

Studi Pendahuluan Perancangan Desain Tangan Mekanika Untuk Bedah Umum Jarak Jauh

Julando Omar¹, Jason Kho², Samuel Hutagalung³

Teknik Komputer, Universitas Multimedia Nusantara, Indonesia

julando.omar@student.umn.ac.id, jason.kho@student.umn.ac.id, samuel.hutagalung@umn.ac.id

Diterima 9 Oktober 2020

Disetujui 10 November 2020

Abstract— During the current situation, the availability of surgeons in remote areas is limited. There is a need to be still able to perform general operations without the doctor being physically present in the operating room. This research is a preliminary study of designing a remotely controlled mechatronic hand to perform general surgery. With this design, it is hoped that in the future, the physical presence of doctors will no longer be an obstacle in achieving general surgery in locations that are difficult to reach.

Index Terms—Mechatronic, Anthropomorphic, Biomimetic, Mechatronic Hand, General Operation

I. PENDAHULUAN

Adanya pandemi Corona Virus Disease 19 (COVID-19) ini, membuat banyak rumah sakit untuk membatalkan jadwal operasi demi mengurangi resiko dari penularan COVID-19. Menurut riset yang dilakukan oleh CovidSurg kepada 510 rumah sakit di 50 negara, sebanyak 24.8 juta atau 72% operasi dibatalkan karena adanya pandemi COVID-19 ini [1]. Hal ini juga ditekan kembali melalui pembatalan operasi yang dilakukan oleh Rumah Sakit Massachusetts General Hospital dan New York Presbyterian [2]. Selain pembatalan operasi, COVID-19 juga membuat adanya kebutuhan dokter yang melebihi dari jumlah dokter yang tersedia. Salah satu negara yang memiliki kebutuhan dokter yang melebihi jumlah dokter yang tersedia adalah India. Menurut *The Economic Times*, Mumbai yang berada di India sendiri memiliki kekurangan sebanyak kurang lebih 400 dokter dan tenaga medis dalam menghadapi COVID-19 [3]. Adanya COVID-19 juga menambah resiko para dokter bedah untuk terjangkit COVID-19. Hal ini dapat disebabkan karena dengan adanya COVID-19 penggunaan *Personal Protective Equipment* atau PPE semakin meningkat namun jumlah yang tersedia tidak mampu untuk memenuhi jumlah yang dibutuhkan. Kekurangan dari PPE ini terjadi di beberapa negara seperti Indonesia [4], Jepang [5], Spanyol [6], dsb.

Menurut *American Medical Association*, bedah umum adalah prosedur bedah yang dilakukan pada perut, saluran pencernaan, sistem endokrin, dada, kulit,

dan pembuluh darah [7]. Kondisi umum yang dirawat oleh ahli bedah umum termasuk hernia, batu empedu, radang usus buntu, tumor payudara, gangguan tiroid, pankreatitis, penyumbatan usus, radang usus besar, dan kanker usus besar. Terdapat beberapa alat yang umum digunakan oleh dokter bedah umum saat melakukan tindakan bedah, diantaranya, yaitu:

- *Scalpel* (Pisau Bedah);
- *Scissors* (Gunting Bedah);
- *Dissecting Forceps*;
- *Artery Forceps*;
- *Tissue Forceps* yang kemudian terbagi menjadi *Allis*, *Lane*, *C Ring*, *Babcock*, *Duval* dan *Kocher*;
- *Needle-holders* yang terdiri dari *Mayo*, *Gillies* dan *ophthalmic needle holder*;
- *Retractors* yang dapat dibagi menjadi tipe *hook*, *malleable cooper*, *Czerny*, *Deaver*, *Self-retaining dan Gosset*;
- *Clamps*;
- *Cutting Saw*, yang dibagi menjadi *Hand Saw*, *Gigli Saw*, dan *Powered Saw*;
- *Chisel*, *Osteome* dan *Gouge*;
- *Rongeurs*;
- *Drill* yang dibagi menjadi *Hand Drill* dan *Powered Drill*;
- *Haemostatic Clips*;
- *Stapler*;
- dsb. [8]

Dalam menggunakan alat-alat operasi tersebut, juga dibutuhkan beberapa cara-cara khusus, cara-cara yang umum digunakan adalah sebagai berikut:

- Dalam menggunakan *Scalpel* (Pisau Bedah) untuk memotong kulit ataupun bagian lain yang memiliki struktur yang mirip, pisau bedah digunakan dengan gaya yang mirip dengan penggunaan pisau biasa, dimana pisau terdapat dibawah tangan, dan digenggam di antara jari ibu dan jari tengah. Jari telunjuk terdapat pada ujung belakang pisau dan digunakan untuk mengatur seberapa banyak tekanan yang digunakan. Jari manis dan Jari kelingking digunakan untuk menambah keseimbangan pisau.

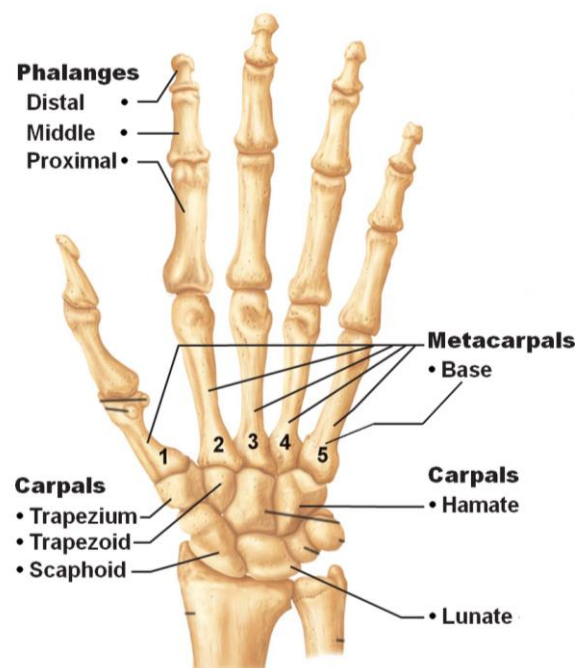
- Dalam menggunakan *Scalpel* (Pisau Bedah) untuk memotong sebuah potongan kecil ataupun potongan yang tipis dan halus, pisau bedah digunakan dengan cara yang mirip dengan cara memegang pulpen, yaitu dengan cara ibu jari dan jari telunjuk digunakan untuk menggenggam pisau, sedangkan jari yang lain digunakan untuk menambah kestabilan dari penggunaan pisau bedah tersebut.
- Dalam menggunakan *Scissors* (Gunting Bedah), cara memegang yang dipakai oleh para dokter adalah dengan memasukan ruas pertama jari telunjuk kedalam lubang cincin dari gunting yang biasa dinamakan dengan 'bow' yang digunakan untuk mengontrol sisi yang bergerak, sedangkan sisi yang lainnya dikontrol oleh ruas pertama dari jari manis. Jari-jari yang lainnya digunakan untuk menstabilkan gunting tersebut.
- Dalam menggunakan *Forceps* cara memegang yang digunakan hampir sama seperti cara memegang pulpen.
- Cara memegang dari *Artery Forceps* dan *Tissue Forceps* sama dengan cara memegang gunting bedah, dimana ruas pertama jari telunjuk dimasukan kedalam ring pertama, dan ruas pertama jari manis dimasukan kedalam ring kedua, dan jari telunjuk digunakan untuk menstabilkan dengan ari *Forceps* tersebut.
- Cara penggunaan *Retractors*, *Clamps* dan *Stapler*, sangat tergantung dengan tiap tipe dari alat-alat tersebut, namun umumnya penggunaan alat-alat tersebut sama seperti menggunakan alat-alat yang lainnya. [8]

Ide dari penelitian ini adalah membuat suatu tangan mekatronik yang dapat membantu dokter bedah umum saat melakukan operasi secara jarak jauh. Tangan tersebut akan bersifat biomimetik dan *Anthropomorphic* dengan 27 derajat kebebasan. Hal tersebut berarti tangan mekatronik yang diciptakan akan sangat mirip dengan manusia, baik dari segi pergerakan dan mekanis nya. Tangan mekatronik ini dapat menggunakan alat bedah yang digunakan oleh para dokter bedah. Tangan mekatronik ini dibuat untuk dapat membantu rumah sakit yang kekurangan tenaga dokter dalam melakukan bedah umum tanpa harus mendatangkan dokter dari tempat yang jauh.

II. KAJIAN LITERATUR

Tangan manusia mempunyai 27 *Degree Of Freedom* (DOF). 27 DOF tersebut terbagi disetiap jari dan juga pergelangan tangan. Setiap Jari selain jari ibu mempunyai DOF sebanyak 4 DOF, dimana 2 DOF berasal dari sendi interfalang yang terdapat diantara falang distal, tengah dan proksimal dan digunakan untuk pergerakan abduksi dan adduksi; 2 DOF lainnya yang berasal dari sendi metakarpofalang yang terdapat pada metakarpal dan falang proksimal serta digunakan untuk gerakan fleksi dan ekstensi serta gerakan abduksi dan adduksi; Ibu jari mempunyai DOF

sebanyak 5 DOF yang terdiri dari sendi interfalang yang terdapat diantara falang distal dan falang proksimal dan menghasilkan gerakan fleksi dan ekstensi 1 DOF, sendi metakarpofalang yang terdapat diantara falang proksimal dan metakarpal dan menghasilkan gerakan 2 DOF yaitu abduksi dan adduksi serta fleksi dan ekstensi, sendi karpometakarpal yang terdapat pada metakarpal dan trapesium yang juga menghasilkan 2 DOF gerakan yaitu abduksi dan adduksi serta ekstensi dan fleksi; 6 DOF terakhir terdapat di pergelangan tangan, yang dapat melakukan gerakan bebas ke seluruh arah dan disertai fleksi/ekstensi, abduksi/adduksi dan Supinasi/pronasi.



Gambar 2.1 Struktur Tulang

Penelitian mengenai tangan mekatronik sendiri sudah banyak dilakukan oleh berbagai peneliti dan dengan mempunyai teknologi yang berbeda-beda dan dengan kelebihan dan kelemahannya sendiri.

A. HRI Hand [9]

HRI hand merupakan teknologi tangan mekatronik yang memiliki fitur jari yang modular, dengan setiap jari memiliki tiga motor sesuai dengan jumlah sendi yang ada di tangan manusia. HRI hand memiliki DOF sebanyak 15 DOF. HRI hand memiliki cara kerja antara lain adalah sebagai berikut: User mengirimkan perintah untuk HRI hand melakukan gerakan tertentu, komputer kemudian memproses perintah tersebut dan memberikan output berupa perintah yang dikenali oleh HRI hand, HRI hand melakukan gerakan sesuai perintah yang telah diberikan oleh user dan yang diproses oleh komputer.

Kelebihan dari teknologi HRI antara lain adalah:

- Biaya pembuatan yang cukup terjangkau; menurut penelitian yang dilakukan, pembuatan MRI Hand menggunakan biaya sebanyak \$500, sehingga dapat digunakan untuk produksi secara massal namun dengan harga yang cukup terjangkau.
- Jari yang modular, sehingga dapat digunakan sesuai dengan keperluan.
- pergelangan tangan yang dengan standar ISO 9409-1-50-4-M6, sehingga dapat digunakan dengan berbagai lengan robotik.
- *Software* dan desain *hardware open source*; sehingga dapat digunakan secara gratis dan dapat dikembangkan secara bebas sesuai dengan keperluan yang ada.

Sedangkan kekurangan dari HRI Hand antara lain adalah:

- Memiliki DOF yang masih kurang; HRI hand memiliki 15 DOF, sedangkan tangan manusia memiliki 27 DOF, sehingga bisa dibilang HRI hand hanya dapat memenuhi setengah DOF dari tangan manusia.
- Karena DOF yang kurang, sehingga hanya memungkinkan HRI untuk digunakan pada *retractors*, *clamps* dan *stapler* dalam operasi dan tidak sesuai untuk digunakan dengan *Scalpel* ataupun gunting bedah
- *Software* yang ada belum dapat mengikuti *input* dari tangan *user* secara langsung;

B. Leap Motion, SpatialVISION dan HandCommander [10]

Leap Motion merupakan teknologi sensor yang dapat mendeteksi berbagai macam bentuk dari tangan manusia. sedangkan SpatialVISION adalah teknologi *object Recognition* yang menggunakan gambar untuk membuat sebuah objek 3D. HandCommander merupakan komponen simulasi yang menerima input dari Leap Motion, memproses data dari inputan tersebut dan mengirimkan data untuk melakukan gerakan di lingkungan *virtual*.

Ketiga teknologi ini kemudian digabungkan untuk membuat sebuah sistem kontrol dari tangan mekatronik, dimana Leap Motion akan menerima bentuk dan gerakan tangan dari user, memproses data tersebut dan kemudian mengirimkan data yang sudah diproses ke HandCommander yang kemudian melakukan gerakan tersebut di dalam lingkungan *virtual* dan disaat yang bersamaan SpatialVISION akan membuat model 3D dari objek yang mungkin akan digunakan oleh tangan mekatronik dan membantu agar tangan mekatronik dapat digunakan dengan lebih presisi dan mengirimkannya kedalam lingkungan *virtual* untuk kemudian digabungkan dengan gerakan tangan yang diproses oleh HandCommander.

Kelebihan dari penggunaan teknologi dari Leap Motion, SpatialVISION dan HandCommander ini adalah:

- *Sensor Leap Motion* sama sekali tidak melakukan kontak dengan *user*, sehingga memudahkan dalam penggunaannya; hal ini sangat diperlukan ketika dalam masa pandemi seperti ini dimana dibutuhkan kontak yang minim sehingga tidak memudahkan adanya penyebaran virus yang ada
- *Sensor Leap Motion* memiliki persisi sampai 0.01mm, tidak tergantung terhadap cahaya, dapat mengenali sebanyak 27 DOF pergerakan tangan serta dapat mengenali setiap jari yang ada sehingga data yang didapatkan dari *Sensor Leap Motion* ini dapat digunakan dengan presisi dan mengurangi error yang mungkin terdapat pada *sensor-sensor* lain yang digunakan dalam menkontrol mekatronik, selain itu dalam bidang operasi, sangat dibutuhkan presisi sehingga dapat membuat *sensor leap motion* ini cocok digunakan sebagai penkontrol dari tangan mekatronik
- Dengan adanya SpatialVISION maka tangan mekatronik akan lebih presisi; Dengan adanya presisi dalam tangan mekatronik terhadap penggunaan alat-alat yang ada, sehingga memungkinkan untuk digunakan dalam penggunaan pisau bedah yang membutuhkan presisi yang tinggi

Kekurangan dari teknologi ini adalah:

- Sistem SpatialVISION masih menggunakan kamera sehingga hasil dari sistem tersebut masih dipengaruhi banyak oleh besarnya intensitas cahaya yang masuk kedalam sistem.

C. UTHM Hand [11]

UTHM merupakan teknologi tangan mekatronik Anthormorphic dengan konfigurasi master dan slave, dimana sarung tangan yang dipasang dengan BendSensors merupakan *master* dan tangan robotik merupakan *slave*.

Master dari UTHM hand yang merupakan sarung tangan sendiri yang ditanamkan dengan beberapa BendSensors yang dapat mendeteksi pergerakan dari semua sendi yang dapat di tangan, yang dimana termasuk gerakan jari menyamping. BendSensor sendiri merupakan jenis potentiometer yang nilai resistansinya akan berubah ketika dilekukan. sudut maksimal yang dapat dihitung oleh BendSensors adalah 120°. Hasil dari perubahan nilai dari BendSensors kemudian akan diubah menjadi *signal digital* oleh ADC yang kemudian diteruskan ke mikrokontroler untuk diproses dari besaran tegangan menjadi besaran sudut. hasil pemrosesan ini kemudian dikirimkan kepada *slave* UTHM melalui bluetooth.

Slave dari UTHM hand adalah tangan mekatronik Anthropomorphic yang memiliki bentuk yang sama dengan tangan manusia. Tangan mekatronik ini terdiri dari 5 jari dengan struktur yang sama satu dengan yang lain. Tangan mekatronik ini memiliki DOF sebanyak 20 DOF. Dimana setiap jari memiliki 4 DOF. Setiap segmen jari terdiri dari aktuator pneumatic dan pegas, dimana aktuator *pneumatic* digunakan untuk gerakan melengkung jari dan pegas digunakan untuk gerakan pemanjangan jari. Dengan penggabungan pegas dan aktuator *pneumatic*, tangan mekatronik ini dapat dibuat menjadi lebih sederhana dan tidak memakan tempat. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, hasil pergerakan yang dilakukan oleh setiap sendi dari UTHM hand sendiri hampir mirip pergerakan yang dilakukan oleh sendi manusia, sehingga UTHM hand dapat dikatakan dapat mengganti fungsi dari tangan manusia.

Kelebihan dari teknologi ini antara lain adalah:

- UTHM Hand telah mendukung DOF sebanyak 20 DOF sehingga gerakan yang ada dapat disamakan dengan gerakan yang ada pada tangan manusia; dengan adanya gerakan yang sama dengan tangan manusia, UTHM hand dapat digunakan sebagai substitusi tangan dokter bedah dalam operasi yang memerlukan banyak pergerakan tangan yang presisi dan spesifik.
- Hasil perbandingan sudut dari setiap sendi yang ada di dalam UTHM hand hampir mirip dengan sudut yang dimiliki oleh jari manusia; dengan adanya kemiripan ini, UTHM hand dapat digunakan untuk substitusi dari tangan dokter bedah yang ada

Kekurangan dari teknologi ini adalah:

- Sarung tangan Master dari UTHM sendiri masih menggunakan sistem kontak dan memiliki sistem yang rumit; sistem rumit dan sistem kontak ini dapat membuat dokter yang memakai sarung tangan tersebut menjadi merasa tidak natural serta tidak leluasa dalam memakai sarung tangan tersebut sehingga dapat berpengaruh terhadap kepresisian dari penggunaan alat-alat bedah yang digunakan dokter-dokter bedah

D. Adaptive Backstepping Position Control of Pneumatic Anthropomorphic Hand [12]

Dalam desain ini, didesain robot tiga jari dengan 3 derajat kebebasan. Aktuator pneumatika yang digunakan adalah *Pneumatic Artificial Muscles* (PAM). Untuk mengurangi *delay* waktu dalam mencapai posisi atau tekanan yang diinginkan, dan mengurangi osilasi saat *tracking* signal, serta sifat *hysteresis* PAM, maka diciptakan sebuah *control algorithm*. Sebuah *pressure control loop* ditambahkan sebagai *cascade control system* guna meningkatkan kinerja dari *controller* dengan cara memberikan

aktuator PAM udara bertekanan yang sesuai tekanannya.

Kelebihan desain ini antara lain:

- PAM memiliki kinerja yang efisien
- Desain dan cara kerja yang simpel
- Implementasi yang mudah

Kekurangan desain ini antara lain:

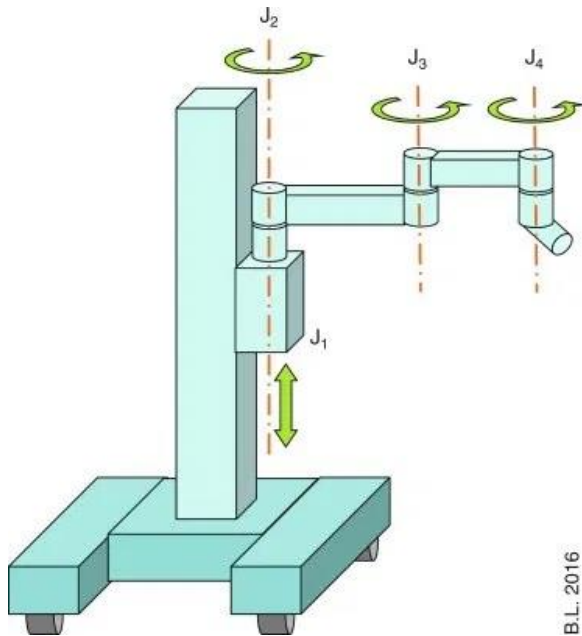
- Dinamika PAM yang *non linier*. Hal ini disebabkan oleh faktor kompresibilitas dari udara dan hubungan yang non linier antara gaya yang dihasilkan oleh aktuator dan perpindahannya
- Adanya sifat histeresis pada PAM, disebabkan oleh *dry friction* yang menghasilkan *system uncertainties*.

E. Da Vinci Systems [13]

Da Vinci Systems terdiri atas 3 komponen, yakni Surgeon Control, Patient Cart, dan Vision Cart. Surgeon Control berfungsi untuk membantu dokter bedah mengontrol lengan *robot* sambil melihat anatomi pasien dalam bentuk *high definition*. *Patient cart* diletakkan di sebelah meja bedah dan terdapat lengan-lengan yang sudah dilengkapi instrumen bedah dan kamera. Yang terakhir *Vision Cart*, yang digunakan untuk mendukung 3D *high definition vision systems* serta membantu dalam komunikasi antar komponen.

Pada bagian *slave*, atau patient cart, terbagi atas 2 bagian yakni *passive arms* dan *actuated arms*. Untuk bagian *passive arms* memiliki 4 derajat kebebasan seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2. Derajat kebebasan pertama terletak pada J1, yang digunakan untuk mengatur ketinggian dari lengan dan merupakan *prismatic joint*. Derajat kebebasan lainnya terletak pada J2, J3, dan J4 dan bersifat planar. Jika *prismatic joint* dikendalikan secara elektrik, maka *joint* hanya memiliki *brake* dan *push-button* yang dapat melepas *brake*.

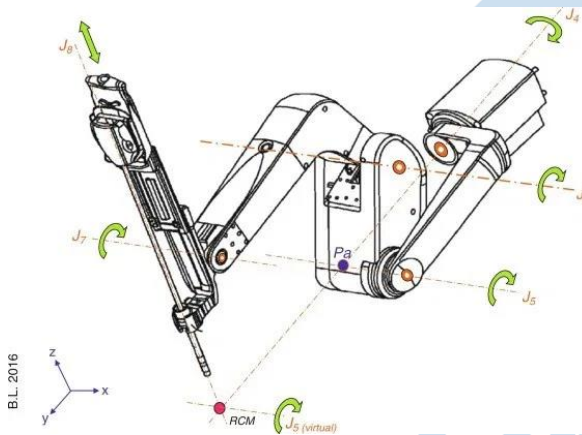
Untuk bagian *actuated arms*, terdapat 2 *sub-units*, *manipulator arms* dengan 3 derajat kebebasan, dan *end-effector instrument*, dengan 3 derajat kebebasan juga. Dapat dilihat pada gambar 2.3 *joint* J4 dan J5 berada pada *axis* yang sama



Gambar 2.2 DoF Arm [14]



Gambar 3.1 Tangan Mekantronik 27 DOF



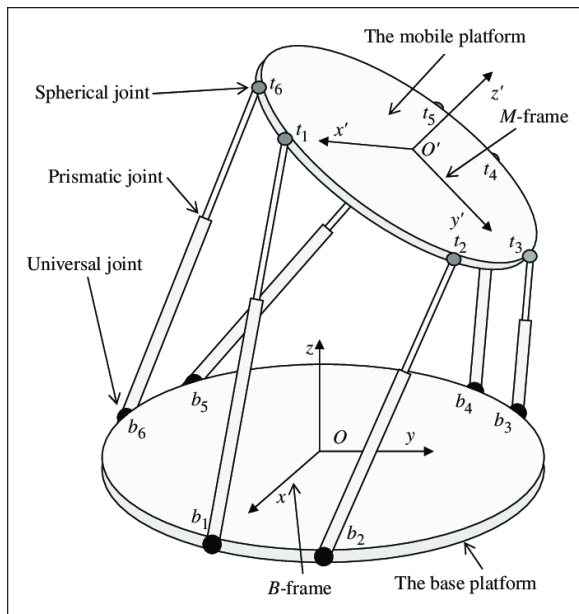
Gambar 2.3 DoF Hand [15]

III. PEMBAHASAN

Berdasarkan kajian literatur yang terdapat pada bab II, maka kami merancang tangan *anamorphic* dengan 27 DOF sebagai berikut

Tangan mekatronik akan mempunyai 27 DOF sesuai dengan jumlah DOF yang terdapat pada tangan manusia. Setiap sendi yang menggunakan gerakan fleksi dan ekstensi akan digantikan dengan sendi buatan yang menggunakan teknologi PAM dan pegas seperti yang terdapat pada UTHM hand.

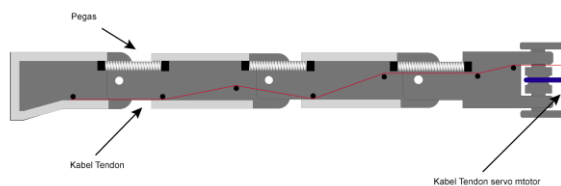
Penggunaan PAM dan pegas diharapkan dapat membuat pergerakan fleksi dan ekstensi menjadi lebih mirip dengan pergerakan sendi manusia, dimana PAM sendiri dibentuk sedemikian rupa sehingga menyamai dengan kinerja otot manusia. Kombinasi sendi buatan PAM dan pegas ini akan menggantikan sendi interfalang dan metakarpofalang. Untuk sendi yang melakukan gerakan abduksi dan adduksi, sendi yang terdapat pada tangan manusia akan digantikan dengan *motor servo*. Penggunaan *motor servo* didasarkan atas pertimbangan bahwa gerakan abduksi dan adduksi memerlukan gerakan yang presisi dan penggunaan *motor servo* pada gerakan abduksi dan adduksi tidak akan menggunakan banyak ruang dibandingkan menggunakan PAM dan pegas seperti yang terdapat pada gerakan fleksi dan ekstensi. Penggunaan *motor servo* ini akan digabungkan pada sendi yang juga menggunakan PAM, sehingga dihasilkan 2 DOF gerakan. Gabungan PAM dan *motor servo* sendiri menggantikan sendi metakarpofalang dan sebagian sendi metafalang. 6 DOF terakhir akan berada menggantikan sendi yang ada di pergelangan tangan, dimana sendi ini berfungsi untuk pergerakan pergelangan tangan ke semua arah, sendi buatan yang akan digunakan adalah sendi dengan 6 DOF seperti pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Sendi 6 DOF [16]

Gabungan dari PAM dan pegas sendiri bekerja dengan cara: ketika PAM berelaksasi maka tegangan kabel tendon yang terdapat didalam jari mekatronik akan mengecil sehingga jari mekatronik pun akan melakukan gerakan fleksi. ketika PAM berkontraksi, maka tegangan kabel tendon akan semakin besar maka jari pun akan kembali ke gerakan ekstensi. pegas sendiri membantu PAM dalam pergerakan tangan.

Menimbang *sensor Leap Motion* yang dapat mendeteksi 27 DOF, maka sistem kontrol tangan mekatronik ini akan menggunakan sistem Leap Motion dan Spatial Vision serta Hand Commander. Penggunaan Leap Motion, Spatial Vision dan Hand Commander ini diharapkan dapat membuat sistem kontrol menjadi lebih presisi, serta akan membuat dokter bedah lebih merasa nyaman karena tidak diperlukannya kontak fisik antara sistem input dan output. Selain itu, Tangan anamorphic 27 DOF ini juga akan mengimplementasikan sistem *Adaptive Backstepping Position Control*. Sistem ini diharapkan dapat bekerja dengan baik dengan sendi-sendi yang terdapat pada *anamorphic hand* agar gerakan yang dihasilkan akan menjadi lebih presisi serta efisien.



Gambar 3.3 Mekanisme Kerja Tangan Mekatronik 27 DOF

IV. SIMPULAN

Adapun beberapa kendala yang dihadapi dalam desain tangan mekatronik ini, salah satunya adalah penggunaan sistem SpatialVISION, dimana untuk sumber inputnya masih mengandalkan kamera. Hal tersebut kemudian membuat gambar yg diterima oleh sistem menjadi tergantung pada intensitas pencahayaan yang ada. Jika lingkungan di mana dokter bedah melakukan bedah jarak jauh tidak terang, maka akan sulit untuk sistem dapat mengenal gerakan tangan yang dilakukan dokter bedah tersebut. Resolusi dari kamera yang digunakan juga berpengaruh terhadap kualitas input yang diterima. Maka dari itu, bedah harus dilakukan di lingkungan yang intensitas cahayanya memadai dan kamera yang digunakan pun juga harus beresolusi tinggi.

Penggunaan PAM dapat menyebabkan fenomena histerisis. Untuk mengatasinya, maka diperlukan *Proportional-Integral-Derivative (PID) Controller* yang nantinya akan memberikan *input* pada *control valve* berdasarkan besar nilai *error*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] COVIDSurg Collaborative, Elective surgery cancellations due to the COVID-19 pandemic: Global predictive modelling to inform surgical recovery plans. (2020). *British Journal of Surgery*. doi:10.1002/bjs.11746
- [2] Sathya, C. (2020, March 16). Perspective | Your elective surgery will be canceled. It's for everyone's good. Diakses pada August 22, 2020, dari <https://www.washingtonpost.com/outlook/2020/03/16/your-elective-surgery-will-be-canceled-its-everyones-good>
- [3] Kumar, K. (2020, May 07). Mumbai staring at a huge shortage of doctors and health professionals. Retrieved September 02, 2020, from <https://economictimes.indiatimes.com/news/politics-and-nation/mumbai-staring-at-a-huge-shortage-of-doctors-and-health-professionals/articleshow/75563053.cms>
- [4] Muthiariny, D. (2020, March 27). Indonesian Doctors Threaten to Go on Strike over Lack of PPE. Retrieved September 02, 2020, from <https://en.tempo.co/read/1324800/indonesian-doctors-threaten-to-go-on-strike-over-lack-of-ppe>
- [5] Submission, I. (n.d.). Japan's medical workers facing worsening shortages of protective gear, survey says. Retrieved September 02, 2020, from <https://www.japantimes.co.jp/news/2020/05/02/national/japan-medical-workers-severe-shortages-protective-gear-survey/>.
- [6] Spanish health workers protest over PPE shortages. (n.d.). Retrieved September 02, 2020, from <https://news.cgtn.com/news/2020-05-26/Spanish-health-workers-protest-over-PPE-shortages-QN15QZuCcw/index.html>
- [7] Surgery - General. (n.d.). Retrieved September 02, 2020, from <https://www.ama-assn.org/specialty/surgery-general>
- [8] Myint, F. (2018). 2. Handling instruments. In *Kirk's Basic surgical techniques* (7th ed., pp. 10-24). Edinburgh: Elsevier.
- [9] Park, H. (2020, March 4). An Open-source Anthropomorphic Robot Hand System: HRI Hand. <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/SFPB2>.
- [10] Moldovan, C. C., & Staretu, I. (2017). An Anthropomorphic Hand with Five Fingers Controlled by a Motion Leap Device. *Procedia Engineering*, 181, 575-582. doi:10.1016/j.proeng.2017.02.436
- [11] Zaid, A. M., & Yaqub, M. A. (2012). UTHM HAND: Performance of Complete System of Dexterous

- Anthropomorphic Robotic Hand. *Procedia Engineering*, 41, 777-783. doi:10.1016/j.proeng.2012.07.243
- [12] Farag, M., & Azlan, N. Z. (2015). Adaptive Backstepping Position Control of Pneumatic Anthropomorphic Robotic Hand. *Procedia Computer Science*, 76, 161-167. doi:10.1016/j.procs.2015.12.334
- [13] D. (2019, June 09). The da Vinci® system: Technology and surgical analysis. Retrieved September 02, 2020, from <https://entokey.com/the-da-vinci-system-technology-and-surgical-analysis/>
- [14] D. (2019, June 09). Figure 6.2 [Digital image]. Retrieved September 02, 2020, from <https://entokey.com/the-da-vinci-system-technology-and-surgical-analysis/>
- [15] D. (2019, June 09). Figure 6.3 [Digital image]. Retrieved September 02, 2020, from <https://entokey.com/the-da-vinci-system-technology-and-surgical-analysis/>
- [16] He, Jianjun & Gu, Hong & Wang, ZHELONG. (2013). Solving the forward kinematics problem of six-DOF Stewart platform using multi-task Gaussian process. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*. 227. 161-169. 10.1177/0954406212444508
- [17] ELKOURA, G., AND SINGH, K. 2003. Handrix: Animating the Human Hand. *Proc. SCA*, 110--119.
- [18] Ahmad, Arslan & Ibraheem, Muhammad & Ahsen, Mohsin & Shah, Khawar & Shahid, Umer. (2017). Design and Implementation of Robotic Arm that Copies the Human Arm.

