



Dr. Dr. HENDRIKO S.T.  
Pengusul - Dosen

## Menu Utama

- 🏠 Beranda
- 📄 Penelitian
- ✍️ Pengabdian
- 📅 Pelaksanaan Kegiatan
- 📄 Riwayat Usulan
- 👤 Pendaftaran Reviewer
- 🚪 Logout

IDENTITAS SINTA PENELITIAN PENGABDIAN ARTIKEL JURNAL HKI  
ARTIKEL PROSIDING BUKU KARYA MONUMENTAL NASKAH AKADEMIK/URGENSI

## RIWAYAT PENELITIAN

- 1 Pengembangan Sistem Kontrol pada Reaktor Esterifikasi Biodiesel Berbahan Minyak Jelantah  
**Tahun:** 2023 | **Peran:** Ketua Pengusul | **Sumber Dana:** Ristekdikti  
[Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi](#)
- 2 Pengembangan Sistem Kontrol pada Reaktor Esterifikasi Biodiesel Berbahan Minyak Jelantah  
**Tahun:** 2022 | **Peran:** Ketua Pengusul | **Sumber Dana:** Ristekdikti  
[Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi](#)
- 3 Pengembangan Sistem Kontrol pada Reaktor Esterifikasi Biodiesel Berbahan Minyak Jelantah  
**Tahun:** 2021 | **Peran:** Ketua Pengusul | **Sumber Dana:** Ristekdikti  
[Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi](#)
- 4 Pengembangan Kinematika Robot Paralel 5 Derajat Kebebasan Menggunakan Metode Analytical Invers Kinematics Simulation  
**Tahun:** 2020 | **Peran:** Ketua Pengusul | **Sumber Dana:** Ristekdikti  
[Penelitian Dasar](#)
- 5 Pengembangan Metode Analytical Boundary Simulation untuk Menghitung Geometri Tatal pada Permesinan Milling Lima Sumbu Menggunakan Pahat Solid  
**Tahun:** 2019 | **Peran:** Ketua Pengusul | **Sumber Dana:** Ristekdikti  
[Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi](#)
- 6 Pengembangan Kinematika Robot Paralel 5 Derajat Kebebasan Menggunakan Metode Analytical Invers Kinematics Simulation  
**Tahun:** 2019 | **Peran:** Ketua Pengusul | **Sumber Dana:** Ristekdikti  
[Penelitian Dasar](#)
- 7 Pengembangan komposit poliester berpenguat limbah logam mesin bubut dan styrofoam  
**Tahun:** 2018 | **Peran:** Ketua TPM | **Sumber Dana:** Ristekdikti  
[Penelitian Kerjasama Antar Perguruan Tinggi](#)
- 8 Pengembangan komposit poliester berpenguat limbah logam mesin bubut dan styrofoam  
**Tahun:** 2017 | **Peran:** Ketua TPM | **Sumber Dana:** Ristekdikti  
[Penelitian Kerjasama Antar Perguruan Tinggi](#)
- 9 Pengembangan Metode Analitis Untuk Menghitung Tinggi Scallop Pada Permesinan Milling Multi Sumbu  
**Tahun:** 2017 | **Peran:** Ketua Pengusul | **Sumber Dana:** Ristekdikti  
[Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi](#)
- 10 Pengembangan Metode Analitis Untuk Menghitung Kinematika Robot Paralel dengan 6 Derajat Kebebasan  
**Tahun:** 2017 | **Peran:** Ketua Pengusul | **Sumber Dana:** Ristekdikti  
[Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi](#)
- 11 Pengembangan Metode Analitis Untuk Menghitung Tinggi Scallop Pada Permesinan Milling Multi Sumbu  
**Tahun:** 2016 | **Peran:** Ketua Pengusul | **Sumber Dana:** Ristekdikti  
[Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi](#)

**SURAT PERJANJIAN PENUGASAN PELAKSANAAN  
PROGRAM HIBAH PENELITIAN FUNDAMENTAL  
TAHUN ANGGARAN 2017  
Nomor : 0035/KONTRAK-BP2M/PCR/2017**

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

1. Yusmar Palapa Wijaya, S.Si., M.T.. : 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 FUNDAMENTAL Tahun Anggaran 2017 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 Kopertis Wilayah X Tahun Anggaran 2017 Nomor : 089/KONTRAK-PENELITIAN/K10/KM/2017 Tgl. 10 April 2017.

**PIHAK PERTAMA** dan **PIHAK KEDUA**, secara bersama-sama bersepakat mengikatkan diri dalam suatu Perjanjian Penugasan Pelaksanaan PENELITIAN FUNDAMENTAL Tahun 2017 dengan ketentuan dan syarat-syarat sebagaimana diatur dalam pasal-pasal sebagai berikut:

**PASAL 1**

Perjanjian penugasan ini berdasarkan kepada:

1. Undang-undang Republik Indonesia No 17 tahun 2003 tentang Keuangan Negara;
2. Undang-undang Republik Indonesia No 20 tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Tinggi;
3. Undang-undang Republik Indonesia No 01 tahun 2004 tentang Perbendaharaan Negara;
4. Undang-undang Republik Indonesia No 15 tahun 2004 tentang Pemeriksaan dan Tanggung Jawab Keuangan Negara;
5. Undang-undang Republik Indonesia No 12 tahun 2012 tentang Pendidikan Tinggi;
6. Peraturan Menteri Keuangan Nomor 106/PMK.2/2016 tentang Standar Biaya Keluaran Tahun 2017 ;
7. Peraturan Menteri Riset, Teknologi Pendidikan Tinggi Republik Indonesia No. 69 Tahun 2016 Tentang Tata Cara Pembentukan Komite Penilaian dan/atau Reviewer Penelitian;
8. Keputusan Direktut Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia Nomor 28/E/KPT/2017 tentang Penerima Pendanaan Pengabdian kepada Masyarakat Tahun Anggaran 2017;
9. Keputusan Kuasa Pengguna Anggaran Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Nomor 02/E.1/KPT/2017 Tanggal 14 Januari 2017;
10. Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran (DIPA) Nomor DIPA-042.06.1.401516/2017 Tanggal 7 Desember 2016.

## PASAL 2

- (1) **PIHAK PERTAMA** memberi tugas kepada **PIHAK KEDUA**, dan **PIHAK KEDUA** menerima tugas tersebut sebagai penanggungjawab pelaksanaan PENELITIAN FUNDAMENTAL tahun 2017 dengan judul "**PENGEMBANGAN METODE ANALITIS UNTUK MENGHITUNG KINEMATIKA ROBOT PARALEL DENGAN 6 DERAJAT KEBEBASAN**".
- (2) **PIHAK KEDUA** bertanggung jawab penuh atas pelaksanaan Administrasi dan keuangan atas 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 FUNDAMENTAL tahun 2017 sebagaimana dimaksud Judul penelitian diatas didanai dari Anggaran (DIPA) No SP DIPA-042.06.1.401516/2017 tanggal 7 Desember 2016.

## PASAL 3

- (1) **PIHAK PERTAMA** menyerahkan dana penelitian sebagaimana dimaksud dalam pasal 2 sebesar Rp65.000.000,- (**Enam Puluh Lima Juta Rupiah**) yang berasal dari Anggaran (DIPA) No. SP DIPA-042.06.1.401516/2017 tanggal 7 Desember 2016.
- (2) Dana Penugasan Pelaksanaan Penelitian sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dibayarkan oleh **PIHAK PERTAMA** kepada **PIHAK KEDUA** secara bertahap dengan ketentuan sebagai berikut:
  - a. Pembayaran Tahap Pertama sebesar 70% dari total bantuan dana kegiatan yaitu 70% X 65.000.000 ,- = **Rp. 45.500.000 ,- (Empat Puluh Lima Juta Lima Ratus Ribu Rupiah)**.
  - b. Pembayaran Tahap Kedua/Terakhir sebesar 30% dari total dana kegiatan yaitu 30% X 65.000.000,- = **Rp. 19.500.000 (Sembilan Belas Juta Lima Ratus Ribu Rupiah)** dibayarkan setelah **PIHAK KEDUA** mengunggah ke laman SIMLITABMAS **selambat-lambatnya tanggal 15 September 2017** dokumen sebagai berikut:
    - a) Catata harian pelaksanaan penelitian
    - b) Laporan pelaksanaan penelitian
  - c. **PIHAK KEDUA** bertanggung jawab mutlak dalam pembelanjaan dana tersebut pada ayat (1) sesuai dengan proposal kegiatan yang telah disetujui dan berkewajiban untuk menyerahkan kepada **PIHAK PERTAMA** semua laporan dan laporan penggunaan anggaran serta bukti-bukti pengeluaran sesuai dengan jumlah dana yang diberikan oleh **PIHAK PERTAMA**.

## PASAL 4

- (1) **PIHAK KEDUA** berkewajiban menindaklanjuti dan mengupayakan hasil PENELITIAN FUNDAMENTAL berupa hak kekayaan intelektual dan atau publikasi ilmiah sesuai dengan liuran yang dijanjikan pada Proposal.
- (2) Perolehan hasil sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dimanfaatkan sebesar-besarnya untuk pelaksanaan Tri Dharma Perguruan Tinggi.

- (3) **PIHAK KEDUA** berkewajiban untuk melaporkan perkembangan perolehan hasil sebagaimana dimaksud pada ayat (1) kepada **PIHAK PERTAMA** selambat-lambatnya pada tanggal 15 September 2017.

#### PASAL 5

- (1) **PIHAK KEDUA** harus menyampaikan surat pernyataan telah menyelesaikan seluruh pekerjaan yang dibuktikan dengan mengunggah pada laman *website* SIMLITABMAS.
- Catatan harian komprehensif pelaksanaan penelitian pada tanggal 30 Oktober 2017
  - Laporan akhir capaian hasil, poster artikel ilmiah dan profile, pada tanggal 31 Oktober 2017 (bagi penelitian tahun terakhir)
- (2) Apabila sampai dengan batas waktu yang telah ditetapkan untuk melaksanakan kontrak penelitian telah berakhir, **PIHAK KEDUA** belum menyelesaikan tugasnya dan atau terlambat mengirimkan laporan kemajuan dan atau terkambat mengirimkan laporan akhir, maka **PIHAK KEDUA** dikenakan sanksi administrative berupa penghentian pembayaran dan tidak dapat mengajukan proposal penelitian dalam kurun waktu dua tahun berturut-turut.
- (3) Peneliti yang tidak hadir dalam kegiatan pemantauan dan evaluasi tanpa pemberitahuan sebelumnya kepada kepada Direktur Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jenderal Riset dan Pengembangan, maka pelaksanaan penelitian tidak berhak menerima sisa dana tahap kedua sebesar 30%
- (4) Apabila dalam penilaian luaran terdapat luaran tambahan yang tidak tercapai, maka dana tambahan yang sudah diterima harus disetorkan kembali ke kas Negara.

#### PASAL 6

- (1) Laporan hasil penelitian sebagaimana tersebut pada pasal 5 ayat (1) tertulis 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 2017

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

#### PASAL 7

- (1) Apabila **PIHAK KEDUA** berhenti dari jabatan, sebelum kontrak ini selesai, maka pihak kedua wajib menyerah terimakan tanggung jawab kepada pejabat baru yang menggantikannya, dibuktikan dengan adanya Berita Acara Serah Terima (BAST) yang ditandatangani oleh kedua belah pihak.
- (2) Apabila setiap ketua pelaksana sebagaimana dimaksud dalam pasal 2 ayat (4) tidak dapat menyelesaikan pelaksanaan penelitian ini, maka **PIHAK KEDUA** wajib menunjuk pengganti Ketua Pelaksana yang merupakan salah satu anggota tim setelah mendapat persetujuan tertulis dari Direktur Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jenderal Riset dan Pengembangan.
- (3) Apabila setiap ketua Peneliti mengundurkan diri sebagai ketua, harus diganti dengan anggota tim dengan syarat ketentuan yang ada, jika tidak ada dana dikembalikan ke kas Negara.

## PASAL 8

Hal-hal atau segala sesuatu yang berkenaan dengan kewajiban pajak berupa PPN dan/atau PPh menjadi tanggungjawab PIHAK KEDUA dan harus dibayarkan ke kantor pelayanan pajak setempat sebagai berikut:

1. Pembelian barang dan jasa dikenai PPN sebesar 10% dan PPh sebesar 1,5%
2. Belanja honorarium yang dikenakan PPh Pasal 21 dengan ketentuan :
  - a. 5% (lima persen) bagi yang memiliki NPWP untuk Golongan III, serta 6% (enam persen) bagi tidak memiliki NPWP
  - b. Untuk Golongan IV sebesar 15% (lima belas persen).
3. Pajak-pajak lain sesuai ketentuan yang berlaku.

## PASAL 9

- (1) Hak kekayaan intelektual yang dihasilkan dari pelaksanaan Penelitian diatur dan dikelola sesuai dengan peraturan dan perundang – undangan yang berlaku.
- (2) Setiap publikasi, makalah dan atau ekspos dalam bentuk apapun yang berkaitan dengan hasil penelitian wajib mencantumkan Direktur Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jenderal Riset dan Pengembangan sebagai pemberi dana.
- (3) Hasil Penelitian berupa peralatan dan/atau alat yang dibeli dari kegiatan ini adalah milik Negara yang dapat dihibahkan kepada institusi/lembaga melalui Berita Acara Serah Terima (BAST) .

## PASAL 10

- (1) Apabila dikemudian hari judul PENELITIAN FUNDAMENTAL sebagaimana dimaksud pada Pasal 2 ditemukan adanya duplikasi dengan PENELITIAN FUNDAMENTAL lain dan atau ditemukan adanya ketidak jujuran/itikad kurang baik yang tidak sesuai dengan kaidah ilmiah, maka kegiatan tersebut dinyatakan batal dan PIHAK KEDUA wajib mengembalikan dana Tahun 2017 yang telah diterima kepada PIHAK PERTAMA yang selanjutnya disetor ke Kas Negara.

## PASAL 11

- (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 Program Pengabdian Masyarakat 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.

## PASAL 12

- (1) Apabila terjadi perselisihan antara PIHAK PERTAMA dan PIHAK KEDUA dalam pelaksanaan perjanjian ini akan dilakukan penyelesaian secara musyawarah dan mufakat, dan apabila tidak tercapai penyelesaian secara musyawarah dan mufakat maka penyelesaian dilakukan melalui proses hukum.
- (2) Hal-hal yang belum diatur dalam perjanjian ini diatur kemudian oleh kedua belah pihak.

## PASAL 13

Surat Perjanjian Penugasan Pelaksanaan PENELITIAN FUNDAMENTAL ini dibuat rangkap 2 (dua) dan bermaterai cukup sesuai dengan ketentuan yang berlaku, dan biaya materai dibebankan kepada **PIHAK KEDUA**.

**PIHAK PERTAMA**



Yusmar Palapa Wijaya, S.Si., M.T  
NIP. 027608

**PIHAK KEDUA**

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

**LAPORAN KEMAJUAN  
PENELITIAN FUNDAMENTAL**



***Pengembangan Metode Analitis Untuk Menghitung Kinematika Robot  
Paralel dengan 6 Derajat Kebebasan***

**Tahun ke-1 dari rencana 2 tahun**

**Ketua : Dr. Hendriko, ST, M.Eng. (1009017601)**

**Anggota : Nur Khamdi, S.Si, M.T. (1015117502)**

**Jajang Jaenudin, S.T., M.T. (1007077501)**

**Dibiayai oleh:**

**Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat  
Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan  
Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi  
Sesuai Kontrak Penelitian Tahun Anggaran 2017**

## HALAMAN PENGESAHAN

Judul : *Pengembangan Metode Analitis Untuk Menghitung Tinggi Scallop Pada Permesinan Milling Multi Sumbu*

### Pelaksana

Nama Lengkap : Dr. Hendriko, ST, M.Eng.  
NIDN : 1009017601  
Jabatan Fungsional : Lektor  
Program Studi : Teknik Mekatronika  
No. HP : 0811690050  
Alamat surel (e-mail) : hendriko@pcr.ac.id

### Anggota (1)

Nama Lengkap : Nur Khamdi, S.Si., M.T  
NIDN : 1015117502  
Perguruan Tinggi : Politeknik Caltex Riau

### Anggota (2)

Nama Lengkap : Jajang Jaenudin, S.T., M.T  
NIDN : 1007077501  
Perguruan Tinggi : Politeknik Caltex Riau

Tahun Pelaksanaan : 2017  
Biaya Tahun Berjalan : Rp 65.000.000,-  
Biaya Keseluruhan : Rp 165.000.000,-

Pekanbaru, 23 Agustus 2017

Mengetahui

Kepala Unit Penelitian dan Pengabdian Masyarakat



**Yusmar Palapa Wijaya, S. Si., M.T.**

NIP. 027608

Ketua

**Dr. Hendriko, ST, M.Eng.**

NIP. 007606

## RINGKASAN

Perkembangan teknologi robot telah memberi dampak yang signifikan terhadap kondisi ekonomi dan sosial. Dengan perkembangan industri saat ini, robot dituntut agar dapat bergerak luwes dengan tingkat fleksibilitas yang tinggi. Dengan demikian robot diharapkan tidak hanya dapat bergerak translasional pada sumbu cartesian, tetapi juga mampu bergerak rotasional pada tiap sumbu. Oleh karena itu pengembangan robot dengan 6 derajat kebebasan (3 gerakan translasional dan 3 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 dari metode numerik adalah waktu komputasi yang sangat panjang. Waktu komputasi menjadi hal yang sangat penting karena hal tersebut terkait dengan kecepatan robot dalam merespon perubahan posisi dan orientasi.

Oleh karena itu pada penelitian ini dikembangkan sebuah teknik baru dengan menggunakan metode analitis untuk menghitung kinematika terbalik robot paralel dengan dua tipe derajat kebebasan (DK), yaitu 5-DK dan 6-DK. Metode tersebut dinamakan *Analytical Invers Kinematics Algorithm* (AIKA). Keunggulan metode analitis dibandingkan dengan metode numerik adalah: algoritma untuk menentukan orientasi dan posisi setiap sambungan lebih sederhana dan hasil perhitungannya lebih akurat.

Pada tahun pertama telah dikembangkan algoritma matematika untuk kinematika terbalik robot 5-DK. Pengujian kemampuan terapan metode telah dilakukan dengan menggunakan lintasan dan orientasi *end-effector* yang kompleks. Hasilnya menunjukkan bahwa metode yang dikembangkan dapat menghitung putaran motor yang diperlukan agar *end-effector* berada pada posisi dan orientasi yang diharapkan. Untuk robot paralel 5-DK digunakan lima buah motor sebagai aktuator.

Dalam penelitian ini selain mengembangkan metode kinematika terbalik, konstruksi robot 5-DK juga turut dibangun. Robot ini diharapkan akan digunakan untuk memverifikasi keakuratan metode secara eksperimental.

robot 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 6 derajat kebebasan yang dapat berfungsi untuk melakukan tugas *pick and place* untuk obyek dengan bentuk geometri yang rumit. Selain itu robot tersebut juga akan berfungsi untuk menguji model kinematik yang dikembangkan.

Dari penelitian ini diharapkan akan dihasilkan tiga artikel dimana dua artikel diterbitkan pada jurnal internasional yang terindeks Scopus (Journal of Mechanics dan Key Engineering Materials) dan satu jurnal nasional tidak terakreditasi (Jurnal Elementer, Politeknik Caltex Riau)

## PRAKATA

Syukur Alhamdulillah kami panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan berkah dan karunianya sehingga kami dapat menyelesaikan Laporan Kemajuan Penelitian Fundamental tahun 2017 yang berjudul: “***Pengembangan Metode Analitis Untuk Menghitung Kinematika Robot Paralel dengan 6 Derajat Kebebasan***”.

Keberhasilan kami menyelesaikan penelitian tahun pertama ini adalah berkat bantuan dari berbagai pihak, baik bantuan yang diberikan pada saat persiapan, masa penelitian, pembahasan maupun pada saat penyusunan Laporan Akhir. Oleh karena itu pada kesempatan ini kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi serta Kopertis Wilayah X yang telah memberikan bantuan dana untuk kegiatan penelitian ini.
2. Pimpinan Politeknik Caltex Riau, Direktur dan para Pembantu Direktur yang telah memberikan kesempatan seluas-luasnya kepada kami untuk mengembangkan diri dalam kegiatan Tri darma Perguruan Tinggi khususnya dalam kegiatan Penelitian.
3. Kepala Unit Penelitian dan Pengabdian Masyarakat, Bapak Yusmar Palapa, SPd. M.T. dan stafnya yang telah memberikan banyak dukungan teknis, fasilitas administrasi guna kelancaran penelitian.
4. Para Kolega di Teknik Mekatronika yang telah memberikan dorongan, semangat dan sumbang saran dalam pelaksanaan penelitian ini.
5. Serta semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu yang telah memberi bantuan, arahan serta dorongan kepada kami dalam menyelesaikan penelitian tahun pertama ini.

Akhirnya kami berharap agar kiranya hasil dari penelitian yang kami lakukan dalam tahun 2017 ini dapat bermanfaat bagi kami selaku peneliti, dan tentunya bagi kemajuan bangsa Indonesia.

Pekanbaru, Agustus 2017

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	<b>i</b>
<b>RINGKASAN</b>	<b>ii</b>
<b>PRAKATA</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>v</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Keutamaan Penelitian	3
1.3 Rencana Target Capaian Tahunan	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>5</b>
2.1 <i>State of the Art</i>	5
2.2 Peta Jalan Penelitian	8
<b>BAB III TUJUAN DAN MANFAAT</b>	<b>10</b>
<b>BAB IV METODOLOGI PENELITIAN</b>	<b>12</b>
3.1 Tahapan Penelitian	12
3.1.1 Pengembangan Algoritma Kinematika Terbalik	12
3.1.2 Pengembangan Program Simulasi	13
3.1.3 Pengembangan konstruksi robot paralel 6 derajat kebebasan	13
3.1.3 Validasi Model	14
3.2 Indikator Capaian	14
<b>BAB V HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI</b>	<b>15</b>
5.1 Analytical Inverse Kinematics	15
5.2 Pengujian dan Diskusi	19
5.2.1 Perhitungan Putaran Motor	20
5.2.2. Verifikasi Model	21
5.3 Luaran Yang Dicapai	22
<b>BAB VI JADWAL KEGIATAN DAN BIAYA PENELITIAN</b>	<b>23</b>
4.1 Jadwal Kegiatan	23
4.2 Biaya	23
<b>BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>24</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>25</b>
Lampiran (Bukti Luaran Yang Didapatkan)	31

# BAB I.

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Terdapat dua arsitektur dasar manipulator robot yang paling banyak dikembangkan, yaitu: robot serial dan robot paralel. Kedua arsitektur tersebut dikategorikan berdasarkan rantai kinematik yang menghubungkan antara keluaran dari manipulator hingga ke dasar (*base*). Rantai kinematik untuk serial robot dibentuk dari sekumpulan batang kaku. Robot serial memiliki keunggulan dalam hal volume kerja (*work volume*) dan keluwesan gerakan (*dexterity*). Selain memiliki kelebihan, robot serial memiliki beberapa kelemahan diantaranya adalah: kurang presisi, rasio antara beban dan bobot yang rendah, motor yang tidak berada di dasar, dan cenderung menghasilkan inersia yang tinggi pada pergerakan yang berulang. Kelemahan lain dari robot serial adalah: diperlukan algoritma yang rumit untuk menentukan kinematika terbalik (*invers kinematics*) untuk menentukan posisi dan orientasi dari setiap sambungan.

Robot paralel mulai dikembangkan pada sekitar tahun 1988 oleh Profesor Raymond Clavel. Robot tersebut dikembangkan untuk memindahkan obyek ringan secara cepat pada industri elektronik, makanan, dan farmasi. Salah satu robot paralel yang paling terkenal disebut dengan Delta robot. Delta robot dapat melakukan pemindahan obyek lebih dari 300 kali per menit [1]. Hal tersebut dapat dilakukan karena lengan robot biasanya terbuat dari bahan yang ringan dan efektor ujung (*end effector*) dapat bergantung di atas konveyor. Karena robot delta memiliki tiga lengan yang terhubung dengan efektor ujung sehingga secara inheren konstruksi efektor ujung cukup kuat.

Robot paralel atau sering juga disebut sebagai robot delta merupakan inovasi teknologi di dunia industri dan telah menarik banyak sekali penelitian sejak teknologi tersebut diperkenalkan. Beberapa aplikasi robot delta yang telah diterapkan diantaranya adalah: *handling*, asembli (*assembly*), pengemasan (*packaging*), permesinan kecepatan tinggi (*high speed machining*), dan berbagai penerapan pada bidang medis dan luar angkasa (*space*). Pesatnya perkembangan robot delta dapat terjadi karena karakteristik statis dan dinamis lebih mudah dimengerti dibanding dengan robot dengan konsep serial.

Banyak studi yang telah dilakukan dalam pengembangan robot paralel. Namun sebagian besar masih mengembangkan robot dengan 3 atau 4 derajat kebebasan. Masih sangat sedikit yang mengembangkan robot dengan 6 derajat kebebasan. Meskipun algoritma untuk menghitung kinematika terbalik dari robot paralel lebih sederhana dibandingkan dengan robot serial, namun sebagian besar studi masih menggunakan algoritma kinematika terbalik yang rumit dengan metode numerik atau metode iterasi.

Oleh karena itu penelitian ini akan mengembangkan sebuah teknik baru dengan menggunakan metode analitis untuk menghitung kinematika terbalik robot paralel dengan 6 derajat kebebasan. Metode tersebut akan dinamakan *Analytical Invers Kinematics Algorithm* (AIKA). 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.

## 1.2. Keutamaan Penelitian

Paralel robot terdiri dari sebuah landasan bergerak (*moving platform*) yang terhubung dengan sebuah landasan tetap (*fixed base*) melalui tiga rantai kinematik paralel. Tiap rantai terdiri dari sambungan berputar (*rotational joint*) yang digerakan oleh aktuator pada landasan tetap. Gerakan ditransmisikan melalui landasan bergerak melalui sebuah jajaran genjang yang dibentuk oleh batang dan sambungan berbentuk bola (*spherical*). Dalam dunia robotika, kinematika terbalik adalah hal yang paling sering dibahas dalam menganalisa gerakan robot dan berbagai subdomain robot. Meskipun pada kenyataannya kinematik terbalik dan kinematik maju (*forward kinematics*) banyak juga dijumpai pada berbagai bidang ilmu pengetahuan lainnya [2, 3].

Untuk menghitung kinematika terbalik pada pergerakan robot, sebagian besar peneliti mengembangkan metode numerik atau dibeberapa penelitian disebut metode iterasi. Jacobian Matrix adalah metode numerik yang paling terkenal yang digunakan untuk mencari pendekatan linear terhadap persoalan kinematika terbalik. Metode ini mendeskripsikan transformasi antara kecepatan konfigurasi dan ruang kerja robot. Banyak sekali versi metode Jacobian Matrix [4-10] yang telah disampaikan terkait dengan kinematika terbalik, namun yang jadi kelemahan dari seluruh metode tersebut adalah waktu komputasi yang sangat panjang dan perhitungan matrik yang rumit.

Metode lain yang juga digunakan untuk menghitung kinematika terbalik adalah Sequential Monte Carlo Method (SMCM) [11] dan Particle Filtering Approach [12]. Kedua metode tersebut tidak menggunakan matrik sehingga tidak memiliki permasalahan terkait penggunaan matrik yang rumit. Namun, kedua metode tersebut berbasis statistik yang juga memiliki kelemahan dalam hal waktu komputasi yang panjang.

Oleh karena itu keutamaan metode *Analytical Invers Kinematics Algortihm* (AIKA) yang akan dibangun dibanding dengan metode lainnya, baik yang berbasis numerik maupun statistik, adalah:

1. Waktu komputasi yang singkat karena metode ini berbasis analitis. Gupta et al. [13] menyebutkan bahwa metode analitis jauh lebih cepat dan lebih akurat dibandingkan metode numerik.
2. Metode ini digunakan untuk menghitung orientasi dan posisi efektor ujung robot maupun sambungan dan batang secara presisi dan akurat untuk robot dengan 6 derajat kebebasan.
3. Dengan 6 derajat kebebasan maka gerakan gripper dapat lebih luwes dan fleksibel sehingga posisi gripper dapat menyesuaikan dengan bentuk obyek yang akan diambil. Kondisi sebaliknya terjadi jika robot hanya memiliki 3 atau 4 derajat kebebasan dimana posisi obyek harus diatur agar gripper dapat menjangkau dan memegang obyek dengan baik.

### 1.3. Rencana Target Capaian Tahunan

Dari hasil penelitian dalam 2 tahun diharapkan akan dihasilkan beberapa publikasi, baik pada tingkat Internasional maupun Nasional. Ditargetkan minimal terdapat 2 artikel yang akan disampaikan pada seminar ilmiah tingkat Internasional. Dan kedua artikel dari seminar tingkat Internasional tersebut akan dilengkapi agar layak dan diterima untuk dipublikasi pada jurnal internasional bereputasi. Disamping itu juga diharapkan akan terdapat minimal satu artikel yang akan disampaikan pada Seminar Nasional. Rencana target capaian untuk setiap tahun pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada Tabel.1.

Tabel. 1 Rencana target capaian tahunan

No	Jenis Luaran	Indikator Capaian		
		2017	2018	
1	Publikasi ilmiah	Internasional	Accepted	Published
	Nasional terakreditasi	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada

2	Pemakalah dalam temu ilmiah	Internasional	Sudah dilaksanakan	Sudah dilaksanakan
		Nasional	Sudah dilaksanakan	Tidak ada
3	Invited speaker dalam temu ilmiah	Internasional	Tidak ada	Tidak ada
		Nasional	Tidak ada	Tidak ada
4	Visiting lecturer	Internasional	Tidak ada	Tidak ada
5	Hak Kekayaan Intelektual (HKI)	Paten	Tidak ada	Tidak ada
		Paten sederhana	Tidak ada	Tidak ada
		Hak cipta	Tidak ada	Tidak ada
		Merek dagang	Tidak ada	Tidak ada
		Rahasia dagang	Tidak ada	Tidak ada
		Desain produk industri	Tidak ada	Tidak ada
		Indikasi geografis	Tidak ada	Tidak ada
		Perlindungan varietas tanaman	Tidak ada	Tidak ada
Perlindungan topografi sirkuit terpadu	Tidak ada	Tidak ada		
6	Teknologi Tepat Guna		Tidak ada	Tidak ada
7	Model/Purwarupa/Desain/Karya seni/Rekayasa Sosial		Tidak ada	Tidak ada
8	Buku Ajar (ISBN)		Tidak ada	Tidak ada
9	Tingkat Kesiapan Teknologi		1	2

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 *State of the Art*

Kinematika dapat didefinisikan sebagai studi tentang gerakan, yaitu sebuah cabang ilmu fisika yang berhubungan dengan gerakan sebuah sistem tanpa memperhitungkan gaya dan masa. Kinematika terbalik adalah sebuah metode untuk menghitung postur robot melalui perhitungan setiap derajat kebebasan sesuai dengan tugas yang diberikan. Kinematik terbalik telah banyak diimplementasikan pada bidang komputer grafis dan robotika. Selain populer pada industri permainan video (*video game*), kinematika terbalik juga banyak digunakan pada bidang biomekanik.

Menghasilkan gerakan yang luwes dan fleksibel menyerupai gerakan manusia masih merupakan tantangan dalam dunia robotika. Beberapa metode telah dilakukan untuk menyelesaikan persoalan kinematika terbalik diberbagai bidang studi. Zhao dan Nurman[14] mengembangkan kinematika terbalik untuk mencari minimum lokal dari satu set persamaan non-linear dengan mendefinisikan keterbatasan yang dimiliki ruang Cartesian. Metode numerik atau metode iterasi yang dikembangkan digunakan untuk menyelesaikan permasalahan kinematika terbalik melalui serangkaian langkah-langkah yang bertahap hingga memberikan solusi. Sebagaimana yang disebutkan pada subbab sebelumnya bahwa metode numerik yang paling terkenal adalah metode Jacobian. Ada banyak versi metode solusi yang berbasis Jacobian., seperti: Jacobian Transpose, Damped Least Squares (DLS), Damped Least Squares dengan Singular Value Decomposition (SVD-DLS), Selectively Damped Least Squares (SDLS) dan beberapa turunannya [4-10, 15-21]. Metode Jacobian Transpose adalah sebuah metode yang cenderung menggunakan transpose dibandingkan inversnya [15-18]. Proses iterasi pada metode ini sangat cepat karena proses inversi matrik tidak diperlukan. Namun disamping memiliki kelebihan, metode ini juga memiliki kelemahan dimana jumlah langkah yang dibutuhkan untuk mencapai tujuan menjadi lebih banyak.

Solusi lain dari metode Jacobian adalah dengan menggunakan teknik *least squares* atau di beberapa referensi disebut *Moore-Penrose inverse* atau *pseudoinverse* [18-21]. Meskipun metode Jacobian menghasilkan postur yang halus (*smooth postures*), namun seluruh metode yang berbasis Jacobian memiliki kelemahan dalam hal waktu komputasi yang panjang. Hal ini

terjadi khususnya disebabkan karena perhitungan matrik yang rumit. Disamping itu terdapat isu lain yang disebut dengan *singularity problem*, yaitu ketidakmampuan robot untuk memperoleh titik sebenar dari ruang kerja yang ingin dicapai oleh efektor ujung. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, metode alternatif pernah diusulkan oleh Pechev [22] dimana permasalahan kinematika terbalik diselesaikan dari sebuah perspektif kendali. Metode ini secara komputasi lebih efisien dibandingkan metode pseudoinverse dan tidak terdapat isu terkait *singularity problem*. Namun metode ini memiliki kelemahan karena hanya dapat diimplementasikan pada kondisi-kondisi tertentu saja sehingga aplikasinya sangat terbatas.

Metode lain yang banyak digunakan untuk menyelesaikan persoalan kinematika terbalik adalah metode Newton. Metode ini dikembangkan dengan menyusun konfigurasi algoritma yang diajukan sebagai solusi untuk meminimalisasi permasalahan. Beberapa teknik yang terkenal dari metode ini adalah metode Broyden, metode Powell dan metode Broyden, Fletcher, Goldfarb and Shanno (BFGS) [23-25]. Namun metode Newton sangat rumit sehingga sulit untuk diimplementasikan disamping juga memerlukan waktu komputasi yang sangat lama untuk tiap proses iterasi.

County dan Arnaud [26] mengusulkan metode *Sequential Monte Carlo* dan Hecker et al. [12] memperkenalkan metode pendekatan yang disebut *particle filtering*. Kedua metode tersebut tidak memiliki permasalahan terkait *singularity problem* dan perhitungan yang dihasilkan cukup akurat. Namun karena kedua metode tersebut berbasis pada metode statistik, maka waktu komputasi yang diperlukan menjadi cukup panjang. Metode lain yang cukup populer dalam hal kinematika terbalik adalah algoritma *Cyclic Coordinate Descent* (CCD) yang diperkenalkan oleh Wand dan Chen [27] dan kemudian dikembangkan oleh beberapa peneliti lainnya [28-30]. CCD telah digunakan secara luas pada industri permainan komputer dan juga sudah diadaptasi pada dunia biomedik untuk memprediksi struktur protein. CCD adalah sebuah metode heuristik berulang (*heuristic iterative*) yang pada dasarnya merupakan gabungan dari metode analitis dan metode iterasi. Dengan demikian keunggulan metode ini dibanding dengan metode iterasi murni adalah: biaya komputasi yang rendah untuk setiap sambungan dimana kinematika terbalik diselesaikan tanpa menggunakan manipulasi matrik. Metode lain yang juga mengkombinasikan antara analitis dan numerik disampaikan oleh Unzueta et al. [31] yang disebut dengan *Sequential Invers Kinematics* (SIK). Metode ini merupakan pengembangan langsung dari metode yang dihasilkan oleh Boulic et al. [32]. Dengan metode ini kinematika terbalik diselesaikan secara sekuensial dengan menggunakan kombinasi antara algoritma analitis dan iterasi sederhana.

Dari begitu banyak studi yang telah dilakukan dalam menyelesaikan persoalan kinematika terbalik, diperoleh kesimpulan bahwa kebanyakan dari metode tersebut menghasilkan solusi numerik yang sifatnya aproksimasi. Untuk mengatasi persoalan terkait dengan waktu komputasi yang tinggi disiasati dengan cara mengembangkan metode hibrid, yaitu perpaduan antara analitis dan numerik [27-32]. Dampaknya adalah waktu komputasi menjadi lebih pendek dibandingkan dengan metode numerik murni. Waktu komputasi menjadi hal yang sangat penting karena hal tersebut terkait dengan kecepatan robot dalam merespon perubahan posisi dan orientasi.

Dalam dunia robotika, membahas kinematika terbalik tidak bisa dilepaskan dengan derajat kebebasan. Jumlah derajat kebebasan sebuah sambungan (*joint*) berhubungan langsung dengan dimensi pergerakan robot. Secara singkat dapat dikatakan bahwa derajat kebebasan menjelaskan tentang bagaimana sebuah sambungan dapat bergerak pada ruang kerja (*workspace*). Semakin tinggi derajat kebebasan sebuah robot maka gerakan robot akan semakin luwes dan fleksibel, atau sebaliknya. Dampaknya adalah, semakin tinggi derajat kebebasan sebuah robot maka perhitungan kinematiknya akan semakin kompleks. Luo dan Li [33] membuat robot 3 derajat kebebasan dengan ruang kerja (*workspace*) berbentuk bola. Robot tersebut diberi nama Orthotripod. Sementara itu Ruiz et al. [34] membuat robot CICABOT dengan 3 derajat kebebasan dimana robot tersebut hanya bisa bergerak secara translasi dengan menggunakan mekanisme 5 batang. Dan masih banyak lagi penelitian yang telah dipublikasikan terkait robot dengan 3 derajat kebebasan [35-37]. Sementara itu beberapa penelitian lainnya telah menggunakan robot dengan 4 derajat kebebasan [38-40] dan 5 derajat kebebasan [41, 42]. Dengan perkembangan industri saat ini dimana akurasi dan waktu menjadi hal yang sangat penting, maka kebutuhan akan kemampuan robot semakin meningkat dimana robot dituntut untuk mampu melakukan tugas-tugas yang rumit dan pergerakan robot yang lebih luwes. Dengan adanya kebutuhan tersebut dampaknya adalah penelitian tentang robot dengan 6 derajat kebebasan mulai berkembang [43-45].

Oleh karena itu maka penelitian ini dimaksudkan untuk mengembangkan metode analitis untuk menghitung kinematika terbalik robot dengan 6 derajat kebebasan. Metode analitis yang akan dikembangkan diharapkan dapat menjawab kelemahan metode yang ada saat ini sebagaimana yang sudah dijelaskan sebelumnya.

## 2.2 Peta Jalan Penelitian

Peneliti utama dalam penelitian ini telah mengembangkan berbagai metode analitis untuk mendukung permesinan virtual. Penelitian terdahulu dimaksudkan untuk menghitung parameter permesinan lima sumbu. Metode analitis yang dikembangkan dimaksudkan untuk menentukan parameter permesinan yang optimal berdasarkan perhitungan geometri tatal (*chip*) dan gaya pemotongan. Metode tersebut diberi nama *Analytical Boundary Simulation* (ABS). Metode ini telah berhasil digunakan untuk menentukan geometri tatal pada mesin milling 5 sumbu (*five-axis milling*). Beberapa artikel telah dipublikasikan pada berbagai Seminar Nasional, Seminar Internasional maupun Jurnal Internasional [46-52]. Daftar publikasi lengkap dapat dilihat pada biodata penulis di lampiran.



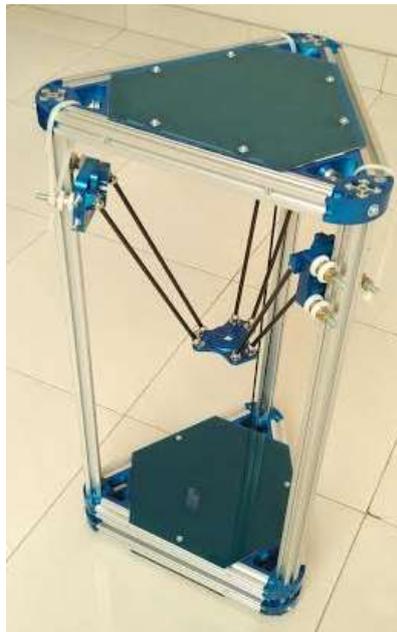
Gambar 2.1 Peta jalan penelitian

Penelitian yang saat ini sedang berlangsung adalah pengembangan metode analitis untuk menentukan tinggi scallop hasil dari permesinan milling 5 sumbu. Dari hasil penelitian ini telah

dihasilkan dua artikel dengan status diterima (*accepted*), yaitu pada 2016 International Symposium on Advances in Materials (IAMS 2016) dan International Conference on Engineering Innovation 2016 (ICEI 2016). Kedua artikel tersebut akan dipublikasikan pada jurnal internasional Key Engineering Materials yang terindeks Scopus..

Sejalan dengan penelitian sebelumnya serta peneltian yang sedang berjalan saat ini, maka pada proposal penelitian ini akan dikembangkan metode analitis untuk menentukan kinematika terbalik dari gerakan dan posisi robot. Dalam penelitian ini robot yang dikembangkan adalah tipe robot paralel dengan 6 derajat kebebasan. Gambar 1 menunjukkan peta jalan penelitian yang sudah dilaksanakan, sedang dilaksanakan, serta yang diusulkan untuk dilaksanakan.

Penelitian pendahuluan yang terkait robot paralel telah dilakukan. Robot yang dikembangkan adalah robot delta dengan 3 derajat kebebasan sebagaimana yang terlihat pada Gambar 2.2. Kinematika terbalik untuk robot tersebut telah disusun dengan menggunakan metode analitis. Namun karena robot ini hanya mampu bergerak translasi pada sumbu Caetesian, algoritma kinematika terbalik yang dibutuhkan sangat sederhana.



Gambar 2.2 Penelitian pendahuluan robot delta 3 derajat kebebasan

## BAB III

### TUJUAN DAN MANFAAT

#### 3.1 Tujuan

Perkembangan teknologi robot telah memberi dampak yang signifikan terhadap kondisi ekonomi dan sosial. Teknologi robot dikenal dapat menghemat biaya, meningkatkan kualitas produk, dapat melakukan pekerjaan dalam kondisi bahaya bagi manusia, serta dapat meminimalisir sumber daya dan limbah. Oleh karena itu maka penelitian di bidang robotika berkembang sangat pesat dalam 15 tahun terakhir.

Dengan perkembangan industri saat ini, robot dituntut agar dapat bergerak luwes dengan tingkat fleksibilitas yang tinggi. Dengan demikian robot diharapkan tidak hanya dapat bergerak translasional pada sumbu cartesian, tetapi juga mampu bergerak rotasional pada tiap sumbu. Oleh karena itu pengembangan robot dengan 6 derajat kebebasan (3 gerakan translasional dan 3 gerakan rotasional) telah menjadi sebuah kebutuhan untuk mendukung keperluan berbagai industri di masa depan. Dengan memiliki 6 derajat kebebasan maka robot mampu bergerak ke berbagai arah. Hanya saja 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.

Oleh karena itu maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan algoritma kinematika terbalik robot dengan 6 derajat kebebasan. Algoritma kinematika dikembangkan dengan menggunakan metode analitis yang nantinya disebut dengan *Analytical Invers Kinematics Algorithm* (AIKA). Sejalan dengan pengembangan kinematika robot, dalam penelitian ini juga akan dirancang dan dibangun robot dengan 6 derajat kebebasan. Robot ini bisa diaplikasikan sebagai *pick and place robot* untuk benda-benda dengan berbagai bentuk geometri termasuk benda dengan geometri yang kompleks.

#### 3.2 Manfaat

Adapun manfaat dan keutamaan metode *Analytical Invers Kinematics Algorithm* (AIKA) jika dibanding dengan metode lainnya, baik yang berbasis numerik maupun statistik, adalah:

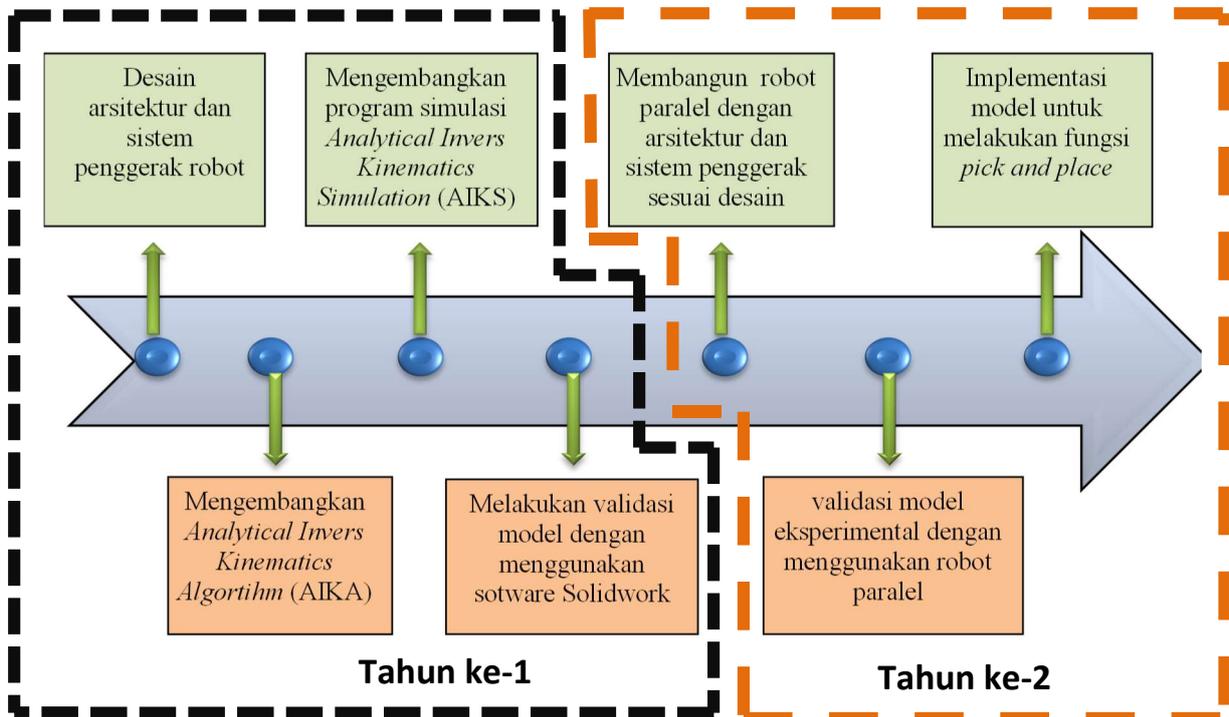
1. Waktu komputasi yang singkat karena metode ini berbasis analitis. Gupta et al. [13] menyebutkan bahwa metode analitis jauh lebih cepat dan lebih akurat dibandingkan metode numerik.
2. Metode ini digunakan untuk menghitung orientasi dan posisi efektor ujung robot maupun sambungan dan batang secara presisi dan akurat untuk robot dengan 6 derajat kebebasan.
3. Dengan 6 derajat kebebasan maka gerakan gripper dapat lebih luwes dan fleksibel sehingga posisi gripper dapat menyesuaikan dengan bentuk obyek yang akan diambil. Kondisi sebaliknya terjadi jika robot hanya memiliki 3 atau 4 derajat kebebasan dimana posisi obyek harus diatur agar gripper dapat menjangkau dan memegang obyek dengan baik.

## BAB IV

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Tahapan Penelitian

Bagan alir tahapan pengerjaan penelitian ini untuk tahun ke-1 dan tahun ke-2 disajikan melalui diagram *fishbone* pada Gambar 3.1. Dari 7 tahapan sebagaimana yang terlihat pada Gambar 3 dapat dibagi menjadi 4 tahapan utama. Rincian dari masing-masing tahapan utama dijelaskan pada subbab selanjutnya.

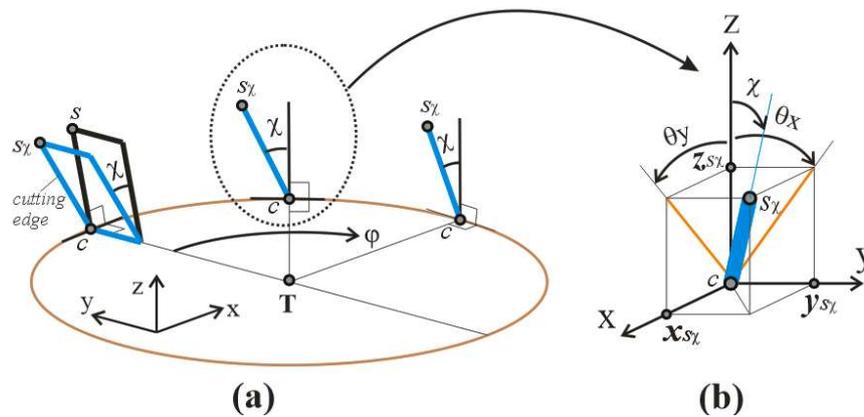


Gambar 3.1 : Diagram *fishbone* tahapan penelitian

##### 3.1.1. Pengembangan Algoritma Kinematika Terbalik

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengembangkan model matematika untuk menentukan kinematika terbalik dari robot paralel 6 derajat kebebasan. Dengan 6 derajat kebebasan artinya robot dapat bergerak translasi dan rotasi pada ketiga sumbu Cartesian ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ). Kinematika terbalik merupakan kebalikan dari kinematika maju. Pada kinematika terbalik, titik tujuan dan orientasi efektor ujung atau *gripper* telah ditentukan terlebih dahulu. Selanjutnya adalah menentukan sudut rotasi dan pergerakan setiap batang dan sambungan. Yang menjadi tantangan utama dalam menghitung kinematika terbalik robot paralel 6 derajat kebebasan adalah: menentukan sudut rotasi *gripper* relatif terhadap sumbu Cartesian. Dengan 6 derajat

kebebasan artinya *gripper* dapat bergerak ke berbagai arah sehingga perhitungan kinematikanya menjadi lebih rumit. Untuk menghitung orientasi gripper maka metode analitis yang digunakan untuk menentukan orientasi pahat potong akibat dari adanya sudut helikal sebagaimana yang dijelaskan Kiswanto et al. [52] akan diimplementasikan dalam penelitian ini. Jika pada penelitian terdahulu algoritma digunakan untuk menentukan orientasi pahat potong, maka pada penelitian ini algoritma akan dikembangkan untuk menentukan orientasi *gripper*. Sudut rotasi utama yang perlu ditentukan adalah sudut rotasi terhadap sumbu  $Y(\theta_y)$  dan sudut rotasi terhadap sumbu  $X(\theta_x)$  seperti yang terlihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2: Sudut orientasi gripper pada sumbu cartesian [52]

### 3.1.2. Pengembangan Program Simulasi

Model matematika yang dikembangkan akan diimplementasikan ke dalam simulasi komputer yang akan dikembangkan menggunakan Software Matlab. Informasi terkait posisi dan orientasi gripper yang diinginkan dijadikan input dalam perhitungan menggunakan program simulasi. Dengan program simulasi ini maka dapat dihitung perpindahan titik koordinat seluruh batang dan sambungan agar gripper dapat berada pada posisi yang diinginkan. Sehingga pada akhirnya besar pergerakan aktuator agar sambungan dan batang berada pada koordinat yang diinginkan dapat dihitung.

### 3.1.3. Pengembangan konstruksi robot paralel 6 derajat kebebasan

Selain mengembangkan algoritma kinematika terbalik, konstruksi robot paralel 6 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.

### 3.1.4. Validasi Model

Untuk membuktikan bahwa hasil perhitungan yang diperoleh dari program simulasi akurat, maka model yang dikembangkan perlu divalidasi. Ada dua model validasi yang dilakukan, pertama adalah dengan menggunakan software Solidwork, dan yang kedua adalah dengan melakukan uji eksperimen menggunakan robot paralel 6 derajat kebebasan yang juga akan dibangun dalam penelitian ini.

Selain pengujian metode *Analytical Invers Kinematics Algorithm* , pengujian juga dilakukan terhadap robot paralel yang dibangun. Ada beberapa pengujian yang akan dilakukan, diantaranya adalah:

1. Pengujian kemampuan robot dalam mengikuti lintasan (*trajectory*) yang ditentukan. Pengujian akan dilakukan dengan cara meletakkan pensil atau pena pada gripper robot sehingga lintasan yang dibentuk oleh robot dapat dilihat dan dibandingkan.
2. 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. Pengujian ini juga untuk melihat kemampuan robot dalam ketepatan meletakkan posisi obyek sesuai perintah.

### 3.2. Indikator Capaian

Berdasarkan tujuan dan keutamaan dari penelitian ini, luaran dan indikator yang digunakan untuk mengukur hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Metode analisis berupa algoritma matematika untuk menghitung kinematika terbalik robot paralel dengan 6 derajat kebebasan. Metode ini disebut *Analytical Invers Kinematics Algorithm* (AIKA)
2. Program simulasi mampu menghitung kinematika terbalik berdasarkan metode analisis yang dikembangkan. Program ini dapat menampilkan besar pergerakan setiap aktuator agar *gripper* dapat menjangkau obyek yang dituju atau melaksanakan tugas yang diinginkan. Program simulasi yang dikembangkan disebut *Analytical Invers Kinematics Simulation* (AIKS)
3. Konstruksi robot paralel 6 derajat kebebasan terbangun dan dapat berfungsi dalam menjalankan tugas memindahkan obyek baik obyek dengan geometri sederhana hingga yang rumit.

## BAB V

### HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI

#### 5.1 Analytical Inverse Kinematics

Arsitektur robot paralel dengan 5 derajat kebebasan telah dirancang sebagaimana yang bisa dilihat pada Gambar 5.1. Konstruksi robot terdiri dari landasan tetap (*fixed platform*) yang terletak di dasar robot, dan sebuah landasan bergerak (*moving platform*) yang terletak efektor ujung. Landasan bergerak digerakan oleh tiga buah motor stepper yang dipasang pada titik  $a_1, a_2$ , and  $a_3$ . Motor stepper mengubah posisi landasan bergerak dengan menggerakkan titik  $a_1, a_2$ , and  $a_3$  ke atas dan ke bawah pada sumbu-z. Dua buah aktuator yang lain terletak dibawah landasan bergerak. Kedua aktuator tersebut memutar efektor ujung pada sumbu-z dan sumbu-y.

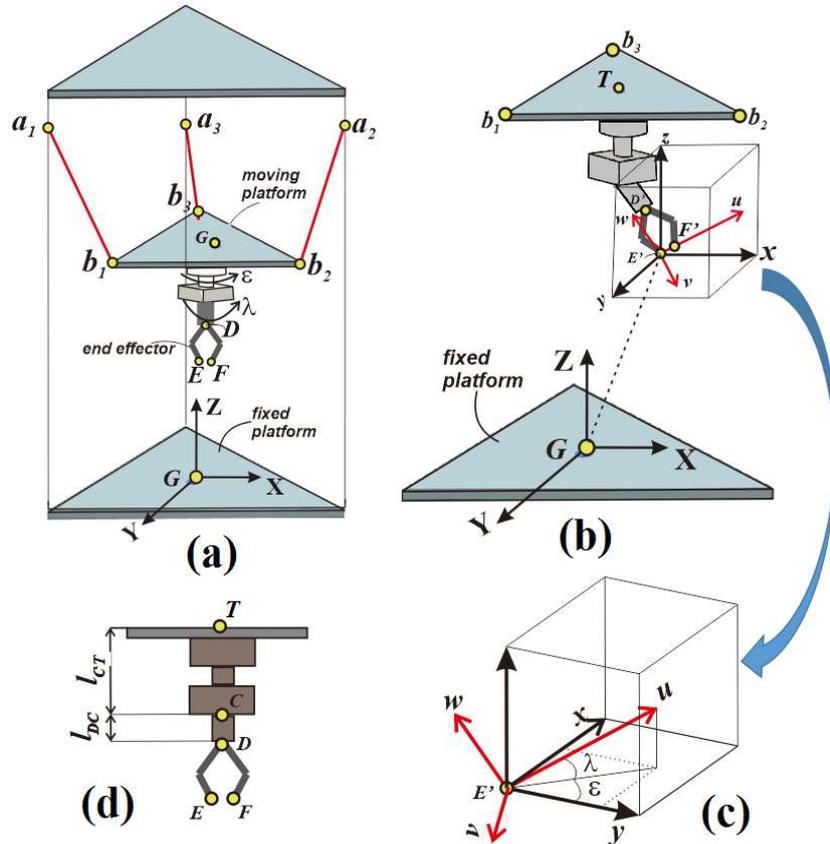
Untuk kebutuhan analisa kinematika pergerakan efektor ujung, maka operator sistem transformasi titik kordinat yang tepat dibutuhkan. Oleh karena itu maka tiga buah sistem koordinat, sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 5.1a dan Gambar 5.1b, digunakan untuk menggambarkan posisi dan orientasi efektor ujung. Koordinat sistem yang dibangun terdiri dari:

1. Sistem koordinat global (SKG), yang dirancang terletak pada landasan tetap seperti terlihat pada Gambar 1a.
2. Sistem koordinat lokal (SKL) yang merupakan posisi awal dari efektor ujung yang terletak pada titik  $E$  sebagaimana terlihat pada Gambar 1b.
3. Sistem koordinat bergerak (SKB) yang juga terletak pada titik  $E$  sebagaimana yang terlihat pada Gambar 1b.

SKG adalah sistem koordinat tetap yang diwakili dengan vektor  $X, Y, Z$ , sementara LCS and MCS dilambangkan dengan  $x, y, z$  and  $u, v, y$ .

Sumbu-z dari SKG searah normal dengan landasan tetap dan sumbu-y sejajar dengan  $b_1, b_2$  sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 1a. Formula kinematik dikembangkan untuk menentukan perpindahan dari titik  $a_1(x_{a_1}, y_{a_1}, z_{a_1}); a_2(x_{a_2}, y_{a_2}, z_{a_2}); a_3(x_{a_3}, y_{a_3}, z_{a_3})$ , sudut putaran pada sumbu-z ( $\epsilon$ ), and sudut putaran terhadap sumbu-y ( $\lambda$ ). Lokasi dan orientasi efektor ujung ditetntukan menggunakan koordinate dari tiga titik yang telah ditentukan sebelumnya, yaitu: point  $D' (x_{D'}, y_{D'}, z_{D'})$ ,  $E' (x_{E'}, y_{E'}, z_{E'})$  and  $F' (x_{F'}, y_{F'}, z_{F'})$ . Pada posisi awal, titik  $E$

dan titik  $F$  sejajar dengan  $x$ -axis. Berdasarkan dari ketiga titik tersebut, koordinat titik-titik lainnya dapat ditentukan dan akhirnya jumlah putaran setiap motor yang dibutuhkan dapat dihitung.



Gambar 5.1 a) Arsitektur robot paralel, b) koordinat sistem, c) sudut rotasi efektor ujung, d) detail efektor ujung

Orientasi efektor ujung relatif terhadap SKL ditunjukkan pada Gambar 5.1c dan sudut orientasinya dihitung dengan menggunakan orientasi relatif terhadap sumbu- $x$  ( $\epsilon$ ) dan sumbu- $z$  ( $\lambda$ ).

$$\epsilon = \sin^{-1} \left( \frac{y_{F'} - y_{E'}}{x_{F'} - x_{E'}} \right) \quad 1$$

$$\lambda = \sin^{-1} \left( \frac{z_{F'} - z_{E'}}{\sqrt{(x_{F'} - x_{E'})^2 + (y_{F'} - y_{E'})^2}} \right) \quad 2$$

Sudut putar  $\epsilon$  dan  $\lambda$  digunakan untuk menggerakkan Motor 1 dan Motor 2. Operator  $[T]$  digunakan untuk mentransformasi sistem koordinat dari SKB ke SKL, termasuk putaran

efektor ujung pada sumbu-y dan sumbu-z. Adapun perhitungannya menggunakan rumus sebagai berikut:

$$[T] = Rot(Z, \varepsilon). Rot(Y, \lambda) \quad 3$$

$$[T] = \begin{bmatrix} \cos \varepsilon & -\sin \varepsilon & 0 \\ \sin \varepsilon & \cos \varepsilon & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \lambda & 0 & \sin \lambda \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \lambda & 0 & \cos \lambda \end{bmatrix} \quad 4$$

Dengan mengacu kepada Gambar 5.1c, maka titik  $C'$  yang berlokasi di titik putar pada sumbu-x dapat ditentukan sebagai berikut,

$$C'(x_{C'}; y_{C'}; z_{C'}) = [T] E' x D (x_D; y_D; z_D) + (0; 0; l_{CD}) \quad 5$$

Dimana  $l_{CD}$  adalah jarak antara titik  $C$  dan titik  $D$  sebagaimana terlihat pada Gambar 5.1d.

Dengan mengacu kepada Gambar 5.1a, koordinat titik  $G'(x_{G'}; y_{G'}; z_{G'})$  yang terletak pada pusat landasan bergerak dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut,

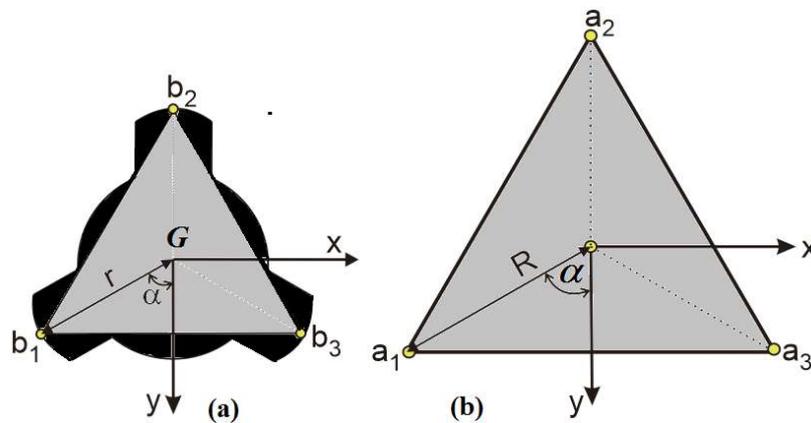
$$G'(x_{G'}; y_{G'}; z_{G'}) = C'(x_{C'}; y_{C'}; z_{C'}) + (0; 0; +l_{DG}) \quad 6$$

dimana  $l_{DG}$  adalah jarak antara titik  $D$  dan titik  $G$  sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 5.1d. Selanjutnya semua titik penghubung pada landasan bergerak dapat ditentukan sebagai berikut,

$$b'_1(x_{b'_1}; y_{b'_1}; z_{b'_1}) = G'(x_{G'}; y_{G'}; z_{G'}) + (-r. \sin \alpha; r. \cos \alpha; 0) \quad 7$$

$$b'_2(x_{b'_2}; y_{b'_2}; z_{b'_2}) = G'(x_{G'}; y_{G'}; z_{G'}) + (0; -r; 0) \quad 8$$

$$b'_3(x_{b'_3}; y_{b'_3}; z_{b'_3}) = G'(x_{G'}; y_{G'}; z_{G'}) + (r. \sin \alpha; r. \cos \alpha; 0) \quad 9$$



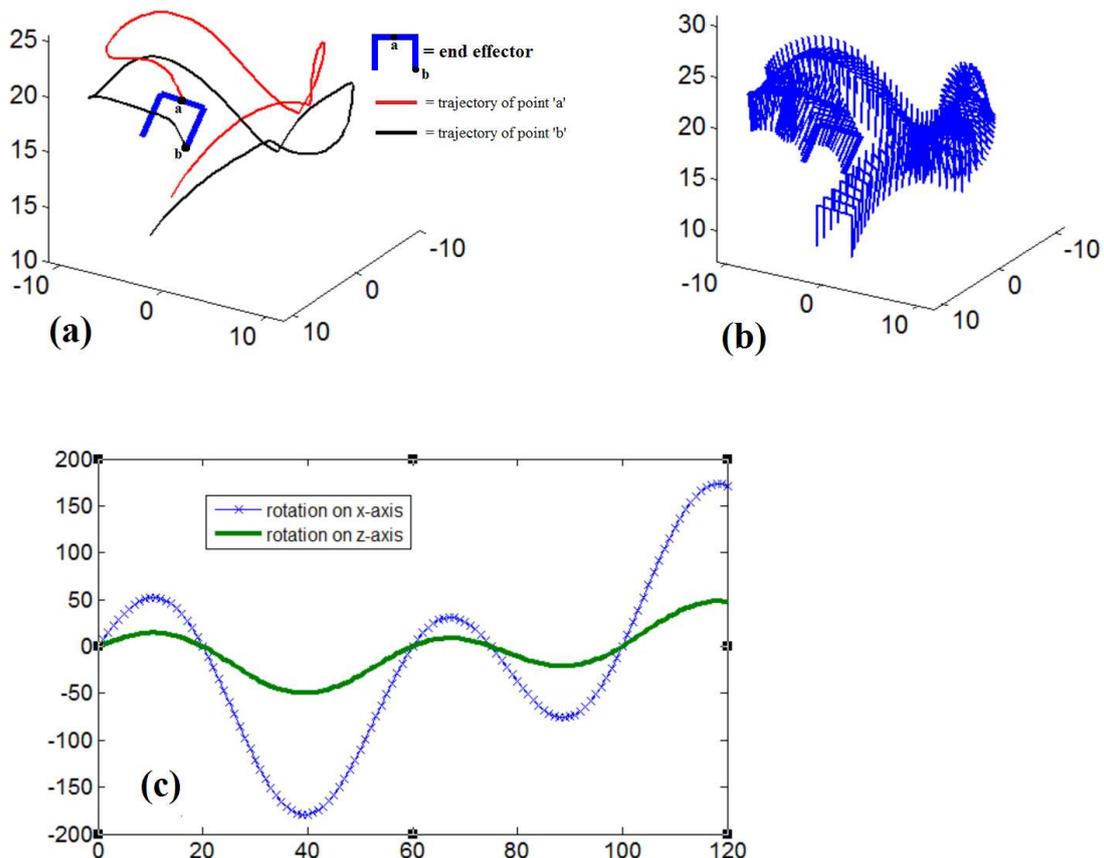
Gambar 5.2 landasan robot, a) landasan bergerak, dan b) landasan bagian atas

dimana  $r$  jarak antara titik penghubung ( $b'_1, b'_2, b'_3$ ) ke titik  $G$ . Dalam hal ini, segitiga yang dirancang untuk landasan bergerak adalah sebuah segitiga sama sisi sebagaimana yang terlihat pada Gambar 5.2a. Titik  $b'_1, b'_2, b'_3$  terletak pada landasan bergerak sehingga dapat digerakan secara bebas pada sumbu-x, sumbu-y, dan sumbu-z. Namun untuk titik  $a'_1, a'_2, a'_3$ , semua titik tersebut dipasang pada tiang sebagaimana terlihat pada Gambar 5.1a, sehingga titik-titik tersebut hanya dapat bergerak pada sumbu-Z. Dengan demikian, koordinat  $a'_1, a'_2, a'_3$  in sumbu-X dan sumbu-Y ditentukan sebagai berikut,

$$a'_1(x_{a'_1}; y_{a'_1}) = b'_1(x_{b'_1}; y_{b'_1}) + ((R - r). \sin \alpha; (R - r). \cos \alpha) \quad 10$$

$$a'_2(x_{a'_2}; y_{a'_2}) = b'_2(x_{b'_2}; y_{b'_2}) + (0; (r - R)) \quad 11$$

$$a'_3(x_{a'_3}; y_{a'_3}) = b'_3(x_{b'_3}; y_{b'_3}) + ((R - r). \sin \alpha; (R - r). \cos \alpha) \quad 12$$



Gambar 5.3 a) lintasan efektor ujung, b) perubahan posisi dan orientasi efektor ujung, c) sudut putar Motor

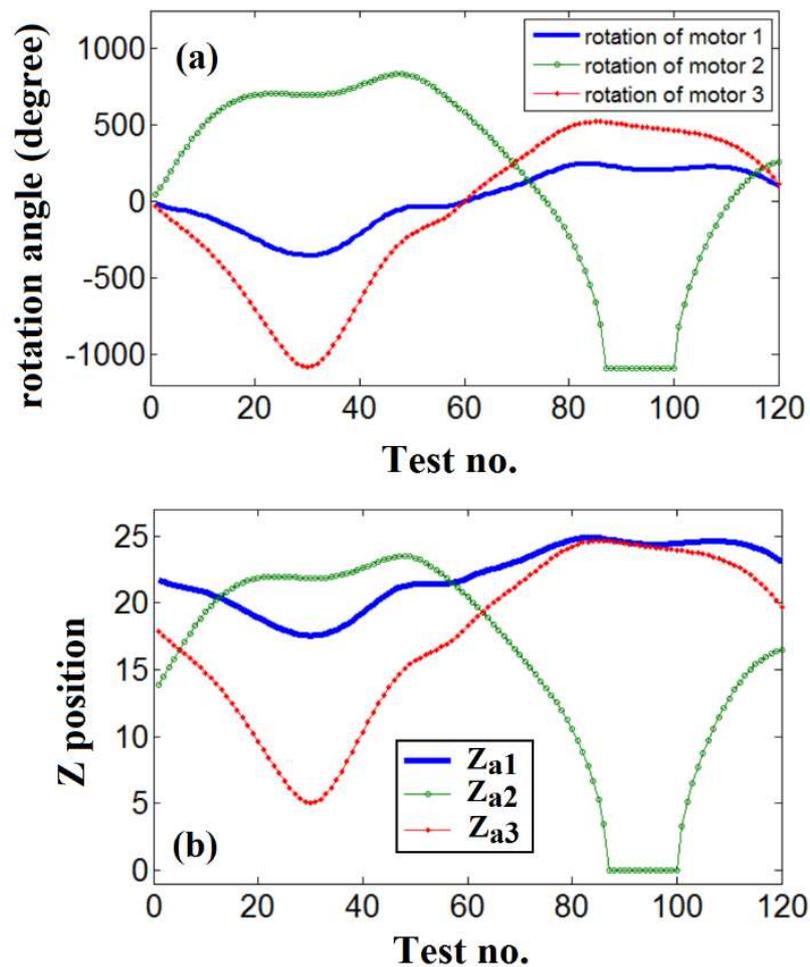
Akhirnya sumbu-Z  $a'_1, a'_2, a'_3$  dihitung sebagai berikut,

$$z_{a'n} = \pm \sqrt{L^2 - (x_{b'n} - x_{a'n})^2 - (y_{b'n} - y_{a'n})^2} \quad 13$$

dimana  $n$  adalah 1,2,3 dan  $L$  adalah panjang batang yang menghubungkan titik  $a$  dan titik  $b$ . Perpindahan titik  $a'_1, a'_2, a'_3$  digerakan oleh Motor3, Motor4, dan Motor5. Jumlah putaran motor dibutuhkan untuk mencapai posisi yang diharapkan ( $\vartheta$ ) dihitung sebagai berikut,

$$\vartheta_n = \frac{z_{a'n} - z_{a_n}}{2 \cdot \pi \cdot r_s} \times 360 \quad 14$$

dimana  $r_s$  adalah radius roda luncur untuk memindahkan titik  $a'_1, a'_2, a'_3$  ke atas dan ke bawah.

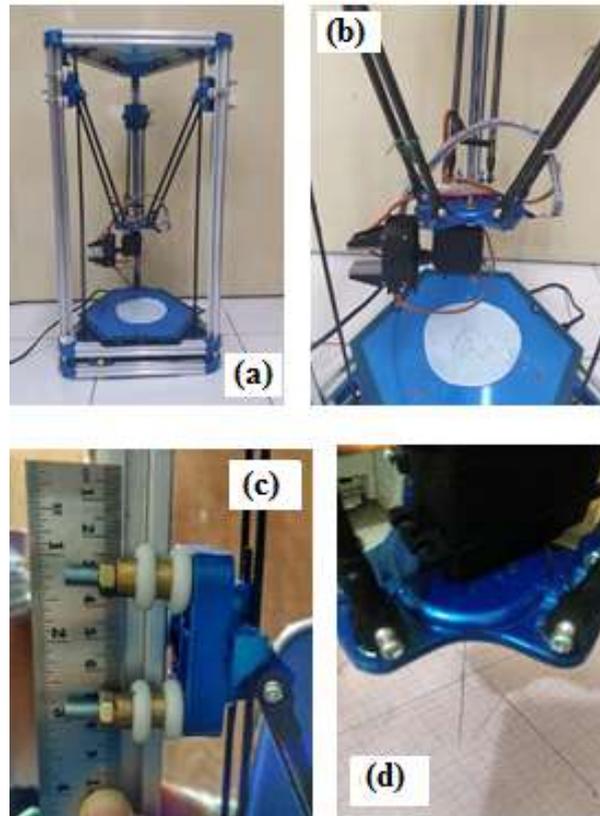


Gambar 5.4 a) sudut putaran Motor 3, Motor 4, Motor 5, dan b) posisi landasan atas pada sumbu-z

## 5.2 Pengujian dan Diskusi

Semua formulasi yang diturunkan pada subbab sebelumnya telah digunakan untuk mengembangkan program simulasi dengan menggunakan Matlab. Program simulasi yang

dikembangkan diberi nama *Analytical Inverse Kinematics Simulation* (AIKS). Pada subbab ini, metode yang diusulkan diuji untuk menghitung semua variabel yang dibutuhkan untuk menggerakkan efektor ujung agar mencapai posisi dan orientasi yang diinginkan. Terdapat lima motor yang digunakan untuk menggerakkan efektor ujung. Oleh karena itu maka terdapat lima variabel yang butuh untuk ditentukan, yaitu:  $\varepsilon, \lambda, \vartheta_1, \vartheta_2, \vartheta_3$ . Akhirnya, akurasi metode yang diusulkan diverifikasi secara eksperimen dengan menggunakan dua metode verifikasi, simulasi dan eksperimental.

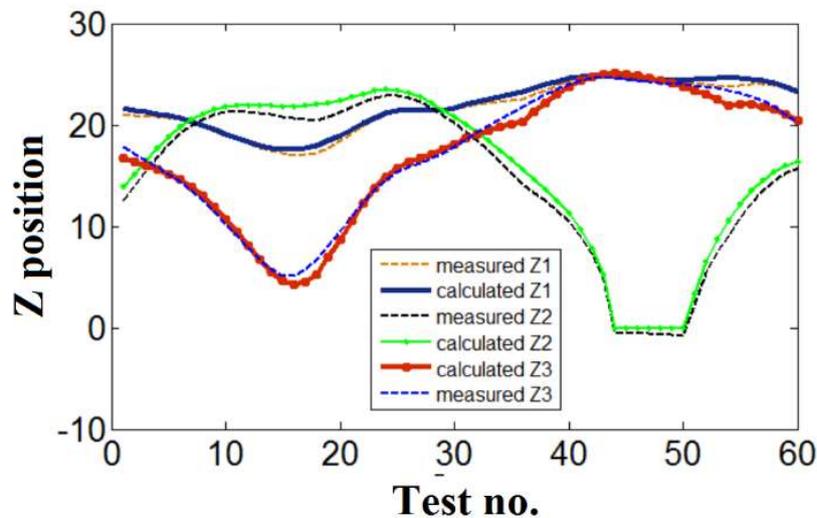


Gambar 5.5 a) konstruksi paralel robot, b) efektor ujung, c) metode untuk memverifikasi posisi landasan bergerak pada sumbu-z, d) metode verifikasi posisi efektor ujung pada sumbu-x dan sumbu-y

### 5.2.1 Perhitungan Putaran Motor

Untuk menjamin bahwa metode yang dikembangkan dapat diimplementasikan, maka sebuah pengujian telah dilakukan. Pada pengujian ini efektor ujung diatur agar mengikuti sebuah lintasan yang rumit sebagaimana yang terlihat pada Gambar 5.3a dan Gambar 5.3b. Pada Gambar 3a menunjukkan lintasan dua buah titik yang terletak pada efektor ujung, titik 'a' dan titik 'b'. Sementara itu Gambar 5.3b menampilkan orientasi dan posisi efektor ujung selama mengikuti lintasan. Disebabkan lintasan yang rumit, orientasi dan posisi efektor ujung

berubah secara terus menerus. Putaran Motor 1 terhadap sumbu-z ( $\varepsilon$ ) dan putaran Motor 2 terhadap sumbu-y ( $\lambda$ ) ditampilkan pada Gambar 5.3b. Kedua variabel tersebut diberikan sebagai bagian dari rancangan lintasan dan orientasi efektor ujung. Dengan menggunakan program simulasi yang dikembangkan, sudut putar Motor 3 ( $\vartheta_1$ ), Motor 4 ( $\vartheta_2$ ), dan Motor 5 ( $\vartheta_3$ ), dapat dihitung dan hasilnya ditampilkan pada Gambar 5.4a. Sudut putar dihitung berdasarkan posisi batang atas pada sumbu-z dari titik  $a'_1, a'_2, a'_3$ . Posisi batang atas selama pergerakan robot ditampilkan pada Gambar 5.4b. Dari grafik ini dapat dilihat bahwa efektor ujung bergerak sangat dinamis.



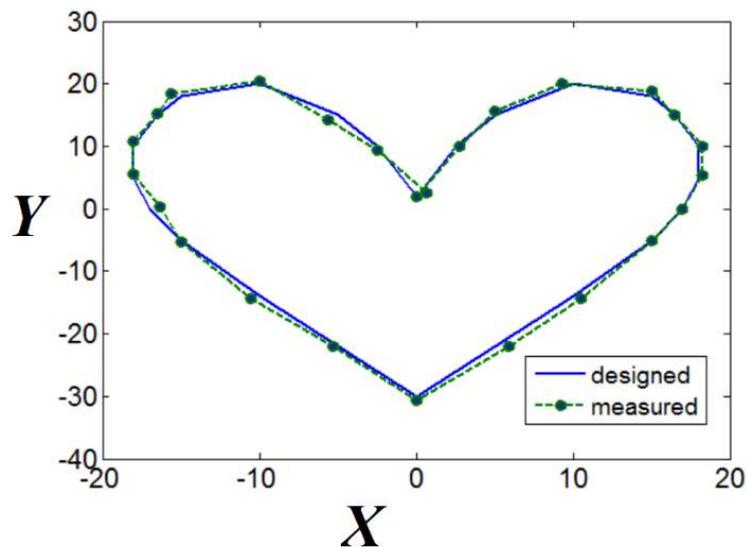
Gambar 5.6 model verification using experimental test

### 5.2.2 Verifikasi Model

Walaupun pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa metode yang dikembangkan dapat diimplementasikan untuk menghitung kinematika terbalik dari robot paralel 5 derajat kebebasan, namun akurasi metode masih perlu untuk diverifikasi. Pada penelitian ini verifikasi dilakukan sebanyak dua kali. Pertama, akurasi diuji dengan cara membandingkan koordinat batang bagian atas pada sumbu-z dari titik  $a'_1, a'_2, a'_3$ , yang diperoleh dengan menggunakan AIKS, yang diukur menggunakan robot paralel dan software komputer CAD Siemens-NX. Dalam penelitian ini, konstruksi robot paralel juga dibangun sebagaimana terlihat pada Gambar 5.5a, dan konstruksi efektor ujung secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 5.5b. Koordinat titik  $a'_1, a'_2, a'_3$  pada robot paralel diukur menggunakan metode sebagaimana yang terlihat pada Gambar 5.5c. Pada pengujian ini, terdapat 60 titik yang diambil selama robot bergerak mengikuti lintasan yang dirancang. Lintasan robot yang digunakan untuk menguji akurasi adalah lintasan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.3b. Hasilnya verifikasi ditampilkan

pada Gambar 5. 6. Dari gambar ini dapat dilihat bahwa semua titik yang diukur menggunakan robot parallel hampir berhimpit dengan lintasan yang dirancang menggunakan program simulasi. Pengujian ini membuktikan bahwa metode yang diusulkan akurat.

Pengujian kedua dilakukan dengan membandingkan koordinat efektor ujung dalam mengikuti lintasan yang dirancang sebagaimana terlihat pada Gambar 5.7. Pada pengujian ini akurasi robot dalam mengikuti lintasan pada sumbu-x dan sumbu-y diuji. Metode untuk mengukur koordinat efektor ujung ditampilkan pada Gambar 5.6c. Lintasan yang dihasilkan oleh robot dari hasil pengukuran dibandingkan dengan lintasan yang dirancang sebagaimana yang dapat dilihat pada Gambar 7. Sekali lagi hasilnya menunjukkan bahwa selisih keduanya relatif kecil. Dari serangkaian pengujian tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa hasilnya menunjukkan tidak hanya metode yang diusulkan akurat, namun konstruksi robot yang dibangun juga sangat presisi.



Gambar 5.7 hasil verifikasi keakuratan robot dalam mengikuti lintasan

### 5.3 Luaran Yang Dicapai

Dari penelitian ini telah dihasilkan beberapa artikel yang akan disajikan pada Seminar Internasional dan diterbitkan pada jurnal internasional. Adapun artikel tersebut adalah:

#### 1. Analytical Based Inverse Kinematics Method for 5-axis Delta Robot

Accepted for Presentation by,

**4th International Conference on Mechatronics, Automation and Manufacturing (ICMAM 2017), 13-15 Oktober, Phuket, Thailand**

Accepted for publication by,

**International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing (IJMMM)**

**2. Implementation of Analytical Inverse Kinematics Simulation Method for 5-DOF Parallel Robot.**

Accepted for Presentation by,

**3th International Conference on Mechanical Engineering (ICOME 2017), 5-6 Oktober 2017, Surabaya, Indonesia.**

Accepted for publication by,

**ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. (Scopus – Q3)**

## BAB IV

### RENCANA TAHAP BERIKUTNYA

Penelitian ini direncanakan akan dilaksanakan dalam dua tahun. Di tahun ke-1 fokus pada pengembangan model matematika dan mengembangkan program simulasi. Untuk tahun ke-2 adalah membangun robot dan uji ekperimental modal. Rincian jadwal kegiatan dapat dilihat pada Gambar 5.

Kegiatan	Tahun ke-1											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Studi Literatur	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Membuat desain arsitektur dan penggerak robot paralel	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Mengembangkan model matematika kinematika terbalik ( <i>Analytical Invers Kinematics Algoritim</i> )	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Membangun program simulasi kinematika terbalik ( <i>Analytical Invers Kinematics Simulation</i> )	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Pengujian model dengan Solidwork	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Persiapan paper untuk seminar internasional	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Laporan perkembangan dan laporan akhir tahun ke-1	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Kegiatan	Tahun ke-2											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Studi Literatur	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Membangun konstruksi robot paralel 6 derajat kebebasan	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Penyempurnaan model kinematika terbalik (AIKA)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Validasi Model ekperimental dengan robot paralel	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Implementasi dan uji robot	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Persiapan paper untuk jurnal internasional	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Laporan perkembangan dan laporan akhir tahun ke-2	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Gambar 5 Jadwal kegiatan

## **BAB VII**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

In this study, an analytical method to calculate the inverse kinematics of parallel robot has been developed. The method was derived for a robot with 5-dof. All the equation derived were used to develop a simulation program, which is called Analytical Inverse Kinematics Simulation (AIKS) method. Two tests to verify the ability of the proposed method in calculating the rotation of each motor to achieved the desired positionR44 was performed. The results showed that the method could generate the data well. The verification result prove that both of the proposed method and the physical 5-dof parallel robot were accurate. Moreover, since the proposed method was developed based on analytical calculation, so the main advantage of AIKS compared to numerical based methodology is computationally efficient.

## DAFTAR PUSTAKA

- 1 Tiwari, Ritu, ed. *Intelligent Planning for Mobile Robotics: Algorithmic Approaches: Algorithmic Approaches*. IGI Global, 2012.
- 2 Hunek, W. and Latawiec, K.J. 2011. A study on new right/left inverses of nonsquare polynomial matrices. *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science* 21(2): 331–348.
- 3 Dułęba, I. and Jagodzinski, J. 2011. Motion representations for the Lafferriere–Sussmann algorithm for nilpotent control systems. *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science* 21(3): 525–534
- 4 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.
- 5 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..
- 6 Wolovich, W. A. and Elliott, H. 1984. A computational technique for inverse kinematics. *The 23rd IEEE Conference on Decision and Control*, 23:1359–1363.
- 7 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.
- 8 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,.
- 9 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.
- 10 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.
- 11 Courty, N and Arnaud, E. 2008. Inverse kinematics using sequential monte carlo methods. In *Proceedings of the V Conference on Articulated Motion and Deformable Objects, AMDO'08*. 2008, Mallorca, Spain, volume 5098, pages 1–10.

- 12 Hecker, C., Raabe, B., Enslow, R.W., Dewese, J., Maynard, J. and Prooijen, K.V. 2008. Real-time motion retargeting to highly varied user-created morphologies. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 27(3):1–11.
- 13 Gupta S.K., Saini S.K., Spranklin B.W., Yao Z. 2005. Geometric algorithms for computing cutter engagement functions in 2.5D milling operations. *Computer Aided Design* 37(14): 1469-1480
- 14 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..
- 15 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.
- 16 Hu, B., 2014. Formulation of unified Jacobian for serial-parallel manipulators. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 30(5), pp.460-467.
- 17 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.
- 18 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.
- 19 Llorens Bonilla, Baldin, and H. Harry Asada. 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, 2014.*
- 20 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.
- 21 Zuo, Lei, et al. "A hierarchical path planning approach based on A\* and least-squares policy iteration for mobile robots." *Neurocomputing* 170 (2015): 257-266.

- 22 Zuo, L., Guo, Q., Xu, X. and Fu, H., 2015. A hierarchical path planning approach based on A\* and least-squares policy iteration for mobile robots. *Neurocomputing*, 170, pp.257-266.
- 23 R. Fletcher. 1987. *Practical methods of optimization*; (2nd Ed.). Wiley-Interscience, New York, NY, USA.
- 24 Deshmukh, G. and Pecht, M., 1990. A modified Powell method for six-degrees-of-freedom platform kinematics. *Computers & structures*, 34(3), pp.485-491.
- 25 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.
- 26 Courty, N. and Arnaud, E., 2008. Inverse kinematics using sequential Monte Carlo methods. In *Articulated Motion and Deformable Objects* (pp. 1-10). Springer Berlin Heidelberg.
- 27 Wang, L.C.T. and Chen, C.C., 1991. A combined optimization method for solving the inverse kinematics problems of mechanical manipulators. *Robotics and Automation, IEEE Transactions on*, 7(4), pp.489-499.
- 28 Mukundan, R., 2009. A robust inverse kinematics algorithm for animating a joint chain. *International Journal of Computer Applications in Technology*, 34(4), pp.303-308.
- 29 Olsen, A.L. and Petersen, H.G., 2011. Inverse kinematics by numerical and analytical cyclic coordinate descent. *Robotica*, 29(4), pp.619-626.
- 30 Kenwright, B., 2012. Inverse kinematics—cyclic coordinate descent (CCD). *Journal of Graphics Tools*, 16(4), pp.177-217.
- 31 Unzueta, L., Peinado, M., Boulic, R. and Suescun, Á., 2008. Full-body performance animation with sequential inverse kinematics. *Graphical models*, 70(5), pp.87-104.
- 32 Boulic, R., Varona, J., Unzueta, L., Peinado, M., Suescun, A. and Perales, F., 2006. Evaluation of on-line analytic and numeric inverse kinematics approaches driven by partial vision input. *Virtual Reality*, 10(1), pp.48-61.
- 33 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.

- 34 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.
- 35 Simoni, R., Doria, C.M. and Martins, D., 2013. Symmetry and invariants of kinematic chains and parallel manipulators. *Robotica*, 31(01), pp.61-70.
- 36 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.
- 37 Di Gregorio, R., 2004. Kinematics of the translational 3-URC mechanism. *Journal of Mechanical Design*, 126(6), pp.1113-1117.
- 38 Tho, T.P. and Thinh, N.T., 2014. Analysis of Kinematics and Dynamics of 4-dof Delta Parallel Robot. In *Robot Intelligence Technology and Applications 2*(pp. 901-910). Springer International Publishing.
- 39 Pierrot, F. and Company, O., 1999. H4: a new family of 4-dof parallel robots. In *Advanced Intelligent Mechatronics, 1999. Proceedings. 1999 IEEE/ASME International Conference on* (pp. 508-513). IEEE.
- 40 Guo, S., Fang, Y. and Qu, H., 2012. Type synthesis of 4-DOF nonoverconstrained parallel mechanisms based on screw theory. *Robotica*, 30(01), pp.31-37.
- 41 Pisla, D., Gherman, B., Vaida, C. and Plitea, N., 2012. Kinematic modelling of a 5-DOF hybrid parallel robot for laparoscopic surgery. *Robotica*, 30(07), pp.1095-1107.
- 42 Plitea, N., Szilaghyi, A. and Pisla, D., 2015. Kinematic analysis of a new 5-DOF modular parallel robot for brachytherapy. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 31, pp.70-80.
- 43 Isaksson, M., Brogårdh, T., Watson, M., Nahavandi, S. and Crothers, P., 2012. The Octahedral Hexarot—A novel 6-DOF parallel manipulator. *Mechanism and machine theory*, 55, pp.91-102.
- 44 Coppola, G., Zhang, D. and Liu, K., 2014. A 6-DOF reconfigurable hybrid parallel manipulator. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 30(2), pp.99-106.
- 45 Legnani, G., Fassi, I., Giberti, H., Cinquemani, S. and Tosi, D., 2012. A new isotropic and decoupled 6-DoF parallel manipulator. *Mechanism and Machine Theory*, 58, pp.64-81.

- 46 Yusof, N.M., Zainal, A.M. and Hendriko, D.K., 2008. Hard turning of cold work tool steel using wiper ceramic tool. *Jurnal Mekanikal*, (25), pp.92-105.
- 47 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.
- 48 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.
- 49 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.
- 50 Hendriko, H., 2015. Mathematical Model For Chip Geometry Calculation In Five-Axis Milling. *Jurnal Teknologi*, 77(23).
- 51 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.
- 52 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 1 : BUKTI PUBLIKASI

## 1. ICMAM 2017

8/22/2017

Politeknik Caltex Riau Mail - ICMAM 2017 Acceptance Notification-AM0009

 Politeknik Caltex Riau

hendriko . <hendriko@pcr.ac.id>

---

### ICMAM 2017 Acceptance Notification-AM0009

3 messages

icmam <icmam@iacsitp.com>  
To: hendriko@pcr.ac.id

Thu, Aug 3, 2017 at 10:31 AM

## **Full Paper Acceptance Notification**

2017 4th International Conference on Mechatronics, Automation and Manufacturing  
(ICMAM 2017)  
Phuket, Thailand, October 13-15, 2017  
<http://www.icmam.org/>

Paper ID : AM0009

Paper Title : Analytical Based Inverse Kinematics Method for 5-axis Delta Robot

Dear Hendriko Hendriko, Nurkhamdi, Jajang Jaenudin, Imam M Muthahar,

We're pleased to inform you that your full paper above has passed the review of the conference technical committees and has been accepted for both publication and oral presentation at the conference 2017 4th International Conference on Mechatronics, Automation and Manufacturing (ICMAM 2017), Phuket, Thailand, October 13-15, 2017.

Your paper will be published in International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing (IJMMM), which will be indexed by EI (INSPEC, IET), Chemical Abstracts Services (CAS), Engineering & Technology Digital Library, ProQuest, Crossref, Ulrich's Periodicals Directory, etc.

#### Registration Instructions

Please follow the six steps below to guarantee your registration be completed on time.

1. **Revise your paper according to the review comments in the attachment carefully.**
2. **Prepare your final revised paper by following the template.**  
[http://www.ijmmm.org/IJMMM\\_template.doc](http://www.ijmmm.org/IJMMM_template.doc)
3. **Complete and Sign the Copyright Form.**  
<http://www.ijmmm.org/IJMMM.Copyright.doc>
4. **Download and complete the Registration Form.**  
[http://www.icmam.org/Regform\\_Author.doc](http://www.icmam.org/Regform_Author.doc)
5. **Finish the payment of Registration fee (The information can be found in the Registration form)**
6. **Send your Final Revised Paper, Signed Copyright Form, Filled Registration Form (Both .doc and .pdf format), Scanned Payment Proof to us at [icmam@iacsitp.com](mailto:icmam@iacsitp.com) by Registration Deadline (Before **September 10, 2017**)**

Note:

- If you pay by on-line Credit Card Payment, please fill your confirmation number in the registration form after paying.
- If you pay by bank transfer, please scan the payment slip as the payment proof for checking.

If you have any problem, please feel free to contact us via [icmam@iacsitp.com](mailto:icmam@iacsitp.com). For the most updated information on the conference, please check the conference website at <http://www.icmam.org/>.

As for the accommodation during the conference, we suggest you make early reservation with the conference venue or choose other hotels nearby.

Again, congratulations. We look forward to seeing you in Phuket, Thailand.

--

Warm Regards,

**Ms. Cherry Chan**

ICMAM 2017 Conference Secretary

**Email:** [icmam@iacsitp.com](mailto:icmam@iacsitp.com) | **Tel.:** +65-31563599 (Singapore); +86-28-86512185 (China)

**IJMMM Website:** <http://www.ijmmm.org/>; **ICMAM Website:** <http://www.icmam.org/>

---

#### 2 attachments

 **ICMAM 2017 Acceptance Notification-AM0009.pdf**  
319K

 **ICMAM 2017 Review Form-AM0009.pdf**  
137K

---

<https://mail.google.com/mail/u/0/?ui=2&ik=fa01b040c2&jsver=RKK5Ah87d4U.en.&view=pt&q=icmam%202017&qs=true&search=query&th=15da6...> 1/2

## 2. ICOME 2017

8/22/2017

Politeknik Caltex Riau Mail - ICOME 2017 notification for paper 14



hendriko . <hendriko@pcr.ac.id>

---

### ICOME 2017 notification for paper 14

4 messages

ICOME 2017 <icome2017@easychair.org>  
To: Hendriko Hendriko <hendriko@pcr.ac.id>

Wed, Aug 16, 2017 at 1:01 PM

Dear Hendriko,

On behalf of the ICOME 2017 Committee, and on the recommendation of the reviewers, we are pleased to inform you that your paper:  
Title: Development of Analytical Inverse Kinematics Simulation Method for 5-axis Parallel Robot  
Paper ID: 14

has been accepted for ORAL presentation at the forthcoming 3rd International Conference on Mechanical Engineering, to be held on October 5-6, 2017 in Surabaya, Indonesia.

Papers that are "accepted and presented" in ICOME 2017 will be published in one of the following journals:

- AIP Conference Proceedings (Indexing: SCOPUS, SJR Scimago)
- Journal of Applied Mechanics and Materials (Indexing: SJR Scimago)
- Journal of Engineering and Applied Science ARP (Indexing: SCOPUS, SJR Scimago)

Please prepare for your full paper by taking into consideration the reviewer comments. Use the template and comply strictly with the format and style of your preferred publications. Failure to do so may result in the delay of publication and/or rejection by the publisher.

Deadlines:

Early-registration: September 1, 2017

Camera-ready full paper: September 18, 2017

Late-registration: September 22, 2017

We thank you for submitting your paper and are looking forward to seeing you at the conference.

Sincerely yours,  
Chairman of ICOME 2017,

Suwarno, Ph.D.  
[icome@its.ac.id](mailto:icome@its.ac.id)

---