

OPTIMASI DESAIN KINEMATIK *LINKAGE* MEKANISME PENGATUR KETINGGIAN TEMPAT TIDUR PASIEN

*Aries Abbas**, *Susanto Sudiro***

PT. Paramount Bed Indonesia*

Program Magister Teknik Mesin – Universitas Pancasila Jakarta**

e-mail; ariest@paramount.co.id*, susantosudiro@yahoo.co.id**

ABSTRAK

Untuk mengatur posisi ketinggian tempat tidur pasien umumnya digunakan mekanisme pengatur ketinggian yang terhubung ke aktuator untuk menghasilkan gaya dorong/torsi. Aktuator tersebut terdiri dari berbagai jenis antara lain aktuator manual, elektrik, hidraulik ataupun spring-gas. Pemilihan jenis aktuator tergantung dari pilihan konsumen dikaitkan dengan keperluan penggunaannya dan harga yang dapat dibayarkan. Untuk memenuhi permintaan akan keragaman jenis tempat tidur rumah sakit maka pada penelitian ini dibuat pemodelan mekanisme pengatur posisi ketinggian tempat tidur rumah sakit serta pemilihan jenis aktuatornya yang sesuai dengan persyaratan standar keselamatan. Pada penelitian ini dimodelkan mekanisme pengatur posisi ketinggian tempat tidur dengan bentuk dasar mekanismenya adalah mekanisme kinematik linkage 4 batang. Gerak pengaturan dan besar gaya aktuator untuk mengatasi beban pasien disimulasikan dengan membuat aplikasi simulasi menggunakan software matlab. Aplikasi yang dibuat berupa sebuah dasbor yang dilengkapi dengan menu simulasi gerakan dan beban, sehingga gerakan Pengatur Ketinggian dari tempat tidur mulai dari posisi terbawah hingga tertinggi dapat disimulasikan. Selain itu pada setiap kenaikan posisi tempat tidur terhadap beban daripada pasien dapat juga disimulasikan besar gaya dorong aktuatornya. Dengan menggunakan pemodelan mekanisme pengatur posisi dan dasbor simulasi dapat ditetapkan harga-harga parameter mekanisme tempat tidur yang dapat memenuhi kriteria desain.

Kata Kunci : tempat tidur pasien, mekanisme pengatur ketinggian, Aktuator, gaya dorong, simulasi gerakan dan beban

ABSTRACT

To adjust the height position of hospital bed, generally a height control mechanism is connected to the actuator to produce thrust / torque. These actuators consist of various types including manual, electric, hydraulic or spring-gas actuators. The choice of actuator type depends on the choice of the consumer associated with the need for use and the price that can be paid. To meet the demand for a variety of types of hospital beds, is modelling mechanism for adjust the hospital bed height position and actuators selection according to the requirements of safety standards. In this research, the mechanism for adjustment bed height position used the basic form of 4-bar linkage kinematics mechanism. Motion of the bed and the size of the actuator force to overcome the patient's load is simulated by a computer simulation application program build using the matlab software. The application is design in the form of a dashboard that is equipped with a simulation menu of movements and load, so that the height control motion of the bed starts from the lowest to the highest position can be simulated. In addition, at each increase in the position of the bed against the load of the patient can also be simulated the thrust force of the actuator. By using position control mechanism modeling and simulation dashboards, the parameters of the bed mechanism can be set which can meet the design criteria.

Keywords: hospital bed, height control mechanism, actuators, thrust force, motion and load simulation

Pendahuluan

Alat Kesehatan adalah Instrumen, apparatus, mesin dan/atau implant yang tidak mengandung obat yang digunakan untuk mencegah, mendiagnosis, menyembuhkan dan meringankan penyakit, merawat orang sakit, memulihkan kesehatan pada manusia, atau membentuk struktur dan memperbaiki fungsi tubuh[1][2].

Alat kesehatan berdasarkan tujuan penggunaan sebagaimana dimaksud oleh produsen, dapat digunakan sendiri maupun kombinasi untuk manusia dengan satu atau beberapa tujuan yaitu diagnosis, tindakan preventif pemantauan, perlakuan atau pengurangan penyakit. Diagnosis, pemantauan, perlakuan, pengurangan atau kompensasi kondisi sakit. Mendukung atau mempertahankan hidup. Penyelidikan, penggantian, pemodifikasian, mendukung anatomi atau proses fisiologis. Menghalangi tingkat

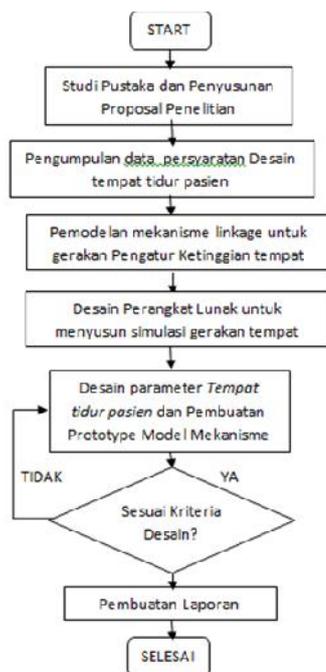
kesuburan. Disinfektant alat kesehatan. Menyediakan informasi untuk tujuan medis melalui invitro terhadap sepesimen dari tubuh manusia.

Dalam dunia medis peralatan kesehatan sangat berperan penting khususnya tempat tidur rumah sakit yang sangat di butuhkan oleh pasien dalam menjalani pengobatan secara total. Tempat tidur yang digunakan memiliki gerakan yang mekanis agar pasien merasa aman dan nyaman selama menjalani pengobatan [3][4][5], untuk saat ini populasi tempat tidur pasien yang ada dirumah-rumah sakit di Indonesia adalah 1.21 per seribu penduduk [6].

Desain tempat tidur pasien yaitu alat yang digunakan untuk tidur/istirahat yang memiliki alas penopang kasur dan untuk membantu dalam diagnosa, monitoring, pencegahan, perawatan, penyembuhan penyakit karena terluka atau cacat. Penelitian ini dilakukan pada sebuah perusahaan yang bergerak di bidang manufaktur dan ekspor khusus tempat tidur rumah sakit dengan produk berupa tempat tidur rumah sakit tipe manual dan elektrik.

Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah menggunakan metoda simulasi gaya dan gerakan dari tempat tidur rumah sakit. Simulasi ini dilakukan dengan membuat pemodelan mekanisme tempat tidur dan pemodelan matematis gerakan dan gaya gerak mekanisme tersebut sebagaimana ditunjukkan pada diagram alir penelitian dibawah ini (gambar 1).



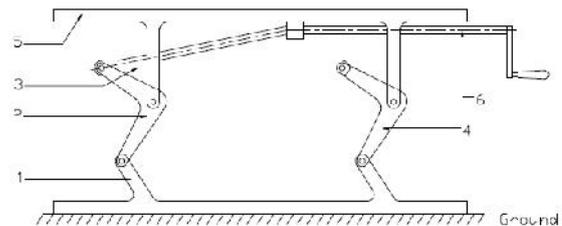
Gambar 1. Diagram alir Penelitian

Simulasi model matematis dari gerakan dan gaya pada mekanisme tempat tidur tersebut digunakan untuk menentukan kesesuaian dari gerakan dan gaya terhadap kriteria desain.

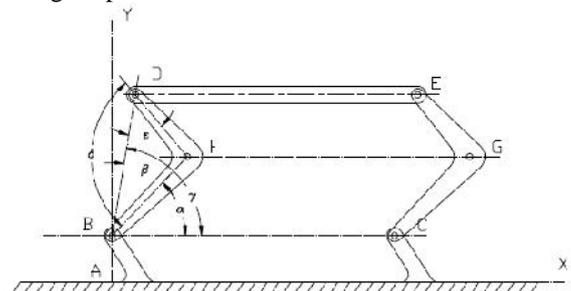
Simulasi ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak matlab 2010a, melalui fasilitas *graphics user interface* (GUI) yang tersedia diperangkat ini disusun dasbor simulasi gerakan dan gaya dari model matematis mekanisme penggerak tempat tidur.

Pemodelan Mekanisme Pengatur Ketinggian Tempat Tidur Rumah Sakit

Skema mekanisme model tempat tidur untuk kasus ini ditunjukkan pada gambar 2. Untuk menaikkan *mainframe* 5 sistem aktuator 6 diputar dan menarik boomerang (*crank*) 2, dan meneruskannya melalui batang penghubung 3 ke *crank* 4. *Crank* 2, batang penghubung 3 dan *crank* 4 membentuk mekanisme *linkage* 4 batang, bila *crank* 2 dan *crank* 4 berotasi maka akan membuat *mainframe* 5 terangkat [7].



Gambar 2. Mekanisme *Hi low*
 Persyaratan desain dari mekanisme ini adalah :
 L : Jarak ketinggian dari lantai sebelum di engkol/putar 363mm.
 H: Jarak ketinggian dari lantai setelah di engkol/putar 670 mm.



Gambar 3. Mekanisme *Crank*
 Mekanisme *Hi Low* dari gambar 2 digambarkan kembali dalam skema mekanisme kinematik 4 batang sebagaimana ditunjukkan pada gambar 3. *Crank* BFD maupun *crank* CGE dibentuk dengan sudut sudut pembentuk , dan .

Jarak BD dan CF dalam hubungannya dengan sudut sudut tersebut adalah :

$$B = \sqrt{D^2 + B^2 - 2B \cdot D \cdot \delta} \quad (1)$$

$$\frac{B}{s \delta} = \frac{B}{s \epsilon} = \frac{D}{s} \quad (2)$$

Dengan menggunakan titik B dan C sebagai referensi gerakan maka untuk gerak putar *crank* BFD dan *crank* CGE dapat ditentukan posisi *crank* pada titik F,D, E dan G dari persamaan berikut :

$$X_F = X_B + B \quad (3)$$

$$Y_F = Y_B + B \quad (4)$$

$$X_D = X_B + B (\alpha + \beta) \quad (5)$$

$$Y_D = Y_B + B (\alpha + \beta) \quad (6)$$

$$X_E = X_D + D \quad (7)$$

$$X_G = X_F + D \quad (8) \quad Y_E = Y_D \quad (9)$$

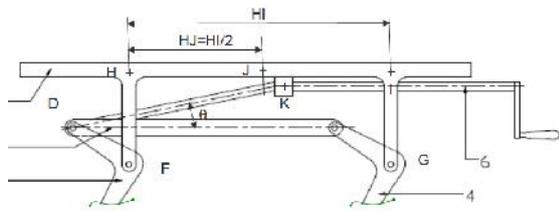
$$Y_G = Y_F \quad (10)$$

$$Y_G = Y_F \quad (10)$$

Dalam hal ini B sebagai titik referensi posisinya ditetapkan dalam persamaan :

$$X_B = 0 ; Y_B = A \quad (11)$$

Dengan menghubungkan titik G dan F ke *main frame*, maka didapatkan mekanisme gerak naik turun *main frame* sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Mekanisme Gerak *Mainframe*

Dari gambar 4 dan persamaan (11) untuk mekanisme 4 batang tersebut model matematik tinggi angkat *mainframe* dititik H, J dan I dinyatakan dalam persamaan :

$$Y_H = Y_J = Y_I = Y_F + A + B \quad (12)$$

$$\tan \theta = \frac{(Y_K - Y_D)}{(X_K - X_D)} \quad (13)$$

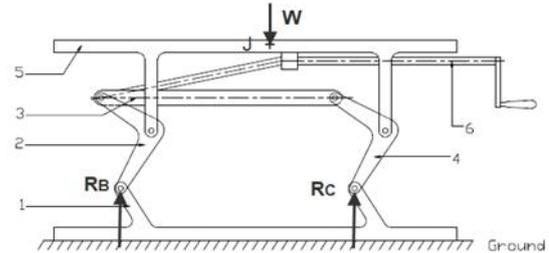
Pemodelan Gaya Yang Bekerja Pada Struktur bed

Gaya gaya yang bekerja pada bed terdiri dari berat bed dan beban pasien gaya-gaya ini adalah gaya luar yang bekerja pada struktur bed. Untuk mengatur posisi ketinggian bed maupun untuk mengubah posisi bed haruslah dapat diatasi oleh aktuator yang dipasang pada bed tersebut.

Distribusi beban kerja pada bed maupunmaupun efek dari gaya penggerak bed diteruskan hingga ke kaki bed melalui *joint - joint* penghubung elemen *linkage*.

Joint - joint tersebut harus mampu memikul beban benda yang didistribusikan kepadanya dan juga memungkinkan gerak relative dari dua elemen *linkage* yang terhubung sehingga bed dapat diatur posisinya dengan mudah.

Untuk menentukan semua gaya yang bekerja pada elemen bed tersebut dilakukan dengan menganggap bed sebagai benda kaku yang didukung dikaki bed. Selanjutnya dibuat skema benda kaku tersebut dalam bentuk *free body diagram* gaya-gayanya (FBD) yang ditunjukkan pada benda kaku BCJ pada gambar 5. Dari FBD tersebut dengan menggunakan persamaan benda tegar dapat ditentukan semua aksi maupun reaksi yang terjadi pada struktur bed.



Gambar 5. Skema FBD dari struktur bed dalam bentuk benda kaku BCJ

Dari diagram benda bebas pada gambar 5 benda kaku BCJ mendapat beban W. Untuk menjaga kesetimbangan system di titik dukungan dakan timbul gaya reaksi R_{BY} dan R_{CY} . Reaksi dukungan tersebut dapat ditentukan menggunakan persamaan kesetimbangan gaya maupun momen di titik C dibawah ini

$$\sum M = 0$$

$$-W(X_J - X_B) + R_C (X_C - X_B) = 0$$

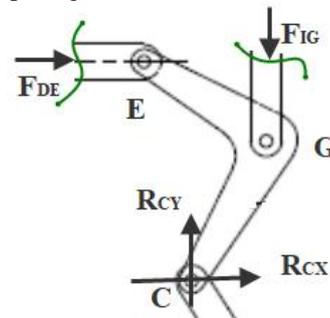
$$R_C = \frac{(X_J - X_B)}{(X_C - X_B)} \quad (14)$$

$$\sum F_Y = 0$$

$$+R_B + R_C - W = 0$$

$$R_B = W - R_C \quad (15)$$

Pada gerak pengaturan bed link penghubung DE akan meneruskan gaya dorong aktuator pada *crank* BFD ke *crank* CEG pada saat yang sama dititik G *crank* CEG juga harus memikul beban dari *mainframe*. Diagram benda bebas (FBD) gaya yang bekerja pada *crank* CEG ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. FBD pada *crank* CEG

Gaya gaya yang bekerja pada *crank* CEG ditentukan dari persamaan kesetimbangan berikut :

$$\sum F_Y = 0$$

$$-F_I + R_C = 0$$

$$F_{I1} = R_C \tag{16}$$

$$\sum M = 0$$

$$-F_{I1} (X_G - X_C) + F_D (Y_E - Y_C) = 0$$

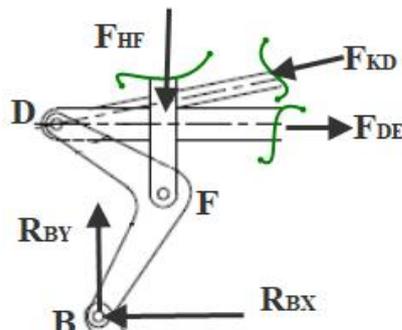
$$F_D = \frac{(X_G - X_C)}{(Y_E - Y_C)} \times F_{I1} \tag{17}$$

$$\sum F_C = 0$$

$$F_D + R_C = 0 \tag{18}$$

$$R_C = F_D$$

Untuk menentukan gaya dorong aktuatordigunakan diagrambenda bebas dari crank BFD dimana crank tersebut mendapat beban dari mainframe F_{HF} , gaya dorong actuator F_{KD} , dan reaksi dari batang penghubung F_{DE} digunakan free body crank FDE dan reaksi dukungan dari rangka kaki sebagaimana ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 7. Skema FBD crank BFD

Pada crank BFD beban FDE pada crank penghubung diatas dengan menggunakan persamaan kesetimbangan berikut :

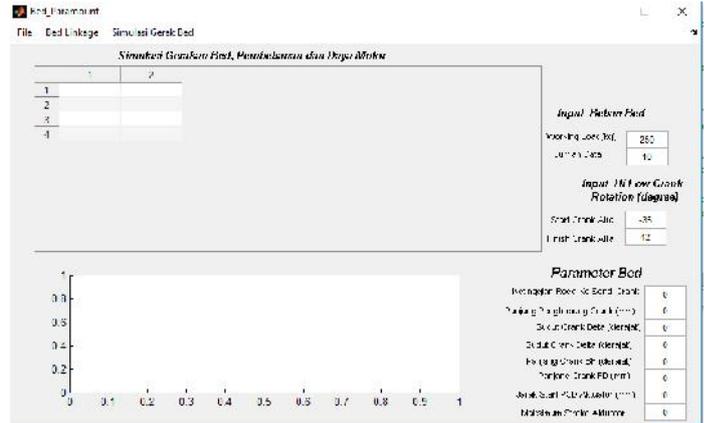
$$\sum M = 0$$

$$F_K \sin(\theta) (Y_D - Y_F) - F_K \cos(\theta) (X_D - X_F) + F_D (Y_D - Y_F) + R_B (X_D - X_F) - X_F - R_B (Y_B - Y_F) = 0$$

$$F_K = \frac{-F_D (Y_D - Y_F) - R_B (X_D - X_F) - R_B (Y_B - Y_F)}{\sin(\theta) (Y_D - Y_F) - \cos(\theta) (X_D - X_F)} \tag{19}$$

Dasbor Simulasi

Untuk membuat simulasi gerakan dan gaya pada mekanisme pengatur ketinggian tempat tidur rumah sakit dirancang sebuah dasbor pengatur gerakan berbasis windows menggunakan perangkat lunak matlab 2010A, bentuk dasbor ditunjukkan pada gambar 8.



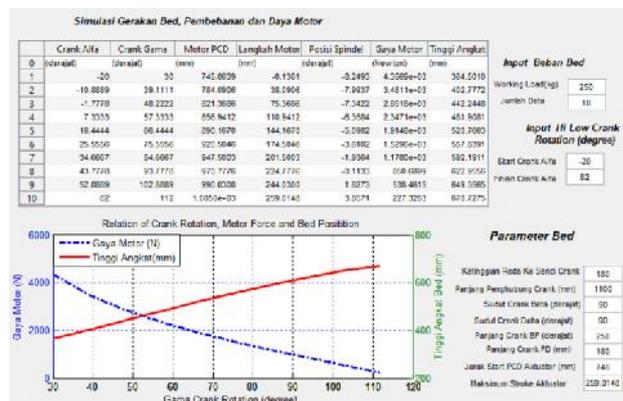
Gambar 8. Dasbor Simulasi Gerakan dan Gaya dari Mekanisme Pengatur Ketinggian Tempat Tidur

Pada dasbor tersedia menu utama yaitu Bed Linkage dan Simulasi Gerak Bed. Pada menu Bed linkage dapat ditampilkankembali skema mekanisme dan FBD dari bed tersebut yaitu skema pada gambar 2 hingga gambar 7 yang diturunkan berdasar model matematis gerakan mekanisme pada persamaan (12) dan persamaan (13) serta model matematis gaya dorong pada persamaan (19).

Pada Menu Simulasi Gerak Bed akan dapat dipilih jenis simulasi yang diinginkan setelah sebelumnya mengisi entri yang tersedia didasbor. Hasil simulasi akan ditampilkan dalam bentuk grafik pada field grafik yang tersedia di dasbor tersebut.

Hasil dan Pembahasan

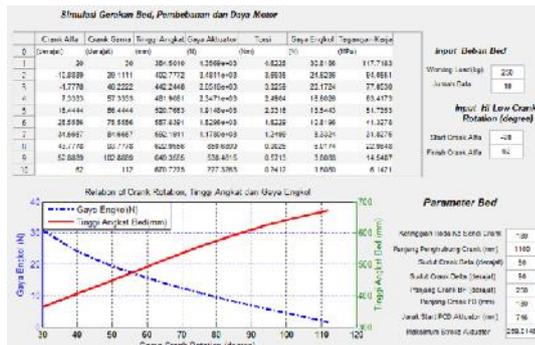
Dengan menggunakan dasbor pengatur gerak mekanisme ketinggian tempat tidur ini dapat disimulasikan gerakan dan gaya gaya pada bed, untuk kasus beban kerja sebesar 250 kg hasil simulasinya ditunjukkan pada gambar 9 dan gambar 10.



Gambar 9. Hasil Simulasi Gerak Bed Paramount Relasi Gerak Engkol, Tinggi Angkat dan Gaya dorong aktuator

Pada gambar 9 ditunjukkan bahwa ketinggian awal maupun posisi tertinggi yang dapat dicapai adalah 364.5010 mm dan 670. 7275 mm, harga ini mendekati persyaratan desain yaitu 363 mm dan 670 mm.

Kebutuhan gaya motor/aktuator terbesar untuk mengangkat bed adalah 3649.7 N ini masih lebih kecil dari besar gaya yang dapat dibangkitkan motor (6000 N). Hasil simulasi ini adalah sesuai dengan persyaratan desain yang ditetapkan dan dimensi elemen-elemen bed yang digunakan sebagai parameter pada simulasi ini dapat sebagai referensi untuk desain tempat tidur sesuai kriteria desain yang ditetapkan.



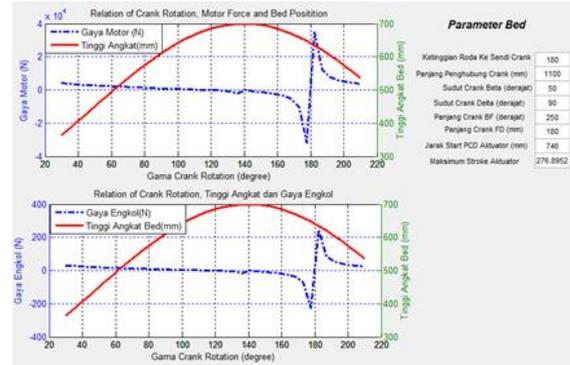
Gambar 10. Hasil Simulasi Gerak Engkol, Tinggi Angkat, Gaya Engkol dan Tegangan Kerja Ulir Pendorong

Dari hasil simulasi (gambar 10) untuk diameter ulir penggerak 20 mm, pits 4 mm, radius engkol 150 didapatkan besar gaya dorong ulir maksimal adalah 4356.9 N, sehingga poros utama ulir harus dapat menyediakan torsi sebesar 4.6228 Nm yang dibangkitkan oleh gaya tangan dari handel engkol sebesar 30.6186 N.

Beban torsi pada poros utama *spindle* akan mengakibatkan terjadi tegangan puntir sebesar 117.7183 MPa, beban untuk material poros dari bahan baja dengan kekuatan tarik maksimum 600 MPa, dan kekuatan puntir 150 MPa adalah masih aman untuk poros utama

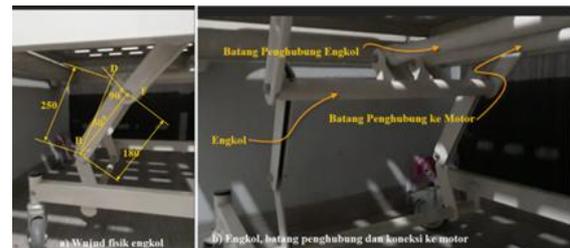
Untuk melihat tinggi angkat maksimum yang dapat dicapai ataupun besar gaya dorong yang harus dibangkitkan aktuator dapat disimulasikan sebagaimana hasilnya ditunjukkan pada gambar 11.

Gambar 11 menunjukkan Gaya dorong adalah maksimum pada posisi crank diposisi -20° setelah itu gaya motor menurun terus. Saat sudut crank mencapai 90° beban gaya motor adalah 0 N, bila crank diputar terus hingga $>90^{\circ}$ orientasi gaya motor berubah dari tekan menjadi tarik, dan tarikan ini akan terus membesar saat sudut akan mencapai 180 dan bila putaran diteruskan akan terjadi pembalikan orientasi dengan berubahnya gaya motor dari maksimum negative ke maksimum positive, fenomena ini muncul karena terjadi efek togling pada crank penggerak



Gambar 11. Tinggi Angkat Maksimum, dan gaya dorong aktuator maksimum.

Dari parameter desain yang ditetapkan dapat dibuat prototipe produknya sebagaimana ditunjukkan pada gambar 12 wujud fisik *crank*, gambar 13 prototip mekanisme pengatur ketinggian, gambar 14 prototip produk pada saat bed diposisi terendah, dan gambar 15 prototip bed pada posisi teratas.



Gambar 12. Wujud fisik crank dan koneksinya ke motor/aktuator



Gambar 13. Wujud fisik rangkaian mekanisme kinematik pengatur ketinggian



Gambar 14. Prototipe tempat tidur pasien pada posisi terendah



Gambar15. Prototipe tempat tidur pasien pada posisi teratas

Untuk mengatur posisi ketinggian pada kasus menggunakan actuator elektrik digunakan motor aktuator produk TiMotion (gambar 16) dengan pertimbangan dapat mengatasi beban hingga 8000 N dengan arus listrik 6.0 amper, spesifikasi motor ditunjukkan pada tabel 1 [8].



Gambar16. TiMotion Motor type IP 54

Tabel 1. Spesifikasi Aktuator Motor Produk TiMotion TA7 – Series IP54

Power Rating	DC 24 V
Duty cycle	10%. maximal 2 Min ON/18 Min OFF
Maximal. Current	Maximal. 6.0Amp
Part No.	TA7-2157-003
Spec Code	TA7 – 5R – 167457 – 41112 – 1121A – M

KESIMPULAN

- Melalui penelitian ini dapat dimodelkan sebuah model mekanisme kinematik untuk pengaturan ketinggian tempat tidur pasien dengan basis mekanisme 4 batang (*four bar linkage*). Dari model mekanisme kinematik untuk pengaturan ketinggian tempat tidur pasien tersebut dapat dibuat model matematis gerakan mekanismenya, juga dapat dibuat model matematis gaya-gaya yang bekerja pada mekanisme dan aktuatornya. Model matematik yang dikembangkan dengan bantuan software matlab 2010a didesain menjadi sebuah dasbor program aplikasi untuk simulasi gerakan dan beban pada pengaturan ketinggian tempat tidur pasien.
- Parameter desain utama untuk mencapai target pengaturan ketinggian dari model

matiknya adalah jari-jari engkol, sudut engkol dan langkah motor. Dengan mengoptimalkan parameter tersebut dapat disimulasikan kesesuaian nilai optimalnya terhadap standar. Menggunakan parameter yang dioptimasi dapat dibangun prototipe tempat tidurnya dan dilakukan uji fungsi terhadap prototipe fungsional tersebut.

- Hasil simulasi gerakan dan gaya gaya yang bekerja pada tempat tidur pasien dan kalkulasi gaya motor/aktuator dengan ketinggian awal maupun posisi tertinggi yang dapat dicapai adalah 364.5010 mm dan 670. 7275 mm, nilai ini mendekati persyaratan desain yaitu 363 mm dan 670 mm.
- Kebutuhan gaya motor/aktuator terbesar untuk mengangkat tempat tidur pasien adalah 3649.7 N ini masih lebih kecil dari besar gaya yang dapat dibangkitkan motor (8000 N).
- Prototipe yang dibuat dapat memenuhi sebagian persyaratan keamanan sebagaimana ditentukan pada standar produk SNI IEC 60601- 2 -52 : 2014, belum semua aspek pengujian diterapkan pada prototipe produk ini, baru digunakan yang berhubungan dengan kefungsiian Pengatur Ketinggian.

DAFTAR PUSTAKA

- Kementerian Kesehatan, “Direktorat Bina Produksi dan distribusi Alat Kesehatan,” 2011.
- Departemen Kesehatan, “Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesi Nomor 1189/Menkes/Per/VIII/2010 tetang Produksi Alat Kesehatan dan Perbekalan Kesehatan.,” 2010.
- BSN, “SNI IEC 60601-2-52 Peralatan Elektromedik bagian 2-52: persyaratan khusus keselamatan dasar dan kinerja esensial tempat tidur pasien,” 2014.
- ISO13485, “Medical devices Quality management systems,” 2016.
- Susanto, “Injury Risk Assesment of cm Bed use Failure Mode and Effect Analysis for System and Design of the Bed” UII Proceiding 2004.
- Sudiro, S., Mohd Yusof, S., Revino. (2018), "Influence of Inventory and Work In Process Adjustment Time on Production Target Achievement of D Minus 1 Production Scenario: A Case Study of Hospital Bed Production", Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Bandung, Indonesia, March 6-8, 2018.
- Susanto dan Margono Sugeng “Perbaikan Koneksi Aktuator Pada Sistem Penggerak Mekanisme *Hi-Low Hospital Bed Family Clasic* di PT. Mega Andalan Kalasan

-
- Yogyakarta”, Karya Ilmiah Unggulan
ISTN Jakarta Edisi 1, 2014. ISBN
978.979.8268.68.7
- [8] Paramount Indonesia, “Katalog Produk PT.
Paramount Bed Indonesia,” 2017.