupakan pola gerakan dari benda, bidang dan tepi dari adegan visual yang diakibatkan oleh gerakan relatif antara pemantau dan sebuah objek pandang. *Optical flow* dalam suatu gambar adalah suatu distribusi kecepatan dari perubahan kecerahan pada suatu piksel gambar[5]-[6].



Gambar 1 Proses pengolahan *optical flow*

Pada tahap ini, diambil citra wajah responden saat mengucapkan fonem vokal pada kondisi awal dan saat terjadi kontraksi maksimum. Kemudian masing-masing pasangan

frame ini diolah menggunakan *optical flow* sehingga diperoleh grafik vektor untuk setiap fonem vokal. Masing-masing grafik vektor kemudian digabungkan ke dalam satu grafik. Daerah dengan jumlah vektor yang paling dominan menandakan adanya pergeseran yang paling banyak pada proses berbicara yang berarti terdapat kontraksi maksimum pada otot, sehingga daerah-daerah tersebut digunakan sebagai titik peletakan elektroda. Proses pengolahan dengan metode *optical flow* dapat dilihat pada Gambar 1.

2.2 Metode Ekstraksi Fitur untuk Evaluasi Sinyal Otot Artikulator

Pengondisian dilakukan sebelum proses ekstraksi fitur-fitur sinyal otot artikulator. Untuk menghilangkan *background noise* dan informasi yang tidak diinginkan, dilakukan *filtering* menggunakan *discrete wavelet transform* (DWT) dan *wavelet denoising*. *Wavelet* adalah fungsi yang menunjukkan kondisi osilasi pada periode waktu yang singkat. Transformasi *wavelet* dapat digunakan untuk mencari informasi domain frekuensi dan waktu dari suatu sinyal [7]. Secara matematis transformasi *wavelet* dituliskan sebagai:

$$W_{a,b}(t) = \int y(t) \frac{1}{\sqrt{|a|}} \phi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (1)$$

dengan $y(t)$ merupakan fungsi EMG domain waktu, $W(t)$ merupakan fungsi domain fungsi basis $\varphi(t)$, $\varphi(t)$ adalah fungsi basis “*mother wavelet*”, b merupakan translasi, serta a adalah konstanta *scaling*.

DWT adalah transformasi *wavelet* yang dilakukan pada sinyal diskrit. Pada DWT, proses translasi dan *scaling* dibentuk menjadi $a=2^j$ dan $b=k2^j$ dengan j dan k adalah *integer* yang merepresentasikan translasi dan *scaling*. Sehingga persamaan DWT menjadi:

$$W_j(k) = \int y(n) 2^{\frac{j}{2}} \phi(2^j n - k) \quad (2)$$

Wavelet denoising digunakan untuk mengurangi *noise* pada sinyal. Metode ini terdiri dari transformasi serta rekonstruksi-dekomposisi *wavelet*. Dekomposisi *wavelet* dilakukan dengan cara meneruskan sinyal ke HPF dan LPF yang kemudian didapat koefisien aproksimasi (A_n) dan koefisien *detail* (D_n). Hasil dekomposisi *wavelet* direkonstruksi kembali dengan aturan fungsi batas untuk memilah bagian *wavelet* yang mengandung sinyal dan *noise*. Penelitian ini menggunakan teknik *wavelet denoising* 3 tingkat.

Setelah sinyal terkondisikan selanjutnya dilakukan *enveloping* dengan *Root mean square* (RMS) *envelope* untuk mendapatkan karakter sinyal secara keseluruhan. Fungsi RMS *Envelope* (y_e) didapatkan dengan merata-ratakan RMS dari sinyal dalam suatu *window* kemudian menggeser *window* tersebut hingga keseluruhan sinyal, dapat ditulis [8]:

$$y_E(n) = \frac{1}{N} \sum_{i=n-\frac{window}{2}}^{n+\frac{window}{2}} y_{RMS}(i) \cdot h(n-i) \quad (3)$$

Dengan h adalah *rectangular window* dan N adalah jumlah data dalam *window*.

Setelah dilakukan pengondisian menggunakan *wavelet denoising*, dihitung pula nilai energi dari sinyal EMG. Dalam pemrosesan sinyal, Energi dari sinyal didefinisikan sebagai jumlah total dari kuadrat *magnitude* sinyal atau dalam persamaan matematis ditulis [9]:

$$E_{total} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} |y(n)|^2 \quad (4)$$

Dengan h adalah *rectangular window* dan N adalah jumlah data dalam *window*.

Sementara itu, untuk melihat koordinasi antar otot artikulator, dilakukan korelasi silang pada 4 pasang elektroda tersebut. Korelasi silang secara matematis didefinisikan sebagai [9]:

$$r(l) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} y_1(n)y_2(n-l) \quad (5)$$

dengan l adalah indeks *lag* atau *delay*, $y_1(n)$ dan $y_2(n)$ merupakan sinyal EMG yang berasal dari elektroda ke 1 dan 2.

Dari hasil korelasi ini, ditinjau pula nilai *time delay* kedua sinyal. Puncak terbesar dari hasil korelasi terjadi ketika kedua sinyal memiliki banyak kesamaan, *peak delay* tersebut dapat diestimasi secara matematis dapat dituliskan sebagai [10]:

$$l_{estimasi} = \operatorname{argmax}(Corr(l)) \quad (6)$$

Dalam domain waktu maka waktu dari *peak delay* atau disebut *time delay* (t_{delay}) dapat dicari dengan membagi *peak delay* dengan frekuensi *sampling* atau dapat ditulis:

$$t_{delay} = \frac{l_{estimasi}}{F_s} \quad (7)$$

2.3 Metode Ekstraksi Fitur untuk Sinyal Suara Ucap

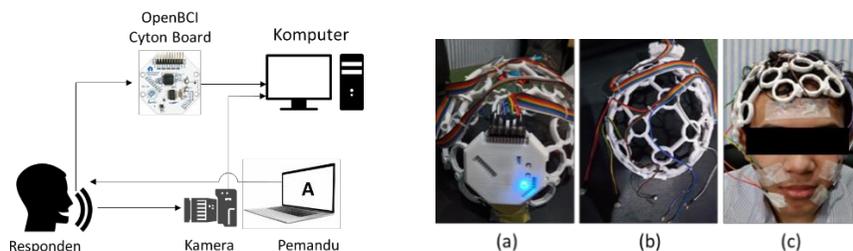
Suara ucap memiliki karakteristik stasioner pada rentang 10-20 ms [11] sehingga suara ucap dapat dicacah dalam segmen tersebut. *Short Time Energy* (STE) merupakan total energi dari energi yang diambil dalam setiap segmentasi tertentu [12], atau dapat ditulis:

$$E_n = \sum_{n=-\infty}^{\infty} [x(n)h(i-n)]^2 \quad (8)$$

Dengan $x(n)$ adalah sinyal suara ucap dan $h(i-n)$ adalah fungsi *window*.

3 Material dan Eksperimen

Responden penelitian ini adalah seorang laki-laki dan seorang perempuan sehat berusia muda dalam rentang 19-25 tahun dan menggunakan bahasa Indonesia sehari-hari. Sinyal EMG serta sinyal suara ucap diambil pada saat responden mengucapkan fonem vokal /a/, /i/, /u/, /e/, /o/. Pengambilan data dilakukan sebanyak 5 kali dengan setiap set data berisi 5 kali pengucapan untuk setiap fonem uji.



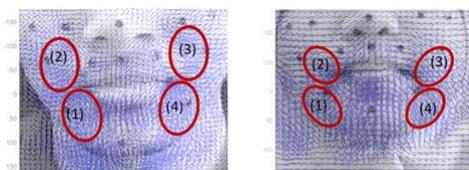
Gambar 2 Konfigurasi instrumen pengambilan data (gambar kiri), dan *bioamplifier* (a) sisi belakang, (b) sisi atas, dan (c) posisi pemasangan pada responden (gambar kanan)

Pada penelitian ini digunakan 1 kamera Canon EOS 650D dengan *setting* 1280x720 *pixel*, 60 FPS untuk perekaman *video* yang diletakkan 1 meter di depan responden, OpenBCI *cyton board* dengan frekuensi *sampling* 250 Hz, 4 kanal elektroda *gold plated bipolar* yang dipasang pada otot artikulator wajah dan terkoneksi dengan 1 laptop untuk akuisisi data sinyal EMG, serta 1 laptop lain yang digunakan sebagai layar pemandu. Perangkat *bioamplifier* dipasang pada kepala agar mengurangi artefak akibat gerakan yang tidak diinginkan. Elektroda berlapis emas digunakan karena emas memiliki konduktivitas listrik yang tinggi, serta stabilitas kimia dan biokompatibilitas yang baik sehingga dapat menangkap sinyal bioelektrik dengan baik dan tidak mudah rusak. Ilustrasi konfigurasi instrumen pengambilan data yang digunakan dan konfigurasi *bioamplifier* serta posisi penempatan elektroda pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.

4 Hasil dan Pembahasan

4.1 Peletakan Posisi Elektroda

Daerah dengan vektor terbanyak berdasarkan pengolahan *optical flow* dapat dilihat pada Gambar 3. Dari gambar tersebut terlihat bahwa terdapat 4 area dengan kontraksi otot yang dominan pada pengucapan fonem vokal, sehingga dapat disimpulkan bahwa bagian otot wajah yang berperan dalam pengucapan fonem vokal adalah otot *zygomaticus major* yang berfungsi untuk menarik bagian mulut superior (titik 2 dan 3) serta otot *depressor anguli oris* yang berperan untuk mendorong bagian bawah mulut (titik 1 dan 4). 4 titik tersebut selanjutnya digunakan sebagai titik pengukuran sinyal kontraksi otot wajah.



Gambar 3 Posisi peletakan elektroda

4.2 Analisis Koordinasi Antar Elektroda Sinyal EMG

Dilakukan 4 variasi korelasi, yaitu korelasi untuk elektroda bagian atas (elektroda 2&3), bawah (1&4), kanan (3&4) serta kiri wajah (1&2). Dari korelasi tersebut didapatkan nilai nilai *peak delay* yang ditabulasikan pada Tabel 1. Data ini kemudian diurutkan dengan nilai *delay* mendekati nol merupakan nilai terkecil. Selanjutnya keempat data dibandingkan satu sama lain dan dilakukan pengurutan berdasarkan elektroda mana yang lebih dulu berkontraksi.

Nilai *delay* yang rendah untuk seluruh pasangan elektroda pada setiap pengucapan untuk kedua responden menandakan sinkronisasi untuk keempat pasang elektroda tersebut. Dari pengolahan ini juga didapatkan informasi bahwa pengucapan responden 1 dominan pada kiri bawah atau elektroda 1 kemudian pengucapan berputar dari elektroda 1 menuju elektroda 4 searah jarum jam kecuali pada pengucapan /u/ dan /e/.

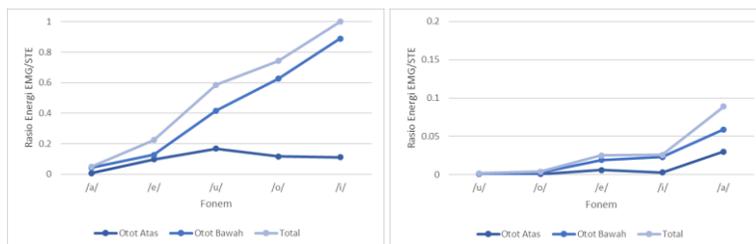
Sementara itu, nilai *delay* antar elektroda pada responden 2 memiliki kecenderungan membentuk artikulator yang menyerong ke kanan bawah dan kiri atas lebih dulu saat mengucapkan hampir seluruh fonem vokal (selain fonem /u/). Untuk pengucapan fonem /u/, responden 2 memiliki kecenderungan membentuk artikulator memutar searah jarum jam dari area kiri atas ke kanan lalu ke kiri bagian bawah otot artikulator.

Tabel 1 Nilai delay antar elektroda pada kedua responden

Responden	Elektroda	Delay (ms) per Fonem				
		/a/	/i/	/u/	/e/	/o/
Responden #1	1 & 2	-0.010	-0.005	0.002	-0.136	-0.016
	3 & 4	-0.019	-0.015	0.014	0.018	-0.004
	2 & 3	-0.001	0.004	0.008	0.021	-0.010
	1 & 4	-0.016	-0.020	0.097	-0.022	-0.038
Responden #2	1 & 2	0.026	0.045	0.585	0.030	0.479
	3 & 4	0.002	0.022	-0.034	0.105	0.031
	2 & 3	-0.022	-0.066	-0.406	-0.024	-0.347
	1 & 4	0.186	0.034	0.011	0.116	0.029

4.3 Perbandingan Energi EMG dan Suara Ucap

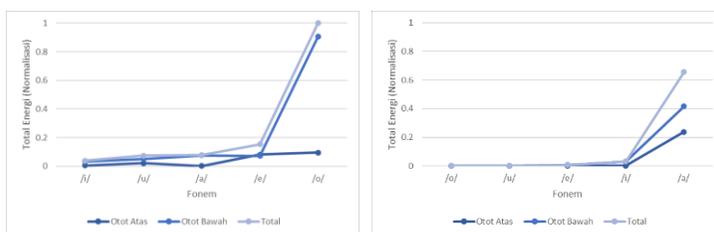
Dilakukan perhitungan rasio total energi kontraksi otot yang diperlukan pada proses artikulasi terhadap energi suara ucap yang dihasilkan. Rasio energi kontraksi terhadap suara ucap yang telah dinormalisasi terdapat pada Gambar 4.



Gambar 4 Rasio energi EMG dan suara ucap pada responden 1 (kiri) dan 2 (kanan)

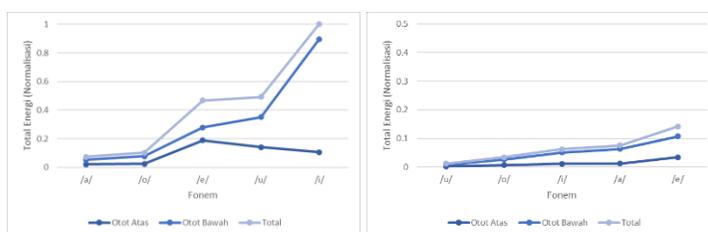
Secara umum, energi kontraksi otot artikulator bagian bawah (*depressor anguli oris*) bernilai lebih tinggi jika dibandingkan dengan otot artikulator bagian atas (*zygomaticus major*). Hal ini menandakan otot artikulator bagian bawah berperan lebih banyak dalam proses pengucapan fonem vokal. Pada responden 1, rasio total energi kontraksi terhadap energi suara pada pengucapan fonem /o/ dan /i/ memiliki nilai yang paling besar, sedangkan fonem /a/ memiliki nilai yang relatif paling kecil. Sementara itu, pada responden 2, nilai rasio total energi pada fonem /a/ memiliki nilai yang paling besar, sementara fonem /u/ bernilai relatif paling kecil selama proses artikulasinya.

Selanjutnya, untuk meninjau energi kontraksi yang dibutuhkan setiap kondisi pada proses artikulasi, data pengucapan dibagi ke dalam 3 segmen, yaitu segmen persiapan posisi artikulator (selama 700 ms sebelum suara terdengar), segmen pengucapan, dan segmen pengembalian posisi artikulator (selama 700 ms setelah suara hilang). Semua nilai yang diperoleh kemudian dinormalisasi terhadap nilai energi terbesar. Hasil normalisasi energi EMG pada masing-masing segmen dapat dilihat pada Gambar 5-7.



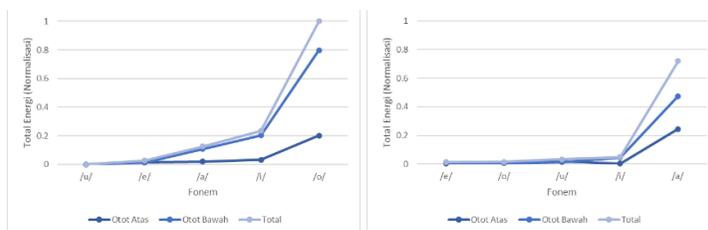
Gambar 5 Total energi EMG pada segmen persiapan responden 1 (kiri) dan 2 (kanan)

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa pada segmen persiapan posisi artikulator pada responden 1, dibutuhkan kontraksi yang paling tinggi pada persiapan artikulator membentuk fonem /o/, sedangkan energi kontraksi untuk mempersiapkan artikulator dalam membentuk fonem /i/ relatif lebih rendah. Sementara itu, pada responden 2, fonem yang membutuhkan energi paling tinggi dalam persiapan posisi artikulatornya adalah fonem /a/, sedangkan yang paling rendah adalah fonem /o/.



Gambar 6 Total energi EMG pada segmen pengucapan responden 1 (kiri) dan 2 (kanan)

Dari Gambar 6, terlihat bahwa pada segmen pengucapan, responden 1 membutuhkan energi kontraksi otot yang paling tinggi untuk menahan posisi artikulator pada saat pengucapan fonem /i/. Sedangkan pada saat pengucapan fonem /a/ dan /o/, dibutuhkan energi kontraksi otot yang paling rendah untuk menahan posisi artikulator. Sementara itu, untuk responden 2 dibutuhkan energi kontraksi yang lebih tinggi pada saat pengucapan fonem /e/. Sedangkan pada saat pengucapan fonem /u/, energi kontraksi yang diperlukan lebih rendah.



Gambar 7 Total energi EMG pada segmen pengembalian responden 1 (kiri) dan 2 (kanan)

Sementara itu, pada Gambar 7, untuk responden 1, kontraksi otot terbesar untuk mengembalikan artikulator ke posisi semula dibutuhkan pada pengucapan fonem /o/ dan /i/, serta kontraksi otot paling rendah terjadi pada pengucapan fonem /u/. Pada responden 2, energi kontraksi terbesar dibutuhkan pada saat pengembalian posisi artikulator pada proses pengucapan fonem /a/ jika dibandingkan dengan fonem lainnya.

5 Kesimpulan

Penemuan terkait sinyal gerak otot artikulator dan sinyal suara ucap serta korelasinya pada proses artikulasi fonem vokal adalah sebagai berikut: terdapat kemiripan kontraksi pada pasangan otot artikulator bagian atas (*zygomaticus major*) dan pasangan otot artikulator bagian bawah (*depressor anguli oris*) maupun antar otot artikulator bagian atas dan bawah yang ditandai dengan rendahnya nilai *delay*. Nilai *delay* juga menandakan kecenderungan bentuk artikulator seseorang pada proses berbicara. Secara keseluruhan, otot artikulator bagian bawah berperan lebih banyak dibanding otot artikulator bagian atas dalam proses pengucapan fonem vokal, yang ditandai dengan lebih tingginya total energi kontraksi otot artikulator bawah dibanding otot artikulator atas. Pola artikulasi dan energi kontraksi kedua responden memiliki hasil yang unik sehingga terindikasi bahwa besar energi kontraksi otot artikulator wajah pada proses artikulasi suara ucap juga dipengaruhi oleh jenis kelamin seseorang. Untuk memastikan temuan ini, dibutuhkan penambahan jumlah responden dari kedua kelompok.

6 Referensi

- [1] N. S. Jong, A. G. S. de Herrera and P. Phukpattaranont, *Multimodal Data Fusion of Electromyography and Acoustic Signals for Thai Syllable Recognition*, in IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, vol. 25, no. 6, pp. 1997-2006, June 2021.
- [2] Srisuwan, N., Phukpattaranont, P., & Limsakul, C. *Comparison of feature evaluation criteria for speech recognition based on electromyography*. Medical & Biological Engineering & Computing, 56(6), 1041–1051, 2017.
- [3] Janke, M., & Diener, L. *Emg-to-speech: Direct generation of speech from facial electromyographic signals*. IEEE Transactions TASLP, 25(12), 2375-2385, 2017.
- [4] M. B. I. Reaz, M. S. Hussain, and F. Mohd-Yasin, *Techniques of EMG Signal Analysis: Detection, Processing, Classification and Applications*, Biol Proced Online, vol. 8, pp. 11–35, 2006.
- [5] Y. Lyu, Y. Yang and J. Ru, *Gesture motion detection algorithm based on optical flow method*, IEEE International Conference on Computer and Communications (ICCC), 2015, pp. 128-132, 2015.
- [6] Suprijanto, dr, dkk. *Development system for emotion detection based on brain signals and facial images*. 38. 324-331, 2009.
- [7] S Strang, G.; Nguyen, T. *Wavelet and Filter Banks*; Wellesey-Cambridge Press: Wellesey, 1996.
- [8] L, Brian. *Amplitude Analysis Root Mean Square EMG Envelope*. <https://delsys.com/amplitude-analysis-root-mean-square-emg-envelope>, 4-11-2020, 2014
- [9] John G. Proakis and Dimitris G. Manolakis. *Digital signal processing (3rd ed.): principles, algorithms, and applications*. Prentice-Hall, Inc., USA, 1996.
- [10] Scholl, S. *Correlation for Time Delay Analysis w. Application to RTL-SDR based TDOA*. <http://www.panoradio-sdr.de/correlation-for-time-delay-analysis>, 6-9-2020, 2019.
- [11] Kamil, Oday. *Frame Blocking and Windowing Speech Signal*, 4, 87-94, 2018.
- [12] X. Yang, dkk, *Comparative Study on Voice Activity Detection Algorithm*, International Conference on Electrical and Control Engineering, ICECE, 2010.

Data Logger Berat dan Tinggi Bayi Via Wifi Berbasis Android

Azis Muslim, Endang Juliastuti, Lutfi Zulfarida, & Arky Arrahman F.

Akmet

azis.muslim@kemendag.go.id

Abstrak

Telah berhasil dibuat *data logger* pengukuran berat dan tinggi bayi yang dapat ditampilkan dan disimpan pada aplikasi android menggunakan bantuan *firebase* dan *tiny database*. Prototipe *data logger* ini dibuat untuk membantu peran tenaga kesehatan dalam melakukan pencatatan data hasil berat dan tinggi bayi yang pencatatannya saat ini masih dilakukan secara manual. Cara kerja dari prototipe ini yaitu saat timbangan digital yang dapat mengukur berat dan jarak mengalami perubahan nilai, maka nilai tersebut akan dikirim ke *firebase*. Aplikasi android akan mengambil data yang telah berada pada *firebase* dan menampilkannya. Hasil pengujian menunjukkan tingkat akurasi dari sensor *load cell* yang digunakan yaitu 99.97%, tingkat presisi 99.89%, dan memiliki persentase kesalahan 0.03%. Sensor *rotary encoder optik* yang digunakan memiliki tingkat akurasi 99.997%, tingkat presisi 99.9%, dan memiliki persentase kesalahan 0.003%.

Kata Kunci : berat ; tinggi; bayi; data logger; aplikasi android

1. Pendahuluan

Pembacaan hasil alat ukur dalam melakukan pengukuran berat dan tinggi bayi saat ini masih dilakukan secara manual. Sistem pencatatan dalam pengukuran berat dan tinggi bayi yang ditulis manual di buku tidak efisien secara mobilitas, tidak praktis karena dimensinya cukup besar dan mudah rusak.

Seiring dengan perkembangan zaman modern, otomatisasi pencatatan data pada hasil pengukuran berat dan tinggi bayi sudah bisa dilakukan. Sistem otomatisasi pencatatan data yang dilakukan oleh sebuah sistem yang telah terhubung pada sensor dan perekam disebut dengan *data logger*. Sistem pencatatan secara otomatis ini dapat membantu manusia untuk mengurangi risiko dari *human error*.

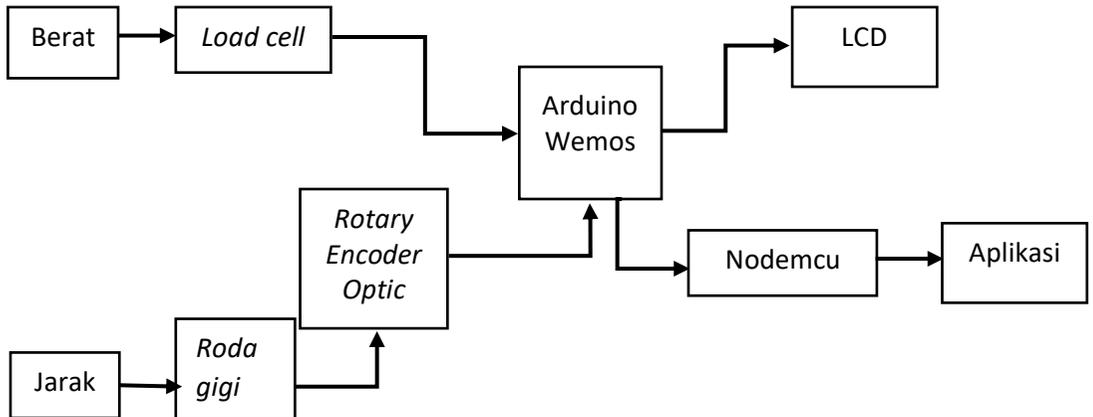
Proyek ini menggunakan *smartphone Android* karena pada umumnya alat komunikasi ini telah dimiliki oleh banyak orang dan dapat dimanfaatkan sebagai penampil dan penyimpan data hasil pengukuran berat dan tinggi bayi yang mudah dibawa kemana saja. Media transmisi pengiriman data menggunakan media penghantar tanpa kabel wifi dengan kelebihan fleksibilitas dalam penempatannya serta dapat terdiri dari dua perangkat atau lebih [1].

Penggunaan sistem data logger berbasis aplikasi android sudah pernah diteliti. Pada penelitian Somari [2], sistem data logger berbasis android digunakan untuk memonitoring peralatan elektronik. Sistem pengukuran yang dikembangkan Kadek dan Kevin [3] dapat mencatat dan menyimpan hasil pembacaan sensor pada database.

Mempertimbangkan hal tersebut maka dibuatlah pengembangan prototipe “Data Logger Berat dan Tinggi Bayi Via Wifi Berbasis Android” yang bertujuan: membuat sistem *data logger* hasil pengukuran berbasis *wifi via* android dari prototipe alat ukur timbangan berat dan panjang bayi ; serta mengetahui unjuk kerja dari sistem *data logger* yang telah dibuat.

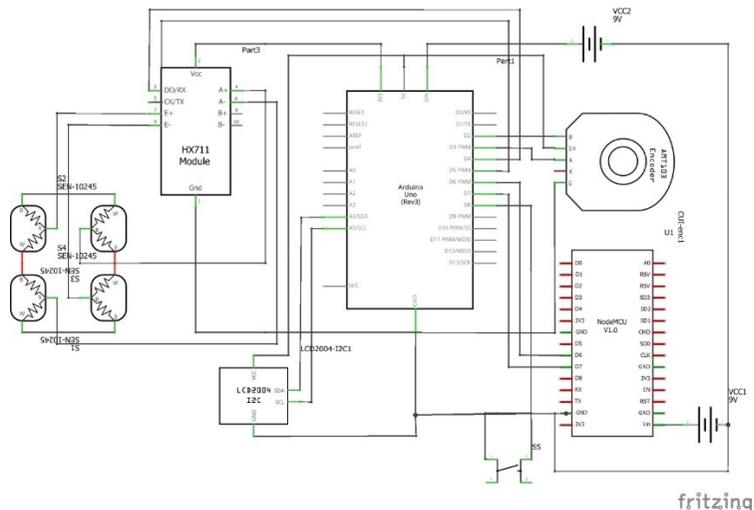
2. Rancang Bangun

2.1 Rancang Bangun Perangkat Keras



Gambar 1 Diagram Blok Prototipe

Yang dilakukan pada proyek ini adalah membuat timbangan berat dan panjang bayi dengan ditambah fitur *data logger* yang terhubung ke ponsel pintar android. Cara kerja prototipe adalah: dua besaran fisis yang diukur yaitu berat dan jarak diterima oleh sensor-sensor yang ada pada timbangan, selanjutnya data dari sensor diproses oleh mikrokontroler dan ditampilkan di LCD. Pada penelitian ini, alat ukur tersebut akan ditambah sistem *data logger* yaitu dengan menggunakan modul *wifi* yang mengirimkan data ke aplikasi yang dapat dilihat dan disimpan di ponsel pintar android.



Gambar 2 Skema Rangkaian

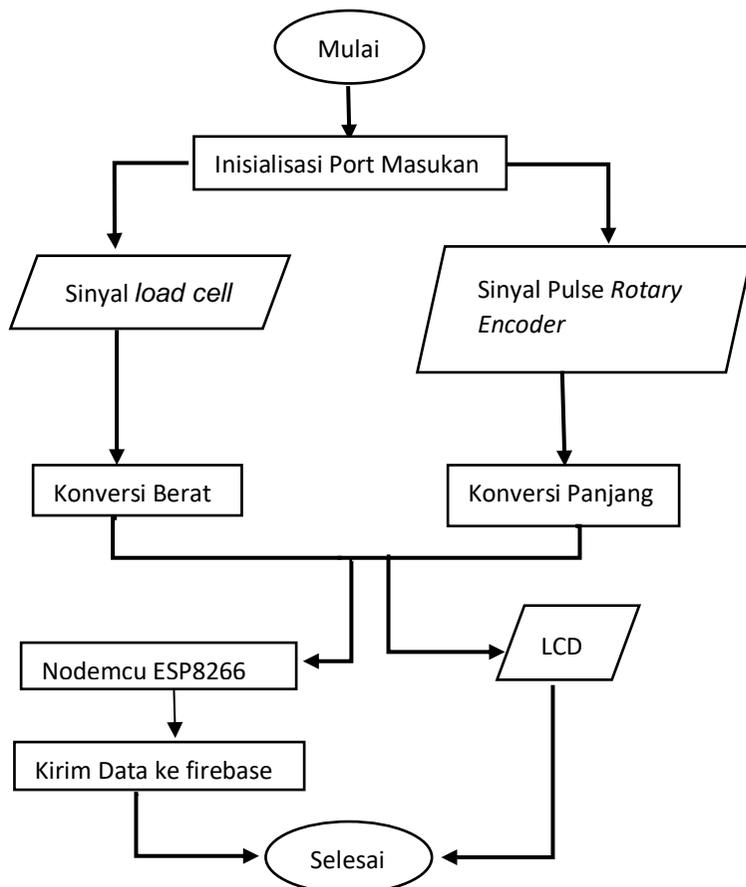
Sensor *load cell* yang digunakan pada timbangan ini yaitu menggunakan 4 buah *load cell* dengan beban muatan maksimal sebesar 25 kg. *Load cell* sendiri merupakan komponen utama dalam sebuah timbangan digital. Rangkaian *load cell* terdiri dari 4 resistor (*Full bridge*)

atau 2 resistor (*half bridge*). Pada timbangan ini menggunakan *load cell* dengan 2 resistor. Timbangan ini menggunakan sensor *rotary encoder optic* sebagai sensor jarak karena dapat menghitung perubahan posisi dan perubahan arah. *Rotary encoder* adalah perangkat elektromekanik yang dapat memonitor gerakan dan posisi. *Rotary Encoder Optik* adalah sensor gerak mekanis yang menghasilkan sinyal digital sebagai respon terhadap gerakan rotasi.

2.2 Rancang Bangun Perangkat Lunak

2.2.1 Program pada Timbangan

Pemrograman pada timbangan menggunakan arduino, dimana dalam program tersebut terdapat perintah untuk mendeteksi perubahan pada sensor *load cell* dan *rotary encoder optic* yang kemudian ditampilkan pada LCD dan dikirim ke *firebase* menggunakan *wifi* dan nantinya dapat terlihat pada aplikasi.



Gambar 3 Diagram Alir Arduino

Diagram alir data *logger* timbangan berat dan panjang bayi *via wifi* berbasis *Android* secara keseluruhan yaitu: pertama, *Arduino Uno* akan menginisialisasi *port* yang digunakan untuk

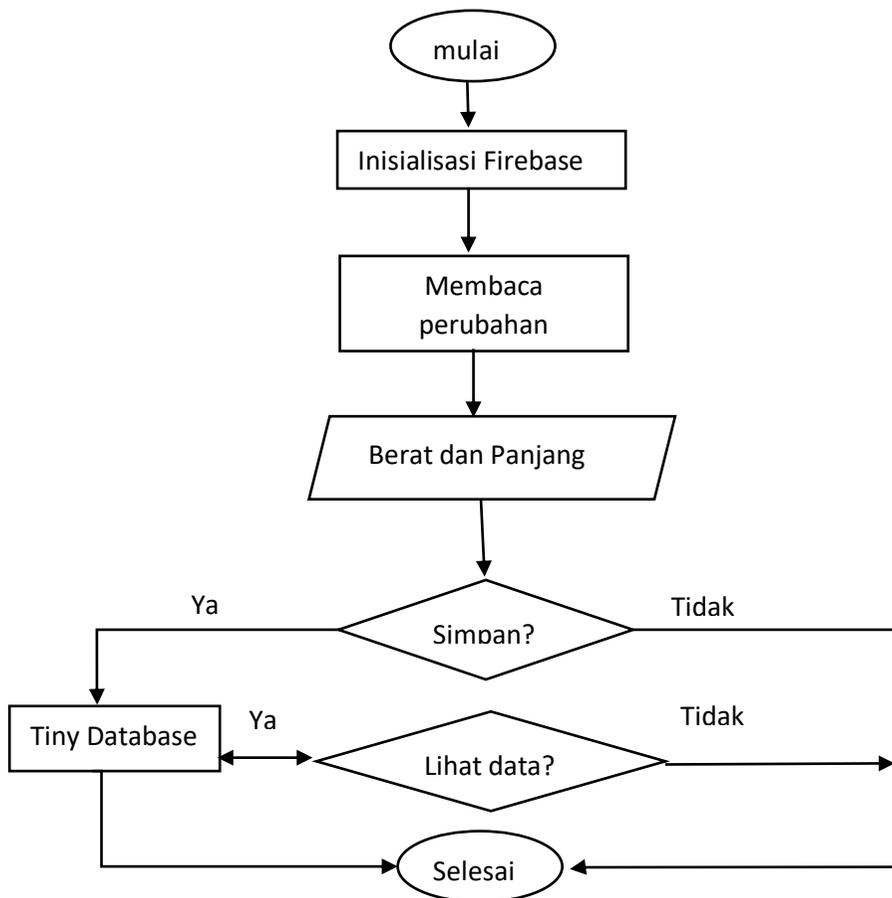
sensor dan komunikasi serial dengan *nodemcu*. Setelah proses penginisialisasian selesai, sensor *load cell* mulai membaca besar nilai tegangan akibat deformasi pada *load cell* dan sensor *rotary encoder* mulai membaca pulse dari pergerakan roda gigi. Selanjutnya, data tersebut diproses oleh *Arduino UNO* dan ditampilkan melalui *LCD* serta dikirim secara serial ke *nodemcu* kemudian oleh *nodemcu* data dikirim ke *firebase*.

2.2.2 Program Aplikasi



Gambar 4 Tampilan Aplikasi

Dalam aplikasi tersebut terdapat tanggal yang berfungsi untuk mengatur tanggal saat dilakukan pengukuran dan terdapat berat serta panjang yang terhubung dengan sensor menggunakan bantuan *firebase*, *firebase* merupakan sebuah *cloud* data yang dapat menghubungkan sensor dengan aplikasi yang telah dibuat. Setelah nilai sensor berubah, maka nilai pada tampilan aplikasi juga akan berubah dan dapat disimpan.



Gambar 5 Diagram Alir Aplikasi

Dalam program aplikasi, saat aplikasi dibuka maka akan menginisialisasi *firebase*, setelah itu akan membaca data dan menampilkan data berat dan panjang. Kemudian jika ingin disimpan maka data dapat tersimpan jika tidak maka data tidak disimpan. Setelah itu data dapat dilihat.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil dan Pembahasan Pengujian Prototipe

Tabel 1 Data Hasil Pengujian Prototipe

No.	Berat (kg)	Panjang (cm)
-----	------------	--------------

	LCD	Aplikasi	LCD	Aplikasi
1	1.03	1.03	65.47	65.47
2	1.07	1.07	65.47	65.47
3	2.05	2.05	46.00	46.00
4	2.14	2.14	46.00	46.00
5	3.04	3.04	54.00	54.00
6	3.51	3.51	50.00	50.00

Hasil pengujian memperlihatkan nilai berat dan panjang yang ditunjukkan pada *LCD* yang terdapat di alat ukur dengan data yang ditampilkan pada aplikasi *android* adalah sama. Artinya pengembangan aplikasi *data logger* telah berhasil dibuat karena ada kesamaan apa yang direkam pada database di *cloud* dengan apa yang diukur oleh alat ukur

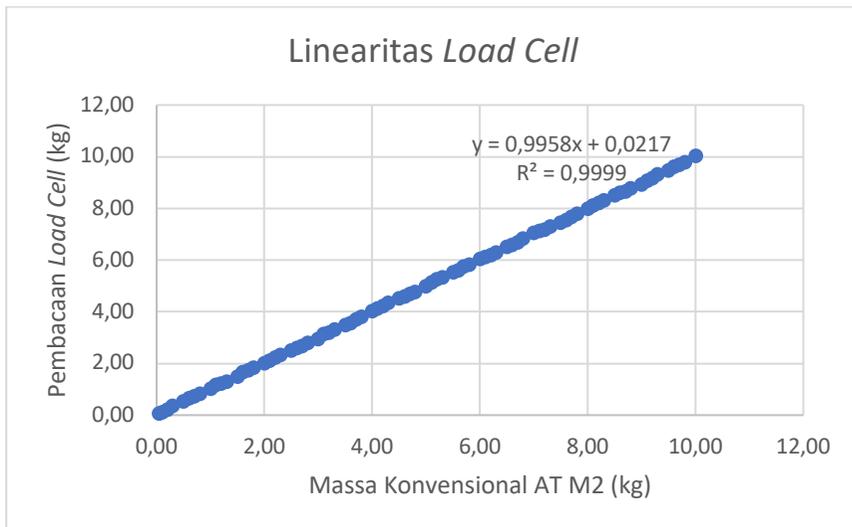
3.2 Hasil dan Pembahasan Unjuk Kerja Prototipe

3.2.1 Hasil Pengujian Load Cell

Tabel 2 Data Hasil Pengujian Linearitas Load Cell

Massa Konvensional AT M2	Pembacaan Load cell	Kesalahan	Kesalahan
	(kg)		%
0.05	0.05	0.00	0.00
1.00	1.02	0.02	2.00
2.00	2.00	0.00	0.00
2.50	2.49	-0.01	0.40
2.80	2.80	0.00	0.00
3.00	2.94	-0.06	2.00
3.10	3.13	0.03	0.97
3.30	3.30	0.00	0.00
3.50	3.48	-0.02	0.57
4.00	4.03	0.03	0.75
4.10	4.11	0.01	0.24
4.20	4.22	0.02	0.48

4.30	4.33	0.03	0.70
5.00	4.97	-0.03	0.60
6.00	6.03	0.03	0.50
7.00	7.05	0.05	0.71
8.00	7.98	-0.02	0.25
9.00	8.91	-0.09	1.00
10.00	10.03	0.03	0.30



Gambar 6 Grafik Linearitas Load Cell

Nilai R^2 dari hasil pengujian didapat sebesar 0.9999 yang berarti *load cell* yang telah dikalibrasi menggunakan massa konvensional AT M2 linear karena nilai R^2 mendekati nilai 1.

Tabel 3 Data Hasil Pengujian Histerisis

Massa Konvensional AT M2	Pengukuran Naik	Pengukuran Turun	Histerisis
(kg)			
0.05	0.05	0.05	0.00
1.00	1.02	1.00	0.02
2.00	2.00	2.01	-0.01

2.50	2.49	2.50	-0.01
2.80	2.80	2.84	-0.04
3.00	2.94	3.00	-0.06
3.10	3.13	3.15	-0.02
3.30	3.30	3.34	-0.04
3.50	3.48	3.52	-0.04
4.00	4.03	3.98	0.05
4.10	4.11	4.13	-0.02
4.20	4.22	4.20	0.02
4.30	4.33	4.35	-0.02
5.00	4.97	5.02	-0.05
6.00	6.03	6.02	0.01
7.00	7.05	7.04	0.01
7.70	7.67	7.01	0.66
8.00	7.98	8.02	-0.04
9.00	8.91	8.98	-0.07
10.00	10.03	9.99	0.04

Dalam pengujian histerisis dilakukan pengujian naik dan pengujian turun dari nominal 0.05 kg hingga 10.00 kg. Berdasarkan tabel pengujian histerisis, didapatkan nilai histerisis dari masing-masing titik pengujian, nilai histerisis maksimum sebesar 0.66 kg pada titik pengujian 7.70 kg. Nilai histerisis dapat diperoleh akibat penggunaan load cell yang terlalu lama karena pengujian-pengujian yang sebelumnya dilakukan. Pengaruh pengujian sebelumnya dapat menyebabkan adanya perbedaan hasil pembacaan yang terjadi pada *load cell*.

Tabel 4 Data Hasil Pengujian Repeatability

No.	Massa Konvensional AT M2	Pembacaan Timbangan	Kesalahan
1	5	5.01	-0.01
2	5	4.98	0.02
3	5	4.84	0.16
4	5	4.67	0.33

5	5	4.73	0.27
6	5	4.81	0.19
7	5	4.86	0.14
8	5	4.88	0.12
9	5	4.96	0.04
10	5	4.91	0.09
Rata-Rata		4.86	0.14
Standar Deviasi		0.11	0.11

Pengujian keterulangan dilakukan pada berat 5 kg dan 10 kg. Berdasarkan data yang diperoleh dengan melakukan pengujian sebanyak 40 kali di dapatkan nilai rata-rata sebesar 4.86 kg serta nilai standar deviasi sebesar 0,11 kg untuk massa AT konvensional M2 5 kg. Sedangkan untuk Massa konvensional AT M2 10 kg didapat nilai rata-rata 10.00 kg dan nilai standar deviasi 0.17 kg.

Tabel 5 Unjuk Kerja Load Cell

Akurasi (%)	Presisi (%)	Kesalahan (%)
99.97	99.89	0.03

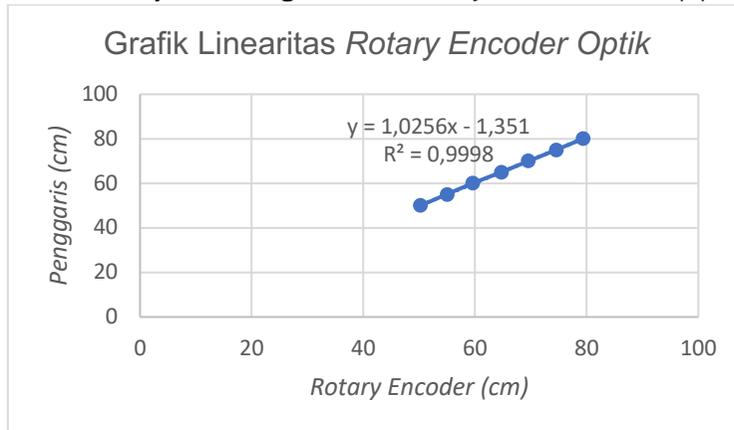
3.2.2 Hasil Pengujian *Rotary Encoder* Optik

Tabel 6 Hasil Pengujian Linearitas

Penggaris	Pembacaan Panjang	Kesalahan	Kesalahan
	(cm)		%
50	50.24	-0.24	0.24
55	54.97	0.03	0.03
60	59.51	0.49	0.49
65	64.72	0.28	0.28
70	69.54	0.46	0.46
75	74.59	0.41	0.41
80	79.31	0.69	0.69
Rata-rata Kesalahan		0.30	0.37

Pengujian *rotary encoder* menggunakan *roll meter* dari titik 50 cm hingga titik 80 cm. pengujian dilakukan dari titik tersebut karena pengukuran Panjang minimal yaitu 46 cm dan

pengukuran panjang maksimal yaitu 80 cm. Dari pengujian tersebut perlu dibuat grafik untuk mengetahui ke-linearitasnya. Berikut grafik linear *rotary encoder* terhadap penggaris.



Gambar 7 Grafik Linearitas Rotary Encoder Optik

Berdasarkan grafik diatas didapat nilai R^2 sebesar 0.9998 yang berarti pengukuran oleh *rotary encoder optic* termasuk linear karena memiliki nilai R^2 yang mendekati 1.

Tabel 7 Data Hasil Pengujian Histerisis

Penggaris	Pengukuran Naik	Pengukuran Turun	Histerisis
(cm)			
50	50.24	50	0.24
55	54.97	55.25	-0.28
60	59.51	60.63	-1.12
65	64.72	65.21	-0.49
70	69.54	69.94	-0.4
75	74.59	74.86	-0.27
80	79.31	79.55	-0.24

Pengujian histerisis dilakukan pada titik pengukuran 50 cm hingga 80 cm. berdasarkan data pengukuran terdapat nilai histerisis masing-masing titik. Histerisis terjadi karena adanya deformasi bahan yang terdapat pada sensor dalam merespon gaya. Berdasarkan grafik histerisis *rotary encoder optic* didapat nilai histerisis terbesar yaitu -1.12 cm pada titik pengujian 60 cm.

Tabel 8 Data Hasil Pengujian Repeatability

No.	Penggaris	Pembacaan Panjang	Kesalahan
	(cm)		
1	55	54.7	0.30
2	55	55.0	0.05
3	55	54.7	0.35
4	55	54.8	0.21
5	55	54.7	0.27
6	55	55.0	-0.02
7	55	54.7	0.32
8	55	54.7	0.33
9	55	55.0	0.04
10	55	54.8	0.22
Rata-rata		54.8	0.21
Standar Deviasi		0.1	0.14

Pengujian *repeatability* dilakukan pada titik pengukuran 55 cm dengan pengujian sebanyak 40 kali. Berdasarkan data pengujian *repeatability* didapatkan nilai rata-rata pengujian yaitu 54.8 cm dan nilai standar deviasi 0.1 cm. Pengujian-pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan menjadi sebuah karakteristik pengukuran yang dapat dilakukan oleh *rotary encoder*. Berikut adalah tabel karakteristik hasil pengujian,

Tabel 9 Unjuk Kerja Rotary Encoder Optik

Akurasi (%)	Presisi (%)	Kesalahan (%)
99.997	99.9	0.003

4. Kesimpulan dan Saran

Telah dibuat *Data logger* pengukuran berat dan tinggi bayi berbasis aplikasi Android yang dapat menampilkan dan menyimpan data menggunakan bantuan *firebase* dalam pengiriman data dan menggunakan bantuan *tiny database* dalam melakukan penyimpanan data. Tingkat Akurasi dari sensor *load cell* yang digunakan yaitu 99.97%, tingkat presisi 99.89%, dan memiliki persentase kesalahan 0.03%. Sedangkan Sensor *rotary encoder optik* memiliki tingkat Akurasi 99.997%, tingkat presisi 99.9%, dan memiliki persentase kesalahan 0.003%.

Untuk penelitian selanjutnya dapat diberikan tombol untuk melakukan input pada username dan password hotspot, dibuat aplikasi yang lebih interaktif, dan timbangan yang digunakan semakin baik dalam melakukan penunjukan dan pembacaan.

5. Referensi

- [1] R. Karim, S. S. SUMENDEP, and F. V. I. . Koagouw, "Pentingnya Penggunaan Jaringan Wifi Dalam Memenuhi Kebutuhan Informasi Pemustaka," *e-journal "Acta Diurna,"* vol. 5, no. 2, pp. 1-2, 2016.
- [2] F. H. Somari, "Sistem Data Logger Peralatan Elektronik Berbasis Android," *Sist. Data Logger Peralat. Elektron. Berbas. Android,* p. 137, 2017.
- [3] Kadek Dwi Suyasmini and Kevin Dewanto, P. Alat, P. Barang, and D. Keadaan, *No Title.* 2019.