



## RANCANG BANGUN LENGAN ROBOT PEMBACA PH UNTUK PREPARASI RADIOFARMAKA $^{153}\text{Samarium-EDTMP}$

Diandono Kuntjoro Yoga<sup>1(a)</sup>, Mohammad Hafidz Akbar<sup>1)</sup>, Suroso<sup>1)</sup>, Edy Yulianto<sup>1)</sup>, Muhtadan<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Politeknik Teknologi Nuklir Indonesia-Badan Riset dan Inovasi Nasional,

Korespondensi:

<sup>a)</sup>Politeknik Teknologi Nuklir Indonesia-Badan Riset dan Inovasi Nasional,  
diandono@brin.go.id

### ABSTRAK

$^{153}\text{Samarium-EDTMP}$  adalah radiofarmaka yang dimanfaatkan dalam pengobatan kanker tulang metastasis. Sifat radioaktif dapat mengakibatkan pekerja, yang membuat radiofarmaka ini, akan terkena paparan radiasi radioaktif. Sistem otomasi dikembangkan untuk membuat proses produksi yang lebih aman. Salah satu tahapan dalam proses produksi adalah pengukuran tingkat keasaman (pembacaan pH) ketika penandaan Samarium dengan EDTMP. Otomasi pengukuran tingkat keasaman dilakukan menggunakan kertas indikator pH kemudian citra kertas indikator dihasilkan menggunakan kamera. Sistem mekanik lengan robot dirancang untuk melakukan otomasi pengambilan kertas indikator serta proses pengukuran tingkat keasaman menggunakan kamera tersebut. Perancangan awal dibuat menggunakan gambar model 3 dimensi. Pada gambar yang dibuat dilakukan analisa kekuatan desain menggunakan Ansys. Setelah didapat rancangan yang aman, selanjutnya lengan robot difabrikasi dan dibuat menggunakan CNC milling, bubut dan printer 3 dimensi. Komponen yang telah dirakit digerakan dengan motor stepper dan motor servo dan sistem kendali berbasis Arduino. Hasil pengujian gerak lengan robot diperoleh akurasi 98,21% serta tingkat presisi gerakan 98,03%

**Kata kunci:** sistem mekanik; lengan robot; pengukuran tingkat keasaman; pembacaan pH; radiofarmaka; samarium-EDTMP.

### ABSTRACT

$^{153}\text{Samarium-EDTMP}$  is a radiopharmaceutical used in the treatment of metastatic bone cancer. Radioactive properties can result in workers who make this radiopharmaceutical being exposed to radioactive radiation. Automation systems are developed to make production processes safer. One of the stages in the production process is measuring the acidity level (pH reading) when marking Samarium with EDTMP. Automation of acidity level measurements is carried out using pH indicator paper and then an image of the indicator paper is produced using a camera. The robot arm mechanical system is designed to automate the collection of indicator paper and the process of measuring acidity levels using the camera. The initial design was made using 3-dimensional model drawings. On the drawings created, a design strength analysis was carried out using Ansys. After obtaining a safe design, the robot arm is fabricated using CNC milling, a lathe, and a 3-dimensional printer. Stepper motors, servo motors, and an Arduino-based control system drive the assembled components. The results of testing the movement of the robot arm obtained an accuracy of 98.21% and a movement precision level of 98.03%

**Keywords:** *mechanical system; robot arm; acidity measurement; pH reading; radiopharmaceutical; <sup>153</sup>Samarium-EDTMP*

## 1. PENDAHULUAN

Radiofarmaka <sup>153</sup>Samarium Ethylene Diamin Tetra Matilene Phosphate atau <sup>153</sup>Samarium-EDTMP dipergunakan untuk menghilangkan rasa sakit pada penderita kanker yang sudah metastasis ke tulang belakang. Radiofarmaka ini dapat menghilangkan rasa sakit hingga 80% dan dapat bertahan antara 1 hingga 2 bulan. Selain dapat menghilangkan rasa sakit <sup>153</sup>Samarium-EDTMP juga digunakan dalam radio imaging, yaitu dengan memanfaatkan pancaran sinar gamma dengan energi sebesar 103 KeV yang sangat cocok untuk pencitraan menggunakan kamera gamma. Pencitraan ini dapat digunakan untuk membaca sebaran kanker pada tubuh pasien.

Proses produksi <sup>153</sup>Samarium-EDTMP di Indonesia dilakukan oleh Pusat Riset Teknologi Radioisotop, Radiofarmaka, dan Biodosimetri (PRTRRB). Beberapa rumah sakit seperti Rumah Sakit Umum Pusat Dr Karyadi Semarang, Rumah Sakit Hasan Sadikin Bandung, Rumah Sakit Dr Sarjito Yogyakarta dan sebagainya telah memanfaatkan pengobatan menggunakan <sup>153</sup>Samarium-EDTMP ini. Dibandingkan penghilang rasa sakit yang lain yaitu penggunaan morfin maka radiofarmaka lebih baik, karena tidak menimbulkan ketergantungan pada pasien serta frekuensi penyuntikan yang lebih sedikit, maka permintaan akan <sup>153</sup>Samarium-EDTMP terus mengalami peningkatan.

Sebagai bahan radiofarmaka, <sup>153</sup>Samarium-EDTMP saat diproduksi mengeluarkan radiasi radioaktif yang tentu saja kurang baik bagi pekerja yang membuatnya. Karena masih diproduksi secara manual, maka meningkatnya permintaan <sup>153</sup>Samarium-EDTMP ini dapat berdampak meningkatnya pula dosis paparan radiasi yang diterima pekerja. Untuk memperkecil resiko paparan yang diterima pekerja maka saat ini pembuatan <sup>153</sup>Samarium-EDTMP dilakukan otomatisasi. Salah satu tahapan proses produksi <sup>153</sup>Samarium-EDTMP adalah penandaan atau pencampuran larutan Samarium dengan EDTMP. Pada saat pencampuran ini dilakukan pengaturan tingkat keasaman atau pH.

Pengaturan pH menggunakan sensor pH biasa, dapat mempengaruhi kinerja alat karena bersifat radioaktif. Setelah pembacaan pH sensor biasanya akan dicuci terlebih dahulu. Karena larutan yang dicelup merupakan bahan radioaktif maka air hasil pencucian sensor pH akan menjadi limbah radioaktif. Karena itu dipilih pembacaan pH menggunakan kertas indikator pH yang berukuran kecil sehingga tidak banyak limbah radioaktif yang dihasilkan. Pembacaan nilai pH dilakukan menggunakan kamera dengan image processing

Penelitian ini bertujuan merancang sistem mekanis pembaca pH dengan mempertimbangkan batasan-batasan proses aseptis pada produk radiofarmaka. Rancangan ini diharapkan dapat mengurangi paparan radiasi yang diterima pekerja, serta mendapatkan hasil pembacaan pH yang lebih akurat.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

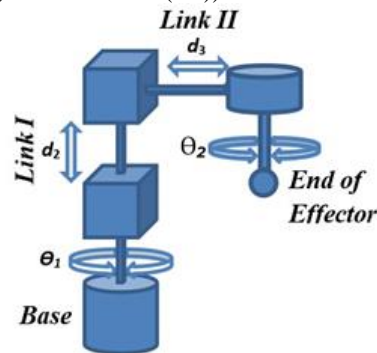
Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan kompuer laptop ASUS FX506I, *Autodesk Inventor Student Edition* sebagai perangkat mendesain rancangan lengan robot, Ansys sebagai perangkat simulasi model rancangan, mesin *laser cutting*, mesin *folding*, mesin frais, dan mesin CNC baik *milling* maupun *turning*.

Konsep desain dari rancang bangun lengan robot dilakukan dengan menentukan rumusan kriteria dan batasan perangkat, penentuan fungsi, pemilihan rancangan, evaluasi pilihan rancangan, penilaian dan penentuan pilihan rancangan, penentuan konfigurasi rancangan robot, penentuan material, serta penentuan aktuator.

Dalam proses perancangan ditetapkan kriteria desain, dimana desain rancangan yang dibuat adalah sebuah lengan robot yang bertugas dalam memindahkan objek berupa kertas indikator pH, kemudian sistem lengan robot akan diimplementasikan didalam *minicell*, serta material yang dipilih harus mendukung sterilitas lingkungan didalam *minicell*.

Berdasarkan kriteria tersebut, dipilihlah konsep rancangan lengan robot berjenis *cylindrical robotic arm* karena rancangan lengan robot jenis ini memiliki kesesuaian terhadap lingkungan *minicell* selain memiliki kebutuhan tapak yang kecil, robot jenis ini memiliki luas penampang kerja yang kecil sehingga tidak mengganggu aliran udara laminar didalam *minicell*, robot jenis ini juga memiliki kemudahan dalam pengendaliannya, serta tingkat presisi yang cukup tinggi dalam beroperasi.

**Gambar 1** merupakan konsep desain lengan robot cylindrical yang akan digunakan, yang terdiri dari 4 bagian utama, yaitu base, link I, link II, end of effector. Ketiga bagian tersebut dihubungkan dengan sendi-sendi gerak. Diantaranya base-link I dihubungkan dengan sendi putar 1 (Revolute 1 (R1)), link I-link II dihubungkan dengan sendi geser 1 (Prismatic 1 (P1)), link II-end of effector dihubungkan dengan sendi geser 2 dan sendi putar 2 (Prismatic 2 (P2) & Revolute 2 (R2)).



**Gambar 1. Diagram konfigurasi Cylindrical Robot**

Dengan menggunakan metode kurva Ashby's Chart dipilihlah material penyusun lengan robot dengan mempertimbangan beberapa kriteria yang diantaranya adalah massa yang relatif ringan, memiliki sifat kaku, ketahanan terhadap radiasi, serta kemudahan dalam fabrikasi. Dengan beberapa kriteria tersebut maka dipilihlah material utama pembentuk base adalah aluminium, link I adalah aluminium, link II adalah akrilik dan stainless steel dan gripper berupa PLA 3D printing.

Setelah dilakukan desain perancangan, selanjutnya hasil desain diuji secara simulasi dengan metode simulasi struktural statis dan transien, simulasi model dibuat untuk memberikan pengujian pada rancangan, simulasi model yang dilakukan antara lain berupa static structural pada base, link I dan link II, simulasi model static structural dilakukan untuk menguji ketahanan kerangka rancangan terhadap beban statis yang akan bekerja pada suatu rancangan nantinya. Kemudian simulasi model berupa transient structural pada sistem penggerak utama yaitu helical gear, rack & pinion, dan leadscrew, pengujian ini dilakukan untuk menguji kestabilan kerja sistem gerak berupa persebaran kecepatan total sistem.

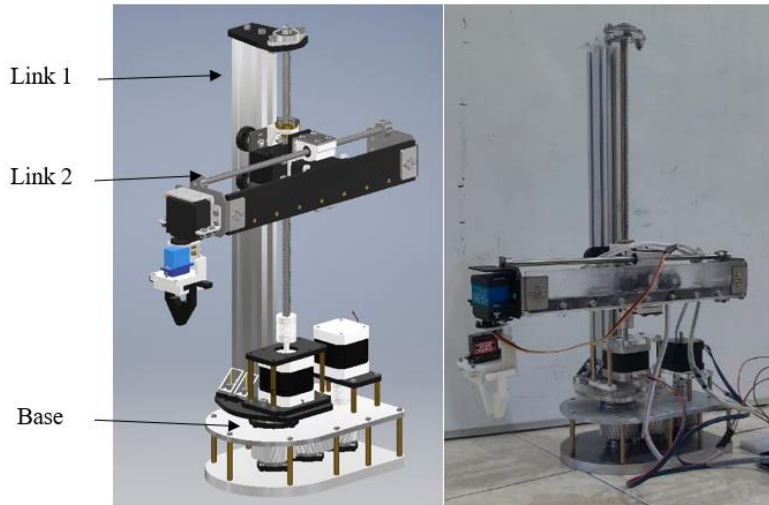
Setelah simulasi dilakukan dan didapatkan hasil uji rancangan yang telah memenuhi kriteria, selanjutnya dilakukan proses fabrikasi, fabrikasi dilakukan dengan berbagai teknik, diantaranya dengan pemotongan akrilik dan plat logam stainless steel menggunakan mesin laser cutting, machining blok aluminium menggunakan mesin CNC milling, serta bending machine untuk membengkokkan plat stainless steel yang telah dibentuk polanya menggunakan laser cutting sebelumnya, dan terakhir memanfaatkan 3D printer untuk membentuk model-model yang dapat di fabrikasi menggunakan material filamen plastik PLA.

Kemudian hasil fabrikasi rancangan disusun dan dirakit berdasarkan desain yang telah dibuat sebelumnya, setelah itu dilakukan pengujian secara aktual, untuk mendapatkan data nilai %akurasi dan %presisi, pengujian lengan robot hasil rancangan dibagi menjadi 4 sesi pengujian, yaitu pengujian base, link I, link II, dan Kombinasi koordinat XY.

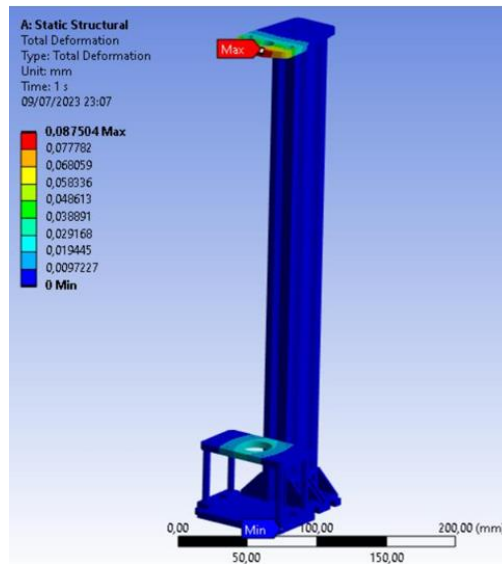
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil desain yang telah dibuat sebelumnya, didapatkan hasil rancangan lengan robot berjenis cylindrical robot arm dengan dimensi panjang sebesar 330 mm, lebar sebesar 165 mm, dan tinggi sebesar 450 mm, sedangkan kapasitas dimensi dalam minicell memiliki panjang sebesar 790 mm, lebar sebesar 750, dan tinggi 1000 mm. Maka dari itu, hasil rancangan hanya memakan 41,35% kapasitas pada minicell, hasil perancangan dapat dilihat seperti pada Gambar 2.

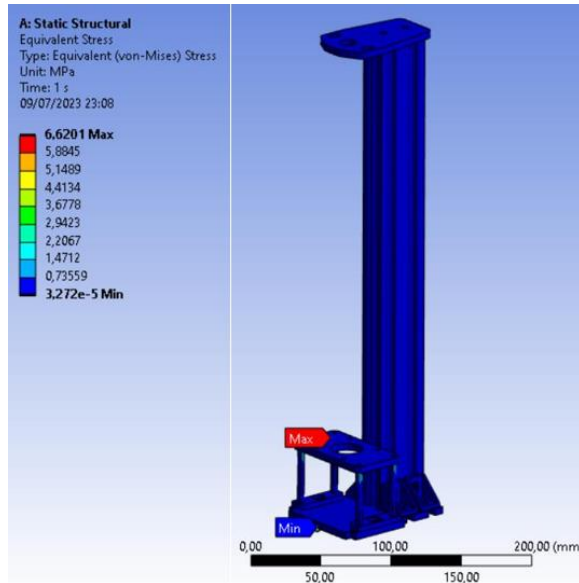
Dari desain yang dibuat dilakukan simulasi pada bagian-bagian lengan robot simulasi terhadap link I menggunakan Ansys, didapatkan sebuah hasil simulasi berupa total deformasi dan *equivalent stress* (*von misses*) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



**Gambar 2. Desain rancangan dan hasil lengan robot yang dibuat**



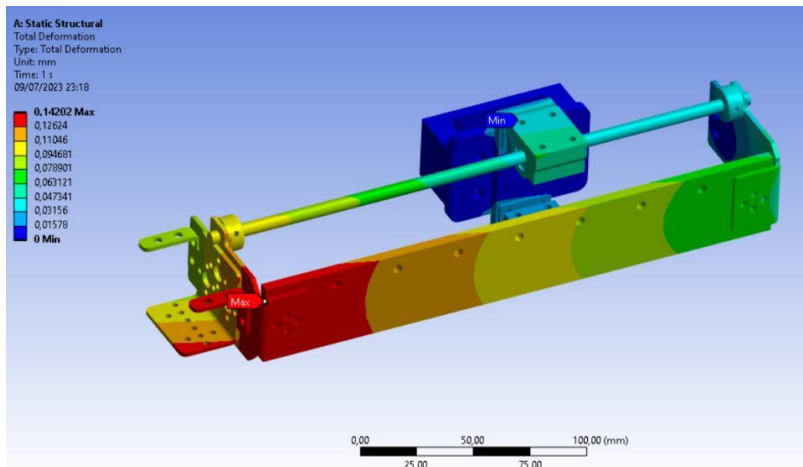
**Gambar 3. Total deformasi pada link 1**



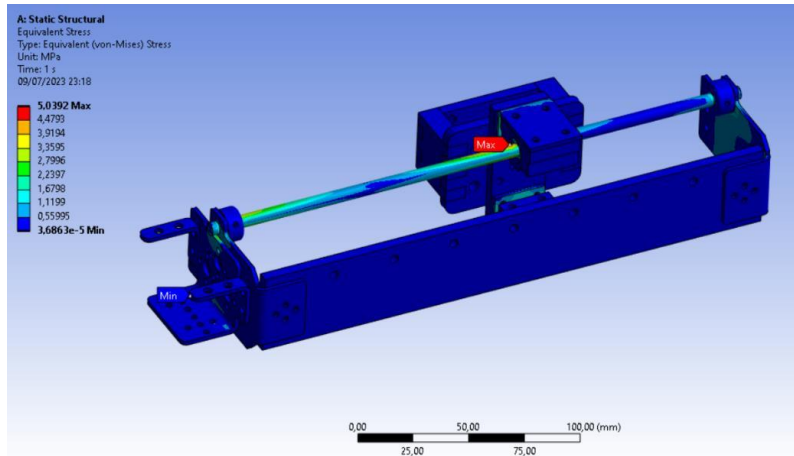
**Gambar 4. Equivalent stress pada link 1**

Pada Gambar 3 diperoleh hasil total deformasi tertinggi terjadi pada *bracket* yang menopang *pillow bearing* sebesar 0,08 mm. Sedangkan pada Gambar 4 didapatkan hasil *equivalent stress* tertinggi terjadi pada *platform* atas *base* sebesar 6,62 MPa.

Pada hasil analisis menggunakan Ansys ditunjukkan hasil total deformasi tertinggi terjadi pada *bracket* yang menopang *pillow bearing* sebesar 0,1 mm sebagaimana Gambar 5. Berdasarkan hasil analisis yang ditunjukkan pada Gambar 6 didapatkan hasil *equivalent stress* tertinggi terjadi pada *platform* atas *base* sebesar 5 MPa, dengan *platform* atas berbahan *stainless steel* dengan nilai *ultimate yield strength* sebesar 205 Mpa, nilai  $\sigma' > \sigma_y$  maka struktur *base* dapat dikatakan memenuhi syarat dalam menopang beban yang bekerja pada struktur tersebut.

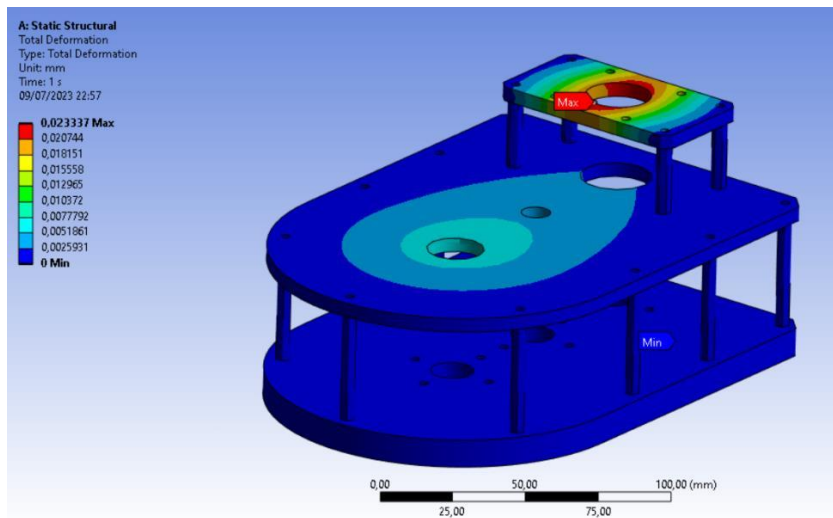


**Gambar 5. Total deformasi pada link 2**

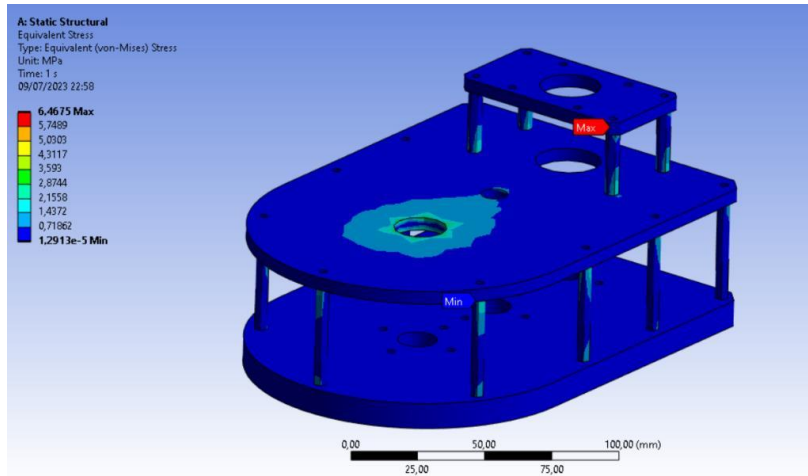


Gambar 6. *Equivalent stress* pada link 2

Berdasarkan pemodelan didapatkan hasil total deformasi tertinggi terjadi pada bracket yang menopang motor stepper sebesar 0,023 mm sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7. Sedangkan berdasarkan hasil analisis sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 8 diperoleh hasil *equivalent stress* tertinggi terjadi pada platform atas base sebesar 2,87 MPa, dengan platform atas berbahan aluminium dengan nilai *ultimate yield strength* sebesar 240 Mpa, nilai  $\sigma' > s_y$  maka struktur *base* dapat dikatakan memenuhi syarat dalam menopang beban yang bekerja pada struktur tersebut.



Gambar 7. Total deformasi pada Base



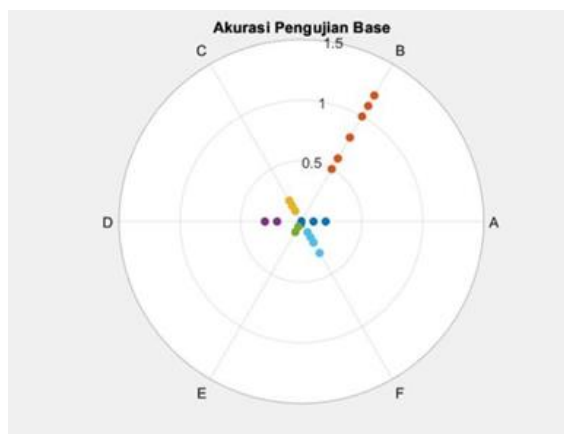
**Gambar 8. Equivalent stress pada Base**

Berdasarkan simulasi pembebanan yang dilakukan selanjutnya dibandingkan dengan kekuatan material yang dipilih dan hasilnya ditunjukkan pada Tabel 1. Adapun hasil pengujian gerak dari bagian-bagian alat yang dibuat ditunjukkan pada Gambar 9 untuk pengujian *base*, Gambar 10 merupakan hasil pengujian Link 1 dan Link 2 serta Gambar 11 merupakan pengujian pada pengujian sumbu XY.

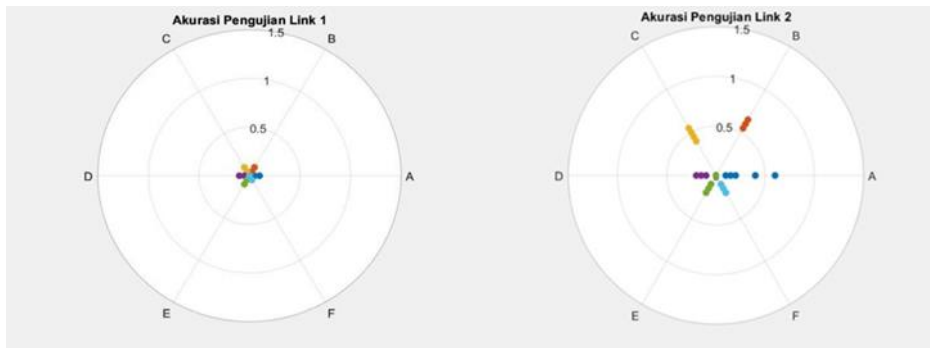
Dilihat dari Gambar 11 persebaran yang terjadi terhadap sumbu A,C,D,E,dan F, memiliki kecenderungan tersebar pada nilai radius kurang dari 0,5 cm, artinya tidak terjadi kesalahan posisi yang dialami setiap titik tersebut melebihi dari 0,5 cm terhadap titik referensinya. Namun pada sumbu B, terlihat persebaran titik sebesar lebih dari 0,5 cm hingga mendekati radius 1,5 cm, dengan persebaran titik yang cenderung lebar, artinya jangkauan pada posisi B yang dijangkau lengan robot mengalami akurasi dan presisi yang rendah, dibandingkan dengan titik yang lain, hal ini mungkin saja terjadi dikarenakan titik B merupakan titik terjauh yang dapat terjangkau oleh lengan robot, dan titik ini menjadikan lengan robot menjangkau dengan posisi yang tidak seimbang, hal ini diakibatkan karena ketidak seimbangannya bagian base platform, sehingga membuat lengan robot mengalami kemiringan posisi.

**Tabel 1. Perbandingan hasil perhitungan beban terhadap kekuatan pilihan material**

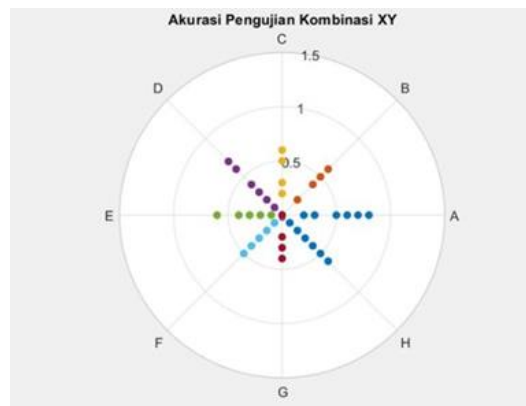
<i>Nama Bagian</i>	<i>Tekanan Struktur (MPa)</i>	<i>Kekuatan material (MPa)</i>
Base	2,87	240
Link 1	6,62	124
Link 2	5	205



**Gambar 9. Hasil Pengujian Base**



Gambar 10. Hasil pengujian *Link 1* dan *Link 2*



Gambar 11. Hasil pengujian sumbu XY

Adapun hasil pengujian akurasi dan presisi dari bagian Base, Link 1, dan Link 2 ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Resume data hasil pengujian sistem mekanik

No	Bagian	RMSE	SD	%Akurasi	%Presisi
1	Base	0,29	0,079	97,09%	99,21%
2	Link I	0,04	0,035	99,61%	99,65%
3	Link II	0,31	0,077	96,92%	99,23%
4	Kombinasi XY	0,38	0,20	96,21%	98,03%

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan berupa telah berhasil dibangun sebuah rancangan sistem mekanik lengan robot berjenis *cylindrical arm* robot berdimensi panjang sebesar 330 mm, lebar sebesar 165 mm, dan tinggi sebesar 450 mm, yang tersusun atas kombinasi material berjenis aluminium, stainless steel, akrilik dan PLA, dengan 4 derajat kebebasan (DOF) yang mampu bergerak terhadap koordinat x dan y dengan tingkat % akurasi dan % presisi masing-masing sebesar 96,21% dan 98,03%.



## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) dan Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) yang telah mendukung penyediaan dana dalam pelaksanaan penelitian ini melalui program pendanaan Riset dan Inovasi untuk Indonesia Maju (RIIM) tahun 2022.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] **Ryan et al.**, *Epidemiology of bone metastases*, Bone, vol. 158, May 2022, doi: 10.1016/j.bone.2020.115783.
- [2] **N. P. D. Rakasiwi, G. B. Setiawan, and I. G. N. W. Aryana**, *Karakteristik Kanker Payudara Dengan Metastasis Tulang Tahun 2015-2017 di Rsup Sanglah Denpasar Medika Udayana*, vol. 9, no. 1, pp. 17–22, 2020.
- [3] **B. Poedjomartono**, “*Bone Pain Palliative Therapy The Role of Samarium in Bone Metastatic Tumor*,” Indonesian Journal of Cancer , vol. III, no. 2, pp. 41–45, 2009.
- [4] **C. Parlier-Cuau, V. Bousson, S. Touraine, B. Hamzé, and J. D. Laredo**, “*Imagerie des métastases osseuses*,” Oncologie, vol. 17, no. 3, pp. 75–89, Mar. 2015, doi: 10.1007/s10269-015-2500-9.
- [5] **A. J. B. Mcewan**, “*Use of Radionuclides for the Palliation of Bone Metastases*,” 2000.
- [6] **S. Hastini, Y. Tahyan, and D. Hafid dan Enny Lestari** Pusat Radioisotop dan Radiofarmaka, “*Abstract Evaluation of Radioisotope Production Process of  $^{153}\text{Sm}$  and  $^{153}\text{Sm}$  Radiopharmaceuticals*. Experiments on the process of  $^{153}\text{Sm}$  radioisotope and labeling of,” Journal of Radioisotope and Radiopharmaceuticals, vol. 9, pp. 13–22, 2006.
- [7] **B. Prayitno and Suliyanto**, “*Analisis Dosis Radiasi Pekerja Radiasi IEBE Berdasarkan Ketentuan ICRP 60/1990 dan PP No. 33/2007*,” Urania, vol. 14, no. 1, pp. 1–48, 2008.
- [8] **R. D. Rahayu, F. Priyadi, and D. Setiaji**, “*Pembatasan Dosis Pada Komisioning Laboratorium Radioisotop Dan Radiofarmaka*,” in Pertemuan Ilmiah Tahunan 2016, 2016, pp. 35–40.
- [9] **R. Djarwanti, F. Priyadi, D. Setiaji, and Y. Sugiharto**, “*Kajian Penerimaan Dosis Radiasi Tahun 2014 - 2016 Pekerja Radiasi Bidang Teknologi Radiofarmaka PTRR BATAN*,” in Seminar Keselamatan Nuklir, 2017, pp. 182–185.
- [10] **J. W. Brodack, M. R. Kilbourn, M. J. Welch, and J. A. Katzenellenbogen**, “*Application of Robotics to Radiopharmaceutical Preparation: Controlled Synthesis of Fluorine-18  $^{18}\text{F}$  Fluoroestradiol-17b*,” 1986.
- [11] **E. Akbari**, “*Pengembangan Prototype Mekanik Lengan Robot Untuk Aplikasi Preparasi Mikro Sumber Iridium-192*,” 2021.