

Disain Alat Bantu Pengaturan Orientasi Benda Kerja Pada Proses Pemesinan Berbasis Mekanisme Paralel

Syamsul Huda, Mulyadi Bur dan Jufrizal

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas
Kampus Unand Limau Manis Padang-25163
E-mail: syamsulhuda@ft.unand.ac.id

Abstrak

Pada penelitian ini diusulkan pemanfaatan sebuah mekanisme paralel (*parallel mechanism*) sebagai peralatan tambahan yang digunakan untuk mengontrol orientasi benda kerja sehingga mesin perkakas konvensional dapat beroperasi seperti mesin perkakas modern (*five-axis machine tool*). Kajian difokuskan pada perancangan sebuah prototip mekanisme paralel tiga derajat kebebasan untuk aplikasi pengontrolan orientasi benda kerja pada mesin perkakas. Mekanisme paralel ini, disusun oleh batang output (*platform*) dan batang diam (*base*) yang dihubungkan oleh tiga rantai kinematik yang identik. Rantai kinematik ini menggunakan konfigurasi sambungan U-R-U (*universal-revolute-universal*). Proses disain dibagi atas dua tahap yaitu sintesis dimensi dan disain komponen mekanik. Pada tahap sintesis dimensi dilakukan pemilihan konstanta kinematik penyusun mekanisme berupa jari-jari *base*, jari-jari *platform*, panjang batang dan orientasi pemasangan rantai kinematik pada *base* dan *platform*. Penentuan konstanta kinematik ini cukup rumit karena banyaknya konstanta kinematik yang harus dipilih yang disesuaikan dengan capaian *workspace* untuk memenuhi spesifikasi perancangan. Pada paper ini pemilihan konstanta kinematik didasarkan kepada indeks evaluasi berupa kekakuan dan singulariti. Proses disain komponen mekanik mengacu kepada kesederhanaan bentuk dan jumlah komponen mekanik untuk menghindari interferensi antar komponen serta kesulitan dalam proses assembly. Selanjutnya dengan merujuk kepada gerakan *platform* yang mempunyai tiga derajat kebebasan yang dinyatakan dengan sudut Euler, terdapat satu derajat kebebasan berlebih (*redundant*) yaitu rotasi terhadap sumbu yang tegak lurus terhadap *platform*. Derajat kebebasan berlebih ini dioptimasi dengan menjadikannya bergantung kepada kedua sudut orientasi lainnya untuk memperoleh postur mekanisme yang jauh dari konfigurasi singular. Dari hasil perancangan telah diperoleh sebuah disain prototip mekanisme paralel 3-derajat kebebasan (dof) rotasi murni dengan *workspace* yang besar dimana diperoleh sudut inklinal sebesar 55° .

Keywords: Kinematik, mekanisme paralel, rantai kinematik, singulariti, *workspace*

Pendahuluan

Indonesia sebagai negara dengan jumlah penduduk besar dan berbentuk negara kepulauan membutuhkan industri yang dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri terutama industri manufaktur. Di sisi lain ketergantungan terhadap luar negeri harus dikurangi. Hal dapat dilihat dari kebijakan terkait dengan kondisi impor Indonesia untuk berbagai bidang seperti untuk pengadaan alat utama sistem pertahanan (alutsista) pemerintah telah mengalokasikan 50 triliun rupiah untuk pengadaan dalam negeri (Suara Pembaharuan 19 Januari 2012). Di bidang kesehatan kebutuhan Indonesia yang sangat tinggi terhadap produk impor dimana 97% peralatan medis merupakan peralatan impor yang setara dengan 22 triliun rupiah (Tempo 18 Agustus 2010). Impor terhadap mesin-mesin peralatan mekanik angka impor Indonesia sebesar 18.49% dari total impor

dengan nilai nominal 20 milyar dolar Amerika (www.investor.co.id, 26 Mei 2011). Hal lain perlu menjadi perhatian adalah tingginya sumbangan dari industri manufaktur terhadap produk domestik bruto (PDB) sebesar 25.7% pada tahun 2010 (www.solopos.com, 3 Januari 2011).

Mesin perkakas modern dicirikan dengan kemampuan operasi yang cepat, ketelitian yang tinggi dan proses operasi yang mengarah kepada *machining center* (satu mesin dapat melakukan berbagai proses). Hal ini bertolak belakang dari kondisi industri manufaktur di Indonesia saat ini dimana sebagian besar mesin-mesin perkakas yang digunakan masih berbasis mesin perkakas konvensional. Kelemahan mendasarkan dari mesin perkakas konvensional ini adalah hanya dapat mengontrol pergerakan translasi dari komponen bergerak (pahat atau benda kerja) sehingga sulit

untuk menghasilkan produk yang mempunyai kontur. Untuk membantu pengerjaan produk khusus biasanya dibuat sebuah alat bantu berupa *Jig-Fixture*. Hal ini akan menambah waktu dan biaya proses produksi. Untuk itu perlu dilakukan kajian untuk peningkatan kemampuan mesin perkakas yang sudah ada dengan memberikan peralatan tambahan. Dengan peralatan tambahan ini satu mesin perkakas konvensional akan dapat mengeksekusi tugas manufaktur yang rumit, sehingga dapat berperilaku sebagai mesin perkakas modern.

Dasar Teori

Mekanisme Seri dan Paralel

Sejalan dengan tuntutan perkembangan industri manufaktur diperlukan mesin perkakas dengan performan yang memadai terkait dengan ketelitian, kapasitas pembebanan, fleksibilitas dalam proses, dan kecepatan dalam proses produksi. Secara umum pada industri manufaktur telah digunakan mesin-mesin perkakas berbasis konfigurasi seri. Pada konfigurasi seri dibutuhkan dimensi yang besar untuk menghasilkan kekakuan mesin yang tinggi yang menyebabkan meningkatnya momen lentur dan inersia massa komponen bergerak. Hal ini akan berpengaruh terhadap perilaku dinamik berupa stabilitas yang rendah dan kebutuhan terhadap daya motor semakin besar.

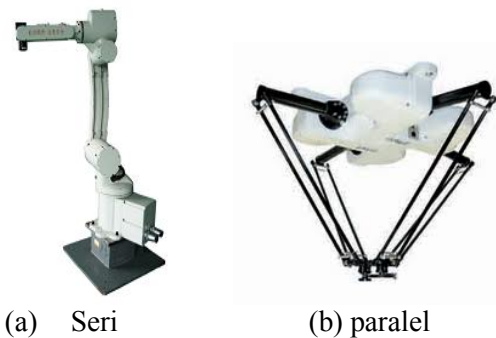
Berdasarkan keterbatasan tersebut, sudah dilakukan kajian terhadap penggunaan struktur paralel sebagai konfigurasi dasar mesin perkakas. Berdasarkan sifat dasar dari mekanisme paralel dimana kekakuannya relatif tinggi dibandingkan struktur seri untuk massa komponen bergerak yang sama dan respon dinamik yang lebih cepat. Perbedaan mekanisme seri dan paralel dapat ditinjau dari beberapa aspek:

- (i) Batang output pada mekanisme seri didukung oleh rangkaian batang dan sambungan yang disusun secara seri sedangkan pada mekanisme paralel disusun secara paralel. Dengan kondisi ini untuk menghasilkan kekakuan yang sama dimensi batang-batang pada mekanisme paralel dapat dibuat lebih ramping.
- (ii) Setiap sambungan pada mekanisme seri adalah sambungan aktif yang dikontrol dengan sebuah motor sedangkan pada mekanisme paralel hanya satu sambungan aktif untuk satu rantai kinematik. Hal ini sangat berpengaruh terhadap inersia massa komponen bergerak, dimana pada mekanisme seri akan lebih besar sehingga tingkat kestabilannya lebih rendah.
- (iii) Pada mekanisme seri penggerak atau motor ditempatkan secara seri sedang pada mekanisme paralel disusun secara paralel. Hal ini berakibat kesalahan yang berakumulasi terhadap gerak

batang output akibat kesalahan proses pengontrolan pada mekanisme seri sedangkan pada mekanisme paralel tidak terjadi akumulasi kesalahan tersebut.

Berdasarkan kelebihan dari mekanisme paralel tersebut telah mulai dikembangkan penelitian terkait dengan aplikasinya di bidang mesin perkakas. Penelitian yang telah dilakukan dikaitkan dengan parameter utama yang dibutuhkan oleh sebuah mesin perkakas yaitu kekakuan dan *workingspace*.

Untuk membedakan jenis mekanisme seri dan paralel diperlihatkan contoh kedua mekanisme tersebut. Pada gambar 1(a) diberikan mekanisme seri dan pada gambar 1(b) ditunjukkan konfigurasi mekanisme paralel. Dari kedua gambar terlihat bahwa pada mekanisme paralel batang outputnya ditopang oleh tiga rantai kinematik sedang pada mekanisme seri ditopang oleh satu rantai kinematik. Dengan demikian rantai kinematik pada mekanisme paralel terlihat lebih ramping.



Gambar 1 Mekanisme konfigurasi seri dan paralel
(www.parellelmix.org)

Konfigurasi Mekanisme Paralel untuk Aplikasi Mesin Perkakas

Berbagai kajian kinematik tentang mekanisme paralel telah dikembangkan untuk aplikasi mesin perkakas. Analisis tentang performan kinematik mekanisme paralel 3-dof berbasis evaluasi matriks Jacobi telah dikembangkan untuk menghasilkan kemampuan manipulasi gerak, khususnya pada pengontrolan posisi pahat (Hu dan Shi, 2011). Kaji mengenai penerapan mekanisme paralel pada mesin perkakas berbasis model CAD telah dikembangkan untuk melakukan proses pemesian dengan bentuk yang rumit. Konfigurasi mekanisme ini menggunakan struktur 3-RPS (sambungan *revolute -prismatic-spherical*) (Lu, et al., 2010). Hasil penelitian ini masih dalam tahap pemodelan belum dalam bentuk prototip sehingga banyak kemungkinan kesalahan dalam fabrikasi dan assembly yang belum dikaji.

Analisis kekakuan mekanisme paralel telah dilakukan berbasis metode kerja semu dan energi regangan.

Pada metode kerja semu batang dimodelkan sebagai massa terpusat sedangkan pada metode energi regangan batang dimodelkan dengan massa terdistribusi. Selanjutnya matriks Jacobi masih digunakan untuk mengevaluasi peta kekakuan sistem secara menyeluruh untuk menghasilkan sebuah robot paralel yang memadai untuk aplikasi mesin perkakas (Lu, et al., 2012). Sebuah robot paralel 3-dof yang terdiri dari 2-dof rotasi dan 1-dof translasi yang tidak terkopel digunakan sebagai pengontrolan gerak pahat. Mekanisme paralel ini mempunyai konfigurasi yang tidak identik untuk ketiga struktur kinematikanya sehingga banyak komponen mekanik yang harus dibuat dengan bentuk yang tidak seragam. Ini merupakan kerugian dalam penggunaan rantai kinematik yang tidak identik. Optimasi terhadap struktur robot ini didasarkan pada kemampuan struktur kinematiknya untuk mentransmisikan gerak yang dikenal dengan *local transmission index* (Fugui, et al., 2012). Dalam kenyataannya tidak memadai jika hanya memasukkan satu indeks saja dalam mendisain sebuah mesin perkakas.

Sebuah konfigurasi mekanisme paralel telah dikembangkan untuk aplikasi mesin freis. Mesin ini mempunyai tiga derajat kebebasan yang mempunyai *workspace* yang relatif sama dengan mekanisme seri dan kekakuan yang lebih besar. Konfigurasi ini juga mempunyai kecepatan dan transmisibilitas yang baik (Milos dan Dragan, 2008). Sebuah konfigurasi hibrid mekanisme paralel 3-dof yaitu satu 1-dof translasi dan 2-dof rotasi. Model dinamik untuk analisis robot ini didasarkan pada persamaan Lagrange dengan menggunakan indeks percepatan, kecepatan dan kemampuan menahan gaya luar. (Li, Y., et al., 2010).

Analisis untuk mekanisme paralel dengan konfigurasi 3-PUU (prismatik- universal- universal) telah dikembangkan berdasarkan pendekatan terhadap kondisi singular pada penggerak dan konstrain. Karakteristik kekakuan dianalisis berdasarkan nilai *eigen screw* dari matriks kekakuan. Ini memberikan interpretasi fisik dari konfigurasi mekanisme dengan rantai kinematik PUU (Li and Xu, 2008). Hal lain yang terpenting dari sebuah mekanisme paralel adalah adanya standar evaluasi terhadap hasil disain dimana telah banyak diusulkan berbagai indeks evaluasi. Indeks evaluasi yang dikenal dengan *Colinear Stiffness Value* (CSV) telah digunakan untuk mengevaluasi kekakuan sebuah mekanisme paralel (Portman, et al., 2012). Evaluasi ini membantu untuk mendapatkan prosedur yang efektif dalam mendisain mekanisme paralel yang mana memudahkan proses komputasi.

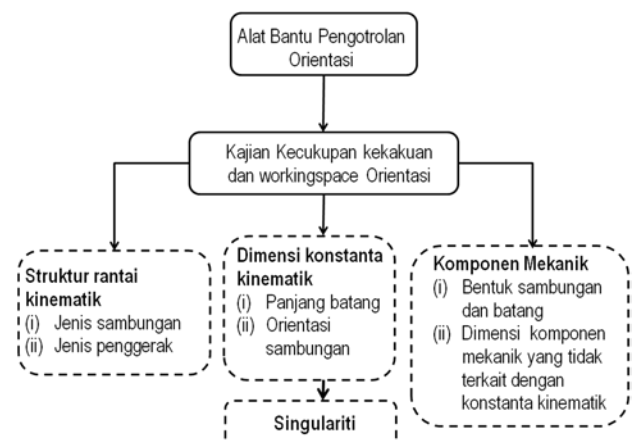
Disain kinematik terkait mekanisme paralel tiga derajat kebebasan harus mempertimbangkan dua aspek penting tentang sifat natural dari mekanisme

paralel yaitu masalah singular dan keterbatasan *workspace*. Diusulkannya sebuah metode disain kinematik mekanisme paralel 3-dof untuk aplikasi pengontrolan orientasi dengan mengelompokkan konstanta kinematik menjadi dua bagian agar mudah dalam proses sintesis. Berdasarkan hal ini diusulkan sebuah prosedur perancangan untuk mekanisme paralel dengan struktur 3-URU (universal- revolut- universal join) (Huda dan Takeda, 2007). Sejalan dengan disain kinematik untuk mekanisme 3-dof tersebut, juga dikembangkan untuk menghasilkan kekakuan yang tinggi dan *workspace* yang besar telah dikembangkan untuk aplikasi mesin perkakas.

Berdasarkan pengembangan riset di bidang kinematik khususnya untuk mekanisme paralel 3-dof pemilihan konstanta kinematik dapat dilakukan dengan menggunakan evaluasi indeks yang dikembangkan berdasarkan aplikasi dari mekanisme paralel. Banyak performan indeks yang dapat digunakan seperti *dexterity*, transmisibilitas, kekakuan, kecepatan dan lain sebagainya. Disain konfigurasi dapat dilakukan berdasarkan salah satu indeks atau dapat menggabungkan beberapa indeks yang dibutuhkan pada spesifikasi disain untuk mendukung aplikasi dari robot paralel.

Metodologi Penelitian

Tahapan penelitian untuk mendapatkan konfigurasi mekanisme yang dapat digunakan untuk aplikasi pengontrolan orientasi benda kerja didasarkan pada capaian kekakuan dan *workspace*. Skema tahapan perancangan sebuah mekanisme paralel untuk aplikasi mesin perkakas diperlihatkan pada gambar 2. Untuk aplikasi mesin perkakas dua parameter utama yang harus diperhatikan yaitu kecukupan kekakuan dan capaian *workspace*. Kedua parameter ini dikaitkan dengan konfigurasi struktur rantai kinematik, dimensi kinematik konstan dan dimensi komponen mekanik yang tidak terkait dengan dimensi konstanta kinematik. Pemilihan dimensi komponen mekanik didasarkan kepada kondisi interferensi antar komponen terutama pada orientasi yang besar.

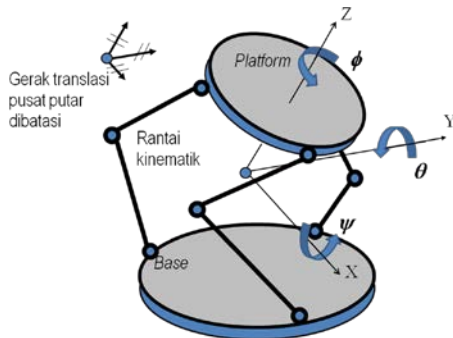


Gambar 2 Tahapan perancangan

Pemilihan Konfigurasi Struktur Rantai Kinematik

Untuk dapat menghasilkan gerakan *platform* berupa gerak rotasi murni perlu dipilih konfigurasi 3 buah rantai kinematik sedemikian hingga sehingga gerak translasi *platform* dapat dibatasi. Pada masing-masing rantai kinematik terdapat satu join aktif yang digunakan sebagai penggerak. Jika dipilih gerakan input adalah rotasi maka maka join aktifnya adalah join revolut dan jika dipilih gerakan input adalah translasi maka join aktifnya adalah join prismatic.

Secara umum untuk mekanisme paralel dengan tiga derajat kebebasan, satu rantai kinematik disusun oleh lima join. Hal ini dikaitkan dengan persamaan Kutzbach untuk mendefinisikan jumlah derajat kebebasan sebuah mekanisme. Khususnya untuk mekanisme yang dapat menghasilkan gerakan *platform* dengan rotasi murni maka ketiga rantai kinematik tersebut harus mampu membatasi gerakan translasi dari *platform* pada titik putarnya seperti disajikan pada gambar 3.



Gambar 3 Diagram mekanisme paralel 3 dof

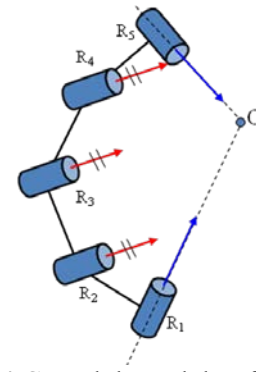
Pada penelitian ini dipilih join aktif adalah jenis sambungan revolut, sehingga sumber penggerak dapat digunakan berupa sebuah motor rotari yang dapat ditempatkan pada *base*. Untuk dapat menghasilkan konstrain gerak translasi pada pusat putar maka ke lima join revolut tersebut harus disusun sedemikian sehingga terdapat dua kelompok arah sumbu join revolut tersebut yaitu kelompok sumbu sejajar dan sumbu berpotongan. Titik dimana sumbu join revolut berpotongan akan menjadi lokasi titik pusat putar seperti ditunjukkan pada gambar 4. Dalam hal ini untuk penyederhanaan bentuk 5R (lima join revolut) dapat disederhanakan dalam bentuk konfigurasi lainnya seperti diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Penyederhanaan struktur 5R

No.	Rantai kinematik 5R	Penyederhanaan
1	RRR $\ddot{R}$ RR	RRS
2	$\ddot{R}$ RRR $\ddot{R}$	URU
3	R $\ddot{R}$ RR $\ddot{R}$	RSR

$\ddot{R}$ → Sumbu berpotongan, R → Sumbu sejajar

U → Join Universal, S → Join bola



Gambar 4 Contoh bentuk konfigurasi rantai kinematik untuk mekanisme rotasi murni

Dengan tujuan kesederhanaan bentuk struktur dan kemudahan proses manufaktur maka dipilih penyederhanaan menjadi konfigurasi URU. Hal ini dikarenakan pada sambungan bola gerak relatif antar komponennya terbatas disamping sulit untuk dimanufaktur.

Penentuan Konstanta Kinematik

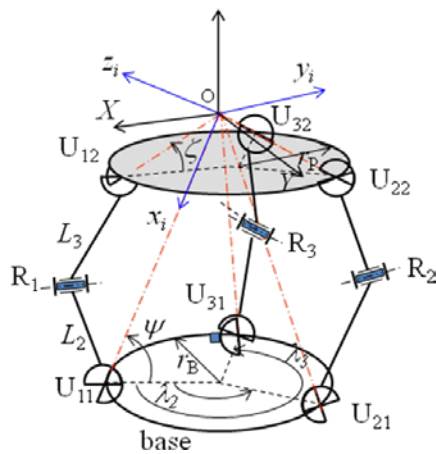
Mekanisme paralel 3-dof rotasi murni dengan konfigurasi 3-URU ini mempunyai 6 konstanta kinematik yaitu, panjang batang, L_2, L_3, r_B, r_P, ψ dan ζ seperti diperlihatkan pada gambar 5. Keenam konstanta kinematik tersebut dapat dikelompokkan atas tiga yaitu (a) L_2, L_3 yang dihitung berdasarkan capaian *workspace* oleh *platform*, (b) r_B, r_P yang menentukan posisi titik pusat arah vertikal dari *base* dan (c) ψ, ζ sudut pemasangan rantai kinematik pada *base* dan *platform* yang mempengaruhi kondisi singular mekanisme. Pada kondisi singular ini menyatakan kondisi dimana gerakan *platform* tidak dapat dikontrol oleh penggerak yang disebut dengan *actuation singularity* dan gerakan translasi *platform* tidak dapat dibatasi oleh tiga rantai kinematik yang disebut dengan *constraint singularity*. Kedua kondisi singular dievaluasi berdasarkan teori screw dan reciprocal screw, (Tsai, 1999). Evaluasi ini didasarkan terhadap kondisi singular yang menyatakan hubungan antara kecepatan input, $\dot{\theta}$ dan output, $\dot{x}$ pada *actuation singularity* dan hubungan gaya konstrain, τ dan gaya luar, F pada *constraint singularity* yang dinyatakan dengan persamaan (1) dan (2)

$$\dot{x} \neq J_q \dot{\theta} \quad (1)$$

$$F \tau = J_x \quad (2)$$

J_q, J_x adalah matriks 3x3 yang akan dievaluasi determinannya untuk menentukan kondisi singular. Untuk itu dibuatkan suatu indeks yang mewakili dua kondisi singular tersebut untuk memilih konstanta kinematik yang dinyatakan dengan persamaan (3)

$$EV = |J_q| |J_x| \quad (3)$$

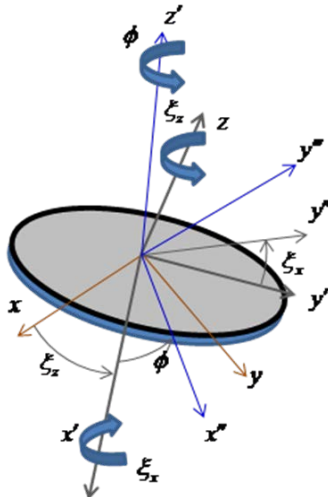


Gambar 5 konstanta kinematik 3-URU mekanisme

Interpretasi Sudut Rotasi Platform

Orientasi platform dinyatakan dengan tiga parameter sudut rotasi yaitu ξ_z, ξ_x, ϕ yang menunjukkan sistem rotasi Z-X-Z sistem *successive rotation*. Pertama platform diputar dengan sudut ξ_z terhadap sumbu z, kemudian dilanjutkan dengan ξ_x terhadap sumbu x' dan dilanjutkan lagi dengan ϕ terhadap sumbu z' seperti diperlihatkan pada gambar 6.

Berdasarkan kondisi bahwa untuk mengatur orientasi platform sebagai pengontrolan benda kerja maka diperlukan dua derajat kebebasan dalam hal ini diperlukan ξ_z dan ξ_x . Jadi terdapat satu derajat kebebasan berlebih yaitu ϕ .



Gambar 6 Interpretasi orientasi platform

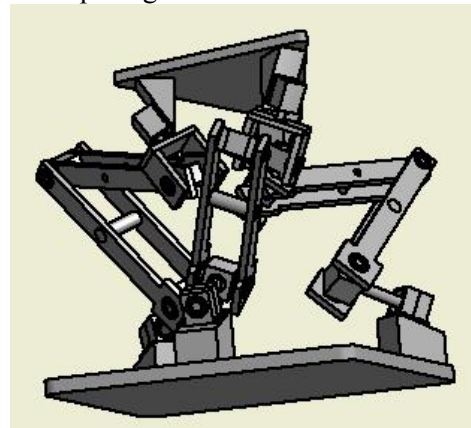
Pada penelitian ini derajat kebebasan berlebih itu dioptimasi untuk mendapatkan konfigurasi mekanisme yang semakin jauh dari daerah singular yang dinyatakan dengan determinan matrik Jacobi, dimana matrik Jacobi ini menyatakan hubungan antara kecepatan input dan output. Selanjutnya ϕ dapat dinyatakan sebagai fungsi dari dua parameter orientasi lainnya yaitu $\phi(\xi_z, \xi_x)$.

Hasil dan Pembahasan

Ada tiga hal yang menjadi fokus kajian dalam evaluasi hasil perancangan dari mekanisme paralel 3dof rotasi murni ini yaitu (1) pemilihan bentuk konfigurasi rantai kinematik, (2) Penentuan konstanta kinematik berdasarkan indek evaluasi, EI dan (3) optimasi derajat kebebasan berlebih dari platform.

Konfigurasi Rantai Kinematik

Rantai kinematik mekanisme ini dibuat dengan bentuk yang identik untuk memudahkan proses manufaktur, dimana ketiga rantai kinematik adalah identik. Berdasarkan batasan untuk sebuah mekanisme paralel rotasi murni ada banyak konfigurasi yang dapat dipakai. Dari hasil evaluasi berdasarkan kesederhanaan jumlah dan komponen mekanik, maka struktur Universal-Revolut-Universal (URU) dipilih pada penelitian ini. Dengan menggunakan struktur ini jumlah batang dapat dikurangi sehingga mudah untuk menghindari interferensi antar komponen serta berat komponen bergerak juga dapat dikurangi. Konfigurasi mekanisme ini dalam bentuk gambar CAD diperlihatkan pada gambar 7.



Gambar 7 Diagram CAD mekanisme paralel 3-URU yang dikembangkan

Penentuan Konstanta Kinematik

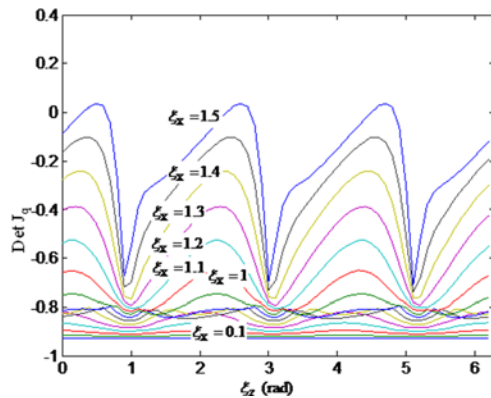
Dengan menggunakan indek evaluasi, EI maka telah diperoleh besaran dari enam konstanta kinematik tersebut. Dalam hal ini konstanta kinematik dapat dibagi dua kelompok yaitu yang linier dan sudut. Untuk konstanta kinematik yang linear dibuat dalam bentuk non dimensional sebagai berikut:

$$\frac{r_p}{r_p} = 1 \text{ (jari-jari platform)}, \frac{r_b}{r_p} = 1.5 \text{ (jari-jari base)},$$

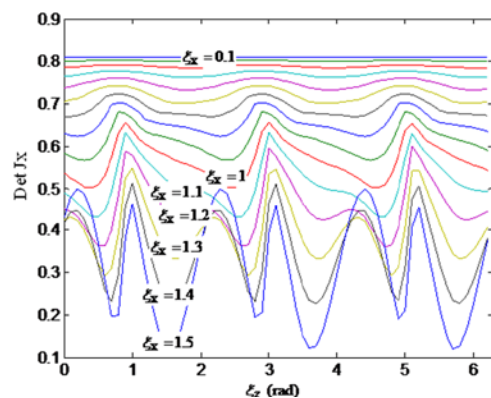
$$\frac{L_2}{r_p} = 2.5, \frac{L_3}{r_p} = 2.5 \text{ (panjang batang)}, \quad \zeta = 22^\circ \text{ dan } \psi = 22^\circ.$$

Dengan menggunakan konstanta kinematik tersebut dapat dievaluasi secara numerik karakteristik dari mekanisme ini. Dengan merujuk kepada orientasi platform dimana orientasinya dipengaruhi oleh ξ_x dan

ξ_z . Dalam hal ini $0 \leq \xi_z \leq 2\pi$ sedangkan ξ_x dipilih maksimum sedemikian hingga untuk menghasilkan harga EI yang juga maksimum. Plot harga determinan matriks J_q dan J_x yang menunjukkan kondisi singular diperlihatkan pada gambar 8 dan 9. Dari kedua gambar terlihat bahwa untuk sudut inklinaasi yang besar nilai mutlak dari determinan kedua matriks semakin kecil. Ini menunjukkan semakin besar workspace maka konfigurasi mekanisme semakin dekat ke kondisi singular yang sesuai dengan sifat alamiah mekanisme paralel.

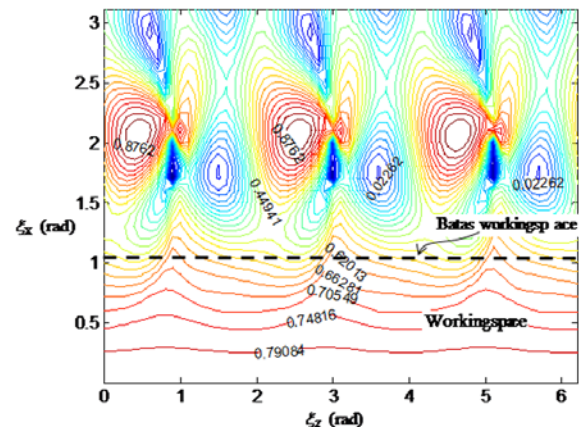


Gambar 8 Plot determinat matriks J_x untuk $\phi = 1$

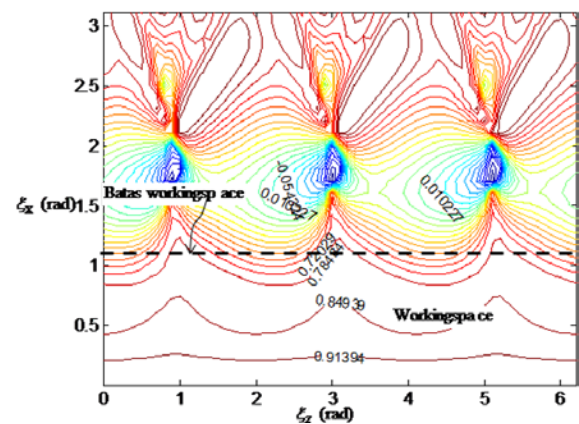


Gambar 9 Plot determinat matriks J_q untuk $\phi = 1$

Untuk mendapatkan workspace yang tersedia untuk mekanisme ini yang dinyatakan dengan $(\xi_x, \xi_z, \phi(\xi_x, \xi_z))$ dievaluasi secara numerik dengan memberikan harga $\xi_x = 0\pi$ $\xi_z = 0:2\pi$ dan $\phi = \text{konstan}$. Berdasarkan batasan ini diperlihatkan plot dari determinan matriks J_q dan J_x seperti diperlihatkan pada gambar 10 dan 11. Dari kedua gambar terlihat bahwa untuk mendapatkan nilai yang jauh dari kondisi singular diperoleh batasan $\xi_{x\text{maks}} = 1\text{rad}$ yang dipenuhi untuk kedua nilai determinan matriks.



Gambar 10 Plot determinat J_q



Gambar 11 Plot determinat J_x

Optimasi Derajat Kebebasan Berlebih

Derajat kebebasan berlebih untuk *platform* mekanisme ini yang dinyatakan dengan sudut ϕ dioptimasi, dimana harga sudut ini dibuat bergantung terhadap kedua parameter orientasi lainnya. Untuk mendapatkan sudut ϕ untuk harga tertentu dari ξ_x dan ξ_z diberikan pada gambar 12 dan 13. Dari gambar tersebut dapat diperoleh bahwa untuk harga ξ_x konstan dan $\xi_z = 0:2\pi$ diperoleh grafik yang optimal untuk sudut ϕ . Dari kedua gambar tersebut diperoleh harga sudut ϕ yang optimal yang berbedanya untuk harga sudut inklinaasi, ξ_x yang berbeda. Dari gambar tersebut juga dapat dilihat bahwa harga sudut ϕ sangat mempengaruhi kondisi singular yang terlihat dari plot harga EI .

Kesimpulan

Dari hasil penelitian terhadap perancangan prototip mekanisme paralel 3 dof rotasi murni untuk aplikasi pengontrolan orientasi benda kerja dapat disimpulkan beberapa hal:

- (1) Telah diperoleh konfigurasi mekanisme yang dapat menghasilkan gerak rotasi murni dengan bentuk sederhana yaitu 3-URU mekanisme dengan

konfigurasi identik.

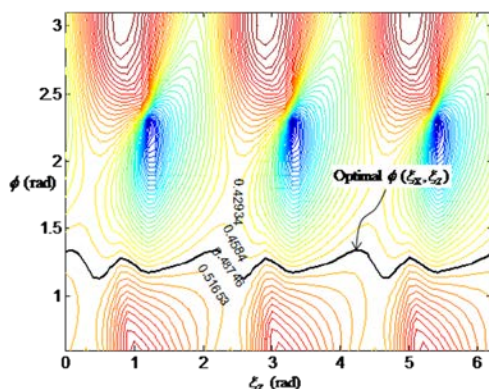
- (2) Telah didapatkan konstanta kinematik yang optimum untuk mekanisme tersebut dimana didapatkan 6 harga konstanta kinematik berikut:

$$\frac{r_p}{r_p} = 1 \text{ (jari-jari platform)}, \frac{r_b}{r_p} = 1.5 \text{ (jari-jari base)},$$

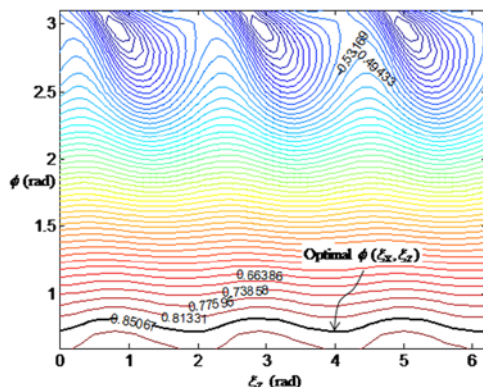
$$\frac{L_2}{r_p} = 2.5, \frac{L_3}{r_p} = 2.5 \text{ (panjang batang)}, \zeta = 22^\circ,$$

$\psi = 55^\circ$ (sudut mounting rantai kinematik pada platform dan base)

- (3) Derajat kebebasan berlebih dapat dioptimasi sebagai fungsi kedua parameter lainnya untuk mendapatkan konfigurasi yang jauh dari kondisi singular.



Gambar 12 Optimal ϕ untuk $\xi_x = 1$ dan $\xi_z = 0:2\pi$



Gambar 13 Optimal ϕ untuk $\xi_x = 1$ dan $\xi_z = 0:2\pi$

Ucapan Terimakasih

Penelitian ini terlaksana berkat dukungan dana Penelitian mandiri Fakultas Teknik Universitas Andalas tahun 2012.

Daftar Pustaka

- Briot, S. and Bonev, I., 2008, Accuracy analysis of 3-DOF planar parallel robots *Mechanism and Machine Theory*, Vol. 43, No. 4, pp.445-458.
- Glavonjic, M. and Milutinovic, D., 2008, Parallel structured milling machines with long X travel *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 24, No. 3, pp.310-320.

Huda, S. and Takeda, Y., 2007, Kinematic Analysis and Synthesis of a 3-URU Pure Rotational Parallel Mechanism with Respect to Singularity and Workspace, *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing* Vol.1, No. 1, pp. 81-92.

Huda, S. and Takeda, Y., 2008, Kinematic Design of 3-URU Pure Rotational Parallel Mechanism with Consideration of Uncompensatable Error, *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing* Vol.2, No. 5, pp. 874-886.

Huda, S., Takeda, Y., and Hanagasaki, S., 2011, Kinematic design of 3-URU pure rotational parallel mechanism to perform precise motion within a large workspace *Meccanica*, Vol.46, No.,1 pp.89-100.

Lewis, G., 1996, Automation Technology From imagination to Reality: Catalog Gidding & Lewis.

Li, Y., et al., 2010, Dynamic performance comparison and counterweight optimization of two 3-DOF parallel manipulators for a new hybrid machine tool *Mechanism and Machine Theory*, Vol.45, No.11, pp.1668-1680.

Li, Y and Xu, Q., 2008, Stiffness analysis for a 3-PUU parallel kinematic machine *Mechanism and Machine Theory*, Vol.43, No. 2, pp.186-200.

Lu, Y., Xu, J., and Yu, J., 2010, Using CAD geometric variation approach machining complex workpiece by a 3-SPR parallel machine tool *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 26. No. 2, pp.130-136.

Portman, V.T., Chapsky, V.S., and Shneor, Y., 2012, Workspace of parallel kinematics machines with minimum stiffness limits: Collinear stiffness value based approach *Mechanism and Machine Theory*, Vol.49, pp.67-86.

Rezaei, A., Amir, et al., 2012 An investigation on stiffness of a 3-PSP spatial parallel mechanism with flexible moving platform using invariant form, *Mechanism and Machine Theory*, Vol. 51, pp.195-216.

Tsai, L.-W., 1999, Robot Analysis: The Mechanics of Serial and Parallel Manipulators, John Wiley & Son.

Xie F., Liu, X-J. and Wang, J., 2012, A 3-DOF parallel manufacturing module and its kinematic optimization, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 20, No.3, pp.334-343.

wang, Y., et al., 2009, Accuracy analysis of hybrid parallel robot for the assembling of ITER *Fusion Engineering and Design*, Vol. 84, no. 7, pp.1964-1968.