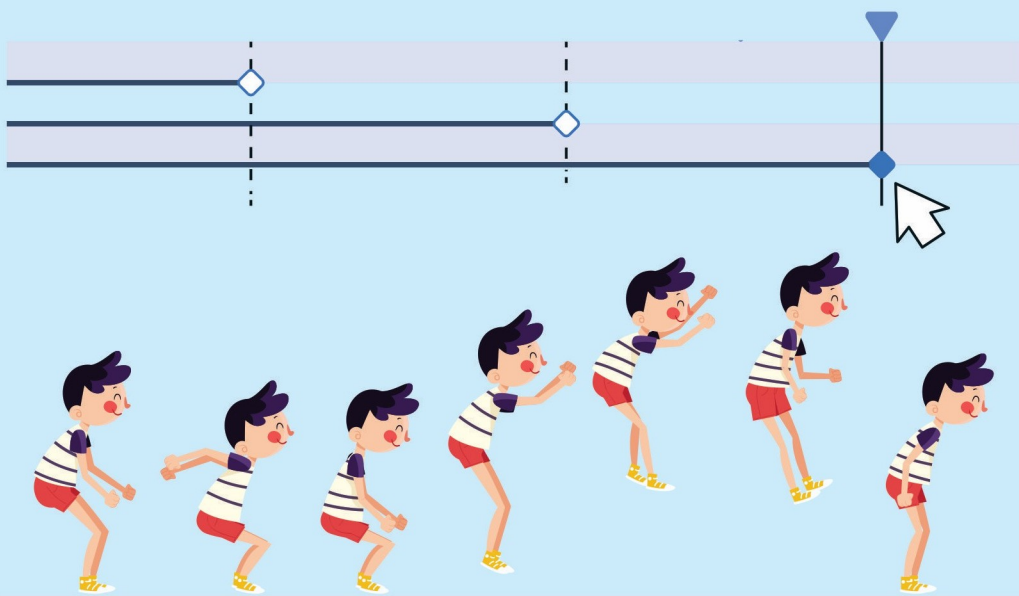


KINEMATIKA

Kajian Bidang-bidang Riset



Gatut Rubiono
Nurida Finahari

KINEMATIKA

Kajian Bidang-bidang Riset

**Gatut Rubiono
Nurida Finahari**

Editor: Gatot Soebiyakto



**Penerbit K-Media
Yogyakarta, 2025**

KINEMATIKA: Kajian Bidang-bidang Riset

Penulis:

Gatut Rubiono, Nurida Finahari

Editor:

Gatot Soebiyakto

ISBN: 978-623-174-796-9

Tata Letak: Tim

Desain Sampul: Tim

Diterbitkan oleh:



Penerbit
K-Media

Penerbit K-Media

Anggota IKAPI No.106/DIY/2018

Banguntapan, Bantul, Yogyakarta.

WA +6281-802-556-554, Email: kmedia.cv@gmail.com

Cetakan 1, Juli 2025

Yogyakarta, Penerbit K-Media 2025

14 x 20 cm, vi, 118 hlm.

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

All rights reserved

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari Penulis dan Penerbit.

Isi di luar tanggung jawab percetakan

KATA PENGANTAR

Mengampu mata kuliah Kinematika saat ini, mengingatkan masa kuliah dulu. Analisis yang diajarkan masih menggunakan metode grafis. Hal ini berarti harus membawa perangkat mistar, busur, jangka dan lain-lain. Dosen pun membawa perangkat yang sama tetapi berbahan kayu dengan ukuran lebih besar dan beberapa kapur berwarna untuk papan tulis. Buku referensi yang tidak mudah didapat menjadi pemacu untuk mampu memahami materi dari apa yang disampaikan dosen. Nama penyusun buku referensi itu pun masih teringat dengan jelas.

Pencarian referensi untuk mengampu mata kuliah Kinematika dihadapkan pada satu fakta dimana buku yang sama masih banyak digunakan. Ironisnya, buku itu secara umum berusia lebih tua dibanding usia para mahasiswa. Bahkan, buku tersebut diterbitkan sebelum para mahasiswa lahir. Memang secara teori, analisis Kinematika tidak banyak berubah. Tetapi hal ini memunculkan pertanyaan apakah mahasiswa saat ini harus diberi materi sama seperti dulu saat menempuh mata kuliah yang sama.

Penyusunan buku ini merupakan upaya untuk melengkapi materi pembelajaran klasik agar mahasiswa mendapatkan cukup bahan untuk melakukan analisis yang lebih mendalam dan kekinian. Buku ini diharapkan menjadi pelengkap dalam proses pembelajaran atau menjadi sumber ide dalam melakukan suatu analisis atau riset terkait. Semoga buku ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak.

Malang, Juli 2025
Penyusun

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
1. PENDAHULUAN	1
1.1. Definisi Kinematika	1
1.2. Konsep Dasar Kinematika	2
1.3. Diagram Kinematis	4
1.4. Mekanisme Engkol Peluncur	5
1.5. Penutup	10
2. KINEMATIKA MESIN DAN MEKANISME	11
2.1. Pendahuluan	11
2.2. Perangkat Mesin Dengan Gerak Bolak-Balik (<i>Reciprocating Machine Tools</i>)	12
2.3. Kinematika Kinerja Struktur dan Karakteristik Permesinan Mesin 3 Sumbu	13
2.4. Kinematika Perangkat Mesin Paralel (<i>Parallel Kinematic Machine Tools</i>)	14
2.5. Mekanisme Balik Cepat (<i>Quick Return Mechanism</i>)	16
2.6. Mekanisme Kopling Oldham	17
2.7. Jembatan Lipat (<i>Folding Bridge</i>)	19
2.8. Penutup	20
3. KINEMATIKA KENDARAAN	22
3.1. Pendahuluan	22
3.2. Gerak Mainan Mekanik Monobike	24
3.3. Kendaraan Roda Dua	26
3.4. Kendaraan Roda Tiga	29
3.5. Kendaraan Roda Empat	30
3.6. Kendaraan Berat	33

3.7.	Kendaraan Sistem Otonom	37
3.8.	Penutup	39
4.	KINEMATIKA ALAT BERAT	40
4.1.	Pendahuluan	40
4.2.	Kinematika Backhoe	42
4.3.	Kinematika Wheel Loader	49
4.4.	Kinematika Eskavator Mesin Penggali Drainase.....	50
4.5.	Kinematika Forklift	51
4.6.	Kinematika Tracked Support Equipment	53
4.7.	Kinematika Snorkelift	54
4.8.	Penutup	57
5.	KINEMATIKA TEKNOLOGI TEPAT GUNA	58
5.1.	Pendahuluan	58
5.2.	Mesin Asah Mata Gergaji Bundar	59
5.3.	Desain Alat Bantu Juru Las	59
5.4.	Mesin Penumbuk Beras Aruk	61
5.5.	Alat Penanam Padi	64
5.6.	Penutup	67
6.	KINEMATIKA ROBOT	68
6.1.	Pendahuluan	68
6.2.	Kinematika Robot Lengan	69
6.3.	Gerak Robot Joule	79
6.4.	Kinematika Kaki Robot	79
6.5.	Robot Tugas Berat (<i>Heavy Duty Robot</i>)	85
6.6.	Penutup	88
7.	KINEMATIKA OLAHRAHA	89
7.1.	Pendahuluan	89
7.2.	Gerak Manusia	90
7.3.	Kinematika Bola Voli	93
7.4.	Kinematika Atletik	94

7.5.	Kinematika Senam	96
7.6.	Kinematika Bela Diri	98
7.7.	Kinematika Futsal	100
7.8.	Kinematika Bola Tangan	101
7.9.	Kinematika Renang	102
7.10.	Kinematika Bowling	102
7.11.	Kinematika Dayung	104
7.12.	Kinematika Tarik Tambang	105
7.13.	Kinematika Tari	106
7.14.	Penutup	107
REFERENSI		108
PROFIL PENULIS		115

1. PENDAHULUAN

Bab ini berisi pengantar kinematika meliputi definisi kinematika, konsep dasar kinematika, diagram kinematis dan mekanisme engkol peluncur. Mahasiswa atau pembaca diharapkan mendapatkan gambaran awal perihal bidang ilmu kinematika, penggunaan dan pokok bahasannya.

1.1. Definisi Kinematika

Kinematika adalah ilmu yang mempelajari gerakan relatif suatu elemen mesin meliputi lintasan, kecepatan, dan percepatan [1]. Kinematika mengkaji tentang gerakan bagian-bagian mesin dengan meninjau lintasan, kecepatan dan percepatan tanpa menyelidiki penyebab atau gaya yang memulai [2]. Kinematika merupakan salah satu bagian dari dinamika yang bisa di deskripsikan dengan gerakan suatu bodi atau bagan yang tidak memiliki referensi terhadap gaya yang menghasilkan gerakan ataupun yang dihasilkan oleh gerakan [3].

Suatu mesin biasanya terdiri dari berbagai mekanisme yang kompleks untuk mendukung tujuan tertentu. Oleh sebab itu dalam perancangannya terdapat berbagai aspek yang harus dipertimbangkan, seperti statika, kinematika dan dinamika serta mekanika kekuatan bahan [4]. Analisis terhadap kinerja suatu sistem mekanisme yang kompleks membutuhkan pemahaman detail mengenai keterhubungan masing-masing komponen dan apa pengaruh gerakan suatu komponen terhadap komponen yang lainnya pada satu mekanisme [5].

Dalam perkembangan jaman dewasa ini dimana terdapat beberapa aplikasi merancang suatu produk, dimana dalam

perancangan suatu produk, tidak hanya bisa merancang fisik komponen-komponennya saja, namun juga bisa merancang gerakan-gerakan yang diinginkan [6]. Proses awal dari suatu perancangan mekanisme suatu mesin, perlu dilakukan analisa terlebih dahulu terhadap mekanisme pergerakan kecepatan dan percepatan tiap-tiap komponen dari suatu mesin. Komponen mesin terdiri dari sejumlah benda bergerak dan tidak bergerak yang diletakkan diantara sumber-sumber tenaga dan kerja yang harus dilakukan untuk tujuan penyesuaian antara keduanya [1].

Secara singkat, kinematika berasal dari dua kata yaitu kinetik yang berarti gertak dan matematika. Berdasarkan kata penyusun ini maka kinematika dapat didefinisikan sebagai analisis suatu gerak dengan metode matematika. Dalam kinematika dilakukan analisis gerak dengan melakukan perhitungan-perhitungan matematis. Analisis gerak dalam kinematika meliputi kecepatan, percepatan dan jarak atau posisi. Konsekuensinya, kinematika harus didasari hukum-hukum fisika tentang gerak dan aspek perhitungan matematis.

1.2. Konsep Dasar Kinematika

Ilmu pengetahuan telah mengalami modernisasi yang secara konsisten menggambarkan konsep gerak sebagai lintasan obyek yang akan dipelajari. Konsep ini melibatkan studi tentang kinematika. Deskripsi gerak diberikan oleh kinematika, yang merupakan bagian dari studi mekanika, yang berupaya menentukan posisi, kecepatan, dan percepatan dari satu atau lebih benda pada setiap saat. Dalam kinematika, benda-benda ini dianggap bergerak sebagai titik karena dimensinya dapat diabaikan [7].

Pembahasan tentang gerak akan bergantung pada ruang tempat benda bergerak diamati, sehingga konsep gerak dan diamnya bersifat relatif. Pengamat akan mengamati benda di

suatu tempat yang disebut kerangka acuan. Misalnya pada Gambar 1.1, dua pesawat tempur dapat melakukan operasi pengisian bahan bakar di tengah penerbangan jika tidak ada pergerakan relatif di antara keduanya dalam setiap interval waktu [7].



Gambar 1.1. Skema pengisian bahan bakar pesawat di udara [7]

Gambar 1.1 menunjukkan untuk dapat menganalisis benda bergerak maka pergerakan benda harus diasosiasikan dengan besaran kecepatan, yang dapat berupa kecepatan skalar atau kecepatan rata-rata. Kecepatan ini ditentukan melalui variasi perpindahan terhadap waktu, menjadi ruang awal s_1 , dalam waktu t_1 , dan ruang akhir s_2 , dalam waktu t_2 . Dengan demikian, kita akan mendapatkan variasi ruang dalam selang waktu $\Delta s = s_2 - s_1$, interval waktu $\Delta t = t_2 - t_1$, sehingga kecepatan rata-rata dinyatakan dalam bentuk sesuai persamaan berikut:

$$V_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1} \quad (1-1)$$

Sebagai contoh, seperti di Gambar 1.2, sebuah perabot bergerak sepanjang jalan antara rambu km 10 dan km 40, waktu yang dibutuhkan adalah 30 menit. Kecepatan rata-ratanya adalah perbandingan antara variasi ruang, dalam hal ini 30 km, dan waktu setengah jam, karena kecepatan dinyatakan dalam km/jam atau m/s. Kecepatan perabot tersebut adalah 60 km/jam.



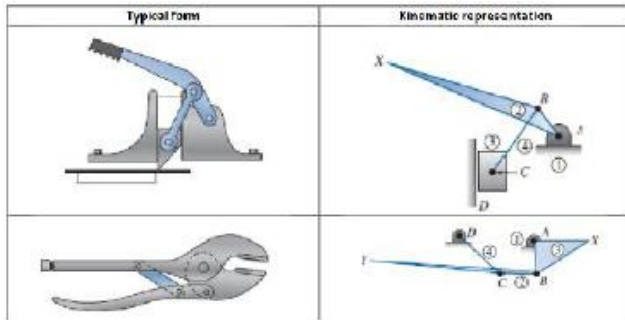
Gambar 1.2. Sebuah benda bergerak antara km 10 sampai km 40 dengan waktu 30 menit [7]

Pada gambar 1.2, kecepatan benda bervariasi terhadap waktu, dan benda mulai melakukan gerakan yang bervariasi. Oleh karena itu, ketika suatu benda bergerak secara bervariasi, maka kita mempunyai percepatan skalar, yang dapat diukur dalam setiap selang waktu, yaitu percepatan skalar rata-rata dan merupakan perbandingan antara variasi kecepatan, dalam selang waktu, dan dituliskan dengan persamaan berikut:

$$a_m = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1} \quad (1-1)$$

1.3. Diagram Kinematis

Analisis kinematik melibatkan penentuan posisi, perpindahan, rotasi, kecepatan, dan percepatan suatu mekanisme. Dalam menganalisis gerakan suatu mekanisme, perlu direpresentasikan bagian-bagian dalam bentuk kerangka (juga disebut sebagai diagram kinematik) sehingga hanya dimensi yang mempengaruhi gerakan yang ditampilkan. Diagram kinematik digambar dalam skala yang proporsional dengan mekanisme aktual. Untuk referensi yang mudah, *links* diberi nomor, dimulai dengan *blok*, yang berfungsi sebagai kerangka acuan untuk pergerakan semua bagian lainnya. Untuk menghindari kerancuan, *joint* diberi notasi huruf [6].

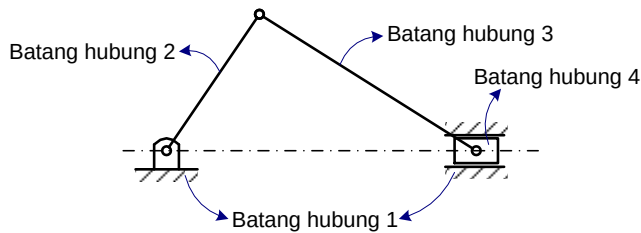


Gambar 1.3. Contoh diagram kinematis [6]

1.4. Mekanisme Engkol Peluncur

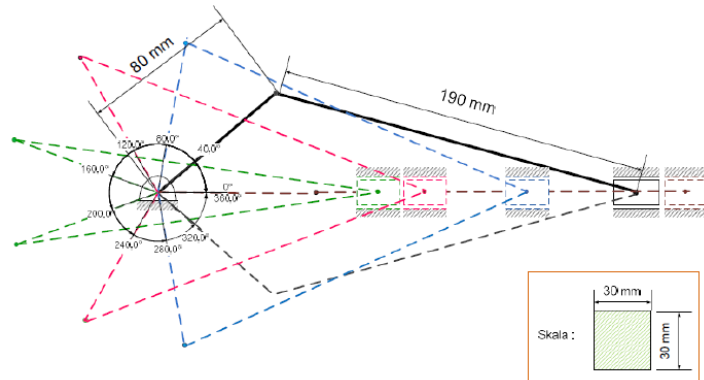
Mekanisme yang terdiri dari 4 batang hubung merupakan suatu mekanisme sistem gerak yang sederhana, dimana pemakaiannya sangat umum dalam kehidupan sehari-hari. Contoh mekanisme dengan menggunakan 4 batang hubung adalah mekanisme engkol peluncur, dimana salah satu batang hubung berputar terhadap poros batang hubung yang diam dan batang hubung yang lain bergerak meluncur dengan arah linier [5].

Mekanisme engkol peluncur adalah mekanisme kinematika yang merupakan rangkaian batang penghubung empat batang yang memiliki gerakan kombinasi translasi dan rotasi. Kombinasi dari kedua gerakan tersebut dapat dianalisa dengan penyelesaian secara grafis dan analitis [1]. Mekanisme engkol peluncur ditunjukkan dalam skema di Gambar 1.3 berikut ini.



Gambar 1.4. Diagram kinematika model engkol peluncur [5]

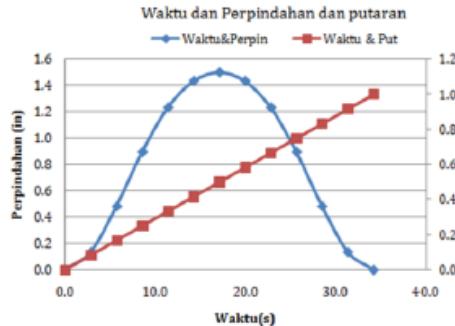
Untuk menganalisis kecepatan dan percepatan pada suatu mekanisme dapat dilakukan dengan beberapa metode, salah satunya adalah metode kecepatan dan percepatan relatif yang umum digunakan. Metode kecepatan dan percepatan relatif ini menggunakan cara grafis dengan menggambarkan vektor-vektor yang mewakili kecepatan dan percepatan sebenarnya. Hal ini jika dilakukan dengan cara konvensional menggambar menggunakan rol dan busur sehingga dinilai terlalu lama dan tidak efisien untuk digunakan [2].



Gambar 1.5. Contoh hasil simulasi mekanisme engkol peluncur [5]

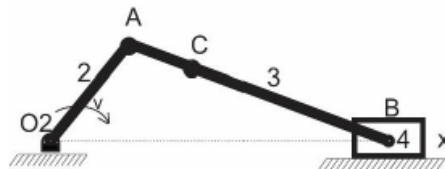
Aplikasi teknologi komputasi telah diterapkan untuk mempermudah analisis kinematika. Analisis mekanisme engkol peluncur dapat dilakukan menggunakan perangkat Microsoft

Excel [8] atau menggunakan Matlab . Penggunaan perangkat Microsoft Excel telah mempermudah pengolahan data yang rumit menjadi lebih teliti dibandingkan menggunakan perhitungan manual. Penggunaan Matlab menghasilkan selisih (*error*) yang sangat kecil dibandingkan perhitungan manual ($< 0,25\%$).



Gambar 1.6. Grafik hasil perhitungan menggunakan Microsoft Excel [8]

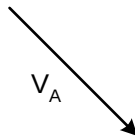
Analisis kecepatan merupakan konsep dasar dalam mempelajari gerak mesin dalam kuliah Kinematika. Metode yang sering digunakan untuk menganalisis kecepatan adalah cara grafis yang dielaskan dengan cara konvensional, dengan langkah penyelesaian kompleks dan memakan banyak waktu akan membuat siswa sulit memahami. Pada penelitian ini dikembangkan program komputer untuk penyajian konsep kecepatan pada mekanisme engkol peluncur menggunakan bahasa MATLAB. Pengguna dapat menginput dan merubah ulang parameter input seperti sudut batang penghubung, kecepatan sudut dan arah kecepatan sudutnya [2].



Gambatr 1.7. Studi kasus mekanisme engkol peluncur [2]

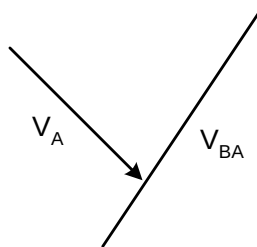
Menentukan nilai dan arah kecepatan mekanisme engkol peluncur dilakukan dengan metode kecepatan dan percepatan relatif dengan cara grafis. Tahapan penyelesaian untuk menentukan nilai kecepatan mekanisme engkol peluncur adalah sebagai berikut

1. Batang 2 (O_2A) berotasi terhadap titik O_2 , sehingga kecepatan titik A adalah hasil kali dari kecepatan sudut batang 2 (ω_2) dengan panjang batang 2 (O_2A) dan arah kecepatan mengikuti arah kecepatan sudutnya.



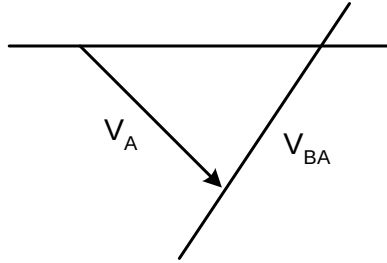
Gambar 1.8. Vektor V_A [2]

2. Menggambar garis untuk vektor kecepatan V_{BA} melalui ujung vektor V_A . Tegak lurus AB.



Gambar 1.9. Garis V_{BA} [2]

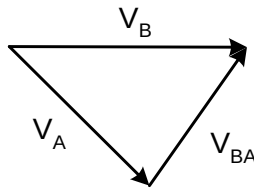
3. Menggambar garis untuk vektor V_B yang diketahui arahnya (sejajar sumbu x) yang bersinggungan dengan V_{BA} dan pangkal vektor V_A .



Gambar 1.10. Garis V_B [2]

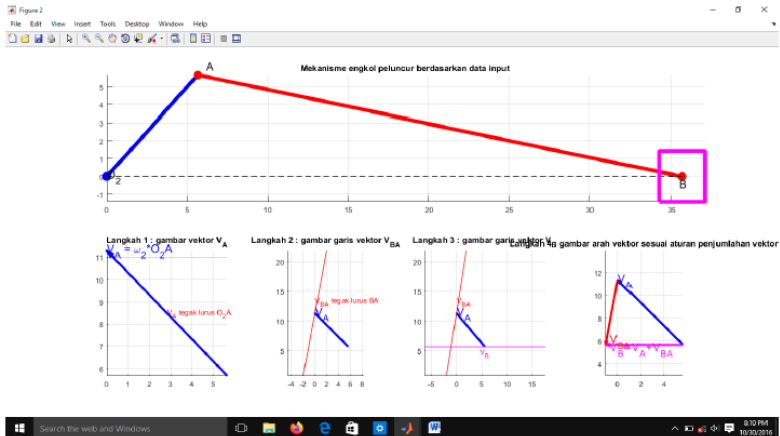
4. Sehingga diperoleh poligon kecepatan sebagai berikut.

$$V_B = V_A + V_{BA}$$



Gambar 1.10. Vektor V_A , V_B dan V_{BA} [2]

Analisis di atas selanjutnya diselesaikan dengan menginputkan persamaan-persamaan ke dalam program komputer dan didapat tampilan sebagai berikut:



Gambar 1.11. Tampilan analisis menggunakan Matlab [2]

1.5. Penutup

Kinematika adalah ilmu yang mempelajari tentang gerak meliputi posisi, kecepatan dan percepatan. Perancangan suatu mesin atau mekanisme memerlukan analisis gerak agar mesin atau mekanisme dapat berfungsi sesuai desain yang diinginkan. Analisis menyeluruh diperlukan untuk setiap komponen mesin atau mekanisme yang bergerak dalam suatu sistem. Hasil analisis akan menjadi acuan dimensi dan karakteristik kerja setiap komponen.

Metode grafis yang dilakukan dalam analisis kinematika dapat menjadi aktivitas yang dinilai tidak efisien. Proses panjang dengan banyak notasi perhitungan matematis yang seringkali membingungkan akan memerlukan ketekunan dan ketelitian ekstra dalam melakukan analisis kinematika. Penggunaan teknologi komputer dapat mempermudah proses-proses perhitungan dan mendapatkan hasil analisis yang cenderung lebih akurat.

2. KINEMATIKA MESIN DAN MEKANISME

Bab ini berisi uraian singkat kinematika di mesin atau suatu mekanisme. Pembahasan dilengkapi dengan penelitian-penelitian yang telah dilakukan. Mahasiswa atau pembaca diharapkan mendapatkan gambaran aplikasi kinematika dalam analisis mesin atau mekanisme dalam bentuk kegiatan penelitian.

2.1. Pendahuluan

Suatu mesin umumnya terdiri dari bagian penggerak dan yang digerakkan dengan komponen-komponen pemindah gerak dan gaya. Penggerak mesin dapat berupa gerak putar menggunakan motor listrik atau gerak lurus menggunakan perangkat silinder dan aktuator. Komponen pemindah gaya dapat berupa roda gigi, puli dan komponen-komponen lainnya. Analisis kinematika diperlukan dalam memperhitungkan kondisi kerja setiap bagian mesin.

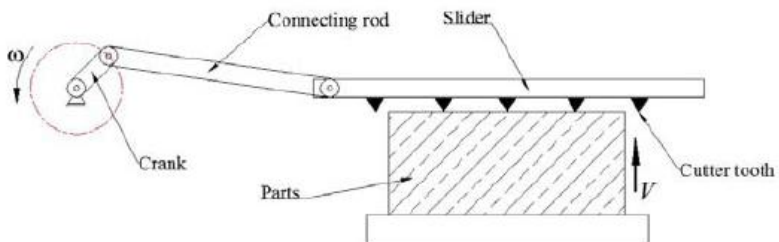
Berbagai jenis mesin dengan beragam mekanisme dan fungsi telah menjadi studi kasus yang mengaplikasikan kinematika dalam analisisnya. Analisis kinematika berperan dalam mengoptimalkan gerak setiap bagian mesin sehingga fungsi kerja mesin menjadi efektif dan efisien. Gerak yang lebih tepat atau lebih presisi akan menghasilkan fungsi operasional yang maksimal sehingga hasil akhir kinerja suatu mesin juga akan menjadi lebih optimal.

Analisis kinematika pada mesin atau mekanismenya telah menjadi topik bahasan penelitian. Ringkasan hasil-hasil penelitian perlu dipaparkan untuk menjadi gambaran peran analisis kinematika ini. Bagaimana kinematika diterapkan dalam

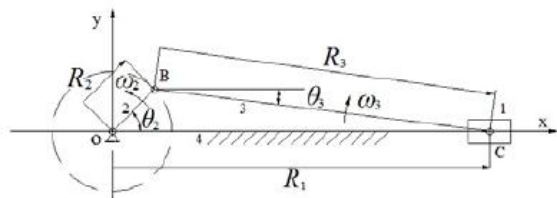
analisis gerak perlu diuraikan untuk mempelajari dan memahami proses-proses dan metode analisis yang dilakukan. Sub bab-sub bab berikut akan memaparkan beberapa contoh analisis kinematika di mesin atau mekanisme.

2.2. Perangkat Mesin Dengan Gerak Bolak-Balik (*Reciprocating Machine Tools*)

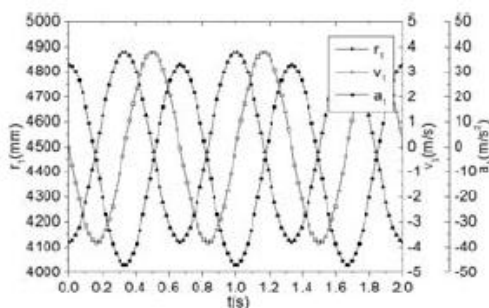
Untuk mengungkap karakteristik kinematis dan dinamis dari sistem gerak utama peralatan mesin bolak-balik diterapkan metode persamaan vektor untuk membuat model matematika gerak untuk sistem gerak utama. Analisis simulasi kinematika dilakukan dengan menggunakan MATLAB Simulink. Analisis gaya pada komponen-komponen sistem gerak utama dilakukan berdasarkan analisis gerak. Pertama, analisis gaya terhadap komponen-komponen pada sistem gerak utama; Kedua, matriks perhitungan dinamis diperoleh dengan menyusun persamaan kesetimbangan mekanika. Akhirnya, solusi analitis dinamika sistem gerak utama dan kurva karakteristik dinamis sistem gerak utama peralatan mesin diperoleh dengan menggunakan Simulink. Semua data yang dihitung akan menjadi landasan data untuk prediksi umur kelelahan peralatan mesin reciprocating di masa depan [9].



Gambar 2.1. Sistem gerak utama [9]



Gambar 2.2. Diagram mekanisme kinematis [9]



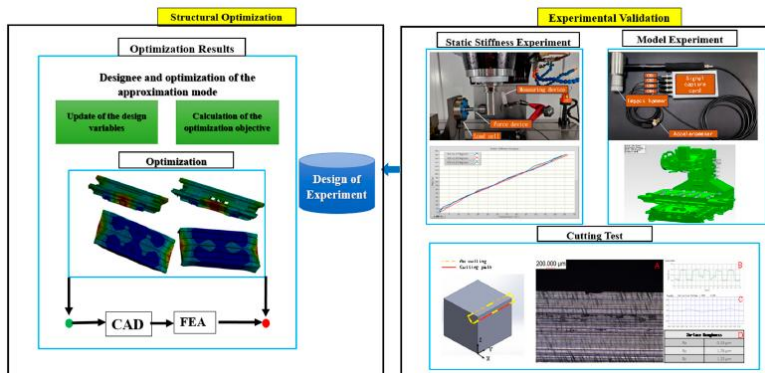
Gambar 2.3. Kurva kinematis hasil simulasi [9]

2.3. Kinematika Kinerja Struktur dan Karakteristik Permesinan Mesin 3 Sumbu

Kekakuan dan frekuensi alami perkakas mesin sangat mempengaruhi pemotongan dan menghasilkan gaya yang besar ketika perkakas bersentuhan dengan benda kerja. Kekakuan statis yang buruk pada mesin tipe vertikal ini dapat menyebabkan deformasi dan merusak benda kerja. Jika frekuensi alami mesin rendah atau mendekati frekuensi pemotongan yang umum digunakan, mesin akan bergetar hebat, mengakibatkan permukaan benda kerja menjadi buruk dan dengan demikian memperpendek umur mesin. Sebuah penelitian dilakukan untuk

mengembangkan teknik eksperimental dengan mengukur pengaruh kekakuan peralatan mesin [10].

Di masa lalu, mesin dirancang berdasarkan pengalaman, dan proses ini relatif mahal dan memakan waktu. Model yang baru dirancang menggunakan analisis berbantuan komputer untuk memastikan bahwa produk yang dirancang memenuhi persyaratan, dan model dioptimalkan menggunakan optimasi struktural. Optimalisasi model menghilangkan bagian-bagian yang tidak diperlukan, mengurangi biaya produksi, dan meningkatkan kekakuan statis dan dinamis model secara keseluruhan.

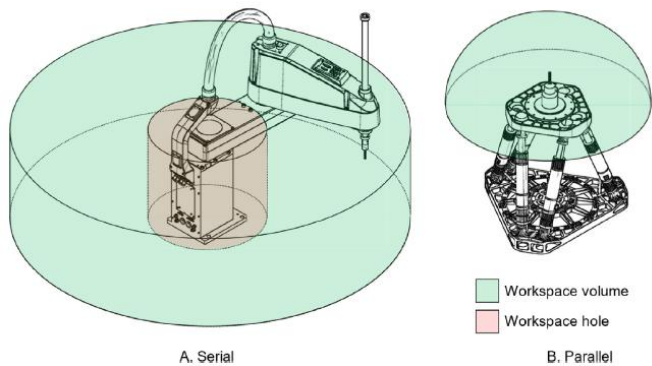


Gambar 2.4. Kerangka kerja desain struktur mesin [10]

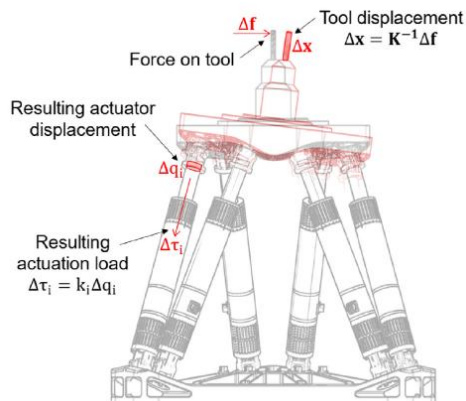
2.4. Kinematika Perangkat Mesin Paralel (*Parallel Kinematic Machine Tools*)

Manipulator paralel umumnya dikaitkan dengan kecepatan tinggi, kekakuan, dan kemampuan pengulangan. Meskipun demikian, setelah beberapa dekade pengembangan, penggunaan industrinya masih terbatas. Pemodelan dasar untuk mekanisme paralel dan penjelasan bagaimana alat tersebut dapat diterapkan pada pengembangan, pengoptimalan, dan

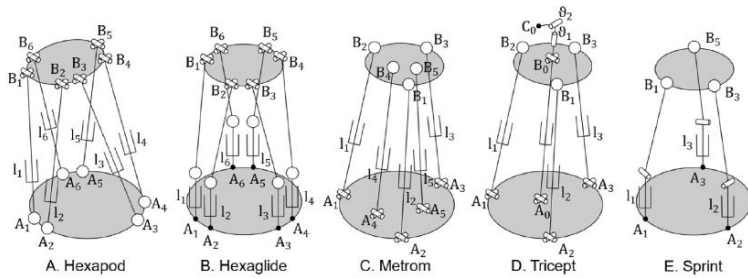
evaluasi kinerja peralatan mesin, dilakukan dengan fokus pada analisis kinematika dan dinamika, analisis kesalahan, dan kalibrasi [11].



Gambar 2.5. Perangkat mesin tunggal dan paralel [11]



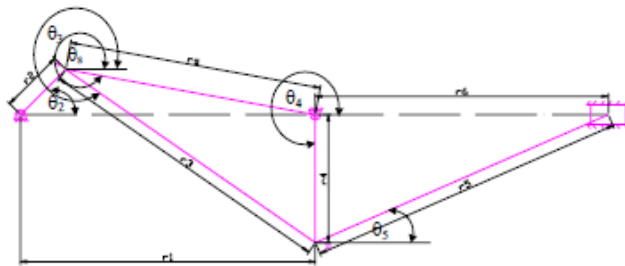
Gambar 2.6. Skema mekanisme perangkat paralel [11]



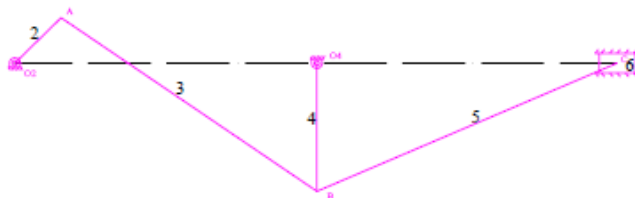
Gambar 2.7. Diagram kinematis perangkat paralel [11]

2.5. Mekanisme Balik Cepat (*Quick Return Mechanism*)

Sebuah mekanisme balik cepat sebagai berikut;



Gambar 2.7. Skema mekanisme balik cepat [4]



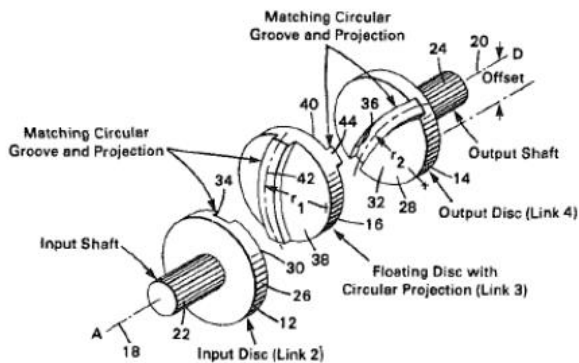
Gambar 2.8. Diagram kinematis mekanisme balik cepat [4]

Diagram of a truss structure with dimensions and angles:

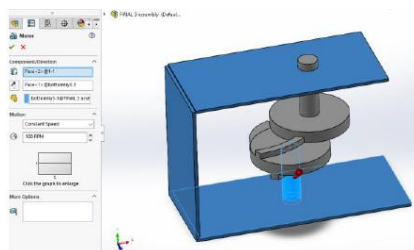
- Top horizontal dimension: 475.64
- Left vertical dimension: 58.8
- Top-left horizontal dimension: 43.3
- Bottom horizontal dimension: 245.99
- Angles:
 - 30° at joint A (top left)
 - 30° at joint A (bottom left)
 - 80° at joint O4 (top center)
 - 20° at joint B (bottom right)
- Joints: A, B, C, O2, O4
- Supports: Pin support at joint A, Roller support at joint C

2.6. Mekanisme Kopling Oldham

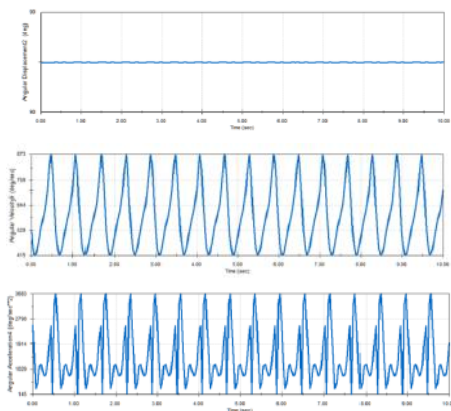
Kinematika (Gatut Rubiono dan Nurida Finahari)



Gambar 2.10. Modifikasi kopling Oldham [12]



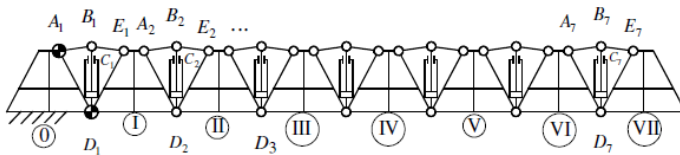
Gambar 2.11. Input parameter dan simulasi [12]



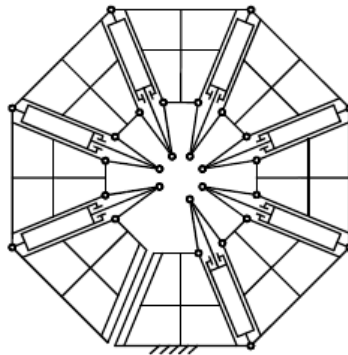
Gambar 2.12. Analisis posisi, kecepatan dan percepatan output disc [12]

2.7. Jembatan Lipat (*Folding Bridge*)

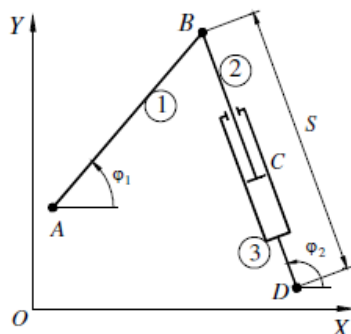
Di atas aliran air atau saluran irigasi, berbagai jembatan dapat dibangun. Konstruksi ini dapat bersifat tetap atau dapat dipindah (lipat). Jembatan tetap memiliki kelemahan besar yaitu menghambat pergerakan perahu, yang berada lebih tinggi dari ketinggian jembatan, di aliran air. Untuk menghilangkan kelemahan ini, jembatan didesain dapat dilipat, yang memungkinkan pembukaan jalur navigasi bila diperlukan. Jembatan ini terdiri dari delapan ruas, salah satunya dipasang pada alasnya, dan tujuh ruas lainnya dilipat sehingga membentuk segi delapan. Analisis kinematik mekanisme didapatkan penentuan reaksi sambungan kinematik dan gaya motor di dalam silinder hidrolik. Sebagai hasil dari modularisasi konstruksi, pembangunan jembatan seperti itu menjadi sederhana, dengan biaya minimal dan perawatan yang mudah [13].



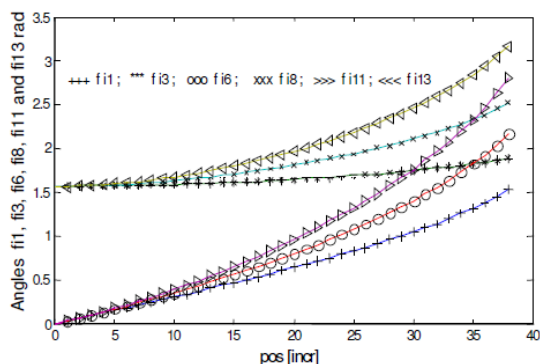
Gambar 2.13. Skema jembatan lipat [13]



Gambar 2.14. Skema jembatan saat terlipat [13]



Gambar 2.15. Diagram kinematis penggerak jembatan lipat [13]



Gambar 2.16. Grafik hasil analisis jembatan lipat [13]

2.8. Penutup

Analisis kinematika telah dilakukan pada gerak suatu mesin atau mekanisme. Pokok bahasan kecepatan, percepatan dari suatu sistem dikaji secara simulasi maupun secara eksperimental. Studi dilakukan dengan tahapan identifikasi masalah, penyederhanaan dalam bentuk diagram kinematis dan dilanjutkan analisis dengan perhitungan matematis. Aplikasi komputer yang memudahkan proses perhitungan telah digunakan dalam proses analisisnya.

Penelitian telah dilakukan untuk mekanisme seperti engkol peluncur yang relatif sederhana maupun mekanisme gerak suatu struktur seperti jembatan lipat. Grafik-grafik kecepatan, percepatan dan posisi suatu sistem menjadi hasil akhir analisis. Hasil analisis ini akan menjadi acuan rekomendasi kinerja sistem maupun perbaikan atau modifikasi pengembangannya.

Contoh-contoh penelitian analisis kinematika pada mesin atau mekanisme yang dipaparkan di bab ini menunjukkan bahwa bidang ilmu kinematika telah diaplikasikan secara luas di mesin dan perangkatnya. Upaya optimasi kerja mesin menjadi sasaran utama dimana faktor gerak menjadi landasan utama untuk analisis selanjutnya. Analisis gerak akan menjadi dasar analisis dinamika sistem, model getaran dan analisis-analisis terkait lainnya.

3. KINEMATIKA KENDARAAN

Bab ini berisi uraian singkat analisis kinematika pada kendaraan seperti sepeda motor, mobil dan kendaraan lainnya. Materi dipaparkan dalam bentuk ringkasan penelitian-penelitian yang telah dilakukan. Mahasiswa atau pembaca diharapkan mendapatkan gambaran analisis-kinematika pada kendaraan yang telah dilakukan.

3.1. Pendahuluan

Kendaraan sebagai produk otomotif mengalami perkembangan dan perubahan dari waktu ke waktu. Berbagai jenis, bentuk dan fungsi kendaraan diproduksi untuk berbagai kebutuhan dan aktivitas manusia. Aspek teknologi juga telah menjadi bagian pengembangan produk otomotif dari proses fabrikasi sampai aplikasi dalam operasional kendaraan. Hal ini mempengaruhi kondisi operasional atau gerakan kendaraan di jalan yang menjadi bagian studi kinematika.

Parameter kinematik kendaraan merupakan indeks evaluasi kinerja kendaraan yang penting, terutama meliputi kecepatan, akselerasi, sudut arah, sudut selip samping, dan laju selip. Teknik pengukuran parameter kinematika kendaraan masih belum matang. Metode pengukurannya meliputi metode pengukuran langsung dan metode estimasi tidak langsung. Penggunaan instrumen atau sensor dengan presisi tinggi memiliki akurasi yang tinggi, namun terkendala oleh lingkungan, biaya tinggi, sehingga sulit untuk digunakan secara luas. Meskipun biaya metode estimasi dapat dikendalikan, keakuratan pengukuran sulit dijamin karena keterbatasan algoritma dan instrumen [14].

Selama pergerakan kendaraan, performa kendaraan dipengaruhi oleh berbagai struktur dan fungsi kendaraan, seperti sistem power steering, sistem suspensi, sistem pengereman, dan lain-lain. Terlebih lagi, dalam lingkungan yang kompleks dan berkecepatan tinggi, posisi kendaraan vertikal, terguling (roll) dan mengayun (pitch). perpindahan nada mengandung hubungan kopling yang kuat. Oleh karena itu, mempertimbangkan karakteristik gerak dan gabungan struktur kendaraan sangatlah berarti untuk mempelajari dinamika kendaraan [15].

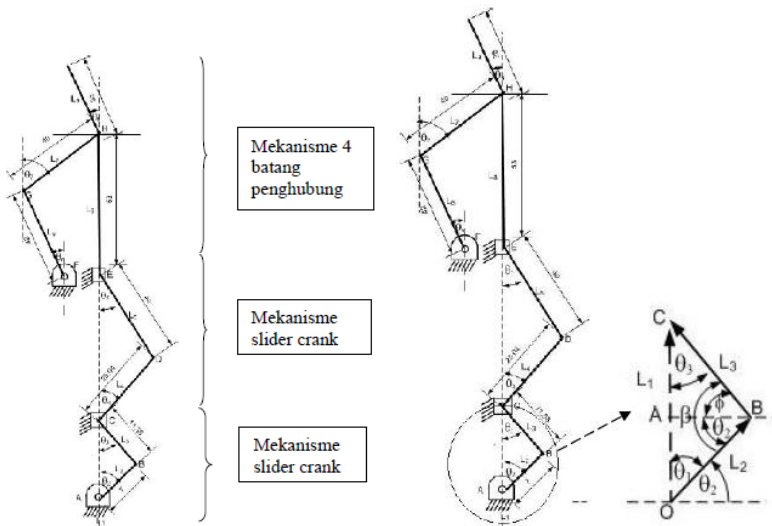
Parameter kinematik kendaraan merupakan indeks evaluasi kinerja kendaraan yang penting. Namun teknik pengukuran parameter kinematika kendaraan masih belum matang. Sistem pengukuran yang praktis dan efisien kini sangat diminati. Dengan berkembangnya teknik visi mesin, semakin banyak masalah pengukuran yang dapat diselesaikan dengan lebih baik dengan menggabungkan tugas pengukuran dengan sistem optik. Dan atas dasar ini keakuratan dan efisiensi pengukuran parameter kinematik dapat ditingkatkan [14].

Pokok bahasan kinematika yang terdiri dari kecepatan, percepatan dan posisi akan sangat sesuai untuk mempelajari aspek gerak suatu kendaraan saat dioperasikan. Analisis kinematika sangat dibutuhkan untuk menguji kestabilan, manuver maupun identifikasi posisi suatu kendaraan. Hasil kajian secara praktis berpotensi untuk mengurangi risiko kesalahan atau kecelakaan. Hasil-hasil kajian akan menjadi bahan pertimbangan untuk desain ulang dan perbaikan produk. Berikut ini contoh-contoh penelitian analisis kinematika pada kendaraan.

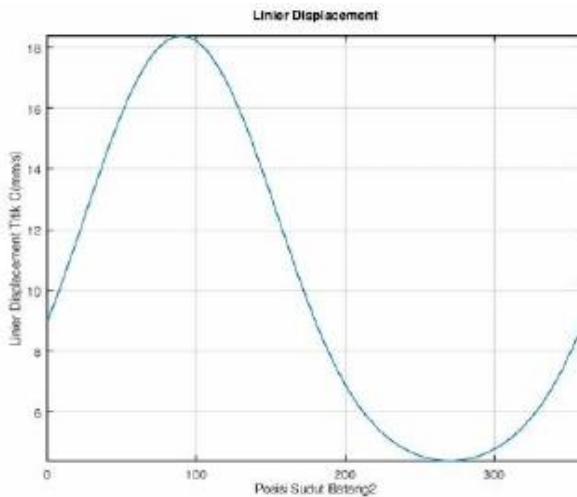
3.2. Gerak Mainan Mekanik Monobike

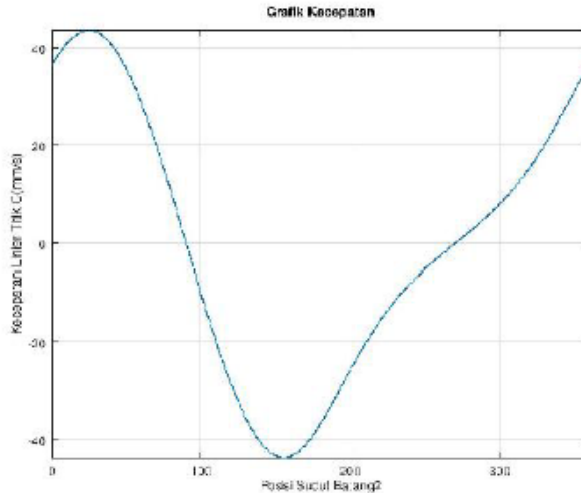
Pada monobike terdapat mekanisme slider crank yang dihasilkan dari mengayuh kaki yang memutar pedal dan bergerak ke atas dan ke bawah. Pedal atas dan bawah akan memutar roda kedua dan menyebabkan tubuh boneka yang memegang kipas bergerak naik turun. Tujuan penelitian adalah menganalisis pergerakan komponen secara numerik pada mainan mekanik monobike yang meliputi analisis perpindahan linier, kecepatan dan percepatan. Pada penelitian ini ditentukan mainan mekanik monobike yang meniru aktivitas manusia dalam mengayuh sepeda. Metodologi dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: a) membuat diagram kinematik, b) menentukan vektor posisi setiap link, c) menurunkan persamaan, d) membuat kode Oktaf GNU.

Berdasarkan hasil penelitian disimpulkan bahwa studi numerik dengan GNU Octave dapat dilakukan untuk menganalisis gerak kinematik suatu mesin. Perpindahan linier pada link 3 mempunyai perpindahan terjauh sebesar 18,38 mm, dan satu siklus pergerakan memerlukan waktu 120 detik. Kecepatan linier maksimum mainan mekanik Monobike adalah 36,2 mm/detik. Sedangkan percepatan linier maksimum mainan mekanik monobike adalah 172,3 mm/detik. GNU Octave merupakan aplikasi freeware yang tidak kalah handalnya dengan aplikasi Matlab dalam menganalisis kinematika suatu mesin [6]. Penelitian serupa dilakukan dengan tambahan aplikasi Solidwork dengan hasil analisis yang juga akurat [16].



Gambar 3.1. Mekanisme monobike dan diagram kinematisnya [6][16]

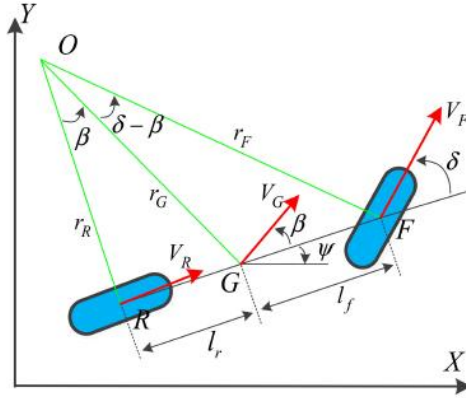




Gambar 3.2. Grafik perpindahan dan kecepatan monobike [6]

3.3. Kendaraan Roda Dua

Pada model sepeda, roda depan dan belakang dinyatakan sebagai roda tunggal. Pada Gambar 3.3, G adalah pusat gravitasi kendaraan; O adalah pusat gerak arus kendaraan; V_G adalah kecepatan G; δ adalah defleksi roda depan; β adalah sudut slip yang sesuai dari G; ψ dan $\psi + \beta$ masing-masing adalah arah dan sudut arah kendaraan; dan l_f dan l_r berturut-turut adalah jarak dari G ke roda depan (titik F) dan belakang (titik G); r_F , r_G , dan r_R berturut-turut adalah jari-jari dari pusat gerak O ke pusat roda depan F, pusat gravitasi G, dan pusat belakang R [17].



Gambar 3.3. Diagram kinematis kendaraan roda dua [17]

Model kinematik kendaraan mengasumsikan tidak terjadi slip antara tanah dan roda, hal ini berlaku untuk kendaraan yang bergerak dengan kecepatan rendah. Dalam hal ini, arah kecepatan di titik F dan R (masing-masing V_F dan V_R) konsisten dengan arah roda depan dan belakang. Hubungan kinematik yang dijelaskan di atas dapat dijelaskan dengan menggunakan persamaan-persamaan [17][18]:

$$\dot{X} = V_G \cos(\psi + \beta) \quad (2-1)$$

$$\dot{Y} = V_G \sin(\psi + \beta) \quad (2-2)$$

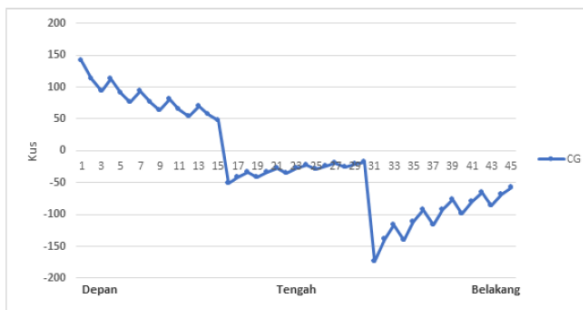
$$\dot{\psi} = \frac{V_G \cos(\beta) \tan(\delta)}{(l_f + l_r)} \quad (2-3)$$

$$\dot{V}_G = a \quad (2-4)$$

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{l_r}{l_f + l_r} \tan \delta \right) \quad (2-5)$$

Analisis kinematika dilakukan untuk gerak belok sepeda motor berdasarkan pergeseran titik berat (*centre of gravity* - CG). Secara sederhana dapat dikatakan bahwa kendaraan dikatakan stabil jika perilaku arah atau arah gerak kendaraan hanya dipengaruhi oleh arah belok roda kemudi sehingga mudah dikendalikan oleh pengemudi. Pada saat kendaraan berbelok umumnya akan terjadi sudut slip pada masing-masing roda sehingga arah gerak roda sudah berubah. Makin besar sudut slip terjadi, makin besar pula pengaruh terhadap arah kendaraan [19].

Hasil dari penelitian ini memperlihatkan pada CG depan kendaraan cenderung mengalami understeer yang memperlihatkan stir motor sulit mengalami tikungan jika beban berada di depan. Untuk titik berat tengah, motor mulai stabil meskipun masih ada sedikit oversteer. Analisis grafik memperlihatkan motor sudah mengalami oversteer, kemudian saat beban di belakang (CG belakang) motor semakin memperlihatkan perilaku oversteer yang sangat tinggi dimana nilai (-) cenderung lebih tinggi daripada CG tengah.

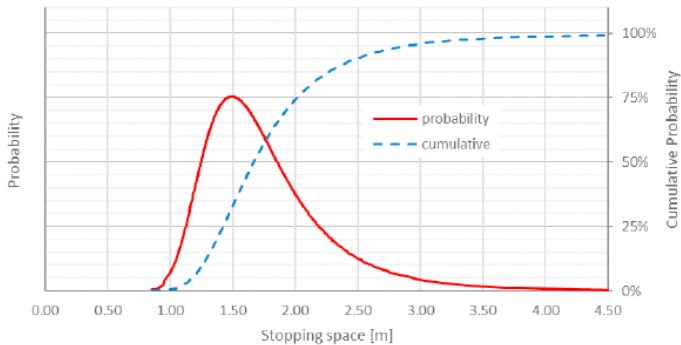


Gambar 3.4. Grafik indeks understeer (Kus) [19]

Penggunaan sepeda sebagai kendaraan untuk menempuh jarak pendek, yaitu dalam jarak 5 km, telah diketahui secara luas baik pada tingkat kinematik maupun penggunaannya oleh pengguna. Sebaliknya, skuter e-kick adalah kendaraan yang

"tidak diketahui" baik karena karakteristik kinematikanya maupun penggunaannya oleh pengguna. Sejumlah penelitian menunjukkan betapa perilaku skuter e-kick dan sepeda motor sangat berbeda. Tidak banyak penelitian yang menganalisis perbedaan perilaku kinematik antara skuter dan sepeda e-kick [20].

Penelitian dilakukan untuk analisis eksperimental yang mengevaluasi perilaku pengereman dengan membandingkan skuter e-kick dan sepeda tradisional menurut beberapa kecepatan kendaraan. Analisis ini membantu membangun model matematis probabilistik untuk memperkirakan ruang berhenti skuter dan sepeda e-kick. Ketersediaan model ini sangat penting untuk merancang persimpangan yang aman antara jalur sepeda dan jalan yang diperuntukkan bagi lalu lintas kendaraan bermotor. Selain itu, model ini mungkin mengungkap wawasan yang dapat menantang peraturan Eropa baru-baru ini yang menyamakan skuter e-kick sebagai sepeda.

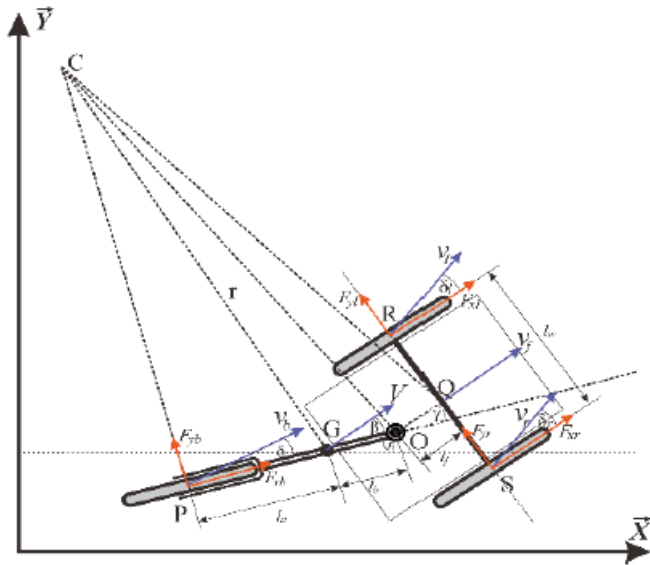


Gambar 3.5. Jarak berhenti vs kecepatan dalam model probabilitas [20]

3.4. Kendaraan Roda Tiga

Model kendaraan otonom Becak sederhana digunakan untuk membentuk persamaan dinamika gerak dengan dua kondisi, yaitu kondisi dengan dan tanpa proses pengereman.

Skenario proses pengereman perlu ditambahkan agar persamaan model yang terbentuk nantinya dapat memberikan hasil simulasi yang akurat dengan gerak dinamika riil model Becak otonom. Berdasarkan penurunan persamaan model Becak sederhana yang dilakukan, di mana beberapa asumsi diterapkan pada persamaan gerak dinamikanya, diperoleh bahwa beberapa parameter dapat dihilangkan dari persamaan dinamika gerak pada saat proses pengereman terjadi. Selain itu, penelitian ini juga menghasilkan kesimpulan untuk beberapa karakteristik komponen model Becak sederhana yang akan digunakan pada proses analisis dan simulasi berikutnya [21].

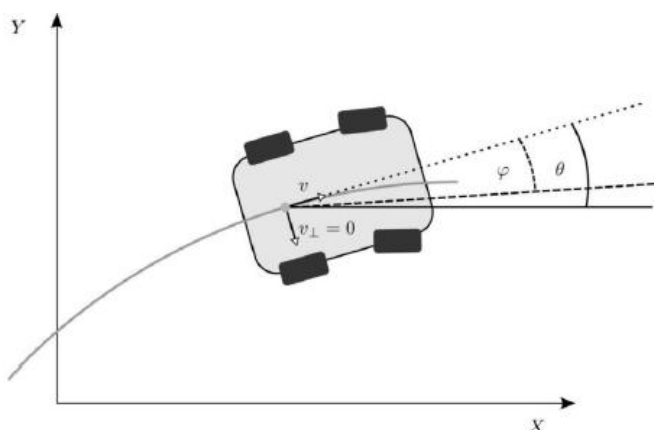


Gambar 3.6. Diagram kinematis dan dinamis becak

3.5. Kendaraan Roda Empat

Mobil cerdas dianggap sebagai titik atau bola yang bergerak bebas dalam fungsi perencanaan jalur, dan pengalaman

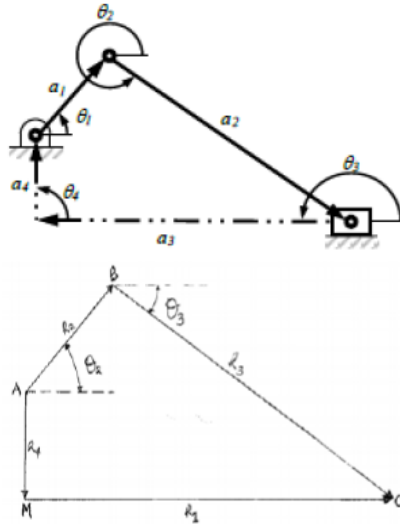
berkendara memberi tahu kita bahwa pergerakan mobil cerdas yang digerakkan oleh roda dibatasi oleh radius putar kendaraan, sehingga jalurnya direncanakan oleh mobil cerdas yang disederhanakan pada suatu hal sering kali tidak cocok untuk mengemudikan mobil cerdas dalam kenyataan. Mempertimbangkan kendala tersebut, sebuah proyek dilakukan dengan memodelkan secara kinematika troli cerdas dengan kemudi empat roda, dan menambahkan batasan kinematik pada perencanaan jalur, sehingga dapat merencanakan jalur yang sesuai dengan model kinematika troli cerdas [22].



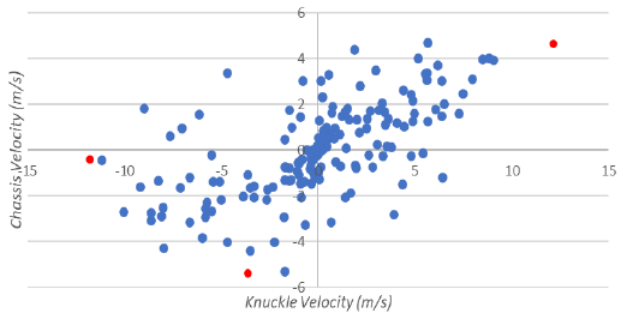
Gambar 3.7. Diagram kinematis kendaraan roda empat [22]

Sebuah penelitian dilakukan untuk menganalisis kinematika gerak angular maupun linear dari *knuckle*, *arm*, dan *sliding rod*; mensimulasikan posisi *chassis* terhadap respons kontak antara roda dengan kontur jalan. Penelitian ini dimulai dengan melakukan studi literatur dan mencari referensi geometri mobil Citroen 2CV, kemudian dilanjutkan dengan simulasi dan analisis. Mekanisme *linkage* yang digunakan adalah *sliding crank mechanism*. Hasil simulasi yang telah dilakukan didapatkan perpindahan angular *knuckle* sebesar $\Delta\theta = 41$ deg,

menyebabkan perpindahan *sliding rod* sejauh $\Delta s = 59,78$ mm. Kecepatan angular *knuckle* konstan sebesar $\omega = 60$ deg/s menyebabkan perubahan kecepatan *sliding rod* sebesar $\Delta V = 7,51$ mm/s. Percepatan angular sebesar $\alpha = 0$ deg/s² karena kecepatan konstan menyebabkan perubahan percepatan *sliding rod* sebesar $\Delta a = 65,68$ mm/s² [3].

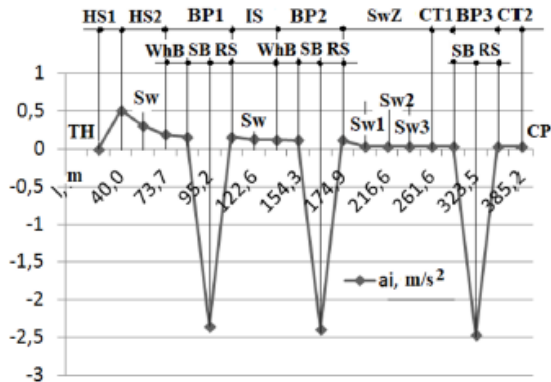


Gambar 3.8. Diagram kinematik dan diagram vektor offset sliding crank mechanism [3]



Gambatr 3.9. Grafik kecepatan knuckle dengan chassis [3]

Kecepatan mobil pada setiap bagian turunan gundukan dideskripsikan dengan menggunakan prinsip mekanika klasik. Penelitian dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan model umum kecepatan pergerakan mobil pada perkiraan titik gundukan, yang memungkinkan proses pembuatan grafik yang lebih cepat dan mengubah karakteristik kinematik pergerakan mobil, serta menyajikan perubahan kecepatan sesaat mobil sepanjang seluruh bagian turunan gundukan dalam bentuk grafik fungsi langkah. Model yang dihasilkan memungkinkan analisis cepat mode lonjakan mobil di gundukan, kombinasi kekuatan posisi rem dan meningkatkan akurasi dalam menentukan kecepatan tumbukan mobil yang diizinkan di jalan [23].

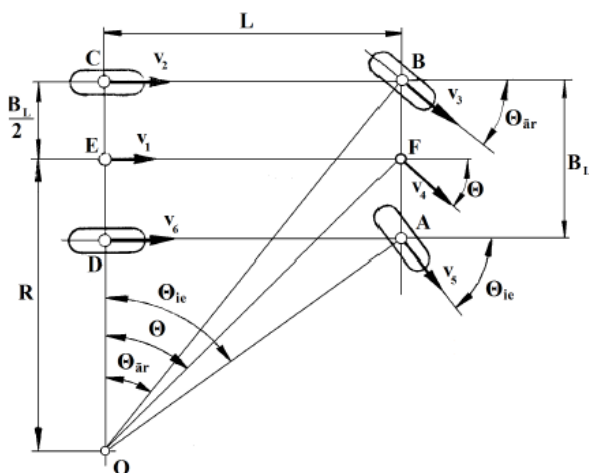


Gambar 3.10. Perubahan percepatan kendaraan sepanjang jalur [23]

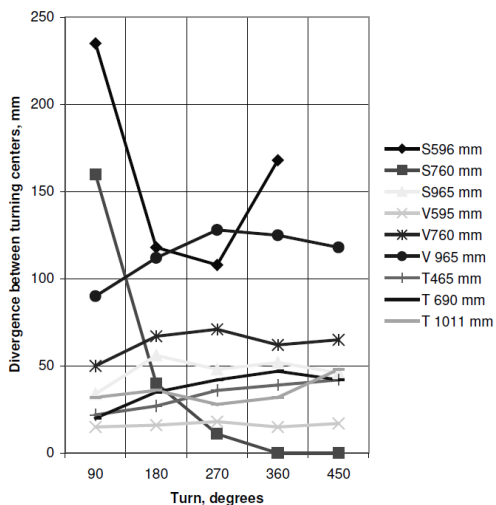
3.6. Kendaraan Berat

Analisis kinematika dilakukan untuk gerak belok kendaraan dengan semitrailer. Ketika kendaraan berbelok sepanjang lintasan kurva tertentu, karakteristik gerak tergantung pada jarak antar roda, kecepatan kendaraan dan periode waktu membelokkan kemudi. Setelah mencapai kondisi stabil saat belok, semitrailer masih bergerak dalam lintasan spiral, terutama

jika semitrailer memiliki jarak antar roda yang besar. Jarak penyimpangan terbesar terjadi ketika kendaraan truk membawa trailer yang panjang [24].

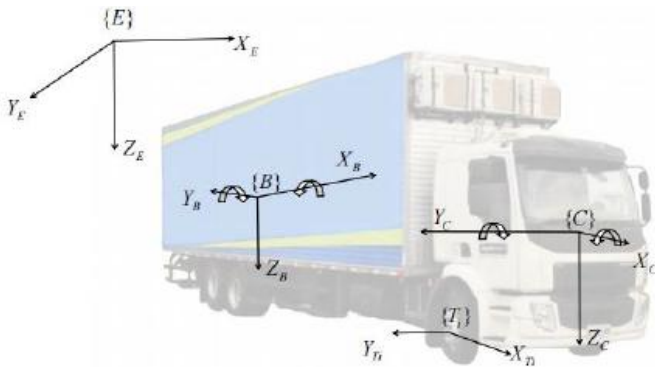


Gambar 3.11. Diagram kinematik kendaraan berbelok [24]

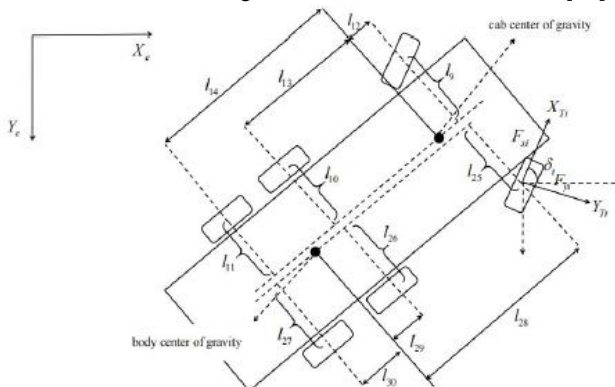


Gambar 3.12. Grafik simpangan dari pusat belokan [24]

Dalam kondisi kerja yang kompleks, terdapat hubungan yang saling berkaitan antara dinamika vertikal, lateral, dan longitudinal suatu kendaraan. Dengan mempertimbangkan karakter kinetik gerak vertikal, roll dan pitch kabin kemudi, bodi kendaraan, perilaku vertikal dan rol poros tiga roda, sudut pitch tiang penyeimbang kiri dan kanan pada suspensi belakang, dan sudut rol setiap ban. Sebuah model umum kendaraan berat tiga gandar dengan 26 derajat kebebasan telah dikaji dan diusulkan untuk menghilangkan karakterisasi kinetik kabin kemudi dan badan kendaraan [15].

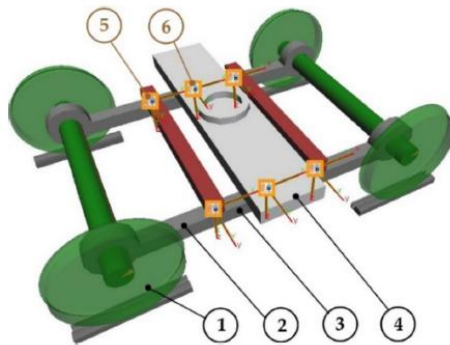


Gambar 3.13. Kerangka referensi kendaraan berat [15]

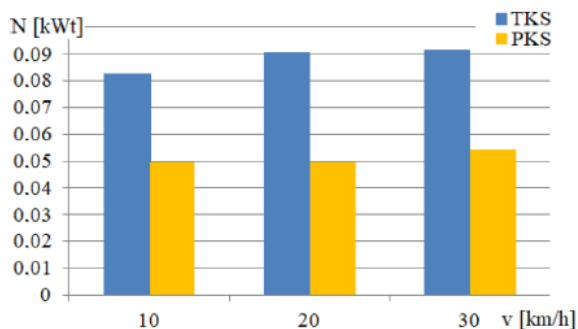


Gambar 3.14. Pandangan atas kendaraan berat tiga sumbu roda [15]

Penelitian juga dilakukan untuk kendaraan rel (kereta api). Penelitian dilakukan untuk menyelidiki dampak desain roda kereta api terhadap tingkat hambatan gerak kinematik, yang dinyatakan sebagai jumlah kehilangan energi mekanik selama interaksi roda dengan rel. Simulasi perhitungan telah dilakukan untuk kecepatan 10 km/jam, 20 km/jam, 30 km/jam, dan 40 km/jam pada model lintasan pada tikungan dengan jari-jari 20, 50, 100, 150, 200, dan 250 m. Indikator yang dinilai mempengaruhi tingkat kehilangan energi mekanik adalah gaya mulur, kecepatan slip, dan daya rata-rata [25].



Gambar 3.15. Komponen utama undercarriage: roda (1), rangka (2), balok lateral (3), palang (4), dan elemen suspensi (5 dan 6) [25]



Gambar 3.16. Nilai rata-rata power pada kecepatan kendaraan [25]

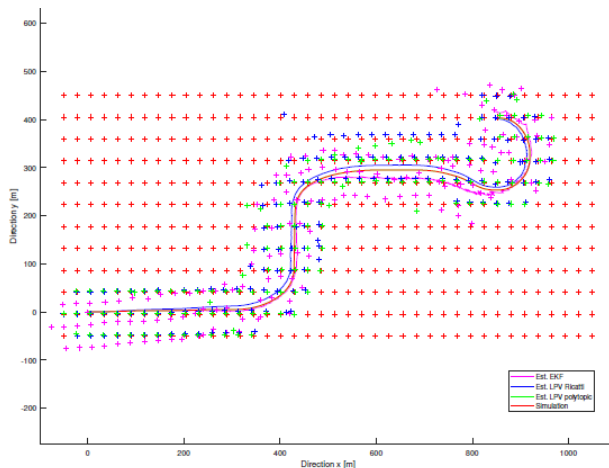
3.7. Kendaraan Sistem Otonom

Sistem penentuan posisi kendaraan yang real-time, tepat, dan berbiaya rendah yang terkait dengan koordinat berkelanjutan global diperlukan untuk perencanaan jalur dan kontrol gerak pada kendaraan otonom. Namun, sistem penentuan posisi yang ada tidak berfungsi dengan baik di ngarai perkotaan, terowongan, dan tempat parkir dalam ruangan. Untuk mengatasi masalah ini, penelitian dilakukan untuk sistem penentuan posisi multi-sensor yang menggabungkan sistem penentuan posisi global (GPS), kamera dan sensor dalam kendaraan yang dibantu oleh model kendaraan kinematik dan dinamis. Pertama, sistem menghilangkan keburaman gambar dan menghilangkan korespondensi fitur palsu untuk memastikan akurasi lokal dan stabilitas algoritma visual simultan localization and map (SLAM).

Selanjutnya, koordinat GPS global ditransfer ke sistem koordinat lokal yang konsisten dengan proses visual SLAM, dan trek GPS dan SLAM visual dikalibrasi dengan metode titik terdekat iteratif tertimbang dan deviasi absolut terkecil yang ditingkatkan. Terakhir, dilakukan konversi sistem koordinat terbalik untuk mendapatkan posisi dalam sistem koordinat global. Untuk meningkatkan akurasi posisi, informasi dari sensor di dalam kendaraan digunakan menyatu dengan filter Kalman yang diperluas beberapa model yang berinteraksi berdasarkan model kendaraan kinematik dan dinamis. Algoritma yang dikembangkan diverifikasi melalui simulasi intensif dan dievaluasi melalui eksperimen dan data diambil menggunakan platform kendaraan otonom. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem penentuan posisi yang diusulkan meningkatkan keakuratan dan keandalan penentuan posisi di lingkungan di mana Sistem Satelit Navigasi Global tidak tersedia. Sistem yang dikembangkan cocok untuk penentuan posisi dan navigasi kendaraan otonom [17].

Pada kasus kendaraan otonom, peningkatan massa dan kecepatan, model kinematik tidak cukup untuk mengkarakterisasi beberapa efek fisik seperti, misalnya, sudut slip. Oleh karena itu, ketika menerapkan SLAM pada kendaraan otonom, model yang digunakan harus diperluas dengan mempertimbangkan perilaku kinematik dan dinamis. Dimasukkannya perilaku dinamis menyiratkan bahwa nonlinier model kendaraan adalah yang paling penting. Oleh karena itu, teknik observasi klasik didasarkan pada linearisasi model sistem di sekitar titik operasi.

Teknik pengendalian tingkat lanjut yang baru harus diperkenalkan agar lebih efisien menangani nonlinier model yang terlibat. Teknik Linear Parameter Varying (LPV) memungkinkan bekerja dengan model nonlinier, membuat representasi pseudolinear, dan menetapkan metodologi sistematis untuk merancang skema estimasi keadaan dengan menerapkan beberapa spesifikasi. Dalam beberapa tahun terakhir, telah dibuktikan dalam banyak aplikasi bahwa teknik canggih ini benar sangat berguna dalam aplikasi nyata, dan telah diimplementasikan di berbagai bidang aplikasi [26].



Gambar 3.17. Identifikasi lintasan kendaraan di peta [26]

3.8. Penutup

Analisis kinematika kendaraan telah dilakukan untuk kendaraan roda dua, roda tiga, roda empat dan jenis kendaraan berat. Analisis dilakukan untuk kendaraan secara utuh maupun bagian komponennya. Diagram kinematis untuk setiap analisis telah disusun untuk perhitungan kecepatan, percepatan dan posisi kendaraan. Analisis gerak belok menjadi salah satu topik analisis kestabilan yang banyak dilakukan karena hal ini berkaitan dengan faktor keselamatan.

Perkembangan teknologi kendaraan mengarah pada sistem otonom dimana faktor pengemudi digantikan kendali berbasis teknologi. Analisis posisi diterapkan untuk identifikasi keberadaan kendaraan dalam aspek pengendalian kendaraan otonom. Prosedur maupun metode telah dikembangkan untuk keperluan analisisnya yang menonjolkan faktor akurasi hasil perhitungannya.

4. KINEMATIKA ALAT BERAT

Bab ini berisi uraian singkat analisis kinematika yang diterapkan di alat-alat berat. Bab ini memaparkan analisis kinematika pada excavator backhoe, wheel loader dan alat-alat berat lainnya. Mahasiswa atau pembaca diharapkan mendapatkan gambaran analisis-analisis yang telah dilakukan.

4.1. Pendahuluan

Laju pertumbuhan industri mesin pemindah tanah yang pesat dipastikan melalui mesin konstruksi berkinerja tinggi dengan mekanisme kompleks dan otomatisasi aktivitas konstruksi. Ekskavator backhoe banyak digunakan untuk sebagian besar pekerjaan pemindahan tanah yang sulit dalam konstruksi teknik untuk menggali di bawah permukaan alami tanah tempat alat berat bertumpu. Sistem hidrolik digunakan untuk pengoperasian mesin saat menggali atau memindahkan material [27].

Excavator adalah suatu peralatan konstruksi alat berat yang memiliki fungsi untuk melakukan pekerjaan seperti penggalian tanah, pengumpulan tanah, memindahkan dan mengangkut tanah serta mengangkat barang. Tergantung attachment yang di pasang pada excavator. Attachment ada beberapa macam antara lain backhoe, shovel, dragline, chamsel dan lain-lain. Sistem pengandaliannya dibedakan menjadi dua macam yaitu sistem kabel (cable system) dan sistem hidrolik (hydraulic system) [28].

Secara umum ekskavator terdiri atas struktur bawah, struktur atas, sistem dan *bucket*. Struktur bawah ekskavator adalah penggerak yang dapat berupa roda ban maupun roda *crawler*. Ekskavator mempunyai as (*slewing ring*) di antara alat penggerak dan badan mesin sehingga alat berat tersebut dapat melakukan gerakan memutar walaupun tidak ada gerakan pada alat penggerak atau mobilisasi [29].

Ekskavator Backhoe dapat digunakan untuk konstruksi pondasi bangunan, konstruksi jalan raya, pekerjaan pertamanan, pekerjaan kehutanan, penggalian lubang, penanganan material, pekerjaan pembongkaran ringan, pekerjaan perkotaan, pengerukan sungai, dan juga pekerjaan di lingkungan yang berbahaya. Ekskavator backhoe digunakan terutama untuk menggali di bawah permukaan alami tanah tempat alat berat bertumpu [30].

Wheel loader adalah alat berat mirip dozer shovel, tetapi beroda karet (ban), sehingga baik kemampuan maupun kegunaannya sedikit berbeda. *Wheel Loader* menggunakan ban sebagai penggerak yang memudahkan mobilitas dan juga fungsi *articulate* yang memberikan ruang gerak fleksibel. *Wheel loader* merupakan alat yang dipergunakan untuk pemuatan material kepada dump truck dan sebagainya. Sebagai *prime mover loader* menggunakan traktor [31].

Alat berat memiliki komponen-komponen yang bergerak dimana beberapa komponen dapat bergerak dengan lebih dari satu sumbu gerakan atau memiliki banyak derajat kebebasan. Kondisi ini akan menghasilkan setidaknya kemungkinan posisi yang sangat banyak dan cenderung bersifat kompleks. Gerak satu bagian rangka mempengaruhi rangka yang lain. Analisis kinematika sangat diperlukan dalam mengkaji kinerja sebuah alat berat.

4.2. Kinematika Backhoe

Mesin ekskavator hidrolik adalah penggerak tanah tugas berat yang terdiri dari boom, arm, dan bucket. Ia bekerja berdasarkan prinsip cairan hidrolik dengan silinder hidrolik dan motor hidrolik. Pengoperasian backhoe excavator hidrolik memerlukan pergerakan boom, lengan, dan bucket yang terkoordinasi untuk mengontrol posisi ujung bucket dengan mengikuti lintasan yang diinginkan dan menggunakan mesin excavator secara efektif dalam kegelapan, cuaca buruk, kondisi kerja terburuk, lingkungan berbahaya atau tidak sehat, dan area kotor. hanya dapat dicapai melalui kontrol otomatis mesin ekskavator hidrolik. Pengendalian mesin excavator hidrolik dimungkinkan jika kinematika dan dinamika mesin excavator dipahami. Pemodelan kinematik berguna untuk memahami perilaku dan meningkatkan kinerja pengoperasian alat berat ekskavator hidrolik [30].

Tugas penggalian dapat dilakukan dengan sukses dan efektif untuk kondisi kerja yang disebutkan di atas dengan mesin penggalian semiotonom atau yang sepenuhnya dikendalikan komputer. Untuk itu penting untuk memahami kinematika mesin ini. Untuk pengoperasian backhoe penggalian mandiri, sebaiknya letakkan bucket di lokasi tertentu. Konfigurasi bucket dapat ditentukan dengan persamaan kinematik langsung untuk panjang batang piston tertentu pada aktuator atau sudut sambungan. Model kinematik lanjutan yang dikembangkan ditujukan untuk pengembangan sistem kendali penggalian otomatis pada pekerjaan konstruksi tugas ringan dan dapat diterapkan pada ekskavator tugas berat atau semua jenis backhoe [27].

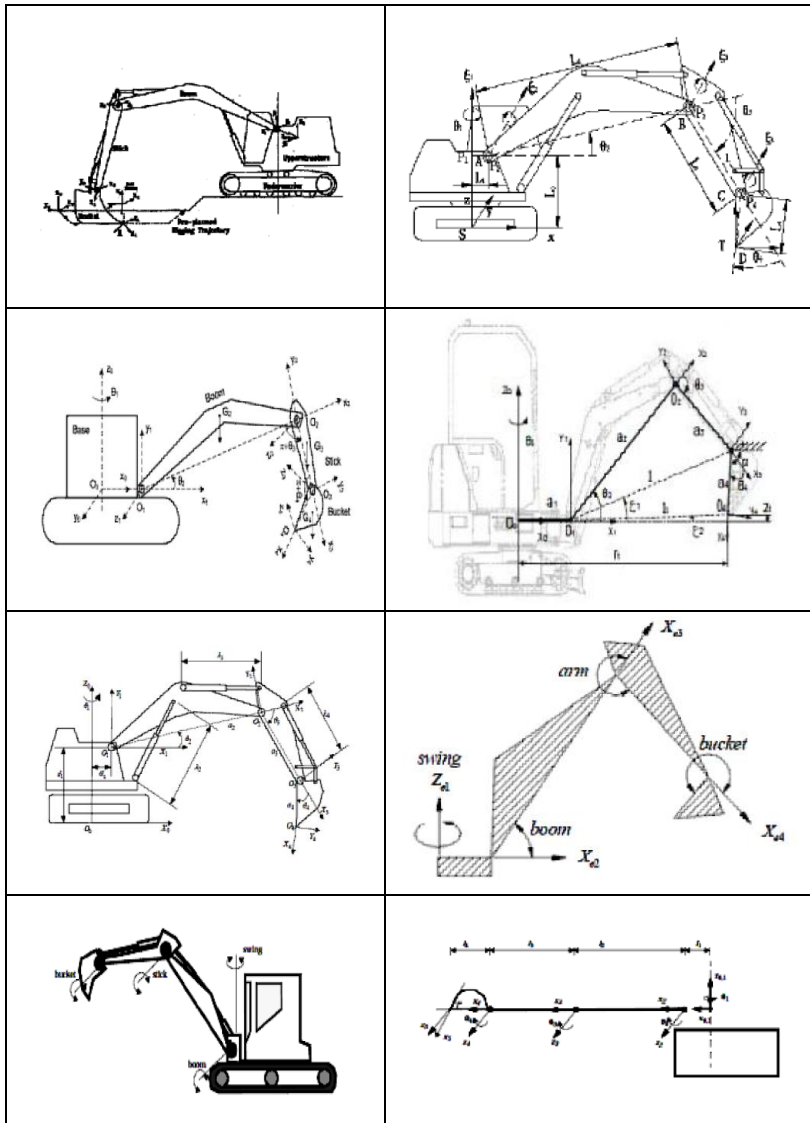


Gambar 4.1. Eskavator backhoe [30]

Eskavator backhoe sebenarnya adalah tiga buah peralatan konstruksi yang digabungkan menjadi satu unit. Tiga bagian ini adalah traktor, loader, dan backhoe seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1. Peralatan ketiga adalah backhoe, juga dikenal sebagai backhoe excavator. Backhoe merupakan alat utama dari backhoe excavator. Bagian akhir terdiri dari wadah penggali (bucket) di ujung dua bagian lengan artikulasi [30].

Eskavator backhoe memiliki beberapa jenis yang berbeda secara bentuk dan desainnya. Berikut ini hasil ulasan diagram kinematis beberapa backhoe.

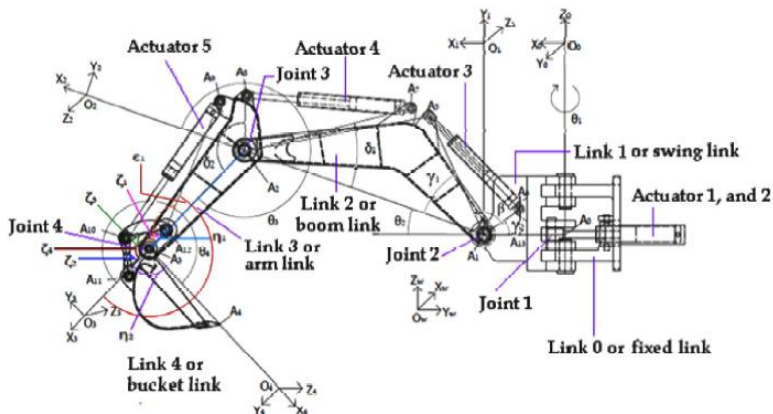
Model Backhoe	Diagram Kinematis



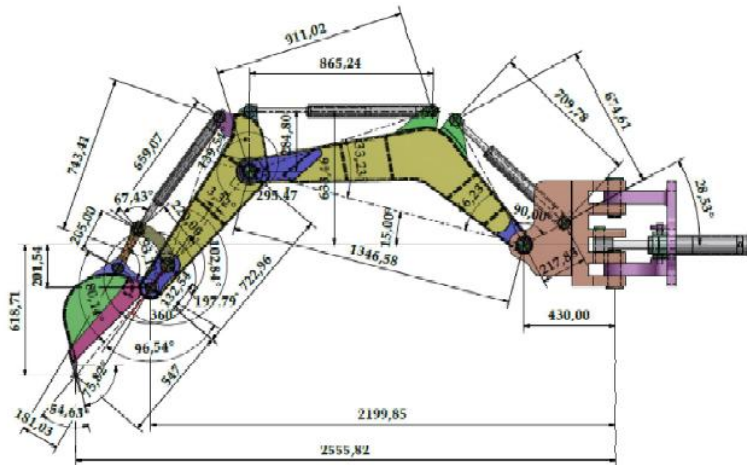
Gambar 4.2. Beberapa jenis backhoe dan diagram kinematisnya [30]

Pada dasarnya backhoe excavator mempunyai lima link dimulai dari fixed link atau base link, swing link, boom link, arm link (dipper link), dan wadah penggali. Batang-batang penghubung ini dihubungkan satu sama lain melalui sambungan-sambungan, yang memungkinkan gerakan berputar di antara batang penghubung. Satu bagian ini masing-masing menunjukkan satu derajat kebebasan. Hal ini menyebabkan konfigurasi backhoe R-RRR empat derajat kebebasan, di mana R adalah sambungan putar [27].

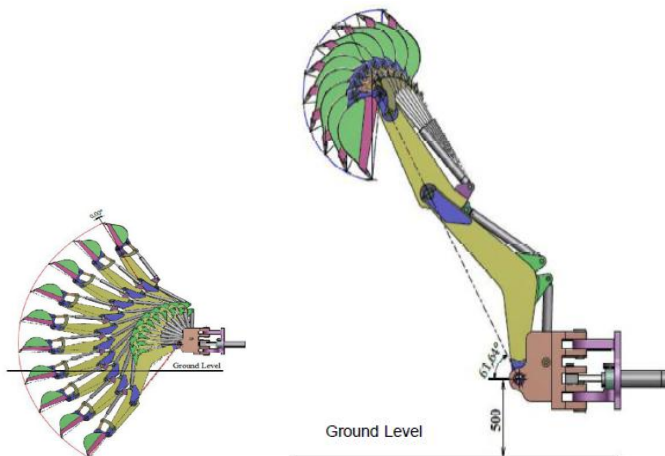
Untuk menganalisis pergerakan backhoe excavator dengan fungsi tertentu, perlu dilakukan mendefinisikan sistem koordinat dunia untuk menggambarkan posisi dan orientasi keranjang (secara kolektif dikenal sebagai konfigurasi dari wadah penggali). Sistem koordinat Cartesius sebelah kanan X_w Y_w Z_w dipilih, dan titik asal ditempatkan pada titik sembarang di permukaan tanah di ruang kerja ekskavator backhoe.



Gambar 4.3. Skema rangka backhoe dan fungsinya [27]

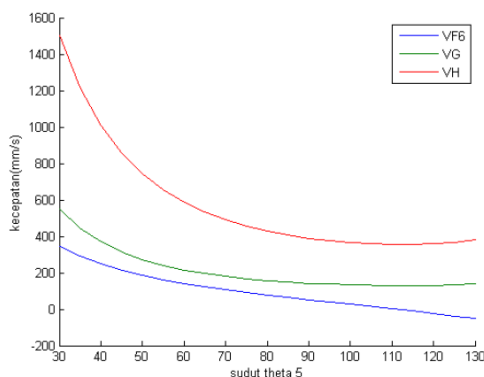


Gambar 4.4. Diagram kinematis 3D [27]



Gambar 4.5. Contoh hasil simulasi lengan backhoe [27]

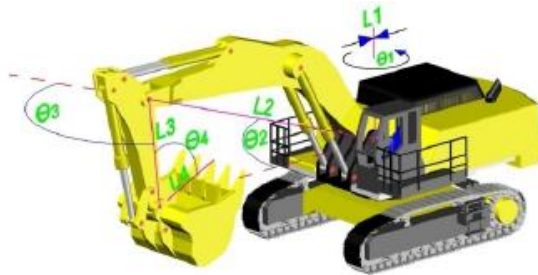
Analisis kinematis dilakukan pada excavator Keihatsu 921 C untuk mengetahui posisi dan kecepatan pada setiap link pada posisi tertentu. Analisa dilakukan sepanjang workspace area mekanisme lengan excavator berbagai titik pada mekanisme lengan excavator pada satu arah putaran. Analisis yang dilakukan adalah pada gerak umum dua dimensi yang dimiliki oleh mekanisme lengan excavator. Hasil analisis kinematis didapatkan hasil bahwa analisis kinematis diberbagai posisi dari silinder boom memendek secara maksimal sampai memanjang secara maksimal pada workspacearea didapatkan kecepatan sudut boom terendah dicapai pada saat silinder boom pada posisi sudut $\theta_1 = 42,75^\circ$ dan kecepatan tertinggi sudut boom dicapai pada saat silinder boom pada posisi $\theta_1 = 137,75^\circ$ [28].



Gambar 4.6. Grafik kecepatan bucket pada berbagai posisi [28]

Analisis kinematika juga dilakukan untuk mobile manipulator pada excavator backhoe. Data yang diambil adalah panjang *boom*, *arm* dan *bucket*, jari-jari roda, lebar *track backhoe*, dan jarak antara titik tengah pada 2 roda. Data yang diperoleh, digunakan dalam perhitungan kinematika lengan dan ekskavator *mobile*. Dari proses pengukuran diperoleh dimensi utama yaitu jarak sumbu roda (2.2 m), lebar track (1.637 m) dan jari-jari roda

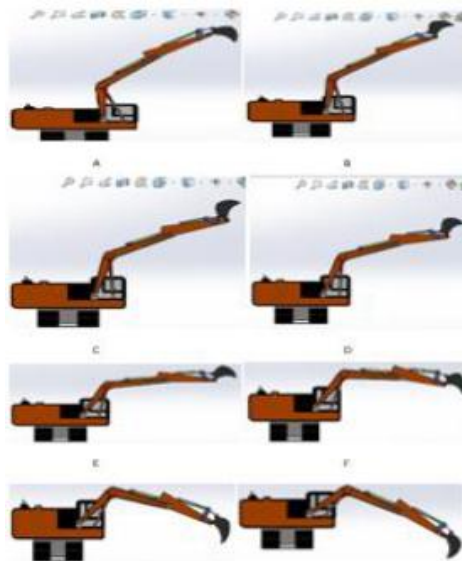
(0.404 m). Area kerja dari *boom* adalah 5.834 m, untuk *arm* adalah 2.925 m dan untuk *bucket* adalah 1.482 m. Hasil penelitian perhitungan kinematika lengan diperoleh posisi x , y dan z pada end effector xT (0 m), yT (4.556 m) dan zT (3.510 m). Kecepatan yang diperoleh adalah $\dot{x}$ $F(-1.506 \pi \text{ rad/sec})$, $\dot{y}$ $F(6.206 \pi \text{ rad/sec})$, dan $\dot{\theta}$ $(3.33 \pi \text{ rad/sec})$. Percepatan yang diperoleh adalah $\ddot{x}$ $F(-4.709 \pi \text{ rad/sec}^2)$, $\ddot{y}$ $F(-7.709 \pi \text{ rad/sec}^2)$, dan $\ddot{\theta}$ $(-4.709 \pi \text{ rad/sec}^2)$ [32].



Gambar 4.7. Konfigurasi model eskavator backhoe [32]

Analisis juga dilakukan untuk mekanisme lengan *backhoe excavator* merek Hitachi seri ZX tipe ZX-200. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui kecepatan, percepatan tangensial, dan percepatan normal pada mekanisme lengan ekskavator. Kecepatan maksimum batang *boom* adalah 2948.82 mm/s yang terjadi pada saat sudut batang *boom* berada pada 16.64° ($t = 3.83s$) atau pada sudut minimum *workspace*. Hasil simulasi kecepatan *boom* juga telah divalidasi dengan *hand calculation*. Percepatan tangensial maksimumnya 2430.12 mm/s^2 , dan percepatan normal maksimumnya 3705.11 mm/s^2 . Kecepatan maksimum batang *arm* adalah 1778.06 mm/s yang terjadi pada saat sudut batang *arm* berada pada 140.86° ($t = 0s$), percepatan tangensial maksimumnya 4594.03 mm/s^2 , dan percepatan normal maksimumnya 6665.24 mm/s^2 . Kecepatan maksimum batang *bucket* adalah sebesar 473.61 mm/s, percepatan tangensial

maksimumnya 90.09 mm/s², dan percepatan normal maksimumnya 297.89 mm/s² [29].



Gambar 4.8. Gerak lengan hasil simulasi [29]

4.3. Kinematika Wheel Loader

Wheel loader adalah alat berat mirip dozer shovel, tetapi beroda karet (ban), sehingga baik kemampuan maupun kegunaannya sedikit berbeda. *Wheel Loader* menggunakan ban sebagai penggeraknya yang memudahkan mobilitas dan juga fungsi *articulate* yang memberikan ruang gerak fleksibel. *Wheel loader* merupakan alat yang dipergunakan untuk pemuatan material kepada dump truck dan sebagainya. Sebagai *prime mover loader* menggunakan traktor [31].

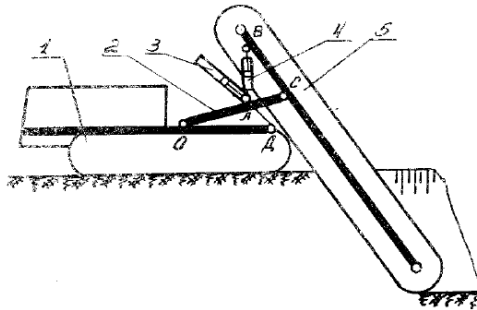


Gambar 4.9. Wheel loader [31]

Hasil analisis menunjukkan bahwa mekanisme gaya maksimum pada hidrolik pengangkat *loader* adalah 109.295.403 N. Besarnya derajat kebebasan yang terjadi pada mekanisme pengangkatan tersebut adalah 2 derajat kebebasan (*DOF*). Analisa kinematika untuk menentukan posisi *boom* maksimum dari minimum dapat diketahui kecepatan pengangkat adalah 0,606 m/det, dimana panjang *boom* = 3,574 m sehingga didapat kecepatan sudut adalah 0,169 rad/det.

4.4. Kinematika Eskavator Mesin Penggali Drainase

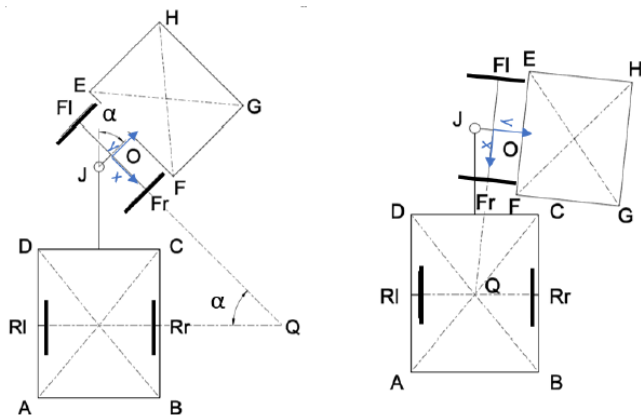
Kinematika elemen kerja mesin drainase dan suspensinya pada landasanmesin secara signifikan mempengaruhi keakuratan menahan kemiringan tertentu dari parit dan saluran pembuangan. Dalam beberapa tahun terakhir masalah ini mendapat perhatian yang cukup besar. Namun, metode analisis yang ada untuk studi kinematik mekanisme mesin drainase bersifat kompleks dan oleh karena itu tidak selalu dapat diterima. Metode geometri lebih sering digunakan. Metode analisis yang dikembangkan berdasarkan penggunaan bilangan kompleks dengan mudah menggabungkan studi analitis tentang kinematika mekanisme dengan representasi geometris [33].



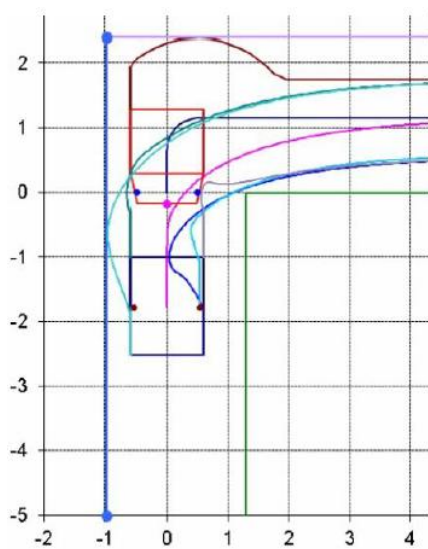
Gambar 4.10. Diagram kinematik ekskavator mesin drainase: 1– mesin dasar; 2– unit penggerak; 3,4 – penggerak hidrolik; 5 – elemen kerja [33]

4.5. Kinematika Forklift

Analisis kinematik dilakukan pada forklif artikulasi saat berbelok. Sistem kemudi artikulasi memisahkan kendaraan menjadi bagian depan dan belakang, dengan titik pivot (artikulasi) yang langsung menghubungkan keduanya di tengah. Hal ini memungkinkan mereka untuk diputar satu sama lain. Dalam sebagian besar kasus, perputaran kendaraan dilakukan ketika gaya diterapkan ke bagian depan, melalui silinder hidrolik sehingga menghasilkan torsi pada sambungan artikulasi atau secara langsung menerapkan torsi melalui motor listrik/hidrolik. Hal ini memungkinkan kendaraan tersebut memiliki kemampuan manuver dan fleksibilitas yang lebih besar dibandingkan dengan truk forklift konvensional sehingga lebih disukai di gudang modern, sehingga memungkinkan pengurangan lebar pulau dan dengan demikian meningkatkan kapasitas keseluruhan yang merupakan hal yang paling penting. Lebar minimum lorong dan persimpangan yang memungkinkan truk forklift artikulasi dengan dimensi yang ditentukan untuk lewat dengan benar telah dievaluasi [34].



Gambar 4.11. Palet dan sasis ditentukan berdasarkan titik batas [34]

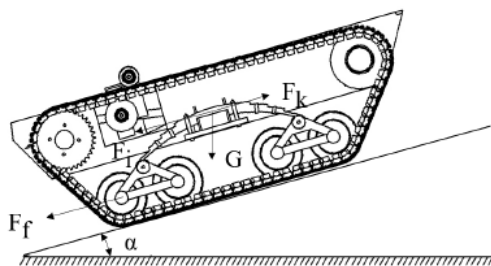


Gambar 4.12. Lintasan gerak forklift [34]

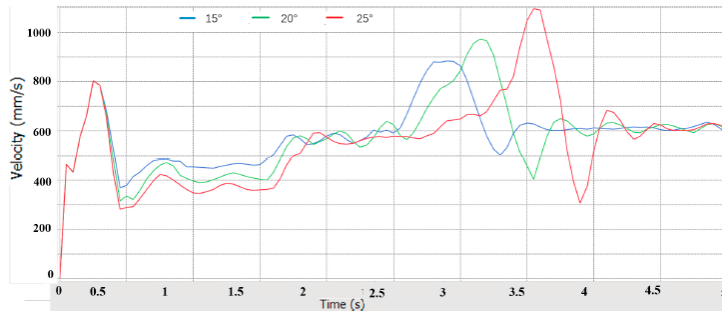
4.6. Kinematika Tracked Support Equipment

Analisis dilakukan dengan kinematika dan dinamika, dimana koordinat posisi prototipe pada waktu yang berbeda dianalisis menggunakan sudut RPY, dan ditetapkan sistem koordinat spasial prototipe. Kemudian koordinat posisi pada waktu yang berbeda dapat diselesaikan dengan menetapkan persamaan kinematika bidang prototipe. Model sistem dinamis 14 derajat kebebasan dibuat untuk mencerminkan karakteristik dinamis longitudinal dari mekanisme perjalanan prototipe, dan persamaan diferensial mekanisme lintasan ditetapkan melalui metode persamaan dinamis Lagrange.

Stabilitas dinamis prototipe dalam kondisi kerja yang berbeda dipelajari dengan menggunakan teknologi simulasi dinamis multi-benda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa prototipe tersebut memenuhi persyaratan desain, memiliki keandalan yang baik, mewujudkan mekanisasi, otomatisasi, dan produksi tambang batubara dengan efisiensi tinggi, serta mewujudkan produksi bawah tanah yang aman. Hasil penelitian memberikan solusi efektif untuk memastikan pembangunan berkelanjutan sumber daya batubara dan produksi tambang batubara yang aman [35].



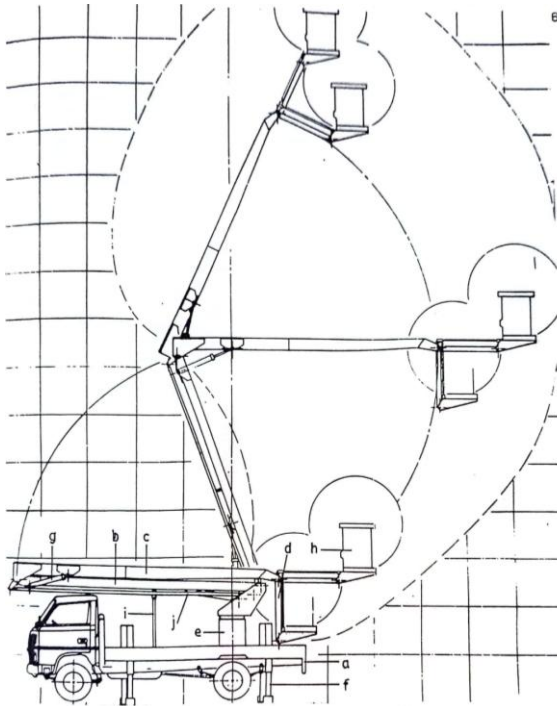
Gambar 4.13. Diagram skema prototipe [35]



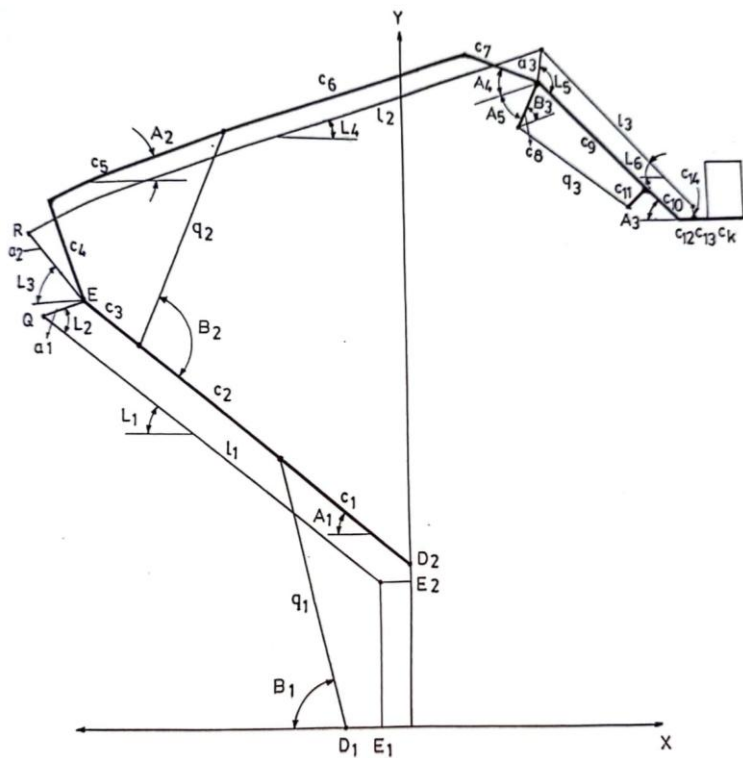
Gambar 4.14. Grafik kecepatan prototipe di kemiringan berbeda [35]

4.7. Kinematika Snorkelift

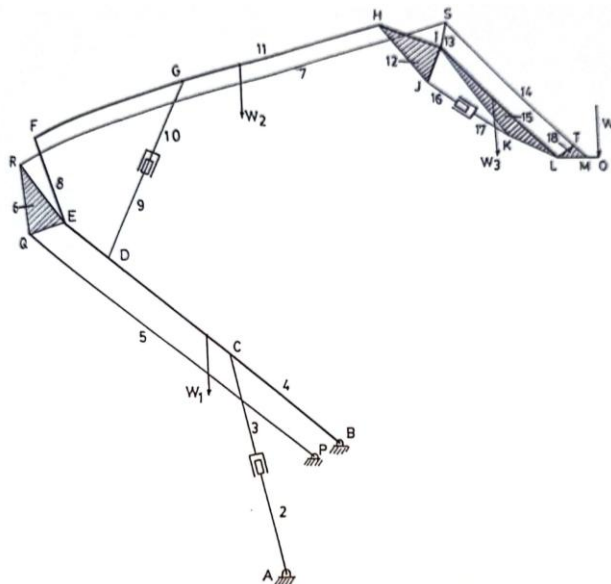
Analisis kinematika dilakukan untuk Snorkelift tipe EPV 16 meter. Snorkelift adalah pesawat angkat yang memiliki karakteristik yang disebut EPV (*Elevating Platform Vehicle mounted*) atau dengan kata lain adalah landasan kerja dengan kemampuan jangkauan pada suatu ketinggian yang dioperasikan di suatu kendaraan. Snorkelift dapat dioperasikan di setiap tempat yang dapat dijangkau oleh kendaraan pembawa. Analisis kinematika digunakan sebagai dasar dalam perencanaan lengan pengangkat [36].



Gambar 4.15. Operasional snorkelift [36]



Gambar 4.16. Diagram kinematis snorkelift [36]



Gambar 4.17. Diagram benda bebas Snorkelift [36]

4.8. Penutup

Alat berat diaplikasikan dalam kegiatan industri untuk berbagai fungsi dan keperluan. Kompleksitas gerak alat berat membutuhkan analisis kinematika yang tepat agar gerak menjadi optimal. Analisis kinematika dapat digunakan untuk menguji kinerja alat berat atau sebagai acuan desain. Analisis kecepatan, percepatan dan posisi menjadi dasar analisis dinamika selanjutnya. Diagram kinematis menjadi langkah awal analisis kinematika yang akan dilakukan. Eskavator backhoe menjadi salah satu jenis alat berat yang banyak dianalisis. Tiga bagian lengan alat berat merupakan sistem gerak yang kompleks. Jenis alat berat lain yang dianalisis antara lain wheel loader, mesin drainase, forklift dan snorkelift.

5. KINEMATIKA TEKNOLOGI TEPAT GUNA

Bab ini berisi uraian singkat analisis kinematika yang dilakukan pada peralatan yang termasuk dalam kategori teknologi tepat guna. Mahasiswa atau pembaca diharapkan mendapatkan gambaran analisis-analisis yang telah dilakukan.

5.1. Pendahuluan

Suatu proses kerja umumnya memerlukan alat bantu untuk mempermudah atau mempercepat pekerjaan. Alat bantu ini direkayasa sedemikian rupa agar sesuai dengan kebutuhan. Alat bantu ini termasuk dalam kategori teknologi tepat guna. Teknologi ini umumnya relatif sederhana, baik dari segi pembuatan maupun penggunaannya. Penerapan teknologi tepat guna, khususnya di masyarakat akan mengoptimalkan proses kerja sehingga produktivitas akan meningkat.

Peralatan teknologi tepat guna dilengkapi dengan berbagai jenis komponen yang akan menghasilkan gerak tertentu dalam mekanismenya. Aspek gerak ini merupakan bagian analisis kinematika. Analisis dapat dilakukan untuk tujuan desain, uji performa alat maupun dalam upaya modifikasi untuk peningkatan kinerja alat. Analisis kinematika sangat diperlukan dan memegang peranan penting dalam peralatan teknologi tepat guna.

5.2. Mesin Asah Mata Gergaji Bundar

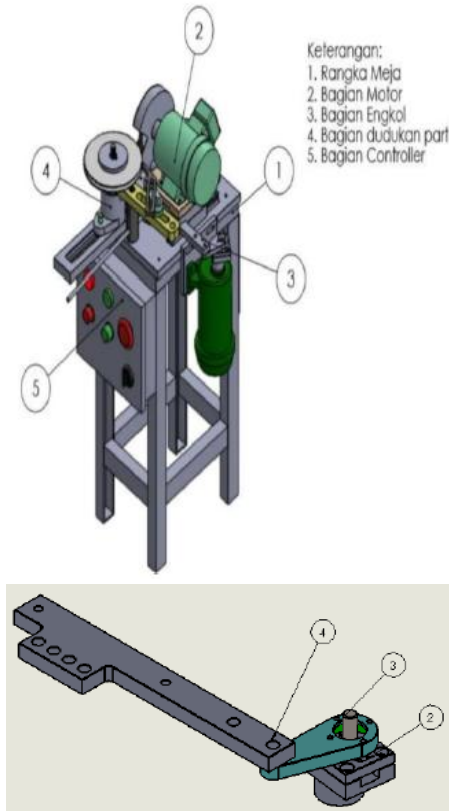
Permasalahan pada saat pemotongan adalah tumpulnya mata pisau karena digunakan terus menerus, sehingga dilakukan inovasi untuk merancang mesin asah gergaji bundar otomatis. Keuntungan analisis kinematika adalah kita dapat mengetahui gerakan-gerakan pada komponen apakah sesuai dengan apa yang kita rancang atau tidak. Analisis gerak kinematika ini bisa dilakukan dengan menggunakan metode grafis, matematis dan simulasi. Pada penelitian ini dilakukan analisis gerak kinematika menggunakan metode grafis dan simulasi menggunakan Software Ansys Rigid Dynamic.

Penelitian ini dibatasi dengan yang diukur adalah sambungan 2, 3 dan Slider dengan posisi sudut Link 2 sebesar 30° , 45° , 60° . Hasil dari penelitian ini adalah pada sambungan 2 nilai rata-rata presentase kesalahan untuk kecepatan sudut adalah 0%, kecepatan linier adalah -0,01738%, percepatan sudut adalah 0% dan percepatan linier adalah -0,02659%. Sambungan 3 nilai rata-rata presentase kesalahan untuk kecepatan sudut adalah -1,8291% kecepatan linier adalah -1,1128%, percepatan sudut adalah 1,8134% dan percepatan linier adalah 1,1186%. Slider (link 4) nilai rata-rata presentase kesalahan untuk kecepatan linier adalah 1,2784%, dan percepatan linier adalah -2,1235% [37].

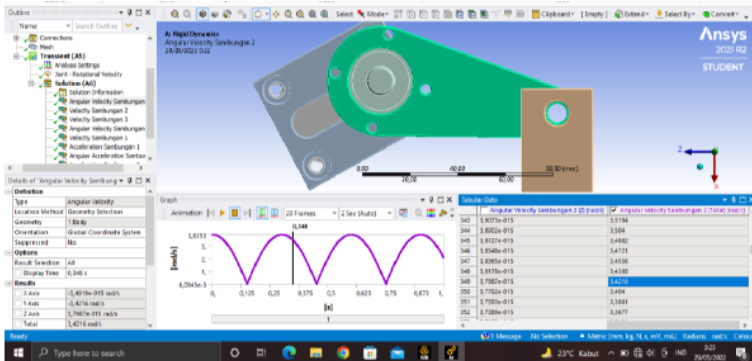
5.3. Desain Alat Bantu Juru Las

Pengelasan memegang peranan penting dalam industri otomotif seperti dalam penyambungan plat untuk body kendaraan dan penyambungan rangka untuk chassis kendaraan. Teknologi bantu digunakan untuk menjaga konsistensi kesejajaran antara pergerakan tangan juru las pemegang obor dengan sumbu alur pengelasan. Analisis kinematika dilakukan untuk alat bantu juru

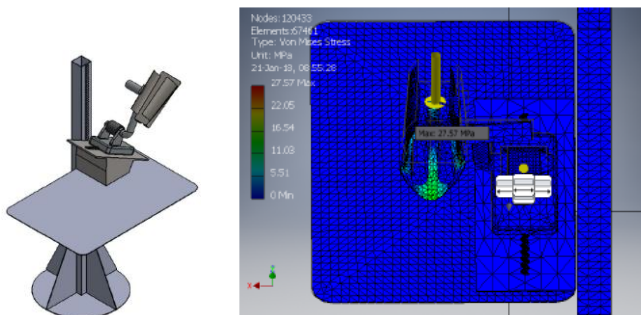
las dengan menggunakan metode perhitungan matematika serta simulasi metode elemen hingga. Berdasarkan hasil kedua metode tersebut desain dapat dinyatakan aman dengan nilai von mises *stress* antara 23.63 MPa hingga 27.57 MPa dan nilai tersebut masih jauh dibawah nilai *yield strength* material Mild Steel sebesar 207 MPa [38].



Gambar 5.1. Mesin asah gergaji bundar dan mekanisme engkol peluncurnya [37]



Gambar 5.2. Contoh hasil simulasi percepatan sudut [37]



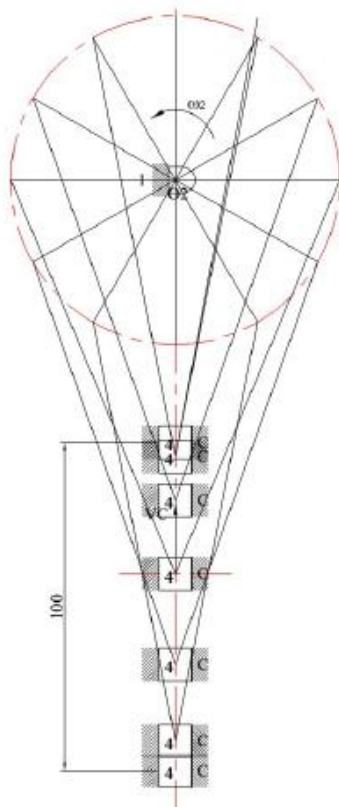
Gambar 5.3. Desain alat bantu juru las dan contoh hasil simulasi [38]

5.4. Mesin Penumbuk Beras Aruk

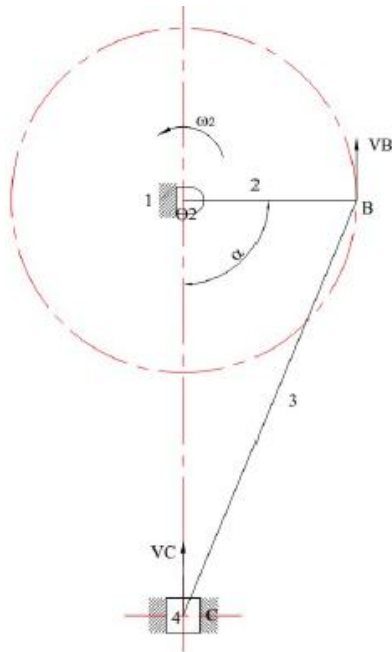
Mesin penumbuk beras aruk merupakan alat bantu dalam pembuatan beras aruk sebagai bahan pangan alternatif. Mesin digerakkan oleh motor listrik dengan putaran 1400 rpm dan kemudian dihubungkan dengan reducer dengan rasio 1:20 dan elemen transmisi pulley dan belt dan selanjutnya menggunakan poros eksentrik untuk merubah gerak putar menjadi gerak translasi untuk menggerakkan batang penumbuk. Metode penelitian dengan mengolah data putaran, menganalisa

kecepatan dan percepatan poros eksentrik berdasarkan kinematika dengan metoda trigonometri untuk mendapatkan kecepatan dan percepatan yang terjadi pada batang penumbuk.

Dari hasil analisis didapatkan bahwa panjang lintasan yang ditempuh batang penumbuk sejauh 200 mm dengan gerakan turun naik. Kecepatan maksimum yang terjadi pada batang penumbuk sebesar 3,90 m/s terjadi pada saat poros eksentrik berputar pada sudut (α) $71,91^\circ$ dan $288,09^\circ$ dengan percepatan yang terjadi sebesar 0 m/s^2 . Sedangkan percepatan maksimum pada batang penumbuk sebesar $372,01 \text{ m/s}^2$ pada saat poros eksentrik berputar pada sudut (α) 0° dengan kecepatan yang terjadi sebesar 0 m/s. Percepatan yang tinggi pada saat posisi batang penumbuk menuju alas penumbuk akan menghasilkan gaya yang semakin besar yang diberikan oleh batang penumbuk ke adonan beras aruk [39].



Gambar 5.4. Berbagai posisi batang penumbuk akibat putaran poros eksentris [39]



Gambar 5.5. Diagram kecepatan poros eksentris [39]

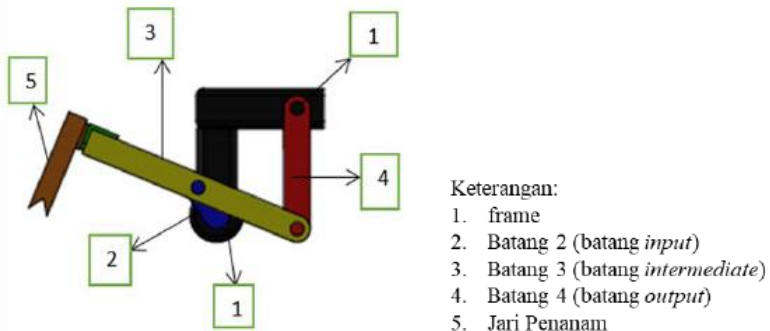
5.5. Alat Penanam Padi

Lengan tanam pada alat tanam benih padi semi mekanis ini berfungsi sebagai komponen pengambilan dan penanaman padi ke dalam tanah. Lengan penanam dibuat menggunakan mekanisme penghubung empat batang. Analisis pengaruh parameter kinematik terhadap mekanisme dan merancang pengaturan kedalaman tanam dilakukan dengan memvariasikan panjang batang serta menghitung kecepatan dan percepatan jari penanam. Metode yang digunakan dalam penelitian ini dilakukan secara analitik dengan aplikasi perangkat lunak GIM. Hasil penelitian ini adalah perancangan dimensi linkage 4 batang dan nilai input yang diberikan pada link 2 akan mempengaruhi jarak

dan kedalaman tanam padi dengan menggunakan alat tanam benih. Berdasarkan dimensi dan nilai masukan yang diberikan, kedalaman tanam berada pada kisaran 83 mm sehingga telah memenuhi kriteria penanaman bibit yang dipersyaratkan [40].



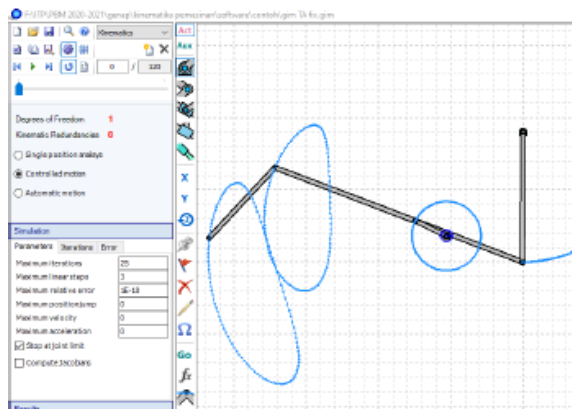
Gambar 5.6. Desain alat penanam padi [40]



Gambar 5.7. Desain mekanisme empat batang [40]

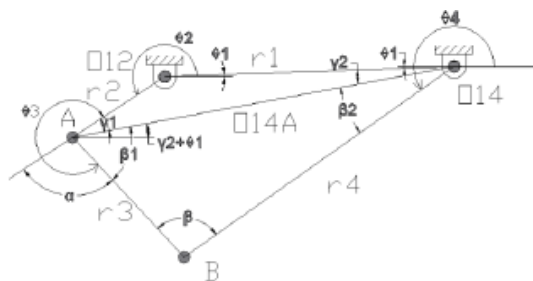
Penelitian sejenis dilakukan untuk kinerja mekanisme dan merancang pengaturan jarak tanam dengan bervariasi panjang batang dan kecepatan sudut batang input. Perhitungan kinematika dilakukan menggunakan dua metode yaitu metode analitik dan grafis. Dari hasil perhitungan kinematika diperoleh data bahwa lokus dari batang-batang pada mekanisme sudah

membentuk pola yang sama dengan gerak batang sebenarnya. Namun nilai sudut transmisi berada di bawah interval aman yang membuat pergerakan batang kurang halus, ini sesuai dengan hasil uji kinerja alat.

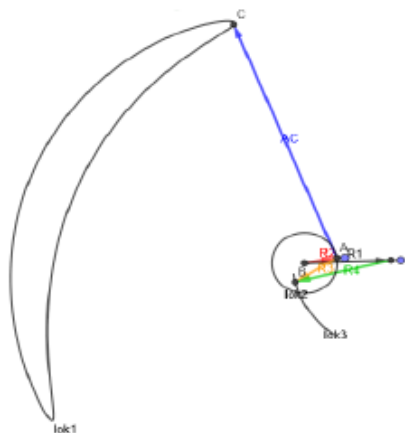


Gambar 5.8. Lintasan mekanisme hasil simulasi [40]

Rata-rata persentase selisih dari perhitungan parameter kinematika dengan dua metode masih berada pada kisaran normal (dibawah 30 %) yaitu 0.007 % sampai 3.380 %. Untuk pengaturan jarak tanam dengan bervariasi panjang batang input menjadi 2, 2.25, 2.5, 2.75, 3 dan 3.25 cm diperoleh jangkauan batang CA yaitu 24.5, 24, 23.8, 23 dan 22.5 cm sehingga disimpulkan bahwa semakin panjang batang input maka jangkauan lengan batang semakin pendek. Pengaturan jarak tanam dengan bervariasi kecepatan sudut batang input menjadi 3.142, 3.456, 3.770, 4.084, 4.398, 4.712, 5.027, 5.341, 5.655, dan 6.283 rad/s memperoleh hasil jarak tanam 37.5, 34, 31.25, 29, 27, 25, 23.4, 22, 21 dan 18.75 cm sehingga disimpulkan bahwa semakin besar kecepatan sudut batang input maka frekuensi penjatuhan bibit semakin besar dan ini berdampak dengan semakin pendeknya jarak tanam [41].



Gambar 5.9. Mekanisme alat dan parameter sudut [41]



Gambar 5.10. Pola gerak lengan penanam padi [41]

5.6. Penutup

Analisis kinematika telah diterapkan di beberapa peralatan teknologi tepat guna. Peralatan ini menggunakan mekanisme sederhana dengan model gerakan tertentu sesuai desain dan fungsi peralatan. Analisis antara lain telah dilakukan untuk mesin asah gergaji bundar, alat bantu juru las, mesin penumbuk beras dan alat penanam padi. Analisis dilakukan untuk mengkaji aspek desain atau uji performa peralatan. Aplikasi teknologi simulasi komputer juga telah diterapkan di analisisnya.

6. KINEMATIKA ROBOT

Bab ini berisi uraian singkat analisis kinematika pada gerak robot-robot seperti lengan manipulator atau robot yang lebih kompleks geraknya. Mahasiswa atau pembaca diharapkan mendapatkan gambaran analisis-analisis yang telah dilakukan.

6.1. Pendahuluan

Robotika memiliki unsur yang sedikit berbeda dengan ilmu-ilmu dasar atau terapan yang lain dalam perkembangannya. Ilmu dasar biasanya berkembang dari suatu hipotesis yang kemudian diteliti secara metodis. Ilmu terapan dikembangkan setelah ilmu-ilmu yang mendasarinya berkembang dengan baik. Sedangkan ilmu robotika lebih sering berkembang melalui pendekatan secara praktis pada awalnya [42].

Manipulator robot sudah sangat umum digunakan untuk berbagai macam aplikasi robot. Sehingga tidak sedikit penelitian yang membahas mengenai manipulator robot dengan 2, 3 dan lebih derajat kebebasan. Manipulator robot ini bisa digunakan untuk kaki sebuah robot berkaki, misalnya pada robot berkaki enam. Dengan menggunakan analisis kinematika pada manipulator robot dapat menentukan arah dan gerakan kakinya untuk berjalan [43].

Robot manipulator adalah perangkat yang digunakan untuk memanipulasi bahan tanpa kontak langsung. Sistem robot manipulator ini merupakan mekanisme lengan yang terdiri dari serangkaian segmen, biasanya geser atau *jointed*, yang menangkap dan memindahkan benda dengan beberapa derajat

kebebasan. Dalam perkembangannya, robot manipulator telah digunakan dalam melaksanakan misi tertentu dan membantu operasi di ruang angkasa [44].

Aplikasi robot telah dilakukan secara luas di berbagai bidang kebutuhan manusia. Robot dengan sistem kendali yang telah dirancang sesuai fungsinya telah banyak diterapkan. Penggunaan robotika di sektor industri atau produksi dilakukan untuk optimasi proses produksi, ketelitian pengerjaan dan hasil, serta efisiensi energi. Aplikasi robot di sektor yang lain dapat dilakukan untuk menggantikan manusia di area-area berbahaya atau beracun.

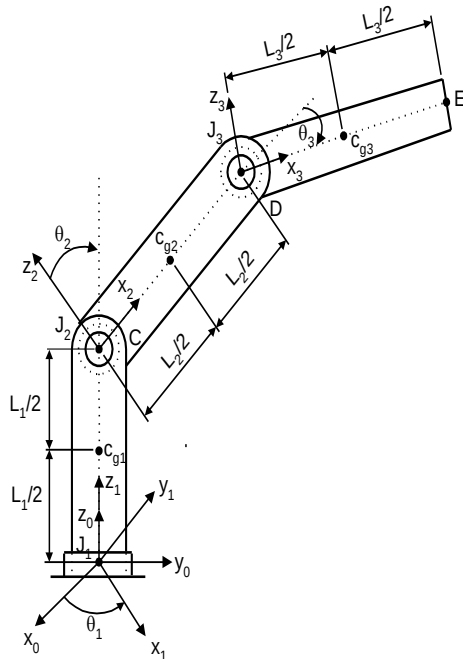
Sistem robot yang memiliki fungsi gerak merupakan bahan kajian kinematika, baik dari aspek desain maupun uji performanya. Gerak robot harus dipelajari agar sesuai dengan fungsi yang telah ditetapkan. Pembahasan kecepatan, percepatan dan posisi tetap menjadi fokus bahasan kinematika sebagaimana analisis kinematika untuk obyek-obyek bergerak lainnya. Diagram kinematis disusun sebagai dasar analisis kinematika yang akan dilakukan.

6.2. Kinematika Robot Lengan

Akurasi kinerja kinetik (kinematik dan dinamik) dari rangkaian manipulator robot yang terdiri dari komponen mekanis dipengaruhi langsung oleh eksentrisitas, *backlash*, kesalahan [45]an bentuk gigi-gigi roda gigi dan fleksibilitas yang menimbulkan getaran. *Clearance* untuk pelumas pada sambungan mekanis merupakan salah satu yang menimbulkan kesalahan karena adanya eksentrisitas geometri, dimana *geometrical defect* ini tidak dapat dihindari untuk menjaga kondisi kerja dan umur pemakaian serta mencegah *oversize* karena *wear*.

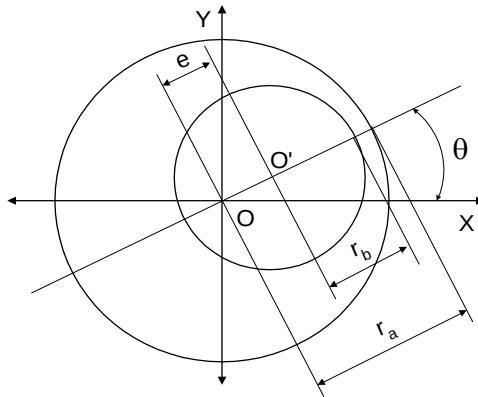
Penelitian dilakukan untuk menampilkan alternatif penyelesaian dengan memberikan prosedur kontrol yang optimal

terhadap kesalahan yang timbul karenanya sebagai umpan balik dalam sistem manipulator robot. Pada pergerakan *journal bearing*, dengan mengambil asumsi bahwa tidak ada *elastoplastic deformation and displacement* baik pada *arm manipulator* maupun pada *journal* dan tidak ada *non-proportional wear* sehingga *circular shape* dari *journal* dan *bearing* tetap, eksentrisitas geometri dirumuskan sebagai penyebab timbulnya gaya reaksi pada arah tangensial berupa *viscous friction* dan mengakibatkan ketidakstabilan *response* manipulator robot. Sehingga timbul osilasi pada *end effector* sebagai akibat dari kegagalan manipulator dalam mencapai *performance criteria* pada batas *position error* yang diizinkan [45].



Gambar 6.1. *Revolute robot arm manipulator model* [45]

Pada gambar 6.1, titik E adalah *end effector*. Sambungan link dimodelkan sebagai bantalan jurnal hidrodinamik (gambar 6.2). Dianggap titik pusat sistem koordinat global terletak pada titik pusat geometri bantalan. Link terikat pada jurnal dan tidak ada pergerakan relatif antara keduanya. Selanjutnya dapat dituliskan persamaan posisi untuk masing-masing link.

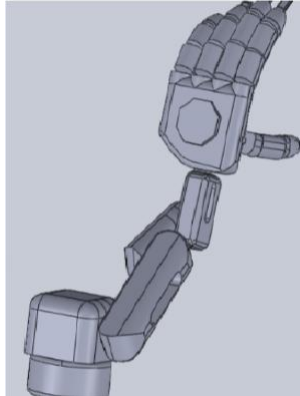


Gambar 6.2. *Journal bearing model* [45]

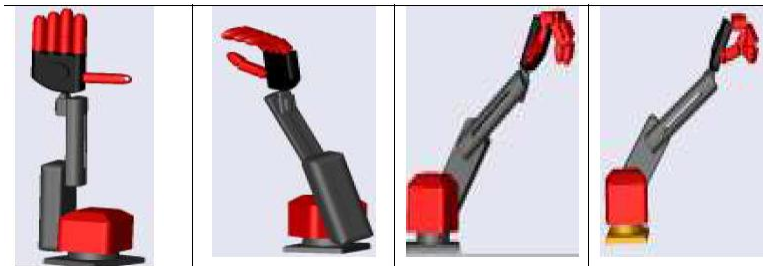
Sistem robot manipulator merupakan mekanisme lengan yang terdiri dari serangkaian segmen yang digunakan untuk menangkap dan memindahkan benda dengan beberapa derajat kebebasan. Robot biasanya berinteraksi dengan sistem tangan, dan dalam kegiatan industri tangan biasanya disebut sebagai gripper. Metode simulasi teknik digunakan untuk menentukan sistem gerak kinematika robot. Simulasi teknik adalah metode yang digunakan untuk mendesain dan menganalisa gerakan robot dimana hasil dari respon gerakan robot yang didapat mendekati hasil dalam keadaan sebenarnya.

Simulasi juga dapat menghemat waktu dan biaya yang digunakan dalam mendesain robot gripper manipulator lima jari dengan elemen prismatic. Dengan menggunakan kontrol PID

diharapkan respon gerak kinematik dari setiap joint robot manipulator mencapai performance yang terbaik seperti overshoot yang kecil, dan kondisi tenang (steady state) dalam waktu yang singkat disertai dengan kesalahan penggerak yang kecil [44].



Gambar 6.3. Skema robot gripper 3D [44]



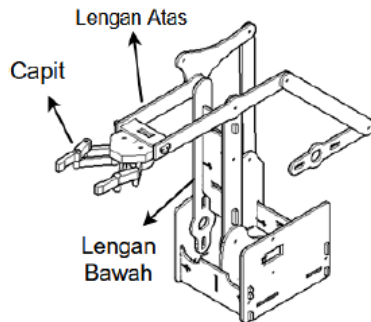
Gambar 6.4. Tampilan gerak hasil simulasi [44]

Analisis kinematika diterapkan pada lengan manipulator untuk menentukan koordinat dalam pemindahan suatu obyek. Obyek yang dipindahkan dalam hal ini botol minuman untuk produksi rumahan. Sensor yang dipakai untuk pemilah warna menggunakan LED RGB dan resistor LDR yang mampu memilah 9 warna yaitu merah, kuning, hijau, biru, merah muda, putih,

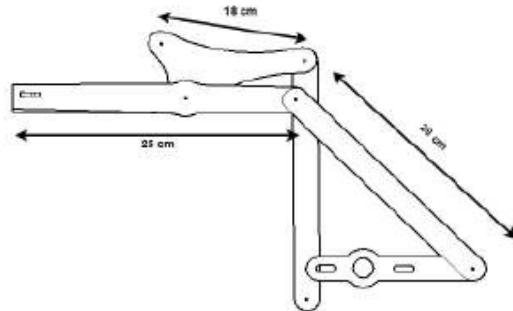
ungu, sian, dan hitam dengan memanfaatkan robot lengan sebagai pemilah.

Robot didesain yang diadaptasi dari robot lengan me arm v1.0 dengan dimensi 15 cm x 19 cm, dan tinggi 50 cm. Untuk menjalankan alat ini botol berwarna diletakkan pada tempat sensor warna, setelah warna terdeteksi lengan robot akan bergerak mengambil dan meletakkan botol yang terdeteksi ke dalam wadah yang ditandai dengan reed switch (sensor magnet). Desain robot lengan menerapkan metode forward kinematic untuk mendapatkan titik koordinat robot.

Percobaan untuk menentukan titik koordinat robot memberikan hasil sebagai berikut: (19,15 cm, 8,92 cm) saat istirahat, (23,49 cm, 33,55 cm) saat mengangkat botol, dan (35,35 cm, 0 cm) saat mengambil botol. Tingkat keberhasilan sensor warna dan lengan robot dalam memilah botol berdasarkan warna adalah sebesar 74,07%. Lama proses untuk melakukan pemilahan botol berwarna dengan beban 100 ml adalah 40,2 detik untuk satu botol [46].



Gambar 6.5. Skema lengan robot pemindah obyek [46]



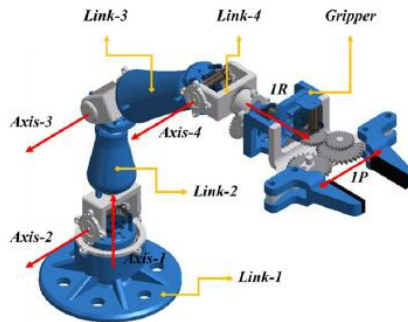
Gambar 6.6. Lengan atas robot pemindah obyek [46]



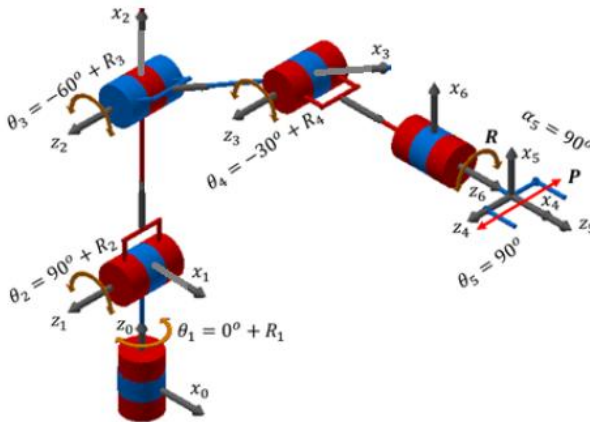
Gambar 6.7. Posisi robot saat mengambil obyek [46]

Analisis kinematika juga diterapkan pada sebuah desain manipulator 4-sumbu dengan *gripper* 2-sumbu. Tujuan penelitian adalah menganalisis kinematika suatu manipulator yang dirancang memiliki empat gerakan revolute (R1, R2, R3 dan R4) dan dilengkapi dengan gripper yang memiliki satu gerakan revolute (R) dan satu gerakan prismatik (P). Analisis dilakukan dengan memvariasikan R1, R2, R3 dan R4 manipulator serta R dan P gripper. Analisis kinematik dilakukan dengan metode Forward Kinematics berdasarkan DH-Parameter manipulator dan gripper. Manipulator dirancang terdiri dari Link-1 120 mm, Link-2 200 mm, Link-3 250 mm, dan Link-4 250 mm. Rentang gerak

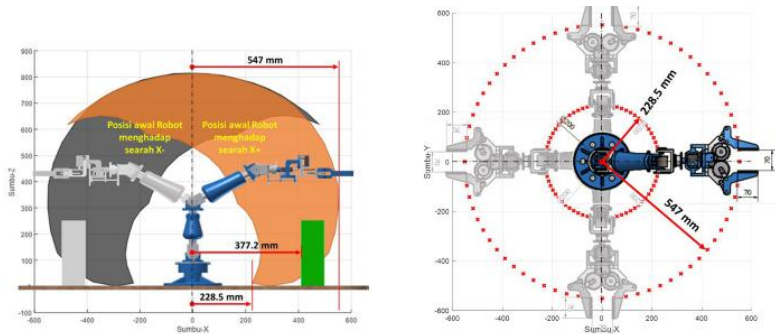
putar manipulator dirancang untuk variasi R_1 , R_2 , R_3 dan R_4 , serta rentang gerak gripper untuk variasi R dan P . Hasil penelitian menunjukkan bahwa manipulator mempunyai radius jangkauan minimum efektor akhir sebesar 228,5 mm. dan radius jangkauan maksimum efektor akhir 547,0 mm [42].



Gambar 6.8. Manipulator 4-sumbu dengan *gripper* 2-sumbu [42]



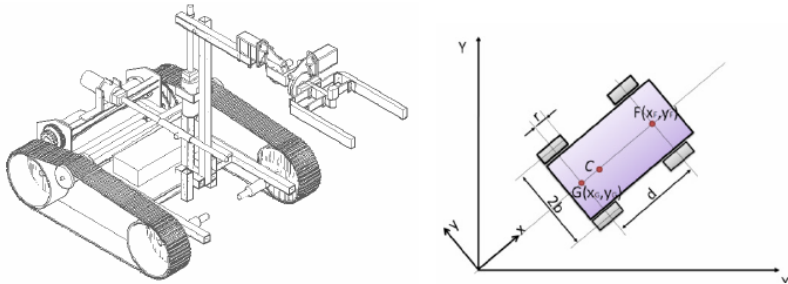
Gambar 6.9. Parameter gerak manipulator 4-sumbu dengan *gripper* 2-sumbu [42]



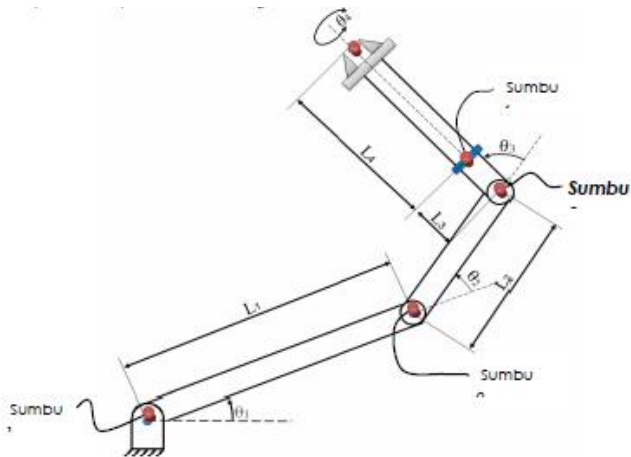
Gambar 6.10. Posisi manipulator 4-sumbu dengan gripper 2-sumbu [42]

Robot penjinak bom merupakan salah satu jenis dari *security robot*, yaitu gabungan antara *mobile robot* dan *manipulator robot*. *Mobile robot* merupakan base dari sistem ini. Sedangkan *manipulator robot* diletakkan di bagian atas dari base yang berfungsi mirip lengan manusia karena pada ujungnya dipasang gripper yang berfungsi untuk memegang dan memindahkan bom tersebut ke tempat yang aman untuk dijinakkan.

Sebelum rancang bangun dari robot penjinak bom ini terlebih dahulu membuat desain, menghitung kesetimbangan robot dan menentukan persamaan kinematika dan dinamika *mobile* dan *manipulator robot*. Pada manipulator robot digunakan robot lengan 4 DOF, untuk menentukan posisi dari lengan-lengan digunakan metode DH Parameter, kecepatan lengan-lengan merupakan turunan dari posisi dan percepatan dari lengan-lengan merupakan turunan dari percepatan. Untuk mengetahui besarnya sudut, kecepatan sudut dan percepatan sudut yang terbentuk dari hasil pergerakan lengan-lengan digunakan metode Jacobian Matriks. Output penelitian ini adalah robot penjinak bom dengan mobile robot nonholonomik dan manipulator 4-joint (DOF) [47].



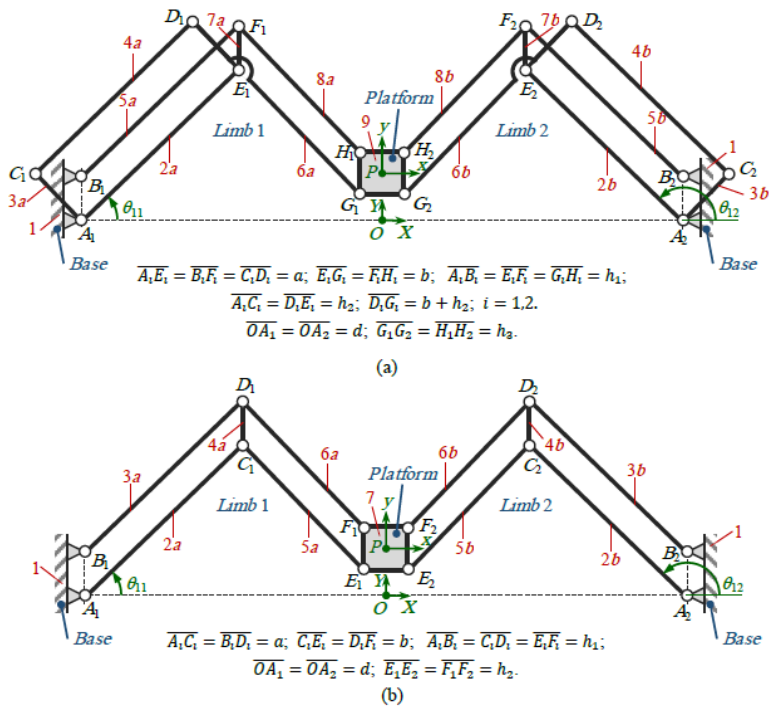
Gambar 6.11. Desain robot dan sistem koordinat gerak [47]



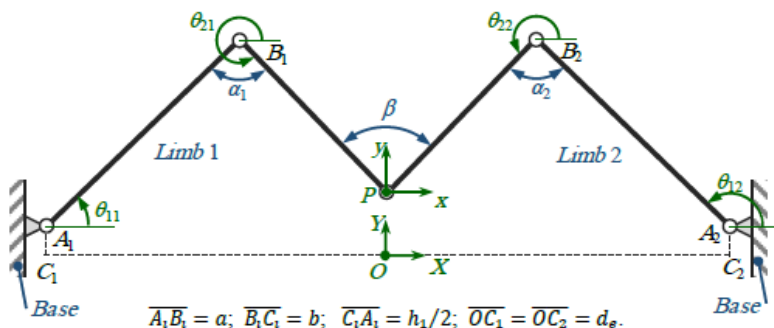
Gambar 6.12. Diagram kinematis robot penjinak bom [47]

Analisis kinematik dan singularitas manipulator paralel planar dua derajat kebebasan atau singkatnya 2DOF PPM dengan rantai jajar genjang simetris diterapkan pada manipulator paralel. Terdapat dua konfigurasi 2DOF PPM yang dianalisis yaitu 2- $\Pi\Pi\Pi$ dan 2- $\Pi\Pi$. Kedua PPM direpresentasikan pada diagram topologi menggunakan grafik masing-masing. Sebelum melakukan analisis kinematik, 2- $\Pi\Pi\Pi$ dan 2- $\Pi\Pi$ disederhanakan menjadi rantai kinematik ekuivalen, yaitu rantai kinematik 5R

yang terkenal. Kemudian, solusi bentuk tertutup untuk kinematik invers dan kinematik langsung dari PPM diperoleh dengan menggunakan rantai kinematik ekuivalen. Selanjutnya dilakukan analisis kecepatan untuk memperoleh matrik Jacobian dari PPM. Oleh karena itu, analisis singularitas dapat dilakukan untuk menyelidiki kondisi singularitas yang ada pada manipulator dengan menggunakan matrik Jacobian. Analisis singularitas menunjukkan bahwa terdapat tiga kondisi singularitas pada manipulator, yaitu singularitas invers, direct, dan gabungan kinematik [48].



Gambar 6.13. Manipulator parallel (a) 2-PPP dan (b) 2-PP [48]



Gambar 6.14. Rantai kinematik manipulator paralel [48]

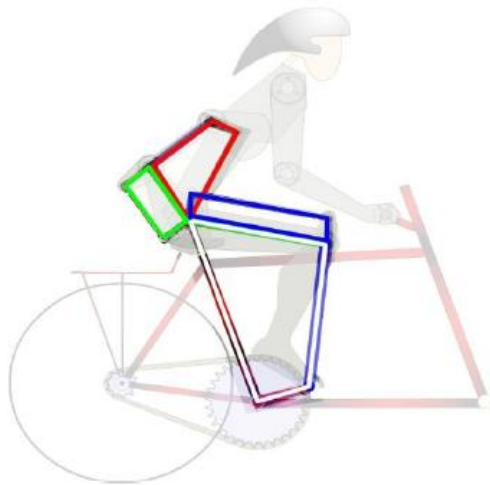
6.3. Gerak Robot Joule

Sebuah penelitian dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis dan membandingkan posisi, kecepatan, dan percepatan hasil perhitungan metode bilangan kompleks dan metode grafik poligon. Penelitian dilakukan pada sistem mekanik robotik, yaitu sepeda tandem listrik yang disebut robot Joule. Data yang diperlukan dianalisis menggunakan metode bilangan kompleks dengan bantuan program MATLAB. Sebagai perbandingan, input data dibuat sama dengan kecepatan sudut batang 2 (ω_2) sebesar 10 rad/s dan percepatan sudut batang 2 (α_2) sebesar 0 rad/s² ketika batang 2 berada pada posisi sudut 90° dari sumbu x positif [49].

6.4. Kinematika Kaki Robot

Robot tugas berat berkaki empat servo elektrohidrolik (four-legged heavy-duty FLHD) telah dirancang dan dikembangkan. Sebuah penelitian dilakukan untuk mengusulkan skema desain tata letak silinder yang terintegrasi untuk hidrolik non-ringan robot servo berkaki empat dengan beban dan torsi sendi pinggul yang tinggi dan memperoleh model analisis elemen

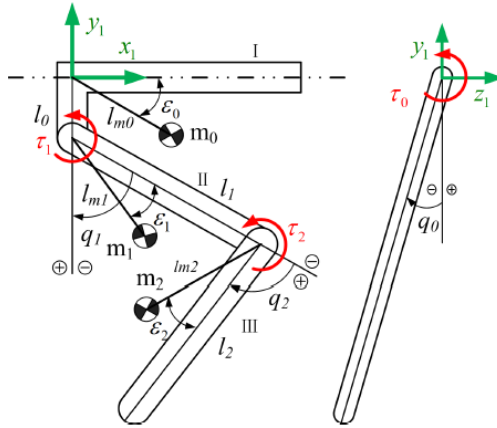
matematika untuk sistem silinder yang dieksekusi paralel (parallel-executed cylinder - PEC). Berbagai karakteristik yang melekat pada model sistem integrasi PEC dieksplorasi lebih lanjut. Berdasarkan persyaratan fungsional yang dapat dikontrol dari sambungan yang saling berhubungan, dan untuk melemahkan pengaruh kopling gaya internal, skema kontrol hibrid gaya-posisi untuk PEC dirancang, dan unit desain modul sinyal posisi-gaya digunakan untuk menyelesaikan kontrol hibrid gaya-posisi secara terbalik.



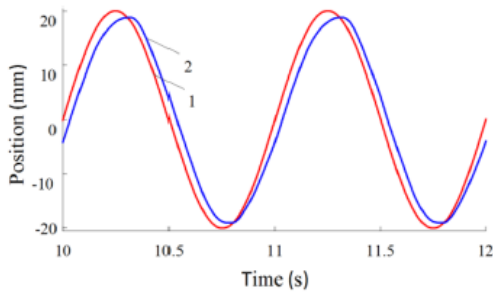
Mempertimbangkan persyaratan yang melekat pada modul unit kontrol gaya (control unit module - CUM) silinder yang dieksekusi servo (SEC), proses implementasi kompensasi fluks magnet dan kompensasi kecepatan dibahas secara rinci. Pengontrol amplitudo minimum diterapkan pada gaya SEC CUM, dan pengontrol terintegrasi proporsional telah ditentukan pada posisi SEC CUM. Hasil verifikasi eksperimental menunjukkan bahwa nilai amplitudo atenuasi posisi/gaya dan fase lag masing-masing tidak lebih besar dari 9% dan 18. Kelayakan penerapan skema pengendalian hibrid yang saling berhubungan yang diusulkan dalam makalah ini semakin ditingkatkan. Kesimpulan penelitian ini akan berguna untuk penerapan di bidang sistem kendali robot beban berat berkaki empat (four-legged heavy-load - FLHL) [50].



Gambar 6.17. Robot kaki empat [50]

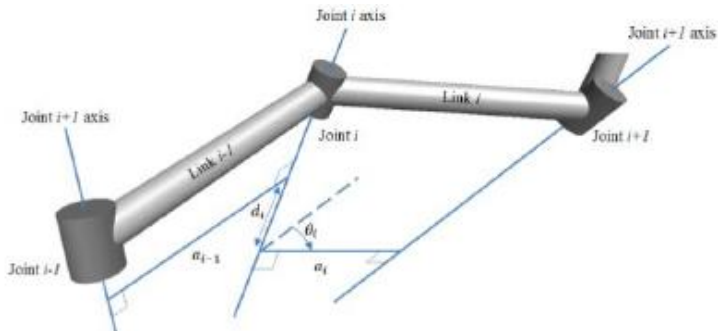


Gambar 6.18. Dimensi geometri kaki robot [50]

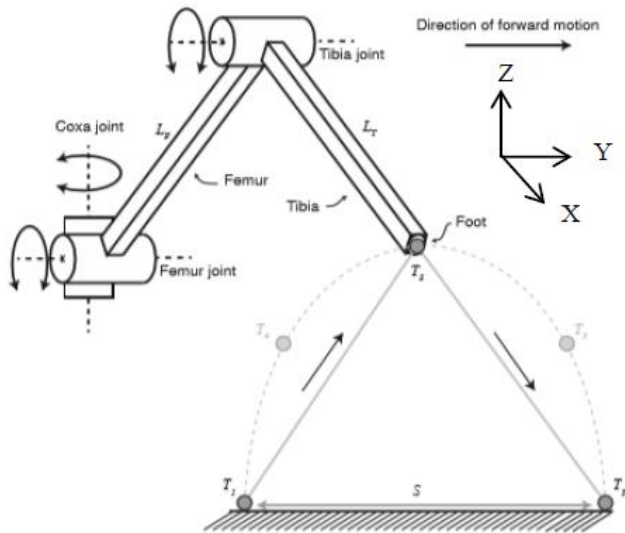


Gambar 6.19. Grafik posisi berdasarkan waktu [50]

Kinematika pada robot manipulator dengan tiga derajat kebebasan yang digunakan sebagai kaki robot berkaki enam menjadi obyek penelitian, dianalisis dan mempelajari kinematika balik dan maju. Melalui parameter Denavit Hartenberg, persamaan kinematik balik dan maju dari kaki robot secara mekanis dapat dibentuk melalui hubungan matematis antara end-effector (titik akhir efektor) dan sudut sendi. MATLAB dan RoboAnalyzer merupakan software yang kemudian digunakan untuk membuktikan persamaan kinematik tersebut dan kemudian mengimplementasikan gerakan tripod. Hasil penelitian menunjukkan analisis kinematik yang diperkenalkan Denavit Hartenberg untuk robot manipulator dengan 3 derajat kebebasan menghasilkan persamaan kinematik [43].



Gambar 6.20. Sudut putar rangka kaki robot [43]



Gambar 6.21. Lintasan kaki robot saat melangkah [43]

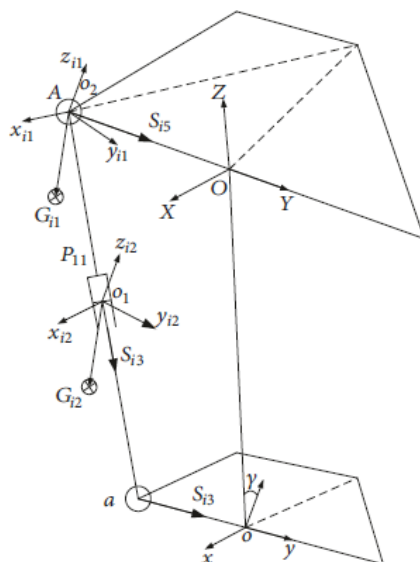
6.5. Robot Tugas Berat (*Heavy Duty Robot*)

Analisis kinematika dilakukan untuk robot penuang beban besar. Dengan menggunakan metode geometri, solusi kinematik maju dan terbalik dari sistem robot yang diusulkan dapat diberikan. Kedua, berdasarkan wadah tuang biasa, perubahan volume cairan penuangan dalam proses penuangan dan hubungan antara kecepatan sudut miring dan laju aliran dianalisis, dan hasilnya menunjukkan bahwa bentuk wadah dan desain mulut penuangan memiliki pengaruh yang besar. pengaruh pada model miring. Hal ini merupakan dasar penting untuk pembagian model sektional. Terakhir, contoh simulasi numerik diberikan untuk memverifikasi efektivitas model kemiringan yang dikembangkan. Hubungan pemetaan antara model kemiringan dan mekanisme paralel menunjukkan bahwa aliran penuangan dapat diatur dengan mengontrol pergerakan

manipulator paralel. Penelitian ini memberikan landasan teoritis penting untuk kontrol posisi gerak robot penuangan beban berat dan penelitian kontrol kecepatan penuangan [51].

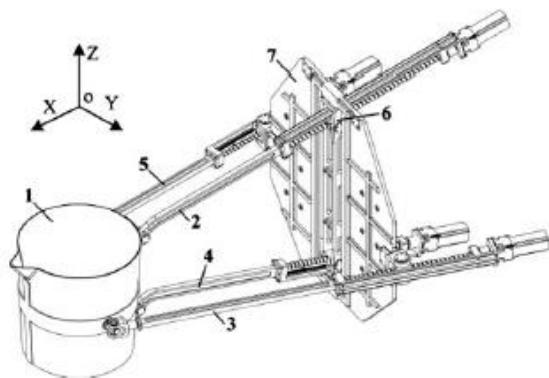


Gambar 6.22. Robot penuang bergerak tipe rangka hibrida. (1) landasan 4WD. (2) Perangkat slewing. (3) Perangkat pengangkat. (4) perangkat maju. (5) Perangkat mundur. (6) Perangkat penyeimbang. (7) manipulator paralel. (8) Efektor akhir. [51]

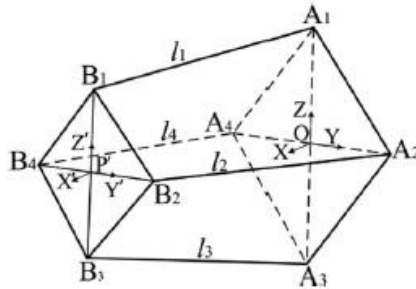


Gambar 6.23. Sistem koordinat untuk kaki dan landasan bergerak [51]

Analisis juga dilakukan untuk robot penuang pengecoran. Berdasarkan teori topologi robot, hubungan batasan mekanisme peralatan eksekusi pengecoran dianalisis, dan disimpulkan bahwa aktuator pengecoran memiliki tiga derajat kebebasan. Baik persamaan posisi invers peralatan eksekusi pengecoran maupun persamaan kecepatan aksial rantai cabang didirikan. Simulasi kinematika peralatan eksekusi pengecoran berbasis perangkat lunak ADAMS disajikan, dan karakteristik kinematika dari setiap rantai cabang paralel dianalisis. Validitas kinematika model aktuator pengecoran telah diverifikasi. Berdasarkan metode analisis ruang kerja untuk mekanisme paralel, maka rentang ruang kerja peralatan eksekusi pengecoran disimulasikan oleh perangkat lunak MATLAB. Penelitian ini memberikan referensi untuk memperluas penerapan robot struktur hibrida di bidang pengecoran dan mengembangkan pengecoran tugas berat pengecoran produk robot [52].



Gambar 6.24. Diagram skema struktur mekanik penuang pengecoran. 1: wadah tuang; 2: modul rantai cabang L1; 3: modul rantai cabang L2; 4: modul rantai cabang L3; 5: modul rantai cabang L4; 6: gabungan pasangan berputar; 7: rantai cabang blok pemasangan [52]



Gambar 6.25. Diagram mekanisme aktuator penuang pengecoran [52]

6.6. Penutup

Robot dengan gerak yang sederhana sampai dengan gerak yang kompleks telah menjadi obyek kajian analisis kinematika. Robot manipulator lengan sederhana, robot dengan kaki banyak sampai dengan robot dengan tugas berat telah dianalisis. Analisis gerak dan posisi menjadi perhatian utama untuk desain robot yang lebih baik. Metode simulasi banyak diterapkan dalam analisisnya.

7. KINEMATIKA OLAHRAGA

Bab ini berisi uraian singkat analisis kinematika di bidang olahraga dimana olahraga adalah aktivitas gerak manusia. Mahasiswa atau pembaca diharapkan mendapatkan gambaran analisis-analisis yang telah dilakukan.

7.1. Pendahuluan

Olahraga pada dasarnya adalah aktivitas gerak manusia. Dalam berolahraga, manusia melakukan gerakan berjalan, berlari, melompat, menendang, memukul dan gerak-gerak lainnya. Gerak-gerak ini menggunakan berbagai anggota tubuh dengan persendiannya. Gerak yang tepat akan menyebabkan tubuh menjadi sehat dan olahraga yang dilakukan tidak beresiko menyebabkan cedera. Aktivitas gerak ini dapat dikaji dengan analisis kinematika.

Analisis kinematika di bidang olahraga merupakan bagian bidang ilmu biomekanika yaitu ilmu yang mempelajari gerak makhluk hidup. Biomekanika olahraga mempelajari bagaimana manusia atau olahragawan bergerak saat melakukan aktivitasnya. Kajian biomekanika sangat berhubungan dengan berbagai faktor terkait seperti desain peralatan olahraga, pakaian maupun perlengkapan lainnya. Dengan demikian, analisis kinematika di bidang olahraga juga memegang peranan yang sama pentingnya.

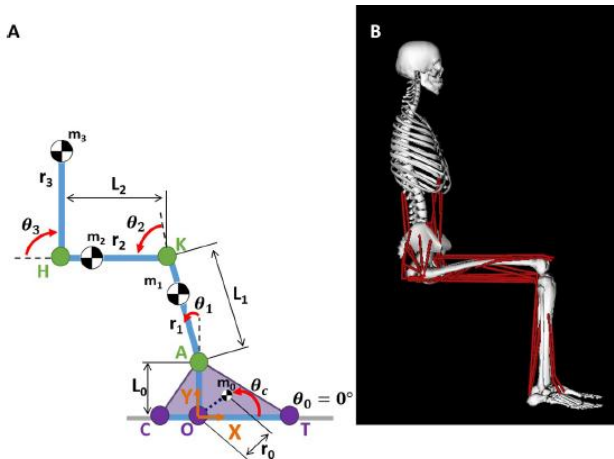
7.2. Gerak Manusia

Analisis gerak manusia telah menjadi subyek penelitian penting dalam beberapa dekade terakhir. Deteksi, pelacakan, dan identifikasi manusia telah menarik minat besar para peneliti visi komputer karena penerapannya yang menjanjikan dan penting di banyak bidang utama. Mayoritas metodologi yang digunakan untuk analisis gerak manusia didasarkan pada model, misalnya model bentuk seperti gambar tongkat, kontur 2D, atau model volumetrik. Peneliti lain menggunakan model berdasarkan penampilan untuk membangun model manusia. Informasi gerak dapat digunakan dalam analisis gerak manusia dan beberapa lainnya peneliti menggabungkan baik visualisasi dengan informasi gerak [53].

Model 4-link 2 dimensi digunakan untuk menilai pengaruh perubahan kinematik pada fungsi otot. Kinematika sendi divariasikan secara sistematis sepanjang rentang yang diamati selama fase transfer momentum dari transfer duduk ke berdiri. Potensi masing-masing otot untuk berkontribusi terhadap dukungan dan perkembangan dihitung dan dibandingkan dengan potensi simulasi yang diperkirakan dengan metode simulasi dinamis tradisional untuk orang dewasa dan individu dengan osteoarthritis lutut. Metode baru ini memerlukan waktu 4-10 detik untuk menghitung potensi otot untuk setiap kondisi kinematik dan potensi yang dihitung konsisten dengan potensi yang disimulasikan. Metode baru ini mengidentifikasi perbedaan potensi otot antar kelompok karena perbedaan kinematik, khususnya penurunan kemiringan panggul anterior dewasa muda, dan mengungkapkan modifikasi kinematik dan penguatan otot meningkat. Metode yang disajikan memberikan pendekatan yang efisien dan sistematis untuk mengevaluasi caranya penyesuaian kinematik sendi mengubah kemampuan otot untuk berkontribusi terhadap gerakan dan dapat mengidentifikasi

sumber potensial pergerakan patologis dan strategi rehabilitasi [54].

Aspek biomekanik digunakan untuk memahami lintasan gerak, yang menggambarkan perpindahan, percepatan, dan kecepatan atlet. Sebuah penelitian menggunakan metode dan teknik yang digunakan dalam bidang kinematika untuk memahami pergerakan atlet dan melakukan tindakan pencegahan terlebih dahulu untuk menghindari cedera yang dapat mempengaruhi atlet dan performanya dalam jangka panjang. Penggunaan teknologi, seperti sensor yang dapat dipakai, sistem penangkapan gerak, dan analisis video membantu para peneliti untuk memahami tingkat keparahan cedera dan juga untuk memahami sistem otot-rangka atlet. Penelitian ini membantu menghadirkan inovasi dalam analisis kinematik dan implikasinya untuk membawa hasil yang efektif di bidang olahraga dan cedera yang berkaitan dengan olahraga [55].



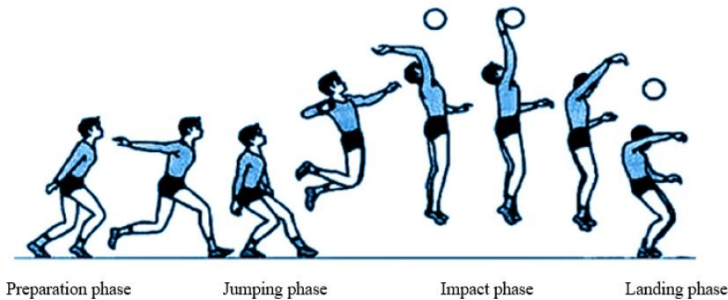
Gambar 7.1. Diagram model (A) model 4 link, (B) model kerangka [54]

Untuk memperoleh data tiga dimensi, diperlukan tiga kamera yang merekam eksekusi gerakan yang sama dari sudut pandang yang berbeda (satu untuk setiap bidang anatomi), atau satu kamera yang pada setiap eksekusi gerakan diposisikan dengan hormat ke bidang anatomi yang berbeda. Selanjutnya, menganalisis gerakan tanpa informasi dinamisnya membatasi studinya karena semua informasi yang berkaitan dengan pelaksanaan aktivitas kinematik, kinetik, dan otot yang dirantai akan hilang. Untuk mengatasi batasan ini dan memperoleh lebih banyak informasi yang lengkap dan akurat. Sebuah penelitian dilakukan untuk mengusulkan metode baru untuk menganalisis kinematika suatu gerak olahraga, yang memperhitungkan seluruh rentang gerak suatu sendi. Analisis dilakukan dengan menghitung perpindahan sudut antara kondisi-kondisi yang mengidentifikasi gerakan tersebut, sehingga mengevaluasi variasi sudut sambungan di antara puncak fleksi dan ekstensi. Pendekatan ini lebih informatif dan dapat berguna dalam mempelajari kinematika gerak olahraga [56].

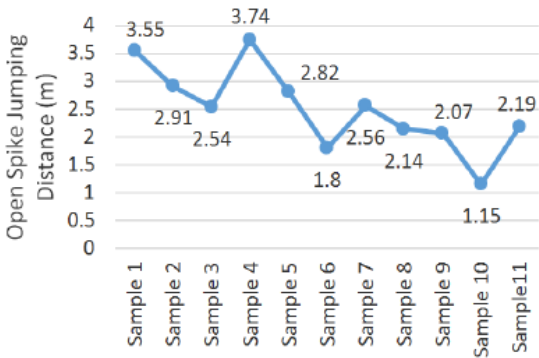
Model kinematika bagi gerak manusia yang berjalan melangkah secara teoritis dapat diturunkan dari persamaan Lagrangian yang melibatkan energi kinetik dan energi potensialnya. Analisis teoritik didasarkan pada analogi gerak tubuh dengan model osilasi, yang daripadanya dapat dibuat persamaan gerak, kemudian ditentukan solusinya baik secara analitik maupun numerik. Analisis eksperimental dilakukan dengan mengamati rekaman video, serta pengukuran terhadap posisi titik pusat massa tubuh. Model geraknya menunjukkan adanya osilasi pusat massa tubuh baik pada arah mendatar maupun pada arah vertikal. Hasil pengujian teoritis dicocokkan dengan data eksperimen untuk memperoleh model biomekanika yang tepat bagi kondisi gerak tubuh manusia. Model teoritis ini sesuai dengan hasil pengukuran yang dilakukan menggunakan analisis video terhadap gerak langkah yang sesungguhnya [57].

7.3. Kinematika Bola Voli

Teknik open spike dalam permainan bola voli sangat diperlukan sebagai strategi menyerang karena mempunyai potensi mencetak gol yang tinggi. Analisis gerak open spike bola voli dilakukan dengan analisis kinematika dan performa. Data pada penelitian ini diperoleh dari analisa rekaman video pada saat sampel melakukan open spike dengan menggunakan Dartfish versi 8.0. Hasil penelitian menunjukkan nilai rata-rata waktu yang dicapai atlet bolavoli sebesar 1,01 detik dan rata-rata impak sebesar 0,57 detik. Hal ini menunjukkan bahwa spike yang dilakukan atlet cukup efektif [58].



Gambar 7.2. Fase gerak open spike [58]



Gambar 7.3. Grafik jarak lompatan open spike [58]

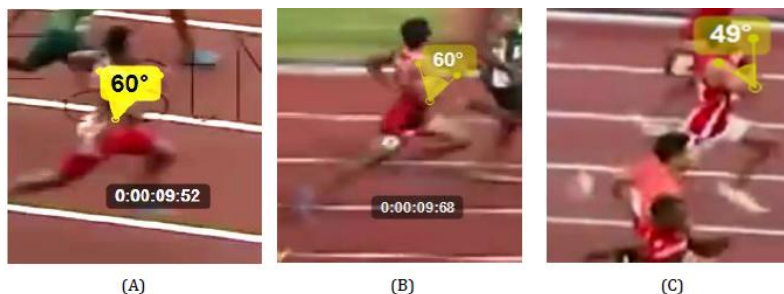
Analisis dilakukan untuk mendapatkan pengaruh teknik jump smash pada akurasi serta perubahan parameter kinematika gerakan dalam permainan bola voli menggunakan analisis dua dimensi. Metode yang diterapkan dalam penelitian ini merupakan analisis video melalui *software* Kinovea. Teknik jump smash dievaluasi dalam dua variasi, yaitu dengan dan tanpa awalan. Subjek penelitian terdiri dari 12 anggota atlet. Hasil penelitian menunjukkan perbedaan yang signifikan pada tiga variabel dari sembilan parameter kinematika yang dianalisis, terutama pada fase rotasi bahu maksimal. Tiga variabel tersebut adalah tinggi lompatan, rotasi eksternal bahu, dan kemiringan tubuh ke belakang. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa teknik jump smash dengan awalan memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan teknik jump smash tanpa awalan.

Pada aspek akurasi, data penelitian menunjukkan bahwa rata-rata akurasi jump smash dengan teknik tanpa awalan adalah 3,65, dengan nilai maksimal 5, nilai minimal 1, dan presentase total 199,8. Sementara itu, untuk akurasi jump smash dengan teknik awalan, rata-ratanya adalah 3,06, dengan nilai maksimal 5, nilai minimal 1, dan presentase total 199,9. Hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa teknik jump smash dengan awalan memiliki dampak yang lebih signifikan terhadap akurasi dan perubahan parameter kinematika gerakan pada pemain bola voli, jika dibandingkan dengan teknik jump smash tanpa awalan [59].

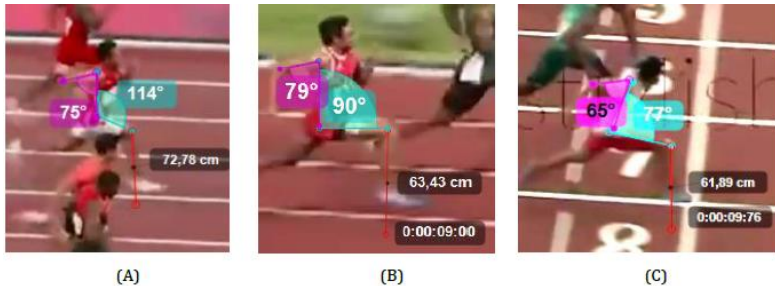
7.4. Kinematika Atletik

Sebuah penelitian dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis penampilan lari 100 meter atlet sprinter elit Indonesia. Subjek penelitian ini adalah Lalu Muhammad Zohri pada saat Kejuaraan Atletik Junior di Finlandia 2018, Asian Games 2018, dan Olimpiade Tokyo 2020. Komponen variabel pada penelitian ini adalah stride, arm extension, elbow flexion,

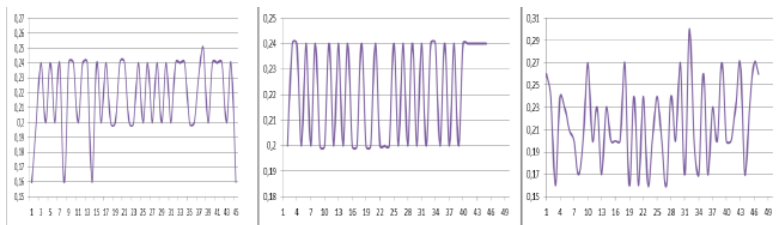
trunk flexion, knee height. Instrumen dalam penelitian ini menggunakan software kinovea. Hasil dari penelitian ini tidak ada perbedaan yang signifikan antara stride pada ketiga kejuaraan dan ada perbedaan yang signifikan pada komponen arm extension, elbow flexion, trunk flexion, dan knee height pada kejuaraan dunia junior 2018, Asian Games 2018, dan Olimpiade Tokyo 2020. Analisis data menggunakan uji friedman test. Hasil dari penelitian ini adalah tidak ada perbedaan yang signifikan antara stride pada ketiga kejuaraan. Perbedaan signifikan ditemukan pada arm extension, elbow flexion, trunk flexion, dan knee height antara ketiga kejuaraan yang diikuti oleh Lalu Muhammad Zohri. Hasil capaian Lalu Muhammad Zohri pada Kejuaraan dunia Junior 2018 dengan catatan waktu 10.18 detik menunjukkan arm extension ($100,68 \pm 21,60^\circ$) dan trunk flexion ($117,96 \pm 14,50^\circ$) lebih besar dari yang dua kejuaraan lainnya. Sehingga kecepatan maksimum merupakan kombinasi dari kemampuan motorik dan teknik lari sprint yang sangat rasional [60].



Gambar 7.4. Analisis Gerakan Elbow Flexion pada Kejuaraan Dunia Junior 2018 (A), Asian Games 2018 (B), dan Olimpiade Tokyo 2020 (C) [60]



Gambar 7.5. Analisis Arm Extension, Trunk Flexion, dan Knee Height pada Kejuaraaan Dunia Junior 2018 (A), Asian Games 2018 (B), dan Olimpiade Tokyo 2020 (C) [60]

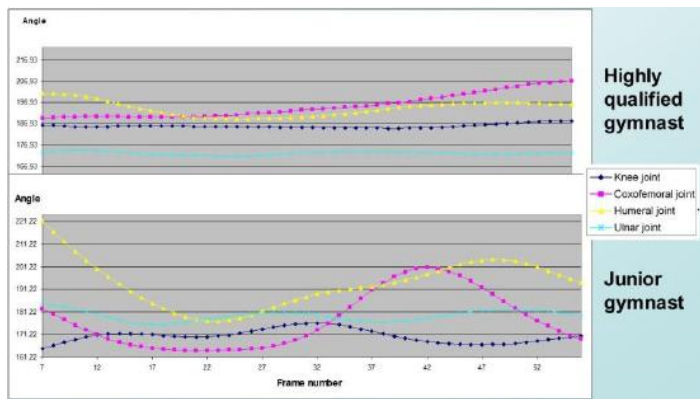


Gambar 7.6. Hasil Analisis Waktu Perlangkah Berlari pada Kejuaraan Dunia Junior 2018, Asian Games 2018, dan Olimpiade Tokyo 2020 [60]

7.5. Kinematika Senam

Metode analisis kinematik diterapkan dalam pengelolaan proses latihan pesenam junior pada contoh penguasaan tiga keterampilan dasar senam. Kelompok uji terdiri dari 10 pesenam putra junior berusia 9 hingga 12 tahun. Subyek analisis kinematik didasarkan pada perbandingan sudut sendi pesenam, kecepatan sudut, dan parameter percepatan sudut. Parameter kinematika penampilan keterampilan senam oleh pesenam berkualifikasi tinggi menjadi model sasaran bagi pesenam junior. Akibat penerapan target tersebut dalam latihan pesenam junior, terdeteksi perubahan parameter kinematik keterampilan dasar. Pada akhir penelitian, parameter kinematika pesenam junior

menjadi lebih mendekati parameter model. Dengan demikian, efektivitas metode analisis kinematika dalam pelatihan pesenam junior telah ditunjukkan [61].



Gambar 7.7. Perbandingan kinematika sudut sendi pesenam elit dan junior [61]

Analisis kinematik kinerja teknik *wendeswing* (lingkaran) Rusia pada berbagai jenis permukaan lantai dilakukan dengan menggunakan sistem penangkapan gerak 3D Qualisys. Seorang pesenam berkualifikasi tingkat tinggi melakukan 5 rutinitas dari tiga lingkaran Rusia di lantai dan di atas kuda pelana. Waktu penampilan rata-rata lingkaran Rusia di lantai sekitar 0,3 detik lebih sedikit dibandingkan waktu penampilan keterampilan yang sama pada kuda pelana. Struktur fase setiap lingkaran berisi 4 langkah tangan dengan durasi masing-masing 0,3-0,4 detik. Tindakan pengendalian lingkaran Rusia dilakukan dengan lengan. Di lantai terjadi perubahan sudut sendi bahu pada kisaran 4° hingga 35° , sedangkan pada kuda pelana menunjukkan sudut sendi bahu pada kisaran 9° hingga 40° . Perbedaan utama antara lingkaran Rusia yang dilakukan dengan peralatan berbeda ditemukan pada posisi dan pergeseran sendi pinggul dan penanda yang dipasang pada sakrum. Di lantai, praktek lingkaran

Rusia menunjukkan pergeseran penanda sakrum vertikal pada kisaran 19 cm dibandingkan dengan 11 cm pada kuda pelana. Hasilnya menunjukkan bahwa lingkaran lantai menuntut kecepatan rotasi yang lebih tinggi dari atlet dan mengasumsikan pergeseran pinggul vertikal yang lebih besar. Pada kuda pelana, performa lingkaran Rusia mencatat rentang kecepatan sudut dan pergeseran pinggul vertikal yang lebih rendah tetapi memiliki sudut sendi bahu yang lebih besar [62].

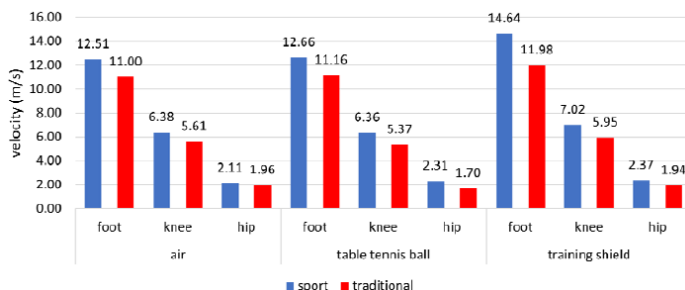


Gambar 7.8. Kinematika lingkaran Rusia [62]

7.6. Kinematika Bela Diri

Sebuah penelitian dilakukan untuk memperluas pengetahuan tentang bagaimana target dengan bentuk yang berbeda atau kurangnya target fisik akan mempengaruhi kecepatan maksimal yang dicatat oleh penanda yang ditempatkan di kaki, lutut dan pinggul selama pelaksanaan tendangan putar taekwondo. Lima belas pria dewasa atlet elite taekwondo dilibatkan dalam penelitian ini. Perpindahan pada saat pelaksanaan gerakan dicatat dengan penanda yang ditempatkan pada sisi lateral kaki, lutut dan pinggul. Peserta melakukan tendangan putaran taekwondo untuk tiga jenis sasaran (ke udara, bola tenis meja dan perisai latihan) menerapkan gaya olah raga atau tradisional. Kecepatan maksimal tertinggi diperoleh dengan menendang perisai latihan. Bila menerapkan gaya olahraga, kecepatan kaki maksimal maksimal penanda untuk tendangan yang dieksekusi telah didaftarkan. Menendang ke udara

menghasilkan kecepatan yang lebih tinggi pada bagian tubuh proksimal dibandingkan menendang bola tenis, namun efeknya terbalik untuk penanda kaki. Kesimpulannya, resistensi target yang besar adalah cocok untuk persiapan motorik atlet karena memungkinkan tercapainya kecepatan maksimum tertinggi. Target tanpa tahanan berukuran kecil direkomendasikan untuk pelatihan teknis [63].



Gambar 7.9. Grafik kecepatan rata-rata tendangan taekwondo [63]

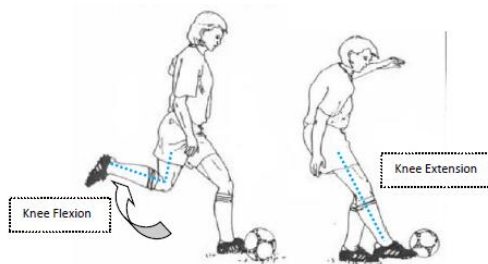
Analisis juga dilakukan untuk menggambarkan perbedaan kecepatan tendangan depan antara dua atlet timnas Indonesia putra dan putri juara dunia pencak silat 2022. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian deskriptif kuantitatif dengan subjek atlet pencak silat juara dunia tahun 2022 nomor putra dan putri. Instrumen penelitian ini menggunakan kamera Fujifilm XT 4 dengan penempatan kamera pada jarak 5 meter dari arena. Hasil video dianalisis menggunakan software Kinovea 0.9.4 dengan menghitung kecepatan tendangan depan subyek. Sampel laki-laki menghasilkan kecepatan rata-rata 3,25 m/s dengan rata-rata rincian jarak tendangan 1,82 meter dan waktu tempuh rata-rata 0,56 detik. Sampel putri menghasilkan kecepatan rata-rata 2,71 m/s dengan rincian jarak tendangan rata-rata 1,90 meter dan waktu tempuh rata-rata 0,70 detik [64].



Gambar 7.10. Pengukuran waktu tendangan [64]

7.7. Kinematika Futsal

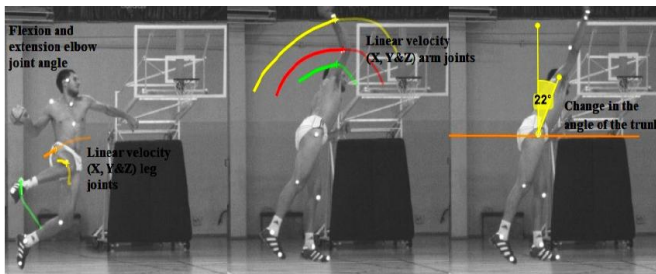
Penelitian dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui sumbangan kinematika dari jarak lintasan *forward swing*, *knee angle*, dan *knee angular velocity* terhadap kecepatan *passing* pada permainan futsal. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah korelasi, sedangkan teknik analisis data menggunakan uji regresi berganda dan uji determinasi parsial. Sampel dalam penelitian ini berjumlah 10 pemain futsal putra. Instrumen dalam pengambilan data menggunakan kamera 60 FPS dan video analysis kinovea. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa jarak lintasan *forward swing*, *knee angle*, dan *knee angular velocity* memiliki hubungan yang signifikan terhadap kecepatan bola dengan nilai signifikansi $0,000 < 0,05$. Faktor *knee angular velocity* memiliki kontribusi yang paling besar dengan nilai 61,3% [65].



Gambar 7.11. Parameter kinematika gerak sendi lutut [65]

7.8. Kinematika Bola Tangan

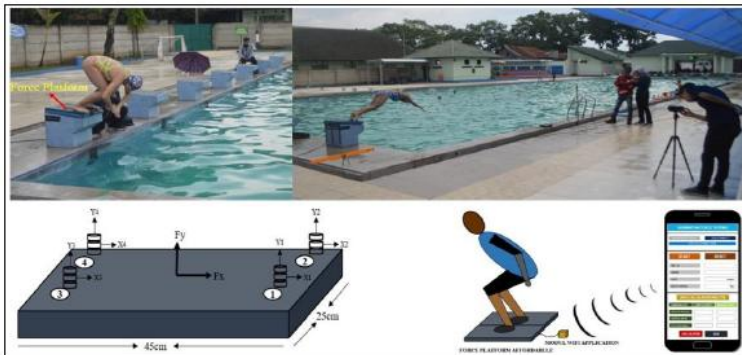
Penelitian dilakukan untuk menganalisis variabel kinematik gerak motorik dalam melempar saat melompat ke atas oleh pemain lini pertama dan kedua dalam tim bola tangan elite. Variabel kinematik tiga dimensi dianalisis menggunakan sistem analisis video 3D Statokin. Sampel penelitian ($n = 15$) terdiri dari delapan pemain lini kedua. Hasilnya menunjukkan perbedaan yang signifikan secara statistik antara pemain lini kedua dan pertama dalam hal panjang langkah terakhir ($\eta^2 = 0.87$, $p < 0.001$), kecepatan horizontal pada sumbu Y ($\eta^2 = 0.51$, $p = 0.003$), rata-rata kecepatan lepas landas ($\eta^2 = 0.62$, $p = 0.001$), kecepatan horizontal dan vertikal maksimal (sumbu Y dan Z) sendi lutut kaki ayun ($\eta^2 = 0.53$, $p = 0.002$; $\eta^2 = 0.40$, $p = 0.016$), kecepatan sudut maksimal sendi pinggul dan lutut pada kaki lepas landas ($\eta^2 = 0.38$, $p = 0.023$; $\eta^2 = 0.23$, $p = 0.050$), kecepatan sudut sendi lutut pada kaki mengayun ($\eta^2 = 0.61$, $p < 0.001$), sudut ekstensi maksimal siku saat mengayun ke belakang ($\eta^2 = 0.41$, $p = 0.042$), dan kecepatan rata-rata pelepasan bola ($\eta^2 = 0.71$, $p < 0.001$). Variabel kinematik gerak motorik sendi tubuh berbeda antara pemain lini kedua dan lini pertama saat melempar saat melompat [66].



Gambar 7.12. Analisis kinematika lemparan bola tangan [66]

7.9. Kinematika Renang

Analisis perbedaan kinematika gerak dengan pendekatan analisis tiga dimensi antara atlet putra dan putri dilakukan dengan menggunakan teknik track start dalam olahraga renang. Sampel yang digunakan adalah atlet putra 8 orang dan putri 8 dengan rata-rata usianya 19.5 tahun, tinggi badan 1.72 m dan berat badan 61.4 kg. Proses pengambilan data menggunakan satu buah 3D Force Platform, 3 buah Panasonic Handycam, Frame DIAZ IV 3D motion software dan satu set marker manual. Hasil dari analisis data menunjukan bahwa dari 21 parameter kinematika gerak yang dianalisis terdapat perbedaan yang signifikan pada kelompok putra yang hasilnya lebih besar daripada kelompok putri khususnya pada 7 parameter yaitu pada flight time, total time, height of take-off, vertical velocity of the CoM at take-off, leg power, force dan time to 15m. Sedangkan peran sumbangan mechanic leg power dan force sesaat sebelum take off merupakan faktor kunci keberhasilan performa start dalam olahraga renang [67].

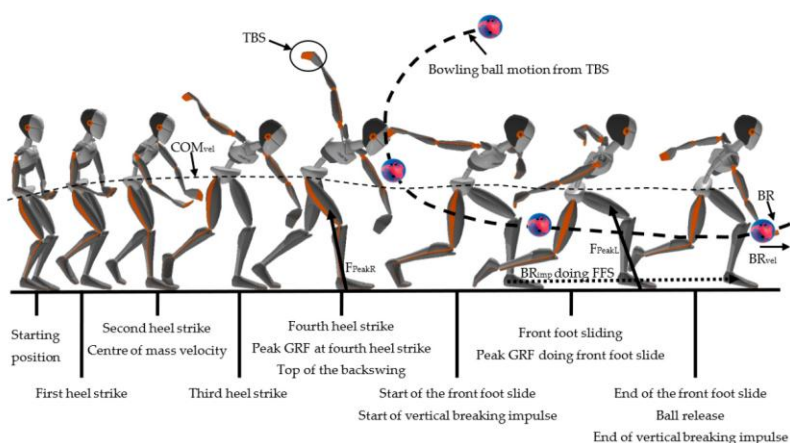


Gambar 7.17. Pengambilan data dengan 3D platform force [67]

7.10. Kinematika Bowling

Analisis kinematika dilakukan untuk seluruh tubuh dan gaya reaksi vertikal pada ekstremitas bawah saat melakukan dan untuk menentukan perubahan seiring waktu setelah beberapa kali

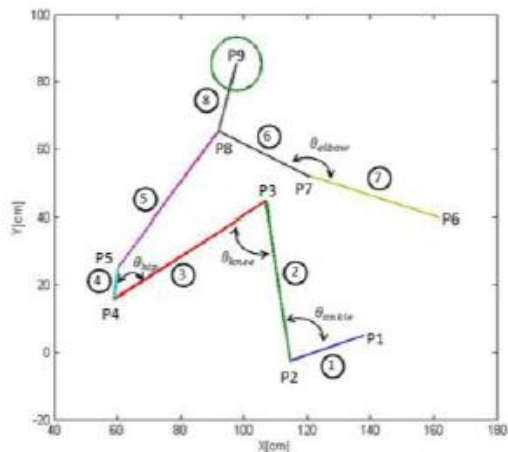
melakukan lemparan bola bowling sepuluh pin. Enam pemain bowling sepuluh pin elit pria menyelesaikan enam pertarungan dari dua belas lemparan bowling, sambil mengukur kinematika seluruh tubuh dan gaya reaksi tanah vertikal. Sudut sambungan seluruh tubuh, puncak gaya reaksi vertikal tanah di kaki, impuls patah vertikal, kecepatan pusat massa, skor bowling, dan kecepatan pelepasan bola (ball release velocity - BR_{vel}) diukur. Hasil menunjukkan bahwa BR_{vel} menurun secara signifikan selama pertandingan ($p < 0,001$). Selain itu, peningkatan fleksi pergelangan tangan dominan ($p < 0,001$) dan siku ($p = 0,004$) sebelum pelepasan bola (ball release - BR) dan peningkatan pronasi pergelangan tangan dominan selama BR ($p = 0,034$) diamati pada pertarungan selanjutnya. Perubahan kinematik pada pergelangan tangan dan siku dominan sebelum dan selama BR dilakukan untuk mengkompensasi perubahan traksi antara bola dan jalur selama bowling. Hal ini pada gilirannya menyebabkan penurunan BR_{vel} . Perspektif konservasi energi dibahas untuk menyoroti penerapan pelatihan dan kemungkinan untuk meningkatkan kinerja bowling atlet elit [68].



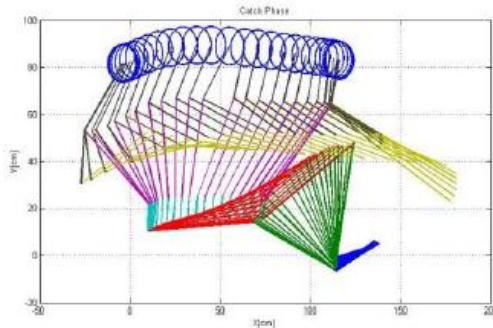
Gambar 7.14. Tahapan gerak lemparan bowling [68]

7.11. Kinematika Dayung

Pengembangan model kinematika 8 batang dilakukan untuk atlet dayung untuk mendapatkan parameter terukur. Pengambilan data pergerakan atlet pada bidang *sagittal* selama berlatih dilakukan dengan *video recorder* Sony FDR-AX100 ® dengan kecepatan rekam 60 *frame* per detik dan ergometer. Penentuan posisi sendi ditentukan dengan bantuan perangkat lunak *Kinovea setup*. 0.8.15. Segmen tubuh manusia yang meliputi telapak kaki, betis, paha, panggul, tulang belakang (*spine*), lengan atas, lengan bawah dan kepala dimodelkan sebagai sistem benda jamak 8 batang. Parameter kinematika berupa lintasan *handle*, sudut *knee*, sudut *ankle*, dan sudut *elbow* atlet dayung putra dan atlet putri didapatkan sebagai parameter terukur yang dapat digunakan sebagai rekomendasi latihan untuk meningkatkan performa atlet [69].



Gambar 7.15. Hasil rekonstruksi 2D atlet *rowing* pada keadaan statik di atas ergometer [69]



Gambar 7.16. Model kinematika 8 batang atlet dayung [69]

7.12. Kinematika Tarik Tambang

Tarik tambang (tug of war - TOW) merupakan olahraga dengan tuntutan fisik dan teknis yang tinggi. Sangat sedikit investigasi yang telah dilakukan pada biomekanika TOW dan semua riset dilakukan dalam ruangan. Penelitian dilakukan untuk mendeskripsikan dan membedakan kinematika TOW indoor dan outdoor. Seorang penarik tambang berpengalaman tercatat dalam dua kejuaraan dunia dari dua modalitas dalam beberapa tahun berturut-turut. Meskipun posisi tangan pada tali, lengan dan kemiringan tubuh serupa, perbedaan penting terlihat pada tubuh bagian bawah dan posisi tubuh, dengan kedua bahu dan pinggul ke depan dalam kasus di dalam ruangan. modalitas dan dengan pinggul dan bahu kiri ke depan dalam modalitas luar ruangan. Penelitian ini membuktikan perbedaan teknik yang digunakan dalam dua modalitas TOW dan kemungkinan hubungannya dengan risiko cedera pada beberapa bagian tubuh, dan dengan tuntutan yang lebih besar pada bagian tersebut [70].



(a) Indoor.



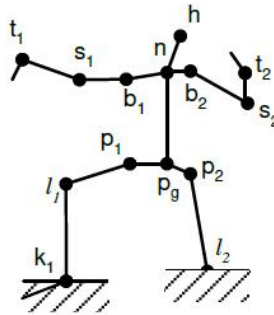
(b) Outdoor.

Gambar 7.17. Analisis tarik tambang dengan perbedaan permukaan [70]

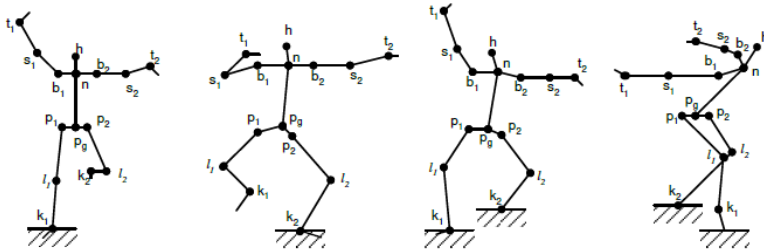
7.13. Kinematika Tari

Kasus cedera penari yang umum terjadi pada otot dan sendi. Sendi yang umum mengalami cedera adalah *ankle*, lutut dan lengan. Mengingat resiko atas terjadinya cedera, penting sekali penari dibekali dengan pengetahuan yang dapat meminimalisir terjadinya cedera. Pengetahuan tentang cedera bisa diperoleh dari kajian mekanika (kinematika dan dinamika). Hasil penelitian tentang kajian terhadap sendi lutut penari Bapang Malangan saat melakukan tarian dipaparkan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa analisa kinematika menggambarkan sistem perubahan posisi dan tumpuan beban pada tulang-tulang dan sendi penari. Kinematika sendi lutut menghasilkan gambaran besaran dan arah pembebanan terhadap sendi yaitu ke arah radial, dan tangensial. Arah pembebanan itu ada yang linier dan bidang dua dimensi, dimana posisi-posisi bagian tubuh yang menekuk membentuk sudut. Potensi cedera sendi terjadi paling besar saat posisi sendi membentuk sudut antara dua tulang. Pada posisi menari satu kaki terjadi pembebanan statis sesaat yang bisa menumpukan hampir seluruh berat tubuh pada sendi lutut, atau memunculkan beban kombinasi radial, tangensial dan momen. Posisi menekuk lutut pada satu kaki adalah posisi paling rawan cedera [71].



Gambar 7.18. Contoh diagram kinematis penari [71]



Gambar 7.19. Diagram kinematis beberapa posisi penari [71]

7.14. Penutup

Aktivitas gerak manusia dalam olahraga telah banyak menjadi obyek kajian analisis kinematika. Berbagai cabang olahraga telah menjadi bahan studi. Gerak sendi menjadi salah satu fokus kajian yang dapat berguna bagi program pelatihan maupun tindakan preventif terhadap cedera. Metode visual menggunakan kamera dan analisis data menggunakan perangkat pengolahan citra digital sangat umum digunakan. Penelitian bahkan telah dilakukan untuk gerak tari tradisional.

REFERENSI

- [1] Naharuddin, "Penentuan kecepatan dan percepatan mekanisme engkol peluncur pada komponen mesin," *Mekanikal*, vol. 3, no. 2, pp. 269–278, 2012.
- [2] M. Rizki, D. Y. Sari, H. Nurdin, and A. Kurniawan, "Analisis kecepatan mekanisme engkol peluncur," *J. Pendidik. Tambusai*, vol. 5, no. 3, pp. 8481–8487, 2021.
- [3] F. N. Hidayat, T. Prahasto, and A. Widodo, "Perancangan sistem suspensi berbasis pada mobil Citroen 2CV untuk digunakan pada lahan perkebunan," *J. Tek. Mesin S-1*, vol. 10, no. 3, pp. 461–476, 2022, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jtm>.
- [4] Nazaruddin and W. Fatra, "Analisis kinematika pada quick return mechanism dengan menggunakan metode bilangan kompleks," *Proksima*, vol. 1, no. 1, pp. 18–24, 2023.
- [5] Y. Pusvyta, "Analisa kecepatan pada alat peraga mekanisme engkol peluncur," *Flywheel*, vol. II, no. 1, pp. 43–54, 2016.
- [6] E. H. Herraprantia, S. Jatmiko, and H. Suryanto, "Studi numerik gerakan mainan mekanik monobike," *Simetris*, vol. 13, no. 2, pp. 26–31, 2019.
- [7] J. P. da Silva, "Analysis of speed and acceleration of two mobiles in the study of one- dimensional movement," *Phys. Educ. Res. J.*, vol. 5, no. 2, pp. 77–82, 2023, doi: 10.21580/perj.2023.5.2.16355.
- [8] Syawaldi, "Analisis mekanisme dan grafik kecepatan dan percepatan dengan pendekatan computer menggunakan pengolahan angka (spreadsheet) pada mekanisme kompresor," *Aptek*, vol. 12, no. 01, pp. 56–59, 2020.
- [9] Z. Yang, X. Pan, Y. Wang, and W. Tang, "Kinematics and dynamics analysis of the main motion system of reciprocating machine tools," in *ACMME 2018*, 2018, pp. 1–8, doi: 10.1088/1757-899X/394/3/032067.
- [10] T. Chan, C. Chang, A. Ullah, and H. Lin, "Study on kinematic structure performance and machining characteristics of 3-axis machining center," *Appl. Sci.*, vol. 13, no. 4742, pp. 1–29, 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/app13084742>.

- [11] M. Russo, D. Zhang, X. Liu, and Z. Xie, "A review of parallel kinematic machine tools : Design, modeling, and applications," *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 196, no. 104118, pp. 1–22, 2024, doi: 10.1016/j.ijmachtools.2024.104118.
- [12] D. N. Ramadhani, A. Widodo, and T. Prahasto, "Analisis kinematika mekanisme kopling oldham," *J. Tek. Mesin S-1*, vol. 10, no. 3, pp. 399–404, 2022.
- [13] L. Popa, I. S. Moise, V. Vladut, L. Dudici, and V. Stefan, "Kinematic study of folding bridge," in *17th International Scientific Conference Engineering for Rural Development*, 2018, pp. 531–536, doi: 10.22616/ERDev2018.17.N124.
- [14] Z. Liang and T. Wang, "A fast method for measuring kinematic parameters of experimental vehicle based on machine vision," in *International Conference on Advanced Control, Automation and Artificial Intelligence (ACAAI 2018)*, 2018, vol. 155, no. Acaai, pp. 115–120.
- [15] Y. Li, S. Ma, K. Yu, and X. Guo, "Vehicle kinematic and dynamic modeling for three-axes heavy duty vehicle," *Math. Model. Control*, vol. 2, no. 4, pp. 176–184, 2022, doi: DOI:10.3934/mmc.2022018.
- [16] E. H. Herrapstanti and S. Jatmiko, "Analisa kinematika monobike mechanical toys menggunakan GNU octave dan solidworks," *J. Tek. Mesin*, vol. 12, no. 2, pp. 38–45, 2019.
- [17] H. Min, X. Wu, C. Cheng, and X. Zhao, "Kinematic and dynamic vehicle model-assisted global positioning method for autonomous vehicles with low-cost gps/camera/in-vehicle sensors," *Sensors*, vol. 19, no. 5430, pp. 1–24, 2019, doi: doi:10.3390/s19245430.
- [18] J. Kong, M. Pfeiffer, G. Schildbach, and F. Borrelli, "Kinematic and dynamic vehicle models for autonomous driving control design," in *2015 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, 2015, no. June, pp. 1094–1099, doi: 10.1109/IVS.2015.7225830.
- [19] F. Paliling and M. M. Lumembang, "Analisis kinematika gerak belok motor nmax berdasarkan pergeseran centre of gravity (CG)," *Sinergi*, vol. 20, no. 2, pp. 188–194, 2022.
- [20] D. Vetturi, M. Tiboni, G. Maternini, and B. Barabino, "Kinematic performance of micro-mobility vehicles during braking : experimental analysis and comparison between e-kick scooters and bikes," *Transp. Res. Procedia*, vol. 69, no. 2022, pp. 408–415, 2023, doi: 10.1016/j.trpro.2023.02.189.
- [21] N. Alfiany and Novrianti, "Pembentukan persamaan model becak

- otomatis untuk dua kondisi sistem gerak dinamika: bagian I," *JuTMI, Jurnal Tek. Mesin dan Ind.*, vol. 01, no. 02, pp. 18–23, 2022.
- [22] Z. Liu, "Research on path planning problem of smart car considering kinematic constraints," *Highlights Sci. Eng. Technol.*, vol. 46, pp. 311–320, 2023.
 - [23] S. Djabbarov, S. Saidivaliev, B. Abdullayev, A. Gayipov, K. Rakhmatov, and I. Soboleva, "Study of the kinematic characteristics of the motion of the car from the top to the design point," in *E3S Web of Conferences*, 2023, vol. 04010, pp. 1–14, doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340204010>.
 - [24] D. Berjoza, "Research in kinematics of turn for vehicles and semitrailers," in *Engineering for Rural Development*, 2008, pp. 177–182.
 - [25] S. Semenov *et al.*, "Kinematic running resistance of an urban rail vehicle undercarriage: a study of the impact of wheel design," *Sci. Rep.*, vol. 13, no. 10856, pp. 1–17, 2023, doi: 10.1038/s41598-023-37640-w.
 - [26] P. Vial and V. Puig, "Kinematic/dynamic SLAM for autonomous vehicles using the linear parameter varying approach," *Sensors*, vol. 22, no. 8221, pp. 1–21, 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/s22218211>.
 - [27] B. P. Patel and J. M. Prajapati, "Kinematics of mini hydraulic backhoe excavator – part: I," *Int. J. Mech. Eng. Rob. Res.*, vol. 2, no. 1, pp. 166–182, 2013.
 - [28] D. Yulianto, "Analisis kinematis lengan excavator keihatsu 921 C," Skripsi, Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2014.
 - [29] G. Mustofa, S. Tangkuman, and H. Luntungan, "Simulasi kinematika mekanisme lengan backhoe excavator," *J. Online Poros Tek. Mesin*, vol. 7, no. 1, pp. 13–24, 2016.
 - [30] D. K. A. Patel, B. P. Patel, and M. K. A. Patel, "A critical review on kinematics of hydraulic excavator backhoe attachment," *Int. J. Mech. Eng. Rob. Res.*, vol. 4, no. 2, pp. 188–203, 2015.
 - [31] Kamsar, M. Hasbi, and A. Rachman, "Analisis sistem hidrolik pengangkat pada alat berat jenis wheel loader studi kasus Dinas Pekerjaan Umum kab. Bombana," *Enthalpy – J. Ilm. Mhs. Tek. Mesin*, vol. 1, no. 1, pp. 35–38, 2016.
 - [32] Randis, Suharlana, and R. Jayanti, "Analisis kinematika mobile manipulator pada excavator backhoe," *Din. J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 7, no. 1, pp. 25–32, 2015.

- [33] B. N. Orlov, M. A. Karapetyan, and A. S. Matveev, "Analytical method in the study of kinematics of process machinery mechanisms," in *MEACS 2020*, 2020, pp. 1–10, doi: 10.1088/1757-899X/1064/1/012026.
- [34] Y. P. Sofronov, Y. P. Stoyanova, N. E. Kopraleev, and G. D. Todorov, "Kinematic study of the articulated trucks operating layout of turn for articulated vehicles," in *TechSys2019*, 2019, pp. 1–6, doi: 10.1088/1757-899X/618/1/012044.
- [35] C. Xin, Y. Shi, J. Hao, J. Nie, and Q. Liu, "Research and simulation of kinematics and dynamics of tracked support equipment based on multi-body dynamics," *Applied Sci.*, vol. 13, no. 10613, pp. 1–28, 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/app131910613>.
- [36] G. Rubiono, "Perencanaan mekanisme lengan pengangkat snorkelift tipe EPV - 16 meter," Skripsi, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya Malang, 1994.
- [37] F. Haidy, G. R. Wilis, and I. Santosa, "Analisa gerak kinematika pada mesin asah mata gergaji bundar menggunakan mekanisme engkol peluncur," in *Seniati 2022*, 2022, pp. 372–381.
- [38] W. Libyawati, N. Upara, and A. Suwandi, "Analisis kinematika pada desain alat bantu peningkat keterampilan juru las SMAW," *J. Teknol. Univ. Muhammadiyah Jakarta*, vol. 11, no. 2, pp. 111–116, 2019.
- [39] F. Rosa and Saporin, "Analisa kecepatan dan percepatan poros eksentrik mesin penumbuk beras aruk," in *Prosiding Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian pada Masyarakat*, 2018, pp. 96–101.
- [40] R. Saferi, A. Yanto, and M. A. Putra, "Desain kinematik alat tanam bibit padi berbasis mekanisme empat batang," *J. Tek. Mesin Inst. Teknol. Padang*, vol. 11, no. 2, pp. 163–171, 2021.
- [41] D. Wardianto, I. Anwar, and Muchlisinalahuddin, "Aplikasi kinematika pada mekanisme lengan penanam alat tanam padi semi mekanis," *Menara Ilmu*, vol. XV, no. 02, pp. 25–39, 2021.
- [42] A. Yanto, R. Saferi, Anrinal, and F. Azhar, "Analisis kinematika sebuah desain manipulator 4-sumbu dengan gripper 2-sumbu," *J. Tek. Mesin Inst. Teknol. Padang*, vol. 9, no. 1, pp. 6–14, 2019.
- [43] J. Andika and K. S. Salamah, "Analisis kinematik pada robot hexapod," *J. Teknol. Elektro, Univ. Mercu Buana*, vol. 9, no. 2, pp. 83–91, 2018.
- [44] W. Widhiada, P. A. Suryawan, and B. M. Messakh, "Sistem kontrol

- gerak kinematika robot gripper manipulator," *J. Energi dan Manufaktur*, vol. 10, no. 1, pp. 37–42, 2017, [Online]. Available: <http://ojs.unud.ac.id/index.php/jem>.
- [45] N. Finahari, "Optimasi kontrol kesalahan posisi akibat eksentrisitas geometri bantalan jurnal pada manipulator lengan robot tipe putar dengan kriteria kesalahan bentuk bola," Tesis, Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 1999.
 - [46] A. Syahiidutama, S. Ardhi, J. P. Sugiono, and H. Sutiksno, "Implementasi kinematika robot lengan pemindah barang dua sendi (2 DOF) dengan koordinat dalam pemindahan sebuah object," *J. Inf. Syst. Graph. Hosp. Technol.*, vol. 2, no. 01, pp. 35–42, 2020.
 - [47] R. Syam, "Analisis Kinematika dan Dinamika Mobile Manipulator pada Robot Penjinak Bom," in *Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin VII*, 2008, no. November, pp. 1–9.
 - [48] Adriyan, "Analisis Kinematika dan singularitas manipulator paralel bidang 2 DOF dengan rantai kinematik paralelogram simetris," *J. Tek. Mesin Inst. Teknol. Padang*, vol. 10, no. 2, 2020.
 - [49] N. Tanti, A. Su, and H. G. Nugroho, "Analisis kecepatan dan percepatan gerak robot joules menggunakan metode bilangan kompleks," *J. Mech.*, vol. 5, no. 2, pp. 17–22, 2014.
 - [50] G. Wang, X. Wang, Y. Wang, and B. Fu, "Kinematics analysis of a four-legged heavy-duty robot with a force – position hybrid control servo actuator in a parallel-executed cylinder system," *Mech. Sci.*, vol. 12, pp. 735–749, 2021, doi: <https://doi.org/10.5194/ms-12-735-2021>.
 - [51] L. Li, C. Wang, and H. Wu, "Research on kinematics and pouring law of a mobile heavy load pouring robot," *Hindawi, Math. Probl. Eng.*, vol. 2018, no. 8790575, pp. 1–13, 2018, doi: <https://doi.org/10.1155/2018/8790575>.
 - [52] C. Wang, C. Xu, L. Li, H. Hu, and Y. Guo, "Design and kinematics analysis of the executing device of heavy-duty casting robot," *Int. J. Adv. Robot. Syst.*, no. January-February, pp. 1–9, 2020, doi: [10.1177/1729881419895082](https://doi.org/10.1177/1729881419895082).
 - [53] M. J. M. Vasconcelos and J. M. R. S. Tavares, "Human motion analysis : methodologies and applications," in *Intl. Symposium CMBBE2008*, 2008, no. May, pp. 1–6.
 - [54] S. A. Roelker, L. C. Schmitt, A. M. W. Chaudhari, and R. A. Siston, "Discover your potential : The influence of kinematics on a muscle ' s ability to contribute to the sit-to-stand transfer," *PlosOne*, vol. 17,

no. 3, pp. 1–21, 2022, doi: 10.1371/journal.pone.0264080.

- [55] Q. Li and D. Xiao, "The role of kinematics in sports injury rehabilitation," *Clin. Sport Med.*, vol. 43, no. 2024, pp. 335–344, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.csm.2019.081.319>.
- [56] R. Rucco, M. Liparoti, and V. Agosti, "A new technical method to analyse the kinematics of the human movements and sports gesture," *J. Phys. Educ. Sport*, vol. 20, no. 4, pp. 2360–2363, 2020, doi: 10.7752/jpes.2020.s4319.
- [57] Sardjito, N. Yuningsih, and K. Hadiningrum, "Analisis kinematika gerak pusat massa tubuh manusia saat berjalan," in *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, 2013, 297–301.
- [58] F. A. Irawan *et al.*, "A motion analysis of volleyball open spike : kinematics and performance," *Int. J. Hum. Mov. Sport. Sci.*, vol. 11, no. 1, pp. 134–142, 2023, doi: 10.13189/saj.2023.110116.
- [59] A. Aprilianti *et al.*, "Kinematics analysis volley ball jump smash : pendekatan dua dimensi gerak," *J. Ilmu Keolahragaan*, vol. 4, no. 1, pp. 30–39, 2023, doi: <http://dx.doi.org/10.26418/jilo.v6i2.69333>.
- [60] A. Z. Rizki *et al.*, "Kinematika performa 100 meter sprinter elit indonesia," *J. Ilmu Keolahragaan Undiksha*, vol. 10, no. 3, pp. 223–230, 2022.
- [61] D. Semenov, V. Shlyakhtov, and A. Romyantsev, "Kinematic analysis as the basis for training strategy in gymnastics," in *BIO Web of Conferences*, 2021, vol. 01012, pp. 1–10, doi: <https://doi.org/10.1051/bioconf/20212901012>.
- [62] D. Semenov, V. Shlyakhtov, and A. Romyantsev, "Kinematic analysis of 'Russian' circles in gymnastics," *Sci. J. Sport Perform.*, vol. 1, no. 4, pp. 385–390, 2021, doi: <https://doi.org/10.55860/VDAP7405>.
- [63] J. Wąsik, D. Mosler, D. Ortenburger, T. Góra, and J. Cholewa, "Kinematic Effects of the target on the velocity of taekwon-do roundhouse kicks," *J. Hum. Kinet.*, vol. 80, no. 2021, pp. 61–69, 2021, doi: 10.2478/hukin-2021-0103.
- [64] R. Syaifullah and I. L. Maghribi, "Speed analysis of the front kicks technique in 2022 pencak silat world champion athletes: Kinematic analysis," *J. Sport. J. Penelit. Pembelajaran*, vol. 9, no. 1, pp. 146–159, 2023, doi: https://doi.org/10.29407/js_unpgri.v9i1.19983.
- [65] I. D. M. A. W. Kusuma, "Kinematika gerak yang mempengaruhi kecepatan bola pada teknik passing permainan futsal," *J. Sport. J. Penelit. Pembelajaran*, vol. 6, no. 3, pp. 674–683, 2020, doi:

https://doi.org/10.29407/js_unpgri.v6i3.14785.

- [66] Q. B. Yaseen, I. V. Petracheva, Y. N. Kotov, and R. S. A. Eltibi, "Kinematic variables of elite handball players during throwing from upward jumps," *South African J. Res. Sport. Phys. Educ. Recreat.*, vol. 43, no. 1, pp. 125–139, 2021.
- [67] A. Rusdiana, "Analisis kinematika gerakan track start dalam olahraga renang," *Juara J. Olahraga*, vol. 4, no. 2, pp. 142–150, 2020, doi: <https://doi.org/10.33222/juara.v5i2.881>.
- [68] B. E. Seiferheld, J. Frost, T. B. Østergaard, M. S. Krog, K. K. Klitgaard, and M. de Zee, "Full-body kinematics and vertical ground reaction forces in elite ten-pin bowling: a field study," *Sensors*, vol. 23, no. 8284, pp. 1–12, 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/s23198284>.
- [69] A. Sugiharto, A. Isra, I. Herman, M. Nanang, and H. Kusuma, "Pengukuran dan pemodelan sistem kinematika 8 batang sebagai parameter kinematika pada atlet rowing," in *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XV (SNTTM XV)*, 2016, 1216–1223.
- [70] A. Castañeda-Babarro, J. Calleja-González, A. Zubillaga, A. M. Aguirre-Betolaza, and R. Cayero, "Kinematic differences between indoor and outdoor tug of war : A single case study .," *J. Sport Sci.*, vol. 19, no. 3, pp. 201–208, 2023, doi: <https://doi.org/10.17398/1885-7019.19.201>.
- [71] F. Rosianto, G. Soebiyakto, and N. Finahari, "Analisis kinematika dan dinamika sendi lutut penari bapang malangan," *Juste, J. Sci. Technol.*, vol. 1, no. 2, pp. 153–164, 2021.

PROFIL PENULIS



Gatut Rubiono adalah seorang dosen yang mengawali kariernya sebagai konsultan lepas di satu NGO (*Non Government Organization*) nirlaba asing, *Swisscontact*, untuk bidang pengembangan UMKM berlatar belakang otomotif. Pengalamannya di NGO tersebut memberikan bekal pengetahuan tentang pengendalian limbah bengkel otomotif, metode penyusunan *bussiness plan*, teknik survei dan analisis situasi, *workspace layout*

yang berwawasan lingkungan, dan utamanya adalah etos kerja profesional yang adaptif.

Hal ini mendorongnya untuk menempuh studi magister teknik (teknik mesin) di Universitas Brawijaya Malang pada rentang 2002-2006, dengan spesifikasi Mekanika Fluida khususnya untuk *fenomena elektrokinetik*. Dengan bekal tersebut Beliau ikut membidani berdirinya program D3 Otomotif di satu PTS Kota Malang, yang mengalihkan profesinya pada bidang pendidikan tinggi. Minatnya pada bidang pendidikan juga melatari aktivitasnya dalam pergaulan dosen yang berujung pada berdirinya organisasi dosen berbasis media sosial. Forum Dosen Indonesia (FDI), nama organisasi itu, dibidannya juga sekaligus menjadikannya Ketua Umum Dewan Pengurus Pusat pertama untuk rentang 2014-2018. Ini membulatkan komitmennya untuk berkiprah total di dunia pendidikan tinggi. Saat ini Beliau masuk dalam jajaran Dewan Penasehat Perkumpulan Dosen Indonesia Semesta, versi FDI yang memiliki Badan Hukum SK Kemenkumham RI.

Sebagai mantan Wakil Rektor 3 Bidang Kemahasiswaan dan Penelitian di Universitas PGRI Banyuwangi untuk periode 2018-2022, Beliau dekat dengan mahasiswa dan laboratorium. Dalam hal ini Beliau telah menghasilkan beberapa penelitian yang didanai skim hibah DRPM Dikti, juga untuk hibah pengabdian masyarakat, dan membimbing Program Kreativitas Mahasiswa hingga maju ke arena Pimnas. Beliau aktif mendorong berkembangnya kegiatan penelitian di lingkungan dosen dan mahasiswa, dengan tema-tema pengembangan multidisipliner, khususnya untuk biomekanika dan fluida.

Buku ini merupakan satu dari sekian banyak buku kolaborasi dengan dosen sekampus dan dari universitas lain. Buku karya solonya adalah *Dedaunan Hidrofobik*, *Aliran Fluida Melalui Benda Penghalang* dan *Biomekanika Sepakbola*. Selain itu juga terdapat buku antologi yang disusun bersama sejawat di lingkungan FDI. Karya tulis dalam jurnal ilmiah dan prosiding, baik untuk lingkup nasional maupun internasional telah banyak terbit, yang bisa ditelusur ke belakang hingga tahun 2008.



Nurida Finahari mengawali karir profesionalnya sebagai dosen sebagai pilihan yang didasari pemahaman atas peran wanita dalam rumah tangga. Hal ini terkhusus pada kebutuhan pengasuhan anak pada masa-masa balita. Peran pengasuhan ini dipahaminya akan memerlukan kemerdekaan terhadap waktu kerja. Dosen, pengajar, tampak sebagai karir yang memiliki fleksibilitas waktu kerja yang tinggi, di samping beberapa pilihan

karir lainnya. Alasan kedua adalah kecintaannya pada dunia kampus, yang menurutnya adalah inkubasi terakhir pendidikan manusia untuk bisa menerjuni kehidupan sesungguhnya sebagai manusia dewasa, yang memiliki tanggung jawab penuh terhadap diri dan lingkungannya.

Dengan pemahaman tersebut, Finahari menempuh studi magister teknik untuk bidang rekayasa perancangan dan manufaktur di ITS Surabaya pada rentang 1995-1999, dengan spesifikasi Teknik Kontrol khususnya untuk *lengan robot*. Hal ini sesuai dengan bidang desain konstruksi yang dipilihnya saat studi sarjana di Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang. Pengetahuan desain dan teknik kontrol ini membawanya pada jenjang studi doktoral dengan pemilihan bidang Teknologi Kedokteran. Kajian disertasi yang mengarah pada fisiologi jantung menetapkan pilihan fokus riset pada aspek *Vibrasi dan Suara* yang dipadukan dengan *Sistem Kontrol Fisiologi Tubuh Manusia*.

Selepas studi doktoral, tema-tema penelitiannya sepenuhnya mengarah pada obyek kajian tubuh manusia, yang dipandang dari teknologi kuno berbasis budaya dan kearifan Budaya Jawa, yang diyakininya sangat *adiluhung* dan *canggih*. Finahari ini mendapatkan bukti-bukti ilmiah untuk kembali menghidupkan teknologi dan kearifan Jawa Kuno serta menempatkan pada peran utama dalam kehidupan masyarakat Jawa sebagaimana mestinya. Budaya Jawa bagi perikehidupan masyarakat Jawa.

Buku-buku yang disusun banyak mengarah pada materi-materi terapan berbasis hasil-hasil penelitiannya. Buku ini merupakan buku pertama yang menjadi bahan ajar perkuliahan dasar, meskipun diktat-diktat perkuliahannya sudah banyak tersusun sebagai *handout*, atau materi presentasi.

Materi pengajaran kinematika mengikuti kurikulum terbaru saat ini, ternyata masih berisi topik-topik klasik. Topik-topik tersebut, dulu diajarkan untuk proses analisis secara grafis, menggunakan mistar, jangka, dan busur derajat. Buku referensi yang digunakan hingga sekarang juga masih dari penyusun yang sama, bahkan tahun terbitannya malah lebih tua dari mahasiswa pengikutnya.

Penyusunan buku ini merupakan upaya untuk melengkapi materi pembelajaran klasik agar mahasiswa mendapatkan cukup bahan untuk melakukan analisis yang lebih mendalam dan kekinian. Buku ini diharapkan menjadi pelengkap dalam proses pembelajaran atau menjadi sumber ide dalam melakukan suatu analisis atau riset terkait. Isi buku meliputi bab-bab:

1. Pendahuluan : konsep-konsep dasar, diagram kinematis
2. Kinematika Mesin dan Mekanisme
3. Kinematika Kendaraan
4. Kinematika Alat Berat
5. Kinematika Teknologi Tepat Guna
6. Kinematika Robot
7. Kinematika Olahraga

Selain Bab 1, semua bab berikutnya mengulas perkembangan riset terkait Kinematika, termasuk untuk kajian lintas disiplin. Hal ini diharapkan dapat memperluas wawasan mahasiswa dan memperkaya daya nalar.