

**SURAT PERJANJIAN PENUGASAN PELAKSANAAN
PROGRAM PENELITIAN DASAR HIBAH DRPM
TAHUN ANGGARAN 2019
Nomor : 0006/KONTRAK-BP2M/PCR/2019**

Pada hari ini **Kamis** tanggal **Dua** bulan **Mei** tahun **Dua Ribu Sembilan Belas**, kami yang bertandatangan dibawah ini :

1. Dr. Hendri Novia Syamsir, S.T., M.Eng. : Kepala BP2M Politeknik Caltex Riau, dalam hal ini bertindak untuk dan atas nama Politeknik Caltex Riau yang berkedudukan di Pekanbaru, untuk selanjutnya disebut **PIHAK PERTAMA**.

2. Dr. Hendriko, S.T., M.Eng. : Dosen Politeknik Caltex Riau dalam hal ini bertindak sebagai pengusul dan Ketua Pelaksana Penelitian Dasar Tahun Anggaran 2019 untuk selanjutnya disebut **PIHAK KEDUA**.

Perjanjian penugasan ini berdasarkan pada Surat Perjanjian Pelaksanaan Hibah Penelitian dan Pengabdian Masyarakat bagi Dosen Perguruan Tinggi Swasta di Lingkungan LLDIKTI Wilayah X Tahun Anggaran 2019 Nomor : 002/L10/AK.04/KONTRAK-PENELITIAN-J/2019 TANGGAL 29 Maret 2019.

PIHAK PERTAMA dan **PIHAK KEDUA**, secara bersama-sama bersepakat mengikatkan diri dalam suatu Perjanjian Penugasan Pelaksanaan Penelitian Dasar Tahun 2019 dengan ketentuan dan syarat-syarat sebagaimana diatur dalam pasal-pasal sebagai berikut:

**BAB I
DASAR HUKUM**

PASAL 1

Kontrak Penelitian ini berdasarkan kepada :

1. Undang-undang Republik Indonesia No. 17 tahun 2003 tentang Keuangan Negara;
2. Undang-undang Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2003, tentang Sistem Pendidikan Indonesia;
3. Undang-undang Republik Indonesia No.01 Tahun 2004 tentang Perbendaharaan Negara;
4. Undang-undang Republik Indonesia No.15 Tahun 2004 tentang Pemeriksaan Pengelolaan dan Tanggung Jawab Keuangan Negara;
5. Undang-Undang Republik Indonesia No.12 Tahun 2012 tentang Pendidikan Tinggi;
6. Peraturan Pemerintah Nomor 26 Tahun 2015 tentang bentuk dan Mekanisme Perguruan Tinggi Negeri Badan Hukum;
7. Peraturan Presiden Nomor 13 Tahun 2015 tentang Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi;
8. Peraturan Presiden Nomor 16 Tahun 2018 tentang Pengadaan Barang dan Jasa Pemerintah;
9. Peraturan Menteri Keuangan Nomor 139/PMK.02/2015 tentang Tata Cara Penyediaan, Pencairan, dan Pertanggungjawaban Pemberian Bantuan Pendanaan Perguruan Tinggi Negeri Badan Hukum;

10. Peraturan Menteri Keuangan Nomor 32/PMK.02/2018 tentang Standar Biaya Masukan Tahun 2019;
11. Peraturan Menteri Keuangan Nomor 60/PMK.02/2018 tentang Persetujuan Kontrak Tahun Jamak oleh Menteri Keuangan;
12. Peraturan Menteri Keuangan Nomor 69/PMK.02/2018 tentang Standar Biaya Keluaran Tahun 2019;
13. Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia Nomor 15 Tahun 2015, tentang Organisasi dan tata Kerja Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi;
14. Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia Nomor 69 Tahun 2016, tentang Tata Cara Pembentukan Komite Penilaian dan/atau Reviewer Penelitian;
15. Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia Nomor 6 Tahun 2018, tentang Bantuan Operasional Perguruan Tinggi Negeri;
16. Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2018 tentang Penelitian;
17. Peraturan Direktur Jenderal Perbendaharaan Kementerian Keuangan Republik Indonesia Nomor 15/PB/2017 tentang Petunjuk Pelaksanaan Pembayaran Anggaran Penelitian Berbasis Standar Biaya Keluaran Sub Keluaran Penelitian;
18. Keputusan Menteri Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Nomor 209/M/KPT/2018 tentang Panduan Pelaksanaan Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Edisi XII;
19. Keputusan Direktur Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan Nomor 7/E/KPT/2019 tentang Penerimaan Pendanaan Penelitian di Perguruan Tinggi Tahun Anggaran 2019.

BAB II LINGKUP PERJANJIAN

PASAL 2

- (1) **PIHAK PERTAMA** memberi tugas kepada **PIHAK KEDUA**, dan **PIHAK KEDUA** menerima tugas tersebut sebagai penanggungjawab pelaksanaan Penelitian Dasar tahun 2019 dengan judul **"Pengembangan Kinematika Robot Paralel 5 Derajat Kebebasan Menggunakan Metode Analytical Invers Kinematics Simulation"**.
- (2) **PIHAK KEDUA** bertanggung jawab penuh atas pelaksanaan Administrasi dan keuangan serta pekerjaan/kegiatan sebagaimana dimaksud pada ayat 1 dan berkewajiban menyerahkan semua bukti-bukti pengeluaran serta dokumen pelaksanaan lainnya dalam bentuk laporan yang tersusun secara sistematis kepada **PIHAK PERTAMA**.
- (3) Pelaksanaan Penugasan Penelitian Dasar tahun 2019 sebagaimana dimaksud pada ayat (1) didanai dari Anggaran (DIPA) No SP DIPA-042.06.1.401516/2019 tanggal 5 Desember 2018.

BAB III PENDANAAN

PASAL 3

- (1) **PIHAK PERTAMA** akan membayarkan Dana Penelitian kepada **PIHAK KEDUA** secara sekaligus (100%) diawal.

- (2) **PIHAK PERTAMA** menyerahkan dana Penelitian Dasar sebagaimana dimaksud dalam pasal 2 sebesar Rp. 110.300.000 ,- (**Seratus Sepuluh Juta Tiga Ratus Ribu Rupiah**) yang berasal dari Anggaran (DIPA) No. SP DIPA-042.06.1.401516/2019 tanggal 5 Desember 2018.

BAB IV
SURAT PERNYATAAN PENYELESAIAN PEKERJAAN

PASAL 4

PIHAK KEDUA bertanggung jawab mengunggah ke laman **SIMLITABMAS** dokumen sebagai berikut :

1. revisi proposal penelitian;
2. catatan harian pelaksanaan penelitian;
3. laporan kemajuan pelaksanaan penelitian;
4. SPTB atas dana penelitian yang telah ditetapkan;
5. laporan akhir penelitian;
6. iuran penelitian.

Paling lambat tanggal **16 November 2019** tiap Tahun Anggaran berjalan

BAB V
LAPORAN HASIL PROGRAM PENELITIAN

PASAL 5

- (1) Laporan hasil penelitian ditulis dalam format *font Times Romans* ukuran 12 spasi 1,5 kertas A4 bagian bawah sampul (*cover*) ditulis:

Dibiayai oleh:

Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat
Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan
Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi
sesuai Kontrak Penelitian Tahun Anggaran 2019

- (2) *Softcopy* laporan hasil program penelitian sebagaimana tersebut pada ayat (1) harus diunggah ke laman (*website*) **SIMLITABMAS** sedangkan *hardcopy* harus disimpan **PIHAK PERTAMA**.

BAB VI
PERUBAHAN PARA PIHAK

PASAL 6

- (1) Perubahan terhadap susunan tim pelaksanaan dan substansi penelitian dapat dibenarkan apabila telah mendapat persetujuan dari Direktur Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan.
- (2) Apabila Ketua tim pelaksana penelitian tidak dapat menyelesaikan penelitian atau mengundurkan diri, maka **PIHAK KEDUA** wajib menunjuk pengganti Ketua Tim Pelaksana Penelitian yang merupakan salah satu anggota tim setelah mendapat persetujuan tertulis Direktur Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan.

- (3) Dalam hal tidak adanya penggantian Ketua tim pelaksana penelitian sesuai dengan syarat ketentuan yang ada, maka penelitian dibatalkan dan dana dikembalikan ke Kas Negara.

BAB VII KEWAJIBAN PAJAK

PASAL 7

PIHAK KEDUA berkewajiban menyetorkan pajak ke kantor pelayanan pajak setempat yang berkenaan dengan kewajiban pajak berupa :

1. Pembelian barang dan jasa dikenai PPN sebesar 10% dan PPh sebesar 1,5%
2. Pajak-pajak lain sesuai ketentuan yang berlaku

BAB VIII HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL

PASAL 8

- (3) Hak Kekayaan Intelektual yang dihasilkan dari Pelaksanaan Penelitian diatur dan dikelola sesuai dengan peraturan dan perundang-undangan.
- (4) Setiap publikasi, makalah dan atau ekspos dalam bentuk apa pun yang berkaitan dengan hasil penelitian ini wajib mencantumkan **Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan** sebagai pemberi dana.
- (5) Hasil Penelitian berupa peralatan dan/atau peralatan yang dibeli dari kegiatan ini adalah milik negara dan dapat dihibahkan kepada institusi/lembaga melalui Berita Acara Serah Terima (BAST).

BAB IX PERSELISIHAN

PASAL 9

- (1) Apabila terjadi perselisihan antara **PIHAK PERTAMA** dan **PIHAK KEDUA** dalam pelaksanaan Kontrak Penelitian ini akan dilakukan penyelesaian secara musyawarah dan mufakat.
- (2) Dan apabila tidak tercapai penyelesaian secara musyawarah dan mufakat sebagaimana dimaksud pada ayat (1) maka penyelesaian dilakukan melalui proses Hukum yang berlaku dengan memilih domisili Hukum di Pengadilan Negeri Padang.

BAB X KEADAAN MEMAKSA (*FORCE MAJEURE*)

PASAL 10

- (1) **PARA PIHAK** dibebaskan dari tanggung jawab atas keterlambatan atau kegagalan atau dalam memenuhi kewajiban yang dimaksud dalam Kontrak Penelitian disebabkan atau diakibatkan oleh peristiwa atau kejadian diluar kekuasaan **PARA PIHAK** yang dapat digolongkan sebagai keadaan memaksa (*force majeure*).

- (2) Peristiwa atau kejadian yang dapat digolongkan keadaan memaksa (*force majeure*) dalam Kontrak Penelitian ini adalah bencana alam, wabah penyakit, kebakaran, perang, blokade, peledakan, sabotase, revolusi, pemberontakan, huru-hara, serta adanya tindakan pemerintah dalam bidang ekonomi dan moneter yang secara nyata berpengaruh terhadap pelaksanaan kontrak ini.
- (3) Apabila terjadi keadaan memaksa (*force majeure*) maka pihak yang mengalami wajib memberitahukan kepada pihak lainnya secara tertulis, selambat-lambatnya dalam waktu 7 (tujuh) hari kerja sejak terjadinya keadaan memaksa (*force Majeure*), disertai dengan bukti-bukti yang sah dari pihak yang berwajib, dan **Para Pihak** dengan itikad baik akan segera membicarakan penyelesaiannya.

BAB XI
SANKSI
PASAL 11

- 1) Apabila sampai dengan batas waktu yang telah ditetapkan untuk melaksanakan Kontrak Penelitian telah berakhir, **PIHAK KEDUA** tidak melaksanakan kewajiban sebagaimana dimaksud dalam Pasal 4, maka **PIHAK KEDUA** dikenai sanksi administratif.
- 2) Sanksi administrative sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dapat berupa penghentian pembayaran dan tidak dapat mengajukan proposal penelitian dalam kurun waktu dua tahun berturut-turut.

BAB XII
PENUTUP
PASAL 12

- 1) Apabila terdapat hal lain yang belum diatur atau terjadi perubahan dalam **Kontrak Penelitian** ini, maka akan dilakukan amandemen **Kontrak Penelitian**
- 2) Surat Perjanjian Penugasan Pelaksanaan Penelitian Dasar ini dibuat rangkap 2 (dua) dan bermaterai cukup sesuai dengan ketentuan yang berlaku, dan biaya materai dibebankan kepada **PIHAK KEDUA**.

PIHAK PERTAMA



Dr. Hendri Novia Syamsir, S.T., M.Eng
NIP. 157001

PIHAK KEDUA



Dr. Hendriko, S.T., M.Eng
NIP. 007606

LAPORAN KEMAJUAN PENELITIAN

1. IDENTITAS PENELITIAN(diisikan sesuai dengan proposal)

A. JUDUL PENELITIAN

Pengembangan Kinematika Robot Paralel 5 Derajat Kebebasan Menggunakan Metode Analytical Invers Kinematics Simulation
--

B. BIDANG, TEMA, TOPIK, DAN RUMPUN BIDANG ILMU

Bidang Fokus RIRN/ Bidang Unggulan Perguruan Tinggi	Tema	Topik (jika ada)	Rumpun Bidang Ilmu
Transportasi	Teknologi penguatan industri transportasi nasional	Moda jalan dan rel	Teknik Mekatronika

C. KATEGORI, SKEMA, SBK, TARGET TKT DAN LAMA PENELITIAN

Kategori (Kompetitif Nasional/ Desentralisasi / Penugasan)	Skema Penelitian	Strata (Dasar/ Terapan/ Pengembangan)	SBK (Dasar/ Terapan/ Pengembangan)	Target Akhir TKT	Lama Penelitian (Tahun)
Penelitian Kompetitif Nasional	Penelitian Dasar	SBK Riset Dasar	SBK Riset Dasar	3	2

2. IDENTITAS PENGUSUL

Nama, Peran	Perguruan Tinggi/ Institusi	Program Studi/ Bagian	Bidang Tugas	ID Sinta	H-Index
Dr. HENDRIKO	Politeknik Caltex	Teknik Mekatronika	210986	3
NUR KHAMDI S.T, M.T	Politeknik Caltex	Teknik Mekatronika	5975281	0
RONI NOVISON S.T, M.T	Politeknik Caltex	Teknik Mesin	6134558	0

3. MITRA KERJASAMA PENELITIAN (JIKA ADA)

Mitra	Nama Mitra
.....

4. LUARAN DAN TARGET CAPAIAN

Luaran Wajib

Tahun Luaran	Jenis Luaran	Status Target Capaian (accepted, published, terdaftar atau granted, atau status lainnya)	Keterangan (url dan nama jurnal, penerbit, url paten, keterangan sejenis lainnya)
2019	Jurnal Internasional	Published	Journal of Engineering Science and Technology (JESTEC) http://jestec.taylors.edu.my/index.htm

Luaran Tambahan

Tahun Luaran	Jenis Luaran	Status Target Capaian (accepted, published, terdaftar atau granted, atau status lainnya)	Keterangan (url dan nama jurnal, penerbit, url paten, keterangan sejenis lainnya)
2019	Seminar Internasional	Sudah dilaksanakan	https://faimconference.com/

5. KEMAJUAN PENELITIAN

Ringkasan penelitian berisi latar belakang penelitian, tujuan dan tahapan metode penelitian, luaran yang ditargetkan, serta uraian TKT penelitian yang diusulkan.

A. RINGKASAN

Dengan berbagai kelebihan yang dimiliki robot paralel dibanding robot serial, maka mendorong banyak penelitian tentang robot paralel yang dilakukan dalam 15 tahun belakangan ini. Sebagian besar penelitian bertujuan untuk memaksimalkan aplikasi robot paralel pada berbagai pekerjaan. Namun, meskipun telah banyak penelitian yang dilakukan, sebagian besar penelitian masih terbatas pada robot paralel dengan 3 atau 4 derajat kebebasan. Hal ini menyebabkan kemampuan robot untuk melakukan manuver masih sangat terbatas. Dengan perkembangan industri saat ini maka robot dituntut agar dapat bergerak luwes dengan tingkat fleksibilitas yang tinggi. Dengan demikian robot diharapkan tidak hanya mampu bergerak translasional, tetapi juga mampu bergerak rotasional.

Oleh karena itu maka pengembangan robot dengan 5 derajat kebebasan (3 gerakan translasional dan 2 gerakan rotasional) telah menjadi sebuah kebutuhan untuk mendukung keperluan berbagai industri di masa depan. Yang menjadi tantangan adalah: semakin tinggi fleksibilitas pergerakan robot maka perhitungan kinematika robot menjadi lebih rumit karena lebih banyak variabel terkait orientasi dan posisi efektor ujung, sambungan dan batang yang harus ditentukan.

Dari begitu banyak studi yang telah dilakukan dalam menyelesaikan persoalan kinematika terbalik, diperoleh kesimpulan bahwa sebagian besar metode yang dihasilkan menawarkan

solusi numerik yang sifatnya aproksimasi. Kelemahan lain dari metode numerik adalah waktu komputasi yang sangat panjang. Waktu komputasi menjadi hal yang sangat penting karena terkait dengan kecepatan robot dalam merespon perubahan posisi dan orientasi.

Oleh karena itu maka penelitian ini akan mengembangkan sebuah robot paralel dengan 5 derajat kebebasan. Robot paralel yang akan dibangun menggunakan enam lengan penghubung antara landasan tetap dan landasan bergerak. Masing-masing penghubung digerakan oleh satu aktuator. Dalam penelitian ini juga dikembangkan metode analitis untuk menghitung kinematika terbalik. Metode yang akan dibangun merupakan pengembangan dari metode hasil penelitian sebelumnya yang disebut analytical invers kinematics simulation (AIKS). Keunggulan metode analitis dibandingkan dengan metode numerik adalah: algoritma untuk menentukan orientasi dan posisi setiap sambungan lebih sederhana dan hasil perhitungannya lebih akurat. Algoritma matematika yang dikembangkan akan digunakan untuk membuat program simulasi sehingga orientasi dan posisi efektor ujung dapat ditentukan dengan cepat. Selain mengembangkan model matematika kinematika terbalik, dalam penelitian ini juga akan dibangun konstruksi robot paralel dengan 5 derajat kebebasan yang dapat berfungsi untuk melakukan memindahkan obyek dengan bentuk geometri yang rumit. Selain itu robot tersebut juga akan berfungsi untuk menguji model kinematika yang dikembangkan.

Pada tahun pertama, penelitian yang dilakukan telah mengembangkan desain untuk robot paralel 5 derajat kebebasan. Konstruksi robot dibangun menggunakan enam buah lengan dimana setiap lengan terdiri dari lengan atas dan lengan bawah. Motor penggerak lengan terletak pada bagian ujung lengan atas. Metode kinematika terbalik untuk menghitung pergerakan robot telah dikembangkan. Algoritma yang dikembangkan telah digunakan untuk menyusun program simulasi menggunakan Matlab. Pengujian kemampooterapan metode untuk menghitung putaran masing-masing motor untuk menggerakkan landasan bergerak telah dilakukan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode yang dikembangkan telah mampu menghitung putaran motor dengan akurat.

Luaran yang dihasilkan dari penelitian tahun pertama adalah satu buah artikel yang telah terbit di Journal of Engineering Science and Technology (Scopus, Q2). Selain itu satu artikel lagi telah dipaparkan pada seminar internasional 29th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM2019). Artikel pada FAIM 2019 akan dipublikasikan pada Procedia Manufacturing (Elsevier, Scopus, Q2)

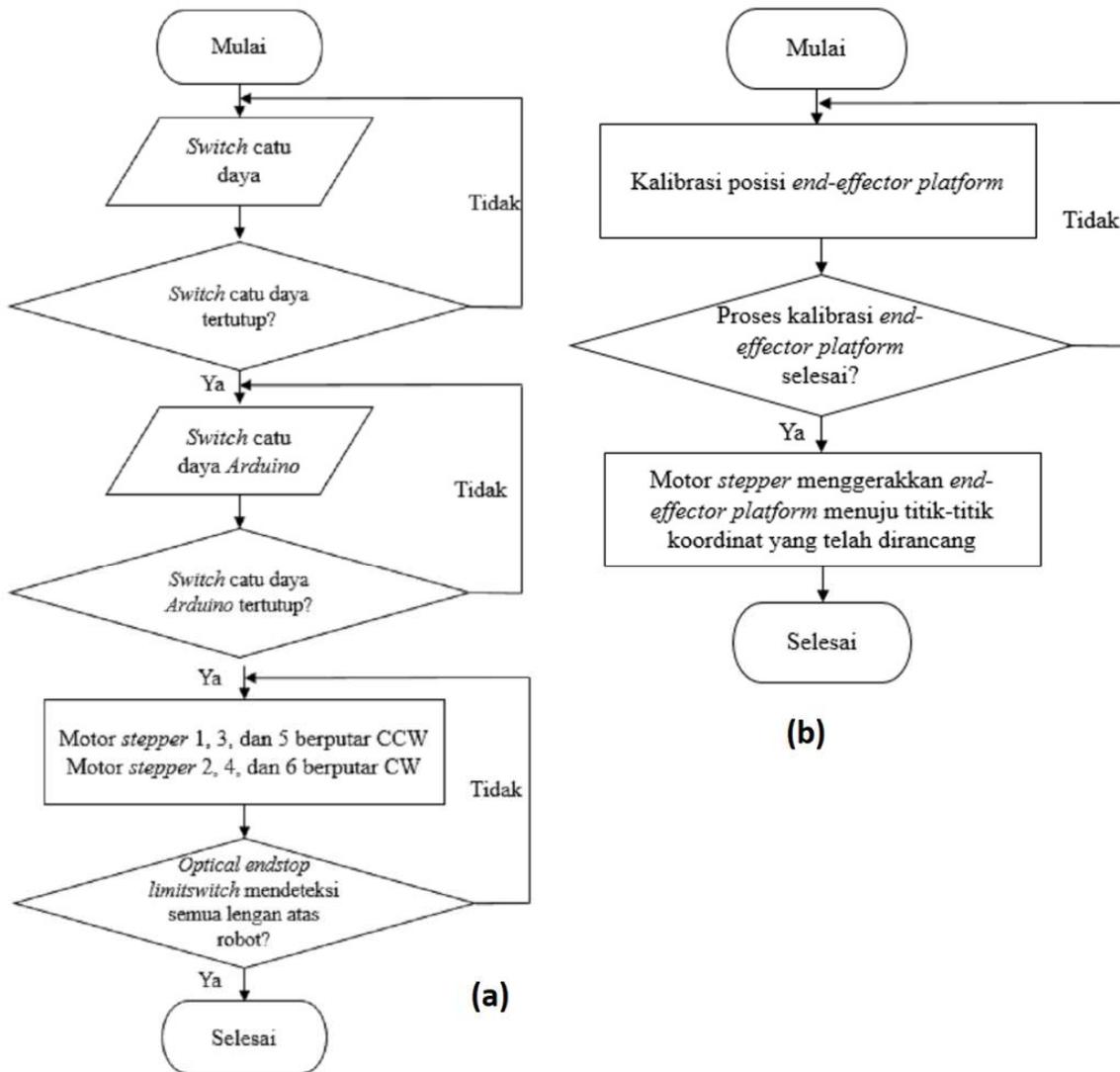
Penelitian tahap selanjutnya adalah mengembangkan konstruksi robot dan mengimplementasikan metode pada robot yang nyata. Verifikasi keakuratan akan dilakukan untuk menentukan tingkat keakuratan konstruksi robot dan keakuratan model matematika yang dikembangkan. Selain mengembangkan konstruksi robot, penelitian tahun berikutnya juga akan mengimplementasikan metode kinematika terbalik untuk digunakan dalam pengembangan metode perhitungan dinamika robot.

Hasil penelitian berisi kemajuan pelaksanaan penelitian, data yang diperoleh, dan analisis yang telah dilakukan

B. HASIL PENELITIAN

1. RANCANGAN DAN SISTEM KERJA ROBOT

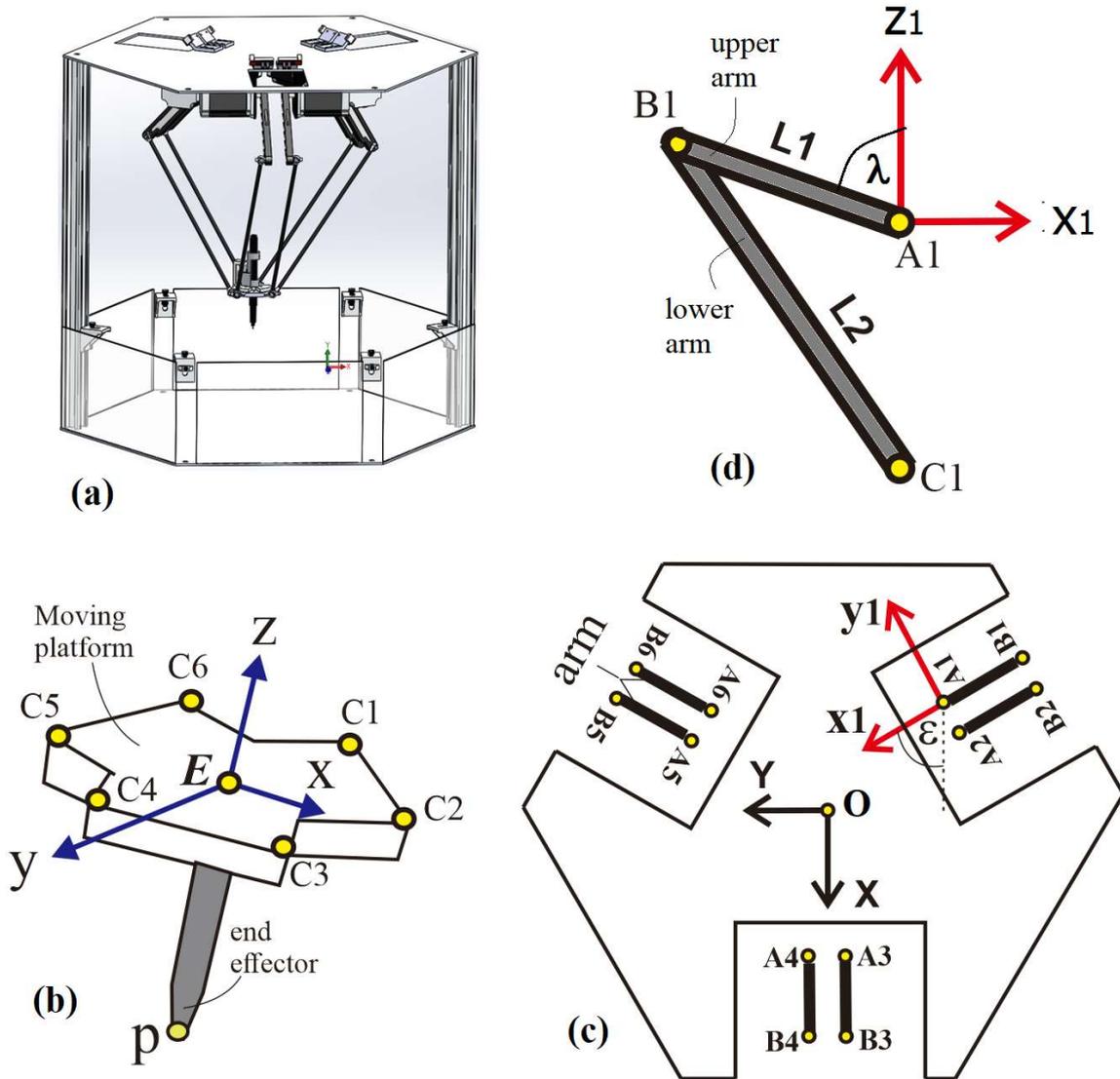
Rancangan mekanik robot ditunjukkan pada Gambar 1. Robot ini menggunakan bahan pelat *aluminium* dengan tebal 4 mm yang dipakai untuk konstruksi atap dan lantai robot. Sedangkan tiang penyangga menggunakan batang aluminium dengan ukuran 30x30 mm. Motor stepper NEMA 23 digunakan sebagai aktuator penggerak lengan atas robot. Motor *stepper* dihubungkan dengan lengan atas robot menggunakan *bracket*. Lengan robot ini terdiri dari 6 buah lengan atas yang masing-masing dihubungkan menggunakan *fish-eye bearing* dengan satu buah lengan bawah. Lengan ini berfungsi menopang beban dari *end-effector platform* dan juga *end-effector* (pena). Lengan atas robot dibuat menggunakan mesin 3D printer dengan bahan akrilonitril butadiena stiren (ABS) berwarna putih.



Gambar 1 Diagram alir proses kerja robot, a) kalibrasi posisi end-effector, b) melakukan fungsi menggambar

Sistem kerja robot delta 6 derajat kebebasan ini dijelaskan melalui diagram alir pada Gambar 2. Gambar 2a adalah diagram alir proses kalibrasi posisi end-effector. Robot ini memiliki dua buah saklar yaitu saklar On dan saklar Off. Apabila saklar On ditekan maka arus dari catu daya akan mengalir ke driver motor stepper TB6560. Selanjutnya proses kalibrasi posisi end-effector pada landasan bergerak dimulai. Kalibrasi dilakukan dengan mengembalikan end-effector ke posisi awal (*home position*) dengan menekan switch pada adapter Arduino. Proses kalibrasi dilakukan dengan memutar motor stepper 1, 3 dan 5 berlawanan arah jarum jam dan memutar motor stepper 2, 4 dan 6 searah jarum jam. Jika motor stepper mengenai *optic end stop limit-switch*, maka Arduino akan mengirim perintah untuk menghentikan motor. Pada saat motor berhenti maka sudut putar lengan atas adalah 45 derajat.

Gambar 2b menunjukkan diagram alir proses robot melakukan tugas menggambar. Diagram alir siklus menggambar berada pada satu timeline dengan diagram alir proses kalibrasi. Sehingga setelah proses kalibrasi selesai maka proses selanjutnya adalah siklus untuk proses menggambar. Pada saat proses menggambar, *end-effector* digerakkan oleh keenam motor stepper menuju posisi yang telah ditentukan. Pergerakan inilah yang selanjutnya dikonversi menjadi sebuah gambar oleh end-effector yang pada bagian ujungnya dipasang pena.



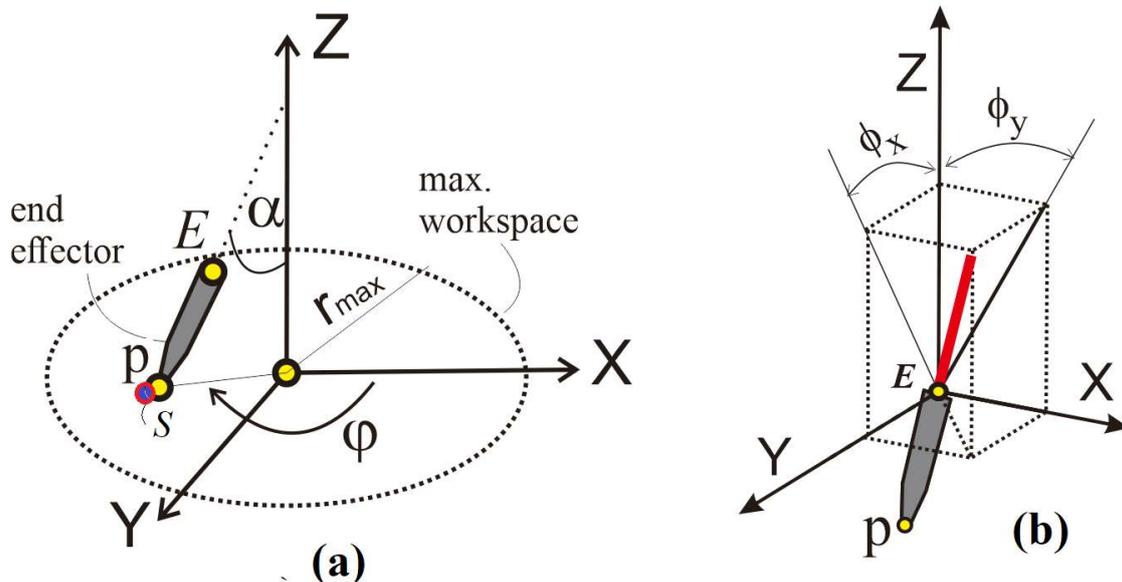
Gambar 2 a) Rancangan paralel robot, b) pandangan atas landasan tetap, c) end-effector dan landasan bergerak, d) lengan robot dan posisi motor

2. Menentukan Orientasi End-Effector

Pada penelitian ini, tujuan dari pengembangan metode kinematika terbalik adalah untuk menyediakan informasi bagi robot untuk bergerak ke posisi yang diharapkan berdasarkan posisi end-effector. Dalam hal ini metode yang dikembangkan berhubungan dengan gerakan

berbagai komponen seperti end effector, lengan, dan sambungan. Konstruksi robot paralel yang dikembangkan disajikan pada Gambar 2a. Robot memiliki enam lengan independen yang mana masing-masing terdiri dari lengan atas dan lengan bawah.

Untuk kebutuhan perhitungan kinematika terbalik secara analitis, sistem koordinat yang tepat perlu ditetapkan. Oleh karena itu maka tiga sistem koordinat dibangun untuk menentukan posisi dan orientasi setiap komponen robot. Yang pertama adalah sistem koordinat global (GCF) dimana merupakan sistem koordinat acuan. GCF terletak di dasar bagian pusat $O (X, Y, Z)$. Yang kedua adalah sistem koordinat bergerak (MCF) yang terletak pada landasan bergerak $E (x, y, z)$ sebagaimana yang terlihat pada Gambar 1b. MCF adalah sistem koordinat loka yang dipengaruhi oleh orientasi end-effector. Sistem koordinat ketiga adalah sistem koordinat sambungan (JCF) yang terletak pada lengan atas pada sisi bagian atas yang tersambung dengan landasan tetap. Sumbu koordinat pada JCF dilambangkan dengan x_i, y_i, z_i , dimana i merupakan urutan sambungan ($i = 1, \dots, 6$). Salah satu JCF ditunjukkan pada Gambar 2c dan Gambar 2d. Untuk memperoleh koordinat sambungan pada setiap posisi, dan putaran motor yang dibutuhkan untuk menggerakkan end-effector ke posisi yang diinginkan, maka koordinat beberapa titik di GCF pada posisi awal (*home position*) harus ditentukan. Titik-titik tersebut adalah $A_{i0}(X_{A_{i0}}, Y_{A_{i0}}, Z_{A_{i0}})$, $C_{i0}(X_{C_{i0}}, Y_{C_{i0}}, Z_{C_{i0}})$, $E_0(X_{E_0}, Y_{E_0}, Z_{E_0})$, dan $p_0(X_{p_0}, Y_{p_0}, Z_{p_0})$. Titik A_{i0} , C_{i0} , E_0 dan p_0 adalah titik A_i , C_i , E , dan p pada posisi awal atau *home position*.



Gambar 3 Orientasi end effector, a) sudut kemiringan, b) orientasi relatif terhadap GCF

Algoritma yang dikembangkan pada penelitian ini dimaksudkan untuk menentukan koordinat dua sambungan pada setiap lengan, yaitu $A_i(X_{A_i}, Y_{A_i}, Z_{A_i})$ dan $B_i(X_{B_i}, Y_{B_i}, Z_{B_i})$. Koordinat sambungan tersebut ditentukan berdasarkan perubahan posisi end-effector ke koordinat tujuan $S (X_S, Y_S, Z_S)$. Titik S adalah koordinat tujuan yang harus dilalui oleh ujung dari end-effector $p(X_p, Y_p, Z_p)$. Titik p adalah koordinat ujung end-effector seperti yang terlihat pada Gambar 2b. Dengan memperoleh titik A_i dan B_i , orientasi lengan dapat ditentukan dan pada akhirnya

besar sudut putaran yang harus dihasilkan oleh motor agar end-effector bisa berada pada titik dan orientasi yang diinginkan dapat dihitung.

Orientasi dan posisi end-effector ditentukan oleh dua titik, titik $p (X_p, Y_p, Z_p)$ dan titik $E (X_E, Y_E, Z_E)$, seperti yang terlihat pada Gambar 3a. Oleh karena itu maka titik E perlu dihitung berdasarkan koordinat end-effector yang sudah ditentukan, yaitu titik S . Koordinat titik p dan titik E terhadap MCF pada *home position* secara berurutan adalah $(0,0,-l)$ and $(0,0,0)$. Dimana l adalah jarak antara titik p dan titik E .

Pada penelitian ini orientasi end-effector dirancang miring yang besar kemiringannya ditentukan berdasarkan koordinat S . Sudut miring tersebut bertujuan untuk memperpanjang jangkauan maksimum end-effector dan secara otomatis memperbesar wilayah kerja (workspace) robot. Sudut kemiringan end-effector dicapai dengan memutar end-effector pada Y-axis. Sudut kemiringan terhadap Y-axis (α) pada titik $E(0,0,0)$ di MCF dihitung menggunakan persamaan berikut,

$$\alpha = \left\{ \left(\sqrt{X_S^2 + Y_S^2} \right) / r_{max} \right\} \times \alpha_{max} \quad (1)$$

dimana r_{max} adalah radius maksimum area kerja robot dan α_{max} adalah sudut rotasi maksimum yang dapat ditentukan sesuai keinginan. Kemiringan maksimum end-effector diatur pada jarak jangkauan terjauh yang bisa diraih oleh end-effector. Sudut kemiringan dapat ditentukan setelah α_{max} dan r_{max} ditentukan.

Untuk menggerakkan end-effector pada titik yang diinginkan, maka end-effector harus diputar pada Z-axis. Oleh karena itu maka sudut rotasi end-effector pada Z-axis in MCF yang disimbolkan dengan φ , perlu ditentukan. Sudut rotasi diukur dari X-axis hingga ke titik tujuan atau titik S sebagaimana yang terlihat pada Gambar 3a. Adapun rumus untuk menghitung sudut rotasi adalah sebagai berikut,

$$\varphi = \tan^{-1}(Y_S/X_S); \quad (2)$$

Persamaan(2) hanya dapat digunakan jika S berada pada kuadran pertama. Jika end-effector tidak berada pada kuadran pertama maka besar sudut sebenarnya ditentukan menggunakan aturan sebagai berikut,

$$\begin{aligned} \varphi &= 180 - \varphi \text{ untuk kuadran kedua} \\ \varphi &= 180 + \varphi \text{ untuk kuadran ketiga} \\ \varphi &= 360 + \varphi \text{ untuk kuadran keempat} \end{aligned} \quad (3)$$

Setelah α dan φ ditentukan, maka koordinat titik $p (0,0,-l)$ relatif terhadap MCF yang dilambangkan dengan $p_M (x_{p_M}, y_{p_M}, z_{p_M})$, dihitung sebagai berikut,

$$p_M = K_M \times p \quad (4)$$

dimana K_M adalah operator yang digunakan untuk mentransformasikan koordinat titik sasaran di MCF ke titik GCF. K_P merupakan operator transformasi koordinat yang meliputi putaran end-effector pada Y -axis (α) dan Z -axis (φ), yang diekspresikan dalam persamaan berikut,

$$K_M = Rot(Z, \varphi) \cdot Rot(Y, \alpha) = \begin{bmatrix} \cos \varphi \cos \alpha & -\sin \varphi & \sin \alpha \\ \sin \varphi \cos \alpha & \cos \alpha & \sin \varphi \sin \alpha \\ -\sin \alpha & 0 & \cos \alpha \end{bmatrix} \quad (5)$$

Selanjutnya koordinat baru titik di GCF yang dinotasikan dengan $E_G (x_{E_G}, y_{E_G}, z_{E_G})$, dihitung sebagai berikut,

$$E_G = p_G - p_M \quad (6)$$

dimana p_G adalah titik p di GCF. Karena end-effector sudah ditentukan untuk bergerak menuju titik S , maka titik $p_G (x_{p_G}, y_{p_G}, z_{p_G})$ adalah sama dengan koordinat titik tujuan.

3. Menentukan Koordinat Sambungan Landasan Bergerak

Setelah sudut orientasi end-effector, yang diwakilkan oleh titik E dan titik p_G ditentukan, selanjutnya koordinat sambungan pada landasan bergerak (C_1, \dots, C_6) perlu didefinisikan. Orientasi landasan bergerak relatif terhadap GCF yang disebabkan oleh kemiringan end-effector ditentukan dengan cara menghitung orientasi end-effector relatif terhadap X -axis dan Y -axis. Besar sudut kemiringan end-effector terhadap X -axis dan Y -axis disimbolkan dengan ϕ_x and ϕ_y secara berurutan sebagaimana yang digambarkan pada Gambar 2b. Keduanya dihitung menggunakan cara berikut,

$$\phi_x = \tan^{-1} \left(\frac{y_{E_G} - y_{p_G}}{z_{E_G} - z_{p_G}} \right) \quad (7)$$

$$\phi_y = \tan^{-1} \left(\frac{(x_{E_G} - x_{p_G}) \cos \phi_x}{z_{E_G} - z_{p_G}} \right) \quad (8)$$

Ketika ϕ_x dan ϕ_y diperoleh, maka koordinat sambungan pada landasan bergerak (C_{i_G}) dapat dihitung menggunakan rumus berikut,

$$C_{i_G} = [M]_G \cdot (C_{i_0} - E_0) + E_G ; \quad (i = 1, \dots, 6) \quad (9)$$

dimana $[M]_G$ adalah operator untuk mentransformasi sistem koordinat dari MCF ke GCF untuk titik yang terletak di landasan bergerak. Operator transformasi tersebut meliputi rotasi pada Y -axis (ϕ_y) dan X -axis (ϕ_x), yang dirumuskan sebagai berikut,

$$\begin{aligned}
[M]_G &= Rot(Y, \phi_y) \times Rot(X, \phi_x) + P \\
&= \begin{bmatrix} \cos \phi_x & 0 & \sin \phi_x \\ -\sin \phi_x \sin \phi_y & \cos \phi_x & -\cos \phi_x \sin \phi_y \\ -\cos \phi_x \sin \phi_y & \sin \phi_x & \cos \phi_x \cos \phi_y \end{bmatrix} \quad (10)
\end{aligned}$$

4. Menentukan Orientasi Sambungan

Orientasi lengan atas dan lengan bawah didefinisikan menggunakan koordinat sambungan A_i , B_i , dan C_i sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 2d. Titik A_i terletak pada landasan tetap dan koordinatnya relatif terhadap GCF adalah tetap. Karena posisinya tetap, maka koordinatnya pada GCF selalu sama dengan koordinat posisi awal (A_{i0}). Sementara koordinat C_i pada GCF (C_{iG}) telah dicari pada bagian sebelumnya (Persamaan (9)). Oleh karena itu maka hanya tinggal koordinat B_i yang perlu dihitung. Untuk menyederhanakan perhitungan $B_i(x_{B_i}, y_{B_i}, z_{B_i})$, maka operasi dilakukan pada JGF. Sehingga koordinat $C_{iG}(x_{C_{iG}}, y_{C_{iG}}, z_{C_{iG}})$ dan $A_i(x_{A_i}, y_{A_i}, z_{A_i})$ ditransformasikan ke JCF dimana titik pusatnya terletak pada titik $A_{iJ}(0, 0, 0)$. Koordinat C_{iG} pada JCF (C_{iJ}) dihitung dengan cara berikut,

$$C_{iJ} = [M]_J \cdot C_{iG} ; \quad (i = 1, \dots, 6) \quad (11)$$

dimana $[M]_J$ adalah operator untuk mentransformasikan sistem koordinat dari GCF to JCF, termasuk sudut rotasi pada Z-axis (ε_i) dan pergeseran titik pusat dari G ke A_{i0} . Operator untuk transformasi sistem koordinat tersebut dirumuskan sebagai berikut,

$$[M]_J = Rot(Z, \varepsilon_i) + A_i = \begin{bmatrix} \cos \varepsilon_i & -\sin \varepsilon_i & 0 & X_{A_{i0}} \\ \sin \varepsilon_i & \cos \varepsilon_i & 0 & Y_{A_{i0}} \\ 0 & 0 & 1 & Z_{A_{i0}} \end{bmatrix} \quad (12)$$

Koordinat B_{iJ} ditentukan dengan cara menganalisa dua batang yaitu lengan atas dan lengan bawah. Dari sudut pandang lengan atas, jarak antara A_{iJ} dan B_{iJ} dapat diungkapkan sebagai berikut,

$$L_1^2 = (x_{B_{iJ}} - x_{A_{iJ}})^2 + (y_{B_{iJ}} - y_{A_{iJ}})^2 + (z_{B_{iJ}} - z_{A_{iJ}})^2 \quad (13)$$

dimana L_1 adalah panjang lengan atas. Karena titik pusat JCF terletak pada titik A_{iJ} , maka koordinat A_{iJ} menjadi $(0, 0, 0)$. x -axis pada JCF untuk setiap sambungan diatur sejajar dengan lengan atas sebagaimana yang terlihat pada Gambar 2b, sehingga y -axis dari B_{iJ} ($y_{B_{iJ}}$) sama dengan nol. Dengan demikian Persamaan(13) berubah menjadi,

$$L_1^2 = x_{B_{ij}}^2 + z_{B_{ij}}^2 \quad (14)$$

Terdapat dua variabel yang belum diketahui pada Persamaan (14), yaitu $x_{B_{ij}}$ dan $z_{B_{ij}}$. Untuk menentukan variabel-variabel tersebut, dibutuhkan persamaan lainnya. Oleh karena itu maka dikembangkan sebuah persamaan yang diambil dari sebuah koordinat dengan sudut pandang lengan bawah. Adapun persamaan tersebut adalah sebagai berikut,

$$L_2^2 = (x_{C_{ij}} - x_{B_{ij}})^2 + (y_{C_{ij}} - y_{B_{ij}})^2 + (z_{C_{ij}} - z_{B_{ij}})^2 \quad (15)$$

dimana L_2 adalah panjang lengan bawah. Dengan mensubstitusikan $x_{B_{ij}}$ pada Persamaan(14) ke dalam persamaan Persamaan(15), kemudian Persamaan (15) berubah menjadi,

$$T \cdot z_{BS_{ij}}^2 + V \cdot z_{BS_{ij}} + W = 0 \quad (16)$$

diman,

$$\begin{aligned} T &= 4 x_{C_{ij}}^2 + 4 z_{C_{ij}}^2 \\ V &= -4 z_{C_{ij}} (L_2^2 - x_{C_{ij}}^2 - y_{C_{ij}}^2 - z_{C_{ij}}^2 - L_1^2) \\ W &= (L_2^2 - x_{C_{ij}}^2 - y_{C_{ij}}^2 - z_{C_{ij}}^2 - L_1^2)^2 - 4 \cdot x_{C_{ij}}^2 \cdot L_1^2 \end{aligned} \quad (17)$$

$z_{BS_{ij}}$ pada Persamaan (16) dapat diselesaikan menggunakan persamaan kuadrat. Setelah $z_{BS_{ij}}$ diperoleh, selanjutnya $x_{B_{ij}}$ pada Persamaan(14) dapat ditentukan.

Pada penelitian ini, besar putaran motor diwakili oleh putaran lengan atas. Dengan mengacu kepada Gambar 2d, orientasi lengan atas relatif terhadap JCF, yang disimbolkan dengan λ dapat ditentukan dengan cara berikut,

$$\lambda_i = \cos^{-1} \left(\frac{z_{B_i}}{L_1} \right) \quad (18)$$

5. Implementasi dan Diskusi

Semua algoritma yang dikembangkan pada penelitian ini digunakan untuk mengembangkan program simulasi menggunakan Matlab. Pada bagian ini kemampuan algoritma dalam menghitung seluruh variabel yang dibutuhkan untuk menggerakkan end effector ke posisi dan orientasi yang diinginkan diuji. Perpindahan end-effector diatur oleh 6 pasang batang yang digerakan oleh 6 buah motor. Motor dipasang pada bagian ujung atas dari lengan atas. Akurasi dari program simulasi dalam menghasilkan sudut putaran motor telah diverifikasi menggunakan dua jenis metode, yaitu verifikasi menggunakan software CAD Solidwork dan

verifikasi eksperimental pada robot paralel. Metode verifikasi secara rinci akan dibahas pada bagian berikutnya.

Untuk menghitung sudut putaran motor, beberapa titik koordinat pada posisi awal (*home position*) untuk rancangan robot perlu ditentukan agar perhitungan dapat dilakukan. Selain itu, beberapa variabel lainnya terkait dimensi robot juga perlu ditentukan berdasarkan rancangan yang dikembangkan. Koordinat titik A_i (A_1, \dots, A_6), C_i (C_1, \dots, C_6), E dan p pada posisi awal dirancang sebagaimana yang ditampilkan pada Table.1. Table 1 juga menyediakan informasi dimensi robot lainnya seperti panjang lengan atas, panjang lengan bawah, dan sudut putaran titik A_i relatif terhadap X -axis di GCF. Pada penelitian ini, daerah kerja maksimum robot (r_{max}) dirancang sejauh 250 mm, sementara sudut kemiringan maksimum end-effector (α_{max}) adalah 60.

Table 1: Coordinate of joints on the platforms at home position and the dimension of robot

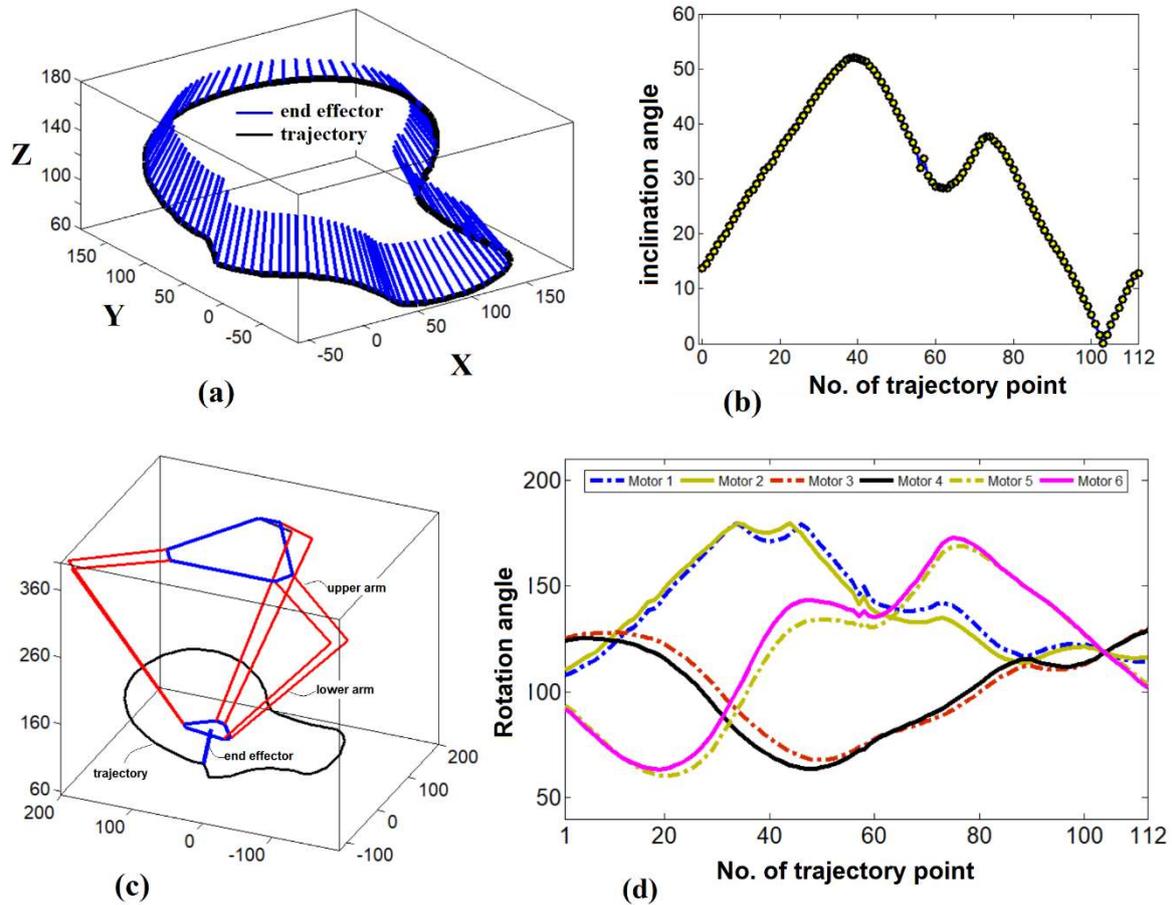
Coordinate of Joints and End-effector		Dimension of robot			
A_1	(-23.13; -27.00; 40)	C_1	(-60.49; -74.77; 25)	The length of upper-arm (L_1)	130 mm
A_2	(-11.87; -33.56; 40)	C_2	(-34.51; -89.77; 25)	The length of lower-arm (L_2)	280 mm
A_3	(35.00; -6.50; 400)	C_3	(95.00; -15.00; 250)	ε_1 and ε_1	-60°
A_4	(35.00; 6.50; 400)	C_4	(95.00; 15.00; 250)	ε_3 and ε_4	180°
A_5	(-11.87; 33.56; 400)	C_5	(-34.51; 89.77; 250)	ε_5 and ε_6	60°
A_6	(-23.13; 27.06; 400)	C_6	(-60.49; 73.23; 250)	r_{max}	250 mm
E	(0; 0; 250)	p	(0; 0; 200)	α_{max}	60

5.1. Menghitung Putaran Motor

Sudut putaran setiap motor yang dibutuhkan untuk menggerakkan end-effector menuju ke posisi yang diinginkan dihitung menggunakan algoritma yang dikembangkan. Untuk memeriksa kemampooterapan dan keakurasian metode yang diusulkan, sebuah implementasi telah dilakukan. Pada pengujian ini end-effector dirancang untuk mengikuti lintasan yang telah ditentukan yang memiliki 112 titik sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 4a. Gambar 4a juga menyajikan orientasi dan posisi end-effector selama mengikuti lintasan tersebut. Lintasan yang rumit menyebabkan orientasi end-effector berubah secara terus menerus sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 4b. Semakin dekat titik yang dituju ke posisi pusat landasan, maka semakin kecil sudut kemiringan end-effektor, dan sebaliknya.

Dalam proses mengikuti lintasan yang dirancang, semua motor terus berputar agar end-effector dapat berada pada posisi dan orientasi yang diinginkan. Posisi dan orientasi lengan

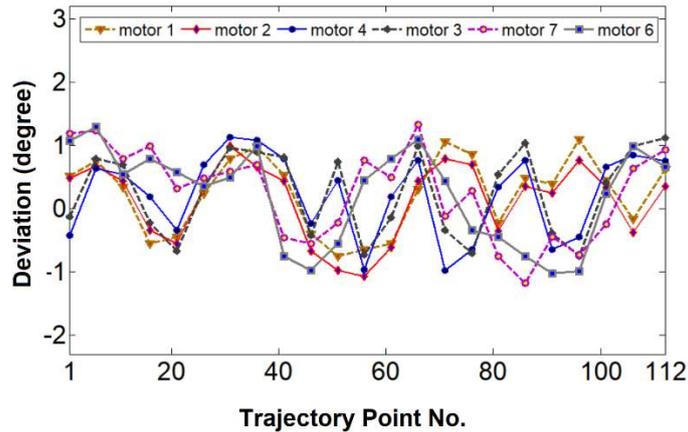
dan landasan ketika end-effector berada pada titik yang diinginkan ditunjukkan pada Gambar 4c. Gambar ini dihasilkan menggunakan program simulasi yang dikembangkan. Program simulasi dapat menghasilkan sudut putaran setiap motor untuk semua titik pada lintasan yang dirancang sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 4d.



Gambar 4: Uji penerapan metode, a) lintasan dan orientasi end-effector, b) sudut kemiringan end-effector relatif terhadap GCF, c) contoh orientasi lengan pada lintasan, d) sudut putaran setiap motor

5.2. Verifikasi

Dari gambar ini dapat dilihat bahwa sudut putaran motor berubah secara dinamis yang disebabkan oleh lintasan yang kompleks. Tiga pasang motor hampir memiliki sudut putar yang sama (motor1 and motor 2, motor 3 and motor 4, motor 5 and motor 6). Hal ini terjadi karena pasangan motor tersebut dipasang saling berdekatan sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 2b. Untuk lintasan nomor 104, semua motor memiliki sudut rotasi yang hampir sama. Pada kondisi ini sudut kemiringan adalah 0.13 sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 4b, yang berarti bahwa titik tujuan dekat dengan titik pusat. Semakin dekat titik tujuan ke pusat landasan maka nilai sudut kemiringan semua motor.



Gambar 5: Deviasi putaran motor

Status Luaran berisi status tercapainya luaran wajib yang dijanjikan dan luaran tambahan (jika ada). Uraian status luaran harus didukung dengan bukti kemajuan ketercapaian luaran dengan bukti tersebut di bagian Lampiran

C. STATUS LUARAN

Luaran wajib: 1 artikel pada Jurnal Internasional bereputasi

Judul Paper: Implementation Of An Analytical Inverse Kinematics Simulation Method
For A 5-Dof Parallel Manipulator

Jurnal : Journal of Engineering Science and Technology

Status : Published

Link artikel :

http://jestec.taylors.edu.my/Vol%2014%20issue%204%20August%202019/14_4_14.pdf

Luaran tambahan: 1 artikel pada Seminar Internasional

Judul Paper: Development of invers kinematic method for 6-dof parallel robot using analytical approach

Conference : 29th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM2019)

Status : Presented dan akan dipublikasikan pada Procedia Manufacturing (Elsevier-Scopus Q2)

Peran Mitra (untuk Penelitian Terapan, Penelitian Pengembangan, PTUPT, PDUPT serta KRUP) berisi uraian realisasi kerjasama dan realisasi kontribusi mitra, baik *in-kind* dan *in-cash*.

D. PERAN MITRA

.....

Kendala Pelaksanaan Penelitian berisi kesulitan atau hambatan yang dihadapi selama melakukan penelitian dan mencapai luaran yang dijanjikan

E. KENDALA PELAKSANAAN PENELITIAN

Sejauh ini belum ada kendala yang berarti dalam menjalankan penelitian

Rencana Tahapan Selanjutnya berisi tentang rencana penyelesaian penelitian dan rencana untuk mencapai luaran yang dijanjikan

F. RENCANA TAHAPAN SELANJUTNYA

1. Pengembangan konstruksi robot paralel 5 derajat kebebasan

Selain mengembangkan algoritma kinematika terbalik, konstruksi robot paralel 5 derajat kebebasan juga akan dirancang dan dibangun pada penelitian ini. Robot ini dibangun selain bertujuan untuk menguji algoritma kinematika robot, juga sekaligus akan digunakan untuk menguji kemampuan robot dalam menjalankan tugas melakukan *pick and place* obyek dengan berbagai bentuk.

2. Validasi Model dan Pengujian Akurasi Konstruksi Robot

Untuk membuktikan bahwa hasil perhitungan yang diperoleh dari program simulasi akurat, maka model yang dikembangkan perlu divalidasi. Selain pengujian metode *Analytical Invers Kinematics Algoritim*, pengujian juga dilakukan terhadap robot paralel yang dibangun. Ada beberapa pengujian yang akan dilakukan, diantaranya adalah: a) Pengujian kemampuan robot dalam mengikuti lintasan (*trajectory*) yang ditentukan, dan b) Pengujian untuk melihat kemampuan robot dalam melakukan tugas *pick and place*. Pengujian dilakukan dengan berbagai bentuk obyek mulai dari yang sederhana hingga obyek yang kompleks sehingga posisi dan orientasi gripper harus ditentukan agar obyek bisa diangkut dengan baik.

Daftar Pustaka disusun dan ditulis berdasarkan sistem nomor sesuai dengan urutan pengutipan. Hanya pustaka yang disitasi pada laporan kemajuan yang dicantumkan dalam Daftar Pustaka.

G. DAFTAR PUSTAKA

- 1 Hendriko, H., Khamdi, N., Jajang, J., Imam, M. (2018) Analytical Based Inverse Kinematics Method for 5-axis Delta Robot, *International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing*, 6 (4), pp. 264-267.
- 1 Khalifa, A., Fanni, M., Mohamed, A. M., & Miyashita, T. (2018). Development of a new 3-DOF parallel manipulator for minimally invasive surgery. *The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery*, 14(3), e1901.
- 2 Wu, C., Yang, G., Chen, C. Y., Liu, S., & Zheng, T. (2017, May). Kinematic design of a novel 4-DOF parallel manipulator. In *Robotics and Automation (ICRA), 2017 IEEE International Conference on* (pp. 6099-6104). IEEE.

- 3 Lou, Y. and Li, Z., (2006), October. A novel 3-DOF purely translational parallel mechanism. In *Intelligent Robots and Systems, 2006 IEEE/RSJ International Conference on* (pp. 2144-2149). IEEE.
- 4 Ruiz-Torres, M.F., Castillo-Castaneda, E. and Briones-Leon, J.A., (2012). Design and analysis of CICABOT: a novel translational parallel manipulator based on two 5-bar mechanisms. *Robotica*, 30(03), pp.449-456.
- 5 Simoni, R., Doria, C.M. and Martins, D., (2013). Symmetry and invariants of kinematic chains and parallel manipulators. *Robotica*, 31(01), pp.61-70.
- 6 Li, Y. and Xu, Q., (2006). Kinematic analysis and design of a new 3-DOF translational parallel manipulator. *Journal of Mechanical Design*, 128(4), pp.729-737.
- 7 Di Gregorio, R., (2004). Kinematics of the translational 3-URC mechanism. *Journal of Mechanical Design*, 126(6), pp.1113-1117.
- 8 Pierrot, F.; Reynaud, C.; and Fournier, A. (1990). DELTA: a simple and efficient parallel robot. *Robotica*, 8(2), 105-109.
- 9 Di Gregorio, R.; and Parenti-Castelli, V. (1998). A translational 3-DOF parallel manipulator. *In Advances in Robot Kinematics: Analysis and Control*, Springer Netherlands, 49-58.
- 10 Li, Y.; and Xu, Q. (2006). Kinematic analysis and design of a new 3-DOF translational parallel manipulator. *Journal of Mechanical Design*, 128(4), 729-737.
- 11 Zhao, J. and Badler, N.I., (1994). Inverse kinematics positioning using nonlinear programming for highly articulated figures. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 13(4), pp.313-336.
- 12 Balestrino, A., De Maria, G. and Sciavicco, L. (1984). Robust control of robotic manipulators. *Proceedings of the 9th IFAC World Congress*, volume 5, pages 2435–2440.
- 13 Matikainen, V., Backman, J. and Visala, A. (2014). Cartesian control of an advanced tractors rear hitch–damped least-squares solution. *World Congress*. Vol. 19. No. 1..
- 14 Wolovich, W. A. and Elliott, H. (1984). A computational technique for inverse kinematics. *The 23rd IEEE Conference on Decision and Control*, 23:1359–1363.
- 15 Buss, S. R. and Kim, J.S.. (2005). Selectively damped least squares for inverse kinematics. *journal of graphics, gpu, and game tools* 10.3: 37-49.
- 16 Baillieul, J. (1985). Kinematic programming alternatives for redundant manipulators. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation March 1985*, volume 2, pages 722–728,.
- 17 Wampler, C. W. (1986). Manipulator inverse kinematic solutions based on vector formulations and damped least-squares methods. *Proceeding of the IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 16(1):93–101.

- 18 Nakamura, Y. and Hanafusa, H. (1986). Inverse kinematic solutions with singularity robustness for robot manipulator control. *Trans. ASME, Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control* September 1986, 108(3):163–171.
- 19 Duleba, I. and Opałka, M., (2013). A comparison of Jacobian-based methods of inverse kinematics for serial robot manipulators. *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, 23(2), pp.373-382.
- 20 Hu, B., (2014). Formulation of unified Jacobian for serial-parallel manipulators. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 30(5), pp.460-467.
- 21 Rezaei, A. and Akbarzadeh, A., 2015. Study on Jacobian, singularity and kinematics sensitivity of the FUM 3-PSP parallel manipulator. *Mechanism and Machine Theory*, 86, pp.211-234.
- 22 Khalaji, A.K. and Moosavian, S.A.A., (2015). Modified transpose Jacobian control of a tractor-trailer wheeled robot. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 29(9), pp.3961-3969.
- 23 Llorens Bonilla, Baldin, and H. Harry Asada (2014). A robot on the shoulder: Coordinated human-wearable robot control using coloured petri nets and partial least squares predictions. *Robotics and Automation (ICRA), 2014 IEEE International Conference on. IEEE.*
- 24 Hashemi, S.M. and Werner, H., (2009), August. Parameter identification of a robot arm using separable least squares technique. In *Control Conference (ECC), 2009 European* (pp. 2199-2204). IEEE.
- 25 Zuo, L., Guo, Q., Xu, X., & Fu, H. (2015). A hierarchical path planning approach based on A* and least-squares policy iteration for mobile robots. *Neurocomputing*, 170, 257-266.
- 26 R. Fletcher. 1987. *Practical methods of optimization; (2nd Ed.)*. Wiley-Interscience, New York, NY, USA.
- 27 Deshmukh, G. and Pecht, M., 1990. A modified Powell method for six-degrees-of-freedom platform kinematics. *Computers & structures*, 34(3), pp.485-491.
- 28 Sekhar, D.C. and Ganguli, R., 2012. Modified Newton, rank-1 Broyden update and rank-2 BFGS update methods in helicopter trim: A comparative study. *Aerospace Science and Technology*, 23(1), pp.187-200.
- 29 Kiswanto, G., Hendriko, H. and Duc, E., (2014). An analytical method for obtaining cutter workpiece engagement during a semi-finish in five-axis milling. *Computer-Aided Design*, 55, pp.81-93.
- 30 Hendriko, O., Duc, E. and Kiswanto, G., (2013). Analytical Method for Obtaining Cutter Workpiece Engagement in Five-Axis Milling. Part 3: Flat-End Cutter and Free-Form

Workpiece Surface. In *Advances in Sustainable and Competitive Manufacturing Systems* (pp. 705-716). Springer International Publishing.

- 31 Hendriko, Duc, E. and Kiswanto, G., (2013), June. Analytical Cut Geometry Prediction for Free Form Surface During Semi-Finish Milling. In *ASME 2013 International Manufacturing Science and Engineering Conference* collocated with the 41st North American Manufacturing Research Conference (pp. V001T01A024-V001T01A024). American Society of Mechanical Engineers.
- 32 Hendriko, H., (2015). Mathematical Model For Chip Geometry Calculation In Five-Axis Milling. *Jurnal Teknologi*, 77(23).
- 33 Kiswanto, G., Hendriko, H. and Duc, E., (2015). A hybrid analytical-and discrete-based methodology for determining cutter-workpiece engagement in five-axis milling. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 80(9-12), pp.2083-2096.
- 34 Kiswanto, G. and Duc, E., (2014), June. Analytical Method for Obtaining Cut Geometry of Helical Toroidal Cutter during Semi-Finish in 5-Axis Milling. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 541, pp. 780-784)

Lampiran berisi bukti pendukung luaran wajib dan luaran tambahan (jika ada) sesuai dengan target capaian yang dijanjikan
--

H. LAMPIRAN

1. Tampilan artikel pada website Jurnal

Status : Published Journal of Engineering and Technology (Scopus Q2)

Link artikel :

http://jestec.taylors.edu.my/Vol%2014%20issue%204%20August%202019/14_4_14.pdf

Journal of Engineering Science and Technology
Vol. 14, No. 4 (2019) 1948 - 1959
© School of Engineering, Taylor's University

IMPLEMENTATION OF AN ANALYTICAL INVERSE KINEMATICS SIMULATION METHOD FOR A 5-DOF PARALLEL MANIPULATOR

HENDRIKO HENDRIKO*, NUR KHAMDI, JAJANG JAENUDIN

Mechatronics Department, Politeknik Caltex Riau,
Jl. Umbansari, Rumbai, Pekanbaru 28265, Provinsi Riau, Indonesia

*Corresponding Author: hendriko@pcr.ac.id

Abstract

The simplicity of the kinematical calculation represents one of the main reasons for choosing a parallel manipulator. Similar to the case of a serial robot, the majority of studies concerning parallel robots use the Jacobian-based method to define the position and the posture of the end-effector. However, although the kinematical aspect of a parallel robot is simple, it will still prove costly if the inverse kinematics are calculated using the Jacobian-based method.

2. Artikel pada Seminar Internasional

Status : Presented pada FAIM 2019

Artikel akan dipublikasikan pada Procedia Manufacturing (Elsevier – Scopus Q2)



Confirmation of Attendance at FAIM 2019

Delegate:

To whom it may concern

On behalf of the FAIM 2019 (Flexible Automation and Intelligent Manufacturing) Conference we are pleased to confirm that the above delegate attended our recent and presented their work at our International Conference.

The work has been peer reviewed by a team of academics and will be forwarded to Procedia Manufacturing for online publication.

The conference this year was hosted by the University of Limerick from June 24th to June 27th 2019.

We thank all our delegates for attending and making FAIM2019 an enjoyable and rewarding experience for all.

Further information on the conference, conference schedule etc. is available from www.faimconference.com

Best regards

Dr. Alan Ryan

Chair FAIM2019 Organising Committee

School of Engineering

University of Limerick

Ireland

faimconference2019@gmail.com

