

ANALISA LINTASAN ROBOT MEKANISME PARALEL PLANAR 3R

Eka Setia Wahyudi¹, Syafri², Anita Susilawati³

Laboratorium Konstruksi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau,
Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru, 28293, Indonesia

[1ekasetiawahyudi@gmail.com](mailto:ekasetiawahyudi@gmail.com), [2prie_00m022@yahoo.com](mailto:prie_00m022@yahoo.com), [3anitasusilawati@yahoo.com](mailto:anitasusilawati@yahoo.com)

Abstract

Robots are tools that can help alleviate human work [1]. Robots also have more functions than humans, such as having a high level of accuracy, have speed in completing the work, can do repetitive work in large quantities, and can reduce the cost of production. In this research, we evaluated the singular condition of a 3-dof RRR parallel robot prototype in order to have a trajectory planning in accordance with the design result. The trajectory Planning is done by considering kinematic constants by using the parameter of DH method and the Jacobi matrix. From the test results, the workspace area that can be used for trajectory 3R parallel mechanism is in the range of 280 mm in the direction of X axis, 225 for mm Y axis direction, 240 mm in the direction of A and 215 mm for axis direction of the axis B.

Keywords : Trajectory Planning, Parallel Mechanism, Parallel Robot, Workspace, Singularity

1. Pendahuluan

Dalam dunia industri terjadi perkembangan sangat pesat penggunaan robot, hal ini terjadi karena fungsi robot yang dapat membantu meringankan pekerjaan manusia. Robot juga memiliki fungsi yang lebih dibanding manusia [2], seperti memiliki tingkat ketelitian yang tinggi, memiliki kecepatan dalam menyelesaikan pekerjaan, dapat mengerjakan pekerjaan yang berulang dalam jumlah yang banyak, serta dapat mengurangi ongkos produksi.

Dalam pembuatan robot perlu diperhatikan area kerja (*workspace*) [3], bila tidak ditentukan dengan baik, maka robot akan masuk pada area singular, yaitu area dimana sebuah mekanisme robot kehilangan 1 atau beberapa dof, kemampuan mengangkat beban (*pay load*) menjadi terbatas [4], sehingga mengakibatkan produktivitas sebuah robot menurun.

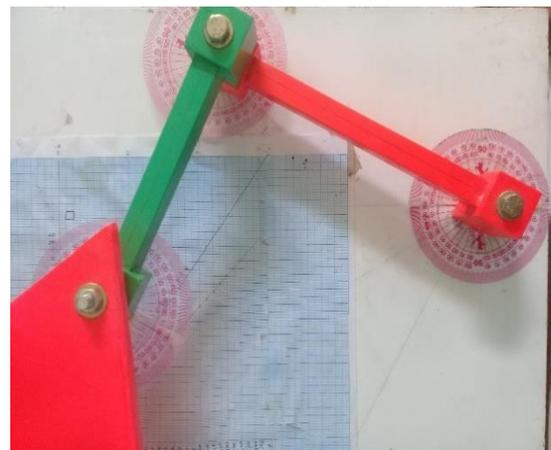
Karena begitu kritisnya keberadaan kondisi singular pada sebuah robot manipulator, maka dirasa perlu untuk melakukan sebuah penelitian yang membahas tentang kondisi singular ini pada sebuah mekanisme. Dengan mengetahui kondisi singular, maka akan lebih mudah untuk menentukan area yang nantinya digunakan sebagai lintasan robot (*Trajectory Planning*) pada saat robot tersebut melakukan pekerjaan sesuai dengan perintah [5].

Untuk mengevaluasi kondisi singular sebuah robot manipulator dirancang sebuah *prototype* robot paralel 3-dof RRR, robot ini akan dievaluasi supaya mempunyai lintasan (*trajectory Planning*) yang sesuai dengan hasil rancangan.

2. Metodologi

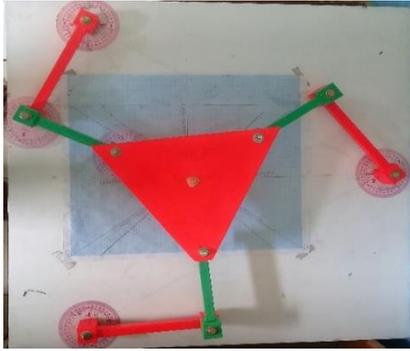
Adapun prosedur pengujian dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Persiapkan alat (Prototipe mekanisme paralel planar 3R, mistar, busur dan pena).
- 2) Pasang busur pada masing-masing join aktif seperti θ_1 , θ_2 , θ_3 . Seperti terlihat pada Gambar 1.

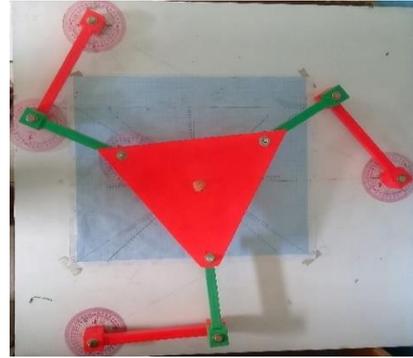


Gambar 1 Pemasangan Busur Pada Setiap Join Aktif

- 3) Tentukan titik referensi pada *platform* dengan menggunakan kertas milimeter sebagai petunjuk skala, dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Penentuan Titik Referensi



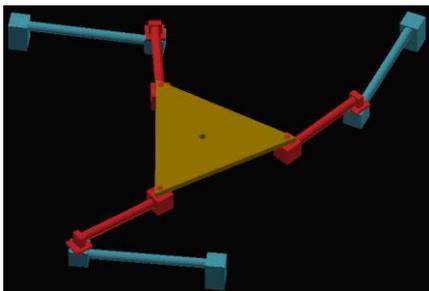
Gambar 4 Prototipe Mekanisme

- 4) Pada saat *platform* berada pada titik referensi maka nilai $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ dianggap berada pada posisi 0.
- 5) Pengambilan data dilakukan dengan cara menggeser *platform* searah sumbu X+ setiap 5 mm, catat perubahan nilai sudut yang terjadi pada $\theta_1, \theta_2, \theta_3$.
- 6) Percobaan dilanjutkan dengan menggeser *platform* setiap 5 mm searah sumbu X-, Y+, Y-, A+, A-, B+, B-, catat perubahan nilai sudut $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ setiap hasil percobaan.

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1 Hasil Perancangan Mekanisme Paralel 3R

Pada tahap awal penelitian, dilakukan perancangan mekanisme paralel 3R dengan menggunakan program aplikasi *Auto Desk Inventor*. Perancangan ini dilakukan untuk memvisualisasikan konstanta kinematik yang telah dipilih sebelumnya. berdasarkan hasil perancangan yang dilakukan diperoleh dimensi dan geometri mekanisme paralel 3R seperti pada Gambar 3. Hasil desain ini selanjutnya dijabarkan kedalam bentuk gambar teknik yang nantinya akan digunakan sebagai referensi untuk membuat sebuah prototipe.



Gambar 3. Hasil Desain

3.2 Hasil Pembuatan Prototipe Mekanisme Paralel 3R

Berdasarkan hasil dari perancangan mekanisme paralel 3R, selanjutnya dilakukan pembuatan sebuah prototipe mekanisme paralel dengan material kayu seperti pada Gambar 4.

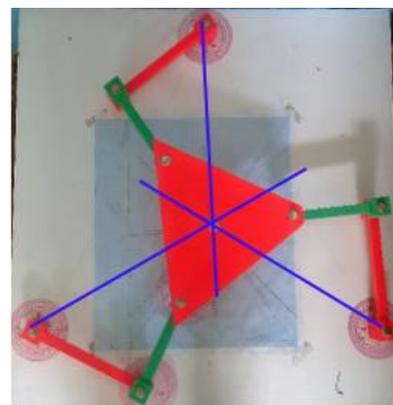
Berdasarkan hasil perancangan yang telah dilakukan diperoleh dimensi dan konstanta kinematik mekanisme paralel yang difungsikan sebagai alat bantu analisa, seperti disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Konstanta kinematik mekanisme

No	Parameter Kinematik	Dimensi
1	Jarak Sisi Base	597
2	Jarak sisi platfoerm	220
3	Batang 1 (L1)	207
4	Batang L (L2)	157
5	Jari-jari Base	164
6	Kari-jari Platform	80
7	Rentang sudut (θ)	78

3.3 Menentukan Titik Referensi (0,0) Prototipe Mekanisme Paralel 3R

Sebelum dilakukan pengujian, maka terlebih dahulu dilakukan penentuan titik referensi (0,0) mekanisme paralel. Pada saat *platform* berada pada titik tersebut, maka *input* sudut pada join aktif dianggap bernilai nol. Titik referensi ini diperoleh dengan cara membuat garis lurus dari ketiga join menuju area *worknigspace* mekanisme paralel seperti pada Gambar 5. Pertemuan ketiga garis tersebut selanjutnya menjadi titik referensi (0,0) *platform*. Berdasarkan hasil pengukuran, titik referensi (0,0) mekanisme paralel 3R planar berada pada jarak 307 mm sumbu X dan 164 mm sumbu Y dari join aktif rantai kinematik 1.



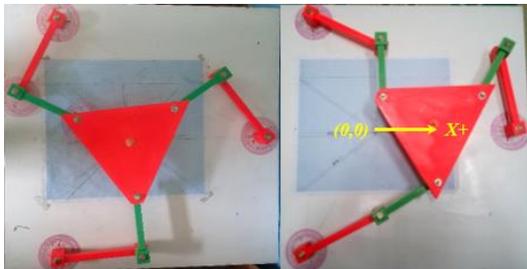
Gambar 5. Penentuan Titik Referensi

3.4 Hasil Pengukuran *Workingspace* Prototipe Mekanisme Paralel 3R

Setelah titik referensi (0,0) mekanisme paralel 3R planar diketahui, maka selanjutnya dapat dilakukan penentuan *workingspace* (area kerja) dari mekanisme tersebut berdasarkan prosedur yang telah dijelaskan sebelumnya.

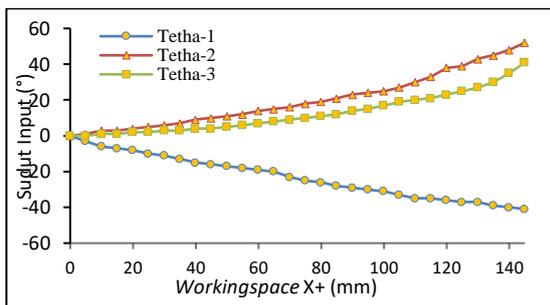
a. Pengukuran *workingspace* prototipe mekanisme paralel searah sumbu X+

Pengukuran *workingspace* mekanisme paralel searah sumbu X+ diperlihatkan oleh Gambar 6 pengukuran dimulai dari titik referensi (0,0) kemudian dilanjutkan dengan menggerakkan *platform* secara translasi bertahap sejauh 5 cm ke arah X+. Perubahan sudut pada joint aktif selanjutnya dicatat sebagai sudut *input* ketika *platform* dipindahkan dari satu titik pengukuran ketitik berikutnya hingga mekanisme berada pada kondisi singularnya.



Gambar 6. Pengukuran Area Kerja Searah Sumbu X+

Dari percobaan yang telah dilakukan diperoleh jangkauan maksimum yang mampu dicapai oleh *platform* adalah sejauh 145 mm dari titik referensi (0,0) mekanisme dengan sudut *input* masing-masing bernilai $\theta_1 = -41^\circ$, $\theta_2 = 52^\circ$, $\theta_3 = 41^\circ$. Adapun hasil pengukuran secara keseluruhan dari titik referensi (0,0) hingga menuju titik 145 mm (0,145) diperlihatkan oleh grafik pada Gambar 7.

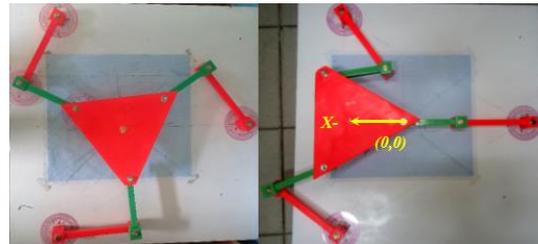


Gambar 7. Grafik Hasil Pengukuran Area Kerja Searah Sumbu X+

b. Pengukuran *workingspace* prototipe mekanisme paralel searah sumbu X-

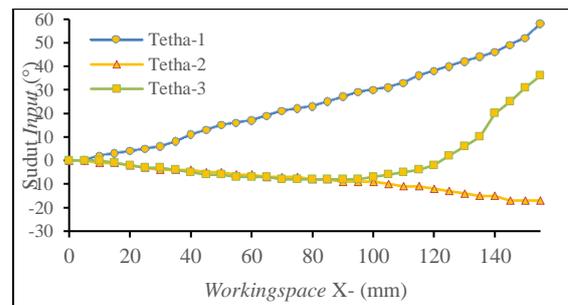
Pengukuran berikutnya untuk mengetahui area *workingspace* mekanisme paralel searah sumbu X- seperti pada Gambar 8. Pengukuran dimulai dari titik referensi (0,0) kemudian dilanjutkan dengan menggerakkan *platform* secara translasi bertahap

sejauh 5 cm ke arah X-. Perubahan sudut pada joint aktif selanjutnya dicatat sebagai sudut *input* ketika



Gambar 8. Pengukuran Area Kerja Searah Sumbu X-

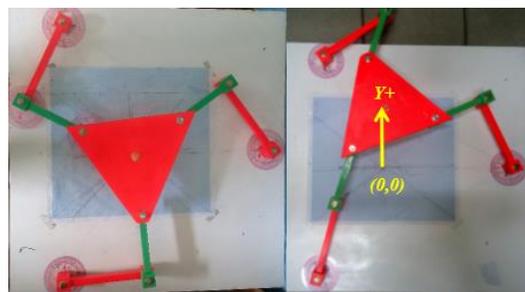
Pada percobaan yang searah dengan sumbu x- diperoleh hubungan sudut *input* dengan *output* *platform* seperti grafik pada Gambar 9. Adapun jangkauan maksimum yang mampu dicapai oleh *platform* berada pada jarak 155 mm dari titik referensi dengan sudut *input* $\theta_1 = 58^\circ$, $\theta_2 = -17^\circ$, $\theta_3 = 36^\circ$. Sudut *input* θ_1 bernilai negatif karena joint aktif bergerak rotasi searah jarum jam dari titik referensi.



Gambar 9. Grafik Hasil Pengukuran Area Kerja Searah Sumbu X-

c. Pengukuran *workingspace* prototipe mekanisme paralel searah sumbu Y+

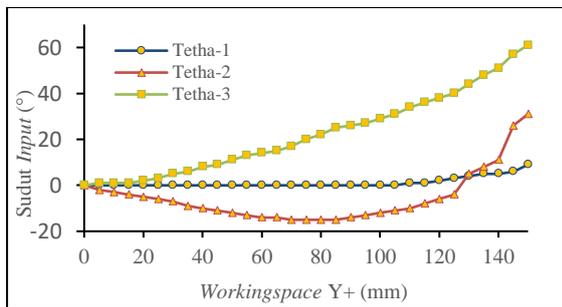
Selanjutnya untuk area pada sumbu Y+ diperlihatkan oleh Gambar 10. Pengukuran diawali dari titik referensi (0,0) kemudian dilanjutkan dengan memindahkan *platform* secara translasi bertahap sejauh 5 cm ke arah Y+. Setelah itu setiap perubahan sudut pada joint aktif dicatat sebagai sudut *input*.



Gambar 10. Pengukuran Area Kerja Searah Sumbu Y+

Dari hasil pengukuran area kerja mekanisme paralel 3R searah sumbu Y+, diperoleh hasil seperti

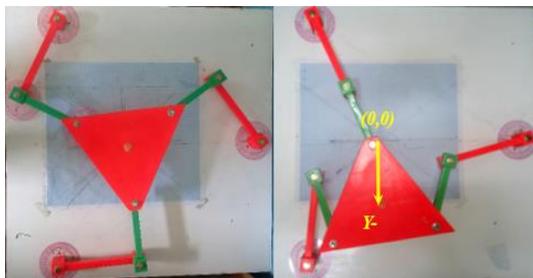
pada grafik yang disajikan pada Gambar 11. Sedangkan jangkauan maksimum *platform* berada pada jarak 150 mm dari titik join aktif dengan sudut input $\theta_1 = 9^\circ$, $\theta_2 = 31^\circ$, $\theta_3 = 61^\circ$.



Gambar 11. Grafik hasil Pengukuran Area Kerja Searah Sumbu Y+

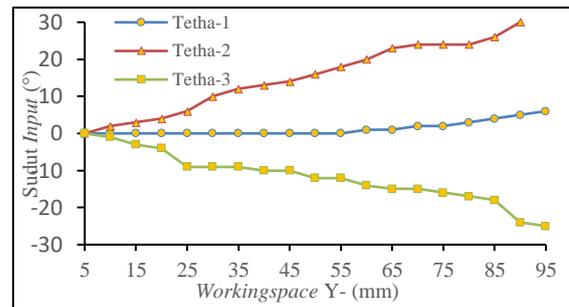
d. Pengukuran *workspace* prototipe mekanisme paralel searah sumbu Y-

Kemudian pengukuran dilanjutkan untuk mengetahui *workspace* mekanisme paralel 3R searah sumbu Y- seperti diperlihatkan oleh Gambar 12. Sesuai dengan prosedurnya, pengukuran dimulai dari titik referensi (0,0) kemudian dilanjutkan dengan mengeser *platform* secara translasi dengan berkelanjutan sejauh 5 cm ke arah Y-. Setelah itu setiap perubahan sudut yang terjadi pada join aktif dicatat sebagai sudut *input*.



Gambar 12. Pengukuran Area Kerja Searah Sumbu Y-

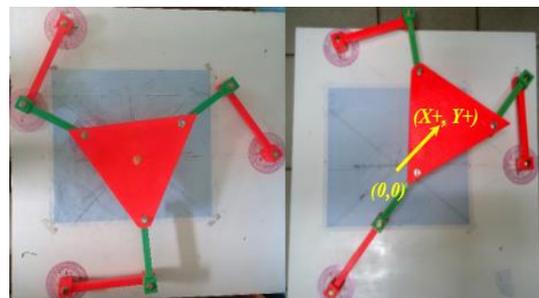
Pada percobaan yang searah sumbu y- diperoleh hubungan sudut *input* dengan *output* pada *platform* seperti grafik pada gambar 13. Pada arah sumbu Y-, *workspace* maksimum *platform* berada pada jarak 95 mm dari titik join aktif dengan sudut input $\theta_1 = 6^\circ$, $\theta_2 = 35^\circ$, $\theta_3 = -25^\circ$. Sudut input θ_3 bernilai negatif karena join aktif bergerak rotasi searah jarum jam dari titik referensi.



Gambar 13. Grafik hasil Pengukuran Area Kerja Searah Sumbu Y-

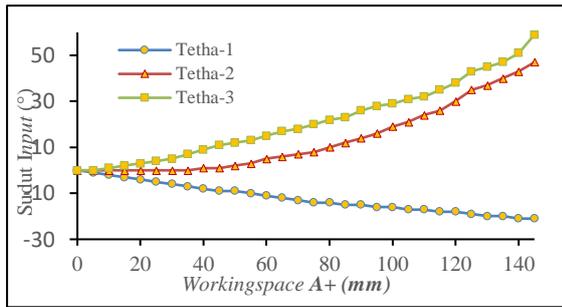
e. Pengukuran *workspace* prototipe mekanisme paralel searah sumbu A+

Pengukuran kemudian dilanjutkan untuk mengetahui area *workspace* mekanisme paralel searah sumbu A+. Pengukuran ini berbeda dengan empat pengukuran sebelumnya pada sumbu X+, X-, Y+ dan Y- dimana *platform* digerakan hanya pada satu sumbu koordinat saja yaitu sumbu X atau sumbu Y saja. Pada pengukuran ini *platform* mekanisme paralel digerakan secara bersamaan terhadap dua sumbu koordinat X dan Y, sehingga titik koordinat baru (X,Y) yang dicapai oleh *platform* membentuk sudut miring 45° dari titik referensi (0,0) seperti pada Gambar 14. Pengukuran ini selanjutnya dimulai dari titik referensi (0,0) kemudian dilanjutkan dengan menggerakkan *platform* secara translasi bertahap menuju koordinat sejauh 5 cm ke arah X+ dan sumbu Y+. Perubahan sudut pada join aktif selanjutnya dicatat sebagai sudut *input* ketika *platform* bergerak secara translasi.



Gambar 14. Pengukuran Area Kerja Searah Sumbu A+

Setelah dilakukan pengukuran pada sumbu A+ (X+, Y+) diperoleh jangkauan maksimum yang mampu dicapai oleh *platform* berada pada jarak 145 mm dari titik join aktif (145, 145) seperti pada Gambar 15. Untuk mencapai titik tersebut dengan sudut *input* yang diberikan pada join aktif adalah $\theta_1 = -21^\circ$, $\theta_2 = 47^\circ$, $\theta_3 = 59^\circ$.



Gambar 15. Grafik Hasil Pengukuran Area Kerja Searah Sumbu A+

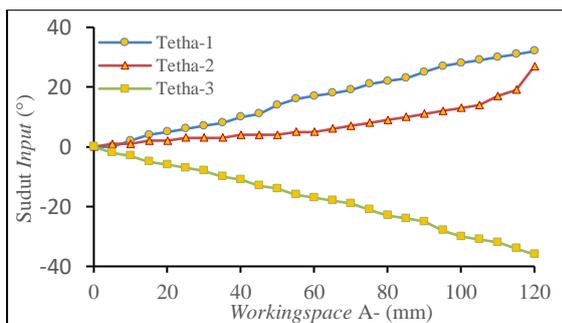
f. Pengukuran *workspace* prototipe mekanisme paralel searah sumbu A-

Selanjutnya pengukuran dilakukan untuk mengetahui area *workspace* mekanisme paralel searah sumbu A-. Pada dasarnya pengukuran ini hampir sama dengan pengukuran pada sumbu A+ dimana *platform* digerakan membentuk sudut 45° terhadap titik referensi (0,0), namun bedanya pada pengukuran ini *platform* digerakan pada sumbu X- dan Y-. Pengukuran diawali dari titik referensi (0,0) kemudian dilanjutkan dengan menggerakkan *platform* secara translasi bertahap menuju koordinat sejauh 5 cm sehingga membentuk koordinat (-5, -5) seperti pada Gambar 16. Pada pengukuran ini perubahan sudut pada join aktif dicatat sebagai sudut *input* hasil pengukuran.



Gambar 16. Pengukuran Area Kerja Searah Sumbu A-

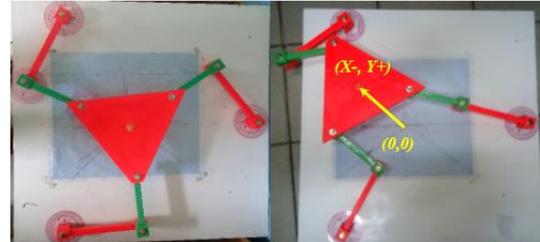
Selanjutnya dilakukan percobaan pada sumbu A- ($X-$, $Y-$) didapatkan jangkauan maksimum *platform* sejauh 120 mm (-120, -120) dari titik referensi (0, 0) seperti pada Gambar 17. *Workspace platform* tersebut diperoleh dengan sudut *input* sebesar $\theta_1 = 32^\circ$, $\theta_2 = 27^\circ$, $\theta_3 = -36^\circ$.



Gambar 17. Grafik Hasil Pengukuran Area Kerja Searah Sumbu A-

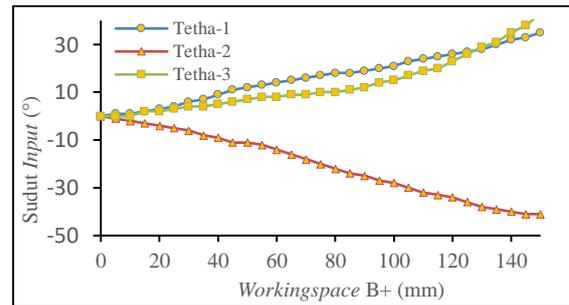
g. Pengukuran *workspace* prototipe mekanisme paralel searah sumbu B+

Kemudian pengukuran dilanjutkan untuk mengetahui area *workspace* mekanisme paralel searah sumbu B+. Pengukuran diawali dari titik referensi (0,0) kemudian dilanjutkan dengan menggerakkan *platform* secara translasi bertahap sejauh 5 cm menuju titik ($X-$, $Y+$) seperti pada Gambar 18.



Gambar 18. Pengukuran Area Kerja Searah Sumbu B+

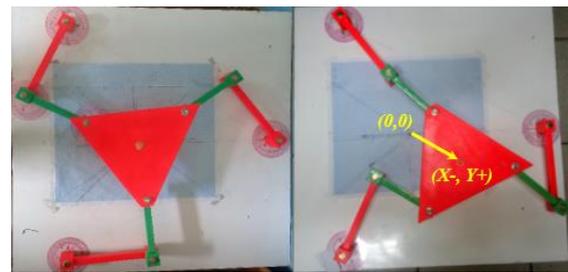
Dari pengukuran searah sumbu B+ diperoleh jangkauan maksimum *platform* senilai 150 mm dari titik join aktif seperti pada Gambar 19. Sedangkan sudut *input* untuk memperoleh area kerja tersebut didapatkan seharga $\theta_1 = 35^\circ$, $\theta_2 = -41^\circ$, $\theta_3 = 43^\circ$.



Gambar 19. Grafik Hasil Pengukuran Area Kerja Searah Sumbu B+

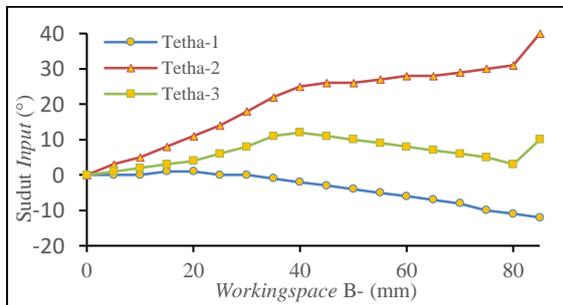
h. Pengukuran *workspace* prototipe mekanisme paralel searah sumbu B-

Pada tahap akhir, pengukuran diteruskan untuk mengetahui area *workspace* mekanisme paralel searah sumbu B-. Pengukuran dimulai dari titik referensi (0,0) kemudian dilanjutkan dengan menggerakkan *platform* secara translasi dengan berkesinambungan sejauh 5 cm menuju titik ($X+$, $Y-$) seperti pada Gambar 20.



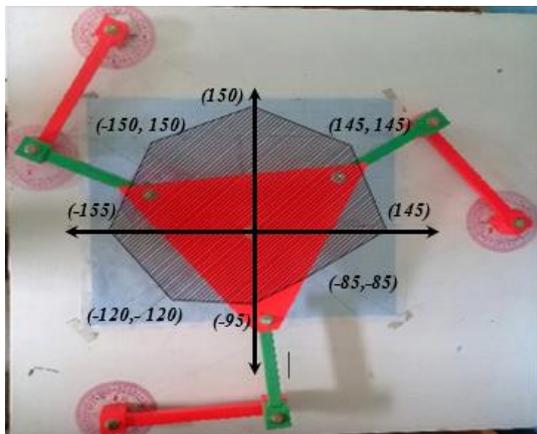
Gambar 20. Pengukuran Area Kerja Searah Sumbu B-

Dari pengukuran searah sumbu B- diperoleh jangkauan maksimum *platform* senilai 85 mm dari titik join aktif seperti pada Gambar 21. Sedangkan sudut *input* untuk memperoleh area kerja tersebut didapatkan seharga $\theta_1 = -12^\circ$, $\theta_2 = 40^\circ$ $\theta_3 = 10^\circ$.



Gambar 21. Grafik hasil Pengukuran Area Kerja Searah Sumbu B-

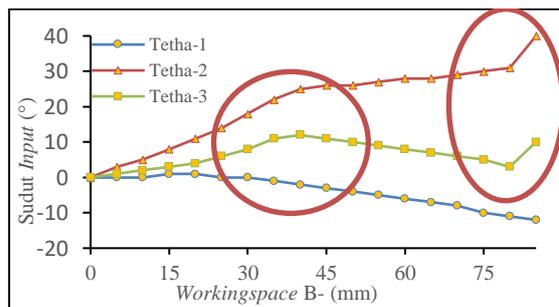
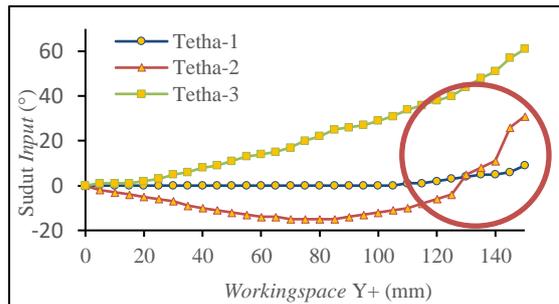
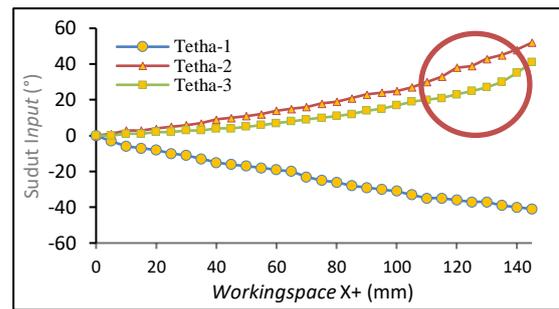
Setelah dilakukan pengukuran terhadap delapan sumbu koordinat (X+, X-, Y+, Y-, A+, A-, B+, B-) selanjutnya diplot hasilnya ke dalam bentuk grafik untuk mengetahui *workingspace* mekanisme paralel 3R planar tersebut. Dengan menghubungkan jangkauan maksimal pada masing-masing sumbu hasil pengukuran dapat diperoleh *workingspace* mekanisme paralel seperti pada Gambar 22 berikut ini. Adapun rentang jangkauan area yang mampu dicapai oleh *platform* adalah 300 mm searah sumbu X, 245 mm searah sumbu Y, 265 mm searah sumbu A dan 235 mm searah sumbu B.



Gambar 22. *Workingspace* Mekanisme Paralel 3R planar

Dari pengujian yang telah dilakukan, beberapa grafik yang diperoleh memiliki beberapa penyimpangan harga sudut *input* pada join aktif seperti pada grafik X+, Y+, B+ yang disajikan pada Gambar 23 penyimpangan tersebut disebabkan oleh sambungan join yang longgar akibat dari proses produksi yang tidak sempurna. Kemudian pembuatan komponen mekanisme yang dilakukan oleh mesin konvensional juga salah satu penyebab mekanisme ini memiliki beberapa kekurangan. Disamping itu kesalahan sudut *input* juga disebabkan oleh pengujian yang dilakukan secara

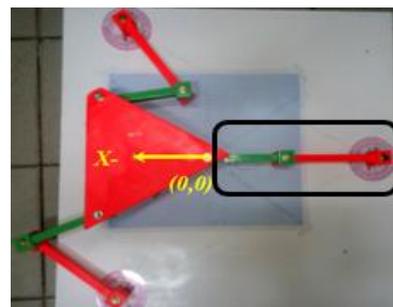
manual, sehingga beberapa penyimpangan sulit dihindari.

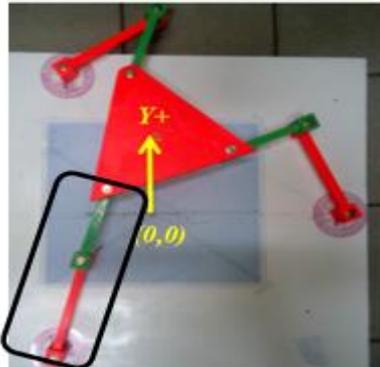
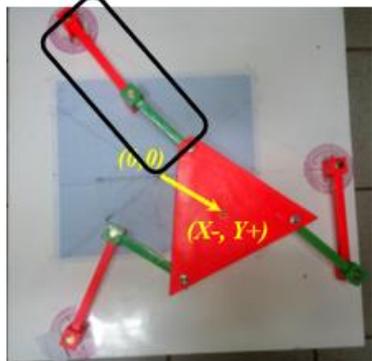
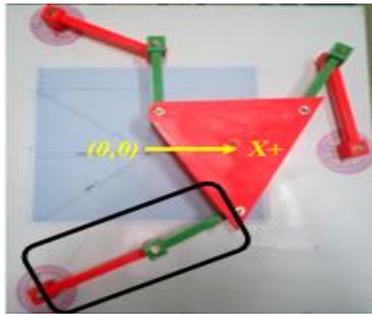


Gambar 23 Penyimpangan pada Sudut *Input*

3.5 Evaluasi Kondisi Singular Mekanisme Paralel 3R

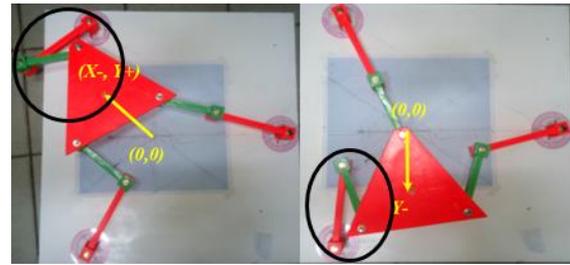
Workingspace yang terdapat pada Gambar 23 merupakan area yang sudah berada pada kondisi optimum, artinya pada kondisi tersebut mekanisme paralel 3R sudah berada pada area singularitinya. Hal ini dapat diketahui dari konfigurasi rantai kinematik pada saat mekanisme mengalami gerak secara translasi. Pada Gambar 24 dapat dilihat bahwa susunan rantai kinematik sudah mengalami posisi yang maksimum, sehingga tidak mampu lagi mencapai area yang lebih jauh.





Gambar 24. Actuation singularity

Pada Gambar 25 dapat dilihat bahwa rantai kinematik sudah mengalami posisi yang maksimum, sehingga tidak mampu lagi mencapai area yang lebih jauh. Kondisi tersebut menggambarkan bahwa mekanisme mengalami *actuation singularity*, dimana rantai kinematik tidak mampu lagi mencapai daerah lebih jauh dari jangkauan yang dimilikinya. Berikutnya pada Gambar 25 juga ditampilkan bahwa mekanisme paralel mengalami kondisi singular dimana terjadi interferensi (kontak) antara satu batang dengan batang yang lainnya. Dari dua kondisi tersebut dapat dilihat bahwa pada saat mekanisme beradapa di area *workspace* maksimum, maka mekanisme cenderung berada pada area singularnya sehingga dapat menyebabkan hilangnya satu atau beberapa derajat kebebasan sehingga kemampuannya menjadi berkurang.

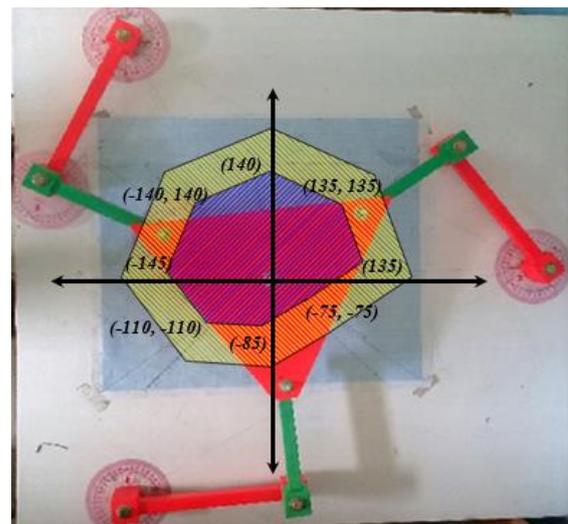


Gambar 25 Intervensi Rantai Kinematik Mekanisme Paralel Planar 3R

3.6 Evaluasi *Trajectory Planning* Mekanisme Paralel 3R

Berdasarkan kondisi singular yang terjadi, maka pergerakan mekanisme paralel harus dikontrol sedemikian rupa supaya dapat bekerja dengan baik. Untuk itu perlu dievaluasi *trajectory* (lintasan) pergerakan *platform* sehingga gerakannya selalu berada pada area yang jauh dari kondisi singular. Hal ini dimaksudkan agar mekanisme mampu bekerja secara maksimal sesuai dengan desain yang telah direncanakan dari awal.

Berdasarkan pengujian telah dilakukan, diperoleh area yang dapat dijadikan *trajectory* (lintasan) *platform* mekanisme paralel seperti pada Gambar 26 pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa, area arsir berwarna hitam merupakan area *workspace* yang cocok dijadikan lintasan *platform* mekanisme paralel. Karena pada area tersebut *platform* mekanisme paralel berada jauh dari kondisi singularnya, sehingga mampu bekerja secara optimum sesuai dengan desain yang telah direncanakan. Sedangkan area yang diarsir warna kuning merupakan area yang hampir dekat dengan kondisi singular, sehingga tidak direkomendasikan *platform* mekanisme paralel bekerja pada area tersebut.



Gambar 26. Penentuan *Trajectory* Mekanisme Paralel 3R

4. Kesimpulan

Dari Penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

Berdasarkan hasil rancangan didapatkan prototipe mekanisme paralel dengan material kayu dengan $R1 = 597$ mm, $R2 = 220$ mm, $L1 = 201$ mm, $L2 = 151$ mm, jari-jari base = 164 mm $E0E1 = 80$ mm, $\theta = 78^\circ$,

1. Dari pengujian yang telah dilakukan diperoleh *workingspace* yang mampu dicapai oleh *platform* mekanisme paralel senilai 300 mm searah sumbu X, 245 mm searah sumbu Y, 265 mm searah sumbu A dan 235 mm searah sumbu B
2. Area *workingspace* mekanisme paralel dibatasi oleh dua kondisi singular yang terjadi pada mekanisme yaitu *actuation singularity* dan terjadinya interferensi (kontak) antara satu batang dengan batang yang lainnya.
3. Dengan mempertimbangkan kondisi singular mekanisme, diperoleh area yang dapat digunakan untuk *trajectory planning* mekanisme paralel 3R planar yaitu 280 mm searah sumbu X, 225 mm searah sumbu Y, 240 mm searah sumbu A dan 215 mm searah sumbu B

Daftar Pustaka

- [1] Jazar, Reza N. 2010. *Theory of Applied Robotics kinematics Dynamics and control second edition*. Australia: Univercity of melbourne.
- [2] Liu. 2012. *A New Approach for Singularity Analysis and Closeness Measurement to Singularities of Parallel Manipulators*. Journal of Mechanisms and Robotics, Vol. 4: 5.
- [3] Li, Yangmin. 2006. *Kinematic Analysis and Design of a New 3-Dof Translational Parallel Manipulator*. Journal of Mechanical Design, Vol. 128: 2.
- [4] L. W. Tsai. 1999. *Robot Analysis, The Mechanics of Serial and Parallel Manipulators*. Canada: Wiley-Interscience Toronto.
- [5] Syam, Rafiuddin. 2015. *Seri Buku Ajar Robot: Kinematika dan Dinamika Robot Lengan Untuk kasus Robot Penjinak Bom dan Robot Tari Pakkarena*. Makasar: Universitas Hasanuddin.