

Sepeda Roda Tiga Tanpa Pedal Untuk Melatih Keseimbangan Dan Koordinasi Tubuh Pasien Pascastroke

Rosadila Febritasari¹, Febi Rahmadianto¹, Gerald Adityo Pohan¹, Tito Arif Sutrisno¹, Alfa Arkenxiou Lowu¹, , Dhoni Kurniawan¹, I Kadek Adi S.N¹, Yoga Saputra¹, Alvit Almafudin¹, Agus Dwi Korawan²

¹Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional Malang, Indonesia

²Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Ronggolawe Cepu, Indonesia

Email: rosadila@lecturer.itn.ac.id

ABSTRAK

Tidak semua alat rehabilitasi dapat digunakan oleh pasien pascastroke yang baru saja sembuh dari serangan stroke bahkan mereka belum dianjurkan menggunakan media rehabilitasi dan hanya melakukan terapi dengan gerakan-gerakan sederhana dikarenakan keseimbangan tubuh mereka belum baik, kurangnya koordinasi anggota gerak tubuh, memiliki kelemahan otot dan masih memerlukan alat bantu gerak seperti tongkat dan kursi roda. Tujuan dari penelitian adalah merancang sepeda roda tiga tanpa pedal yang didesain sesuai kebutuhan pasien pasca stroke untuk proses rehabilitasi. Metode yang dilakukan adalah membuat pemodelan tiga dimensi dan dilakukan simulasi secara numerik dengan metode elemen hingga. Hasil perancangan adalah sepeda ini dirancang dengan ground clearance 153 mm agar pasien pasca stroke mampu mengangkat kakinya. Pasien dapat mengendarai sepeda dengan mengayunkan kaki selayaknya berjalan untuk melatih anggota gerak bawah seperti paha, lutut, dan kaki. Hasil simulasi metode elemen hingga pada rangka sepeda menunjukkan bahwa terjadinya tegangan maksimum sebesar 38,806 Mpa pada daerah sambungan seat tube dan down tube serta deformasi maksimum terjadi pada daerah sadel yaitu 0.399 mm. Berdasarkan analisa ergonomis, sepeda ini memiliki kenyamanan dan mampu meminimalisir adanya risiko cedera baik saat dikendarai di jalan lurus maupun berbelok.

Kata Kunci Rangka sepeda, pasca stroke, rehabilitasi, metode elemen hingga
Paper type Research paper

PENDAHULUAN

Kesulitan berjalan akibat gangguan neurologis sering dialami oleh orang yang terserang stroke [1][2]. Sebanyak 70% pasien stroke sering terjatuh di dalam rumah karena kehilangan keseimbangan tubuh saat berjalan [2]. Terdapat 67% pasien stroke dinyatakan mengalami penurunan kesehatan secara fisik dan mental [3]. Dengan kata lain mereka tidak bisa melakukan kegiatan sehari-hari dan memerlukan bantuan orang terdekat atau alat bantu berjalan seperti tongkat dan kursi roda. Oleh karena itu, kualitas hidup mereka menjadi rendah sehingga tidak bisa membaur dengan masyarakat karena keterbatasan gerak [2][4].

Berbagai macam rehabilitasi seperti aktivitas fisik dengan intensitas ringan telah diteliti dan dibuktikan keefektifannya dalam meningkatkan keseimbangan tubuh [5]. Pasien stroke perlu melakukan rehabilitasi untuk memulihkan kembali fungsi otot minimal 48 jam setelah sembuh dari serangan stroke [6]. Menurut Jørgensen, pasien dengan serangan stroke ringan, cukup melakukan pemulihan selama 2 bulan. Pasien dengan serangan stroke sedang membutuhkan 3 bulan. Pasien dengan serangan stroke parah sekitar 4 bulan. Dan pasien dengan serangan stroke paling parah setidaknya membutuhkan 5 bulan recovery [7].

Peralatan rehabilitasi untuk pasien pasca stroke masih sangat minim. Bila ada, media rehabilitasi tersebut hanya diperuntukkan kepada pasien pasca stroke yang sudah mampu berjalan secara mandiri ataupun mampu berdiri tanpa bantuan orang lain atau tongkat. Sedangkan pasien yang baru saja sembuh dari serangan stroke tidak dianjurkan menggunakan media rehabilitasi tersebut dan hanya melakukan terapi dengan gerakan-gerakan sederhana dikarenakan keseimbangan tubuh mereka belum baik dan selalu menggunakan kursi roda [8][9]. Beberapa peneliti telah mengembangkan media rehabilitasi bagi pasien pascastroke seperti sepeda roda tiga pascastroke [10] dan prosedur rehabilitasinya [11] hingga otot mereka tidak kaku setelah melakukan gerakan mengayuh selama 10 menit dalam kurun waktu 1 bulan. Namun, sepeda roda tiga ini hanya diperuntukkan kepada pasien pascastroke yang memiliki skor kekuatan otot lebih dari 3 berdasarkan *Postural Assessment Scale for Stroke* dengan kata lain mereka yang mampu berdiri tanpa alat bantu [12][13].

Sepeda roda tiga tipe tadpole [14] dan delta [15] telah dirancang khusus untuk penderita stroke dan telah diuji di Rumah sakit Haji Surabaya [11], menunjukkan adanya peningkatan kebugaran dan fungsi motorik pada pasien pasca stroke [16]. *The Alinker walking bike*, sepeda roda tiga tipe tadpole tanpa pedal yang didesain oleh Alinker Company, telah menginovasi media rehabilitasi bagi orang penyandang disabilitas, parkinson, Cerebral Palsy, dan stroke untuk menerapkan budaya aktif bergerak dan mendukung proses pemulihan otot [17]. *City walking aid bike* adalah sepeda roda dua tanpa pedal yang dirancang oleh VanRaam Company dan terbukti manfaatnya dalam membantu orang yang

Rosadila Febritasari, Febi Rahmadiano, Gerald Adityo Pohan, Tito Arif Sutrisno, Alfa Arkenxiou Lowu, , Dhoni Kurniawan, I Kadek Adi S.N, Yoga Saputra, Alvit Almafudin, Agus Dwi Korawan mengalami kesulitan berjalan setelah operasi atau lanjut usia [18]. Sepeda roda tiga elektrik juga dapat digunakan untuk berolahraga dengan intensitas ringan dan sangat cocok bagi orang penyandang disabilitas dan penyakit kronis sehingga mereka dapat tetap aktif bergerak dibandingkan hanya berdiam diri [19][20]. Seat walker telah banyak digunakan bagi orang yang memiliki permasalahan mobilitas, karena mempermudah mereka berdiri dan berjalan, mampu menjaga keseimbangan tubuh dan mengurangi beban pada kaki yang lemah [21]. Selain itu, mereka merasakan keamanan saat berjalan tanpa takut terjatuh. Namun, penggunaan seat walker tidak baik untuk anggota gerak atas karena dalam pemakaian jangka panjang bisa terjadi *stress-fracture* pada tangan, siku, dan pundak yang telah dialami oleh 64% dari pengguna [21] sehingga perlu memperbaiki desainnya untuk keamanan dan mobilitas yang efektif [22].

Oleh karena itu, perlu adanya sebuah alat bantu untuk mendukung proses rehabilitasi pasien pascastroke bagi mereka yang memiliki kelemahan fungsi motorik, kekakuan otot, dan ketidaksinkronan pergerakan otot sesaat setelah sembuh dari serangan stroke. Sepeda roda tiga tanpa pedal dapat menjadi alternatif media rehabilitasi pascastroke. Sepeda ini dapat melatih keseimbangan dan koordinasi tubuh pasien dengan mengandalkan pergerakan anggota gerak bawah. Rangka sepeda dibuat pendek supaya pengendara dapat menapakkan kaki di tanah, kemudian sepeda dijalankan dengan kedua kaki sambil duduk di atas saddle selayaknya berjalan dan tangan menggerakkan stang lurus atau berbelok. Penelitian ini berfokus pada perancangan sepeda roda tiga tanpa pedal dan mengaplikasikan ilmu perancangan dan pengembangan produk [23][24], pemodelan sepeda dalam bentuk 3D dan analisa kekuatan material pada rangka dengan CAD software *opensource*.

METODE

Perancangan sepeda roda tiga tanpa pedal dilakukan dalam beberapa langkah. Pertama, daftar kebutuhan akan sebuah produk diobservasi berdasarkan kebutuhan penderita stroke. Kedua, perhitungan tenaga dorong yang diperlukan untuk menjalankan sepeda. Ketiga, perancangan dan penyeleksian konsep sepeda. Keempat, kekuatan material pada rangka dianalisa untuk mengetahui keamaan rangka. Dan terakhir, dilakukan analisa ergonomis pada pengendara. Kedua analisa ini dilakukan menggunakan CAD Software *opensource* yaitu Ansys dan Catia.

Penyusunan Daftar Kebutuhan

Daftar kebutuhan penderita stroke terhadap sepeda roda tiga disusun untuk perancangan dan pengembangan desain ditunjukkan pada tabel 1.

TABLE I. DAFTAR KEBUTUHAN

Aspek kebutuhan	Uraian Kebutuhan Sepeda roda tiga tanpa pedal
Fungsi	a. Sepeda digerakkan oleh kaki, tanpa pedal b. Pengendara dapat menopang tubuhnya dan duduk di atas sadel c. Kaki menapak di atas tanah d. Ketinggian sadel dan stang dapat diatur
Keamanan	a. Berat pengendara maksimal 100 kg b. Sistem pengereman roda depan dan roda belakang
Geometri dan Dimensi	a. Sepeda memiliki tiga roda dengan konsep delta b. Rangka sepeda menyerupai sepeda feminim c. Berat rangka sepeda tidak melebihi 15 kg d. Tinggi total tidak mencapai 800 cm e. Berat aksesoris sepeda tidak melebihi 10 kg
Sistem Operasional	a. Mudah dan nyaman dikendarai b. Mudah dijalankan dengan bantuan kaki
Manufaktur	a. Rangka sepeda dapat dimanufaktur b. Komponen sepeda dapat dirakit dengan alat/ tools standar
Perawatan	a. Mudah dibersihkan dan dirawat

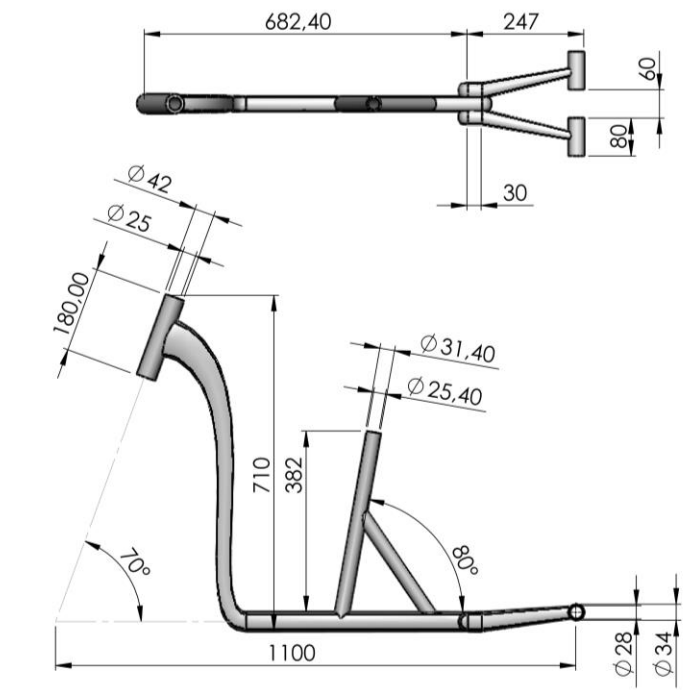
Perancangan Rangka Sepeda

Massa seluruh komponen sepeda yang perlu dipertimbangkan dalam perhitungan tenaga dorong dapat dilihat pada tabel 2.

TABLE II. DAFTAR KEBUTUHAN

Komponen	Massa (kg)	Keterangan
Pengendara/ pasien	100	Berat maksimal pengendara untuk menaiki sepeda
Rangka dan aksesoris	24	Bobot sepeda tidak lebih dari 25 kg
Total mass	124	

Rangka sepeda didesain menggunakan software CAD *opensource* seperti gambar 1. Rangka diatur *ground clearance* serendah mungkin yaitu 153 mm agar pasien pasca stroke mampu mengangkat kakinya. Sepeda dirancang tanpa menggunakan pedal maka tidak ada bottom bracket. Dimensi dari rancangan rangka sepeda ini dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1 Dimensi Rancangan Rangka sepeda roda tiga elektrik

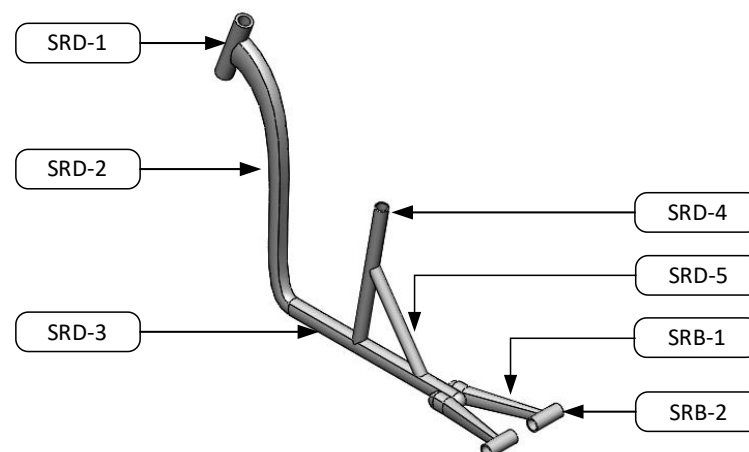
Rangka sepeda tersusun atas 2 bagian, yaitu Sub Perakitan Rangka Depan (SRD) dan Sub Perakitan Rangka Belakang (SRB). Setelah itu rangka depan dan rangka belakang digabungkan dengan proses las.

a) Rangka Depan

Rangka depan tersusun atas beberapa pipa diantaranya head tube berdiameter dalam 2.5 cm dan panjang 18 cm, down tube berprofil rectangular berdimensi 7 cm dan 2.8 cm, bottom tube berdimensi 2.8 cm dan 2.8 cm, seat tube berdiameter dalam 2.54 cm dan panjang 38.2 cm, serta seat stay tube berdiamter 2.8 cm. Sub Perakitan Rangka Depan (SRD) tersusun atas 5 pipa, yaitu SRD-1, SRD-2, SRD-3, SRD-4, SRD-5. Selengkapnya dapat dilihat pada gambar 2 berikut ini.

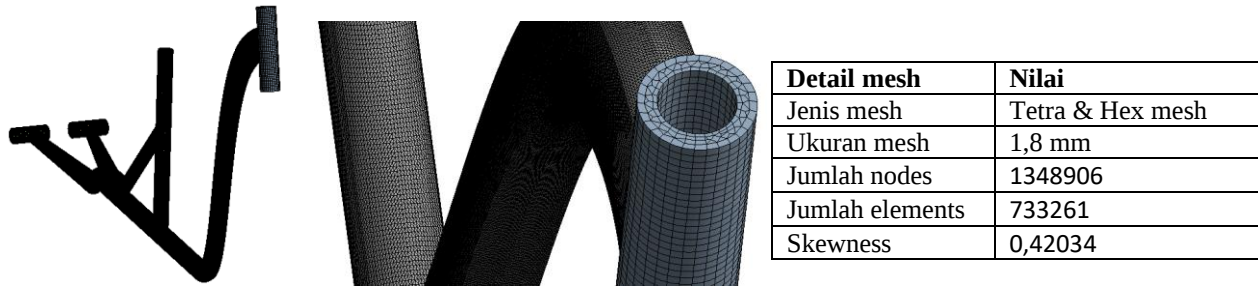
b) Rangka Belakang

Sub Perakitan Rangka Belakang (SRB) dirancang menggunakan 2 ukuran pipa yang berbeda, yaitu, chain stay tube (SRB-1) berdiamter 3 cm, dan rear shaft tube (SRB-2) 3 cm. Selengkapnya dapat dilihat pada gambar 2 berikut ini.



Gambar 2 Sub Perakitan Rangka Depan dan belakang

Setelah ukuran dan bentuk rangka telah didesain, rangka sepeda dilakukan analisa struktur untuk mengetahui pengaruh pemberian beban pada rangka yang mana merepresentasikan kondisi sebenarnya. Meshing dilakukan pada rangka sepeda dengan element size sebesar 1,8 mm dengan jenis mesh tetra dan hex. Meshing rangka sepeda dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3 Mesh rangka sepeda

Material rangka sepeda roda tiga tanpa pedal adalah AISI aluminium 6061. Pembebanan/load diberikan pada rangka berdasarkan segment massa pada tubuh manusia [25]. Dalam simulasi ini terdapat 4 gaya dan berat pengendara sebesar $W=100$ kg, sebagai berikut.

- a. Gaya F_1 adalah gaya berat pengendara pada *head tube* dan dikenai gaya *total arm* ($0.0505W + 0.01$) :

$$F_1 = (0.0505W + 0.01) \times 9.81 \frac{m}{s^2}$$

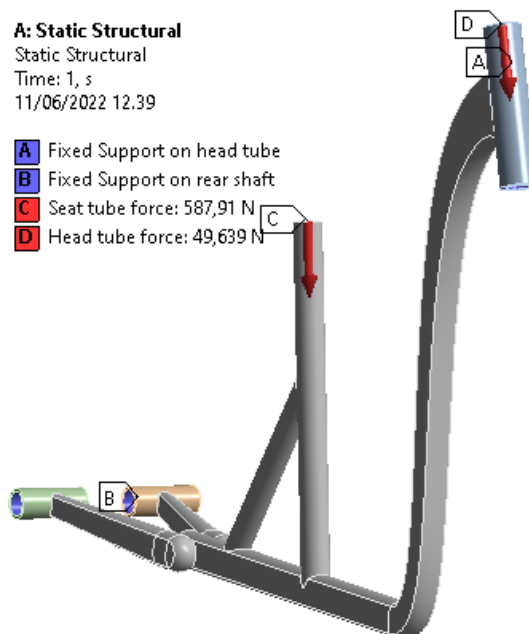
$$F_1 = 49,6386 \text{ N}$$

- b. Gaya F_2 adalah gaya berat pengendara pada *seat post* dan dikenai gaya *head, neck and torso* ($0.5940W - 2.20$) ditambah dengan *upper arm* ($0.0274W - 0.01$):

$$F_2 = ((0.5940W - 2.20) + (0.0274W - 0.01)) \times 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$F_2 = 587,9133 \text{ N}$$

Pembebanan/load yang diberikan pada rangka dapat dilihat pada gambar 5. Gaya F_1 diletakkan pada head tube sedangkan gaya F_2 pada seat post. Fixed boundary conditions diberikan pada rangka yang bersentuhan dengan *rear axle* dan *front fork*.

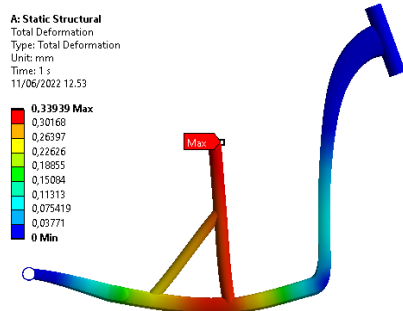


Gambar 4 Free Body Diagram Rangka Sepeda roda tiga elektrik

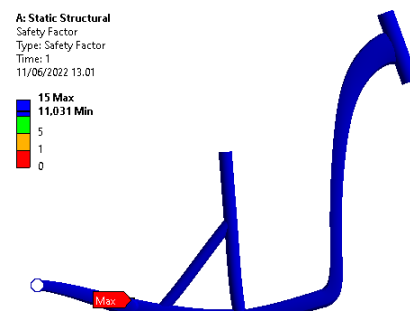
Pengujian von mises telah dilakukan pada rangka sepeda untuk melihat respon *maximum tensile strength* yang mampu diterima oleh rangka sebelum terjadinya patah/ fracture. Respon *total deformation* dicari untuk menentukan seberapa besar deformasi yang dialami oleh rangka sepeda jika mendapatkan pembebanan maksimum. Dan *safety factor* untuk mengetahui nilai keamanan dari rangka sepeda. Hasil simulasi ditunjukkan pada gambar 6, 7 dan 8.



Gambar 5 Hasil simulasi: *maximum tensile strength*



Gambar 6 Hasil simulasi: *total deformation*



Gambar 7 Hasil simulasi: *safety factor*

Gambar 6 menunjukkan kontur distribusi pembebanan vertikal setelah diberikan gaya F1 dan F2 pada rangka sepeda menggunakan pengujian von-mises stress. The *maximum tensile strength* sebesar 38,806 Mpa terjadi pada daerah sambungan seat tube dan down tube menimbulkan penekanan ke arah sumbu y negatif. Deformasi terbesar terjadi pada area saddle yaitu 0.399 mm yang ditandai dengan warna merah pada gambar 7. Gambar 8 menunjukkan *Safety factor* sebesar 11,031.

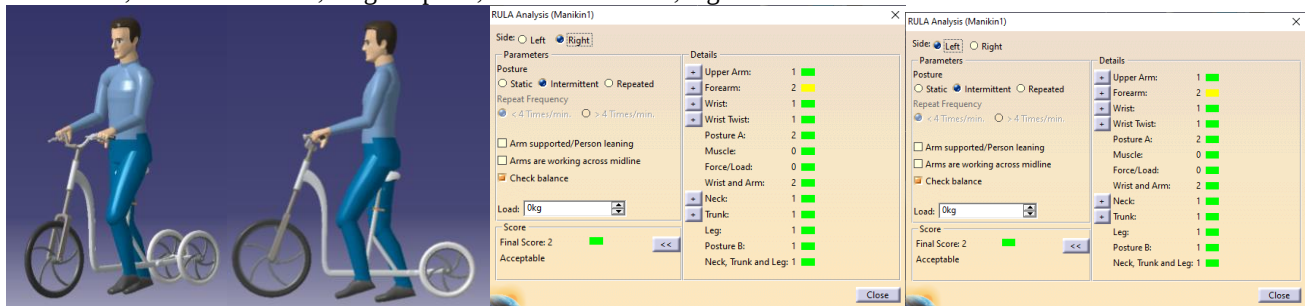
Penelitian serupa terkait analisa FEA pada rangka sepeda gunung dengan material Alumunium 6061-T6 dilakukan oleh Sarath P [26]. Pembebanan sebesar 2250 N diberikan pada rangka sepeda gunung secara vertikal menunjukkan terjadinya tegangan maksimum pada intersection seat tube dan bottom bracket sebesar 33.72 Mpa dan deformasi maksimum terjadi di area saddle sebesar 0.52604 mm. Analisa finite element pada rangka sepeda dilakukan oleh Derek Covill menunjukkan bahwa terjadinya displacement maksimum sebesar 0.342 mm pada seat tube [27]. Tidak ada pertimbangan yang diberikan terkait persyaratan kekuatan dari rangka sepeda baik itu menggunakan material seperti alumunium, titanium, dan carbon fiber [27].

Sepeda dilengkapi dengan stang, saddle dengan backrest, rem di kedua tangan, dan tiga roda untuk memberikan keseimbangan pada sepeda. Desain Sepeda ini memiliki panjang 1478 mm, tinggi 732 mm, dan lebar 358 mm.



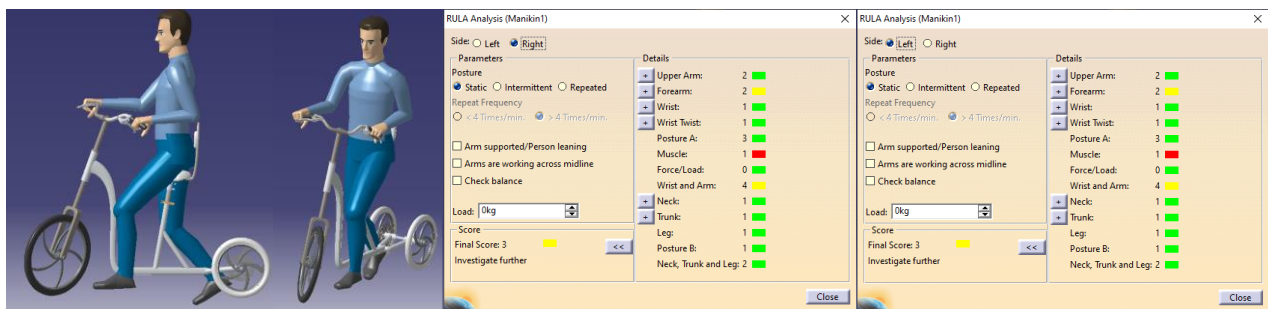
Gambar 8 rancangan rangka sepeda roda tiga tanpa pedal

Analisis RULA pada desain sepeda elektrik dilakukan di software CATIA V5 dan simulasi menggunakan manekin untuk mengetahui nilai RULA dari posisi pengendara saat menggunakan sepeda. Manekin yang digunakan memiliki jenis kelamin laki-laki dan tinggi badan 165 cm. sepeda roda tiga elektrik ini disimulasikan dengan 2 keadaan yaitu ketika jalan lurus dan jalan berbelok. Dari hasil simulasi didapat hasil sebagai berikut.



Gambar 9 Analisis RULA keadaan ketika jalan lurus

Pada saat sepeda elektrik berjalan lurus, skor RULA adalah 2, artinya rancangan aktivitas termasuk nyaman tanpa risiko cedera. Dengan kata lain, perancangan sepeda elektrik tidak menimbulkan risiko cedera akibat kesalahan posisi duduk atau posisi mengemudi bagi pengendara ketika dikendarai di jalan lurus.



Gambar 10 Analisis RULA keadaan ketika berbelok

Pada saat sepeda berbelok, nilai RULA berada di skor 3 untuk sisi kanan, artinya dibutuhkan investigasi dan perubahan jenis gerakan. Sedangkan sisi kiri memperoleh skor 2 artinya rancangan aktivitas termasuk nyaman tanpa risiko cedera. Keadaan ini masih wajar dan tidak perlu dilakukan perubahan desain sepeda.

KESIMPULAN

Perancangan sepeda roda tiga tanpa pedal untuk rehabilitasi pasca stroke telah didesain sesuai kebutuhan pasien pasca stroke yang memiliki kelemahan otot, ketidakseimbangan tubuh, dan kurangnya koordinasi anggota gerak tubuh. Sepeda ini dirancang dengan ground clearance 153 mm agar pasien pasca stroke mampu mengangkat kakinya. Analisa finite element pada rangka sepeda menunjukkan bahwa terjadinya tegangan maksimum sebesar 38,806 Mpa pada daerah sambungan seat tube dan down tube menimbulkan penekanan ke arah sumbu y negatif. Deformasi terbesar terjadi pada area saddle yaitu 0.399 mm. Berdasarkan analisa ergonomis, sepeda ini memiliki kenyamanan tanpa adanya risiko cidera baik saat dikendarai di jalan lurus maupun berbelok.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] U. Kischka and D. T. Wade, "Rehabilitation after stroke," *Handb. Cerebrovasc. Dis. Second Ed. Revis. Expand.*, vol. 352, no. 16, pp. 231–241, 2004, doi: 10.1093/med/9780199641208.003.0021.
- [2] C. Beyaert, R. Vasa, and G. E. Frykberg, "Gait post-stroke: Pathophysiology and rehabilitation strategies," *Neurophysiol. Clin.*, vol. 45, no. 4–5, pp. 335–355, 2015, doi: 10.1016/j.neucli.2015.09.005.
- [3] J. Mehrholz, S. Thomas, and B. Elsner, "Treadmill training and body weight support for walking after stroke," *Cochrane Database Syst. Rev.*, vol. 2017, no. 8, 2017, doi: 10.1002/14651858.CD002840.pub4.
- [4] S. E. Lord, K. McPherson, H. K. McNaughton, L. Rochester, and M. Weatherall, "Community Ambulation after Stroke: How Important and Obtainable Is It and What Measures Appear Predictive?," *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, vol. 85, no. 2, pp. 234–239, 2004, doi: 10.1016/j.apmr.2003.05.002.
- [5] C. Arienti, S. G. Lazzarini, A. Pollock, and S. Negrini, "Rehabilitation interventions for improving balance following stroke: An overview of systematic reviews," *PLoS One*, vol. 14, no. 7, pp. 1–23, 2019, doi: 10.1371/journal.pone.0219781.
- [6] American College of Sports Medicine (ACSM), *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription*, 8th ed. Philadelphia: ACSM, 2010.
- [7] O. T. Jørgensen HS, Nakayama H, Raaschou HO, "Neurologic and functional recovery the Copenhagen Stroke Study," *Phys Med Rehabil Clin N Am*, vol. 10, no. 4, pp. 887–906, 1999.

- [8] Y. C. Huang, W. Te Wang, T. H. Liou, C. De Liao, L. F. Lin, and S. W. Huang, "Postural assessment scale for stroke patients scores as a predictor of stroke patient ambulation at discharge from the rehabilitation ward," *J. Rehabil. Med.*, vol. 48, no. 3, pp. 259–264, 2016, doi: 10.2340/16501977-2046.
- [9] C. Benaim, D. A. Pérennou, J. Villy, M. Rousseaux, and J. Y. Pelissier, "Validation of a standardized assessment of postural control in stroke patients: The Postural Assessment Scale for Stroke patients (PASS)," *Stroke*, vol. 30, no. 9, pp. 1862–1868, 1999, doi: 10.1161/01.STR.30.9.1862.
- [10] M. Batan, I. M. L., Rodika, & Riva'i, "Three Wheel Bike as Physical Therapy Equipment for Post-Stroke Patient," *Appl. Mech. Mater.*, vol. 776, pp. 337–342, 2015, doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.776.337>.
- [11] R. Febritasari and I. M. L. Batan, "Implementation Fugl Meyer Assessment of Lower Extremity Method to Develop a Post-stroke Rehabilitation Procedure Using ITS Tricycle," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 598, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/598/1/012092.
- [12] I. M. Londen Batan, T. N. A. Sukma Lutiawan, and L. A. Salim, "Tricycle Applications for Physical Therapy Sufferers," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 588, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/588/1/012034.
- [13] I. M. L. Batan, D. A. K. Wardani, and H. Luthfiyanto, "Use procedures tricycle for physical rehabilitation of stroke patients," *AIP Conf. Proc.*, vol. 1778, no. October, 2016, doi: 10.1063/1.4965804.
- [14] S. Oktavian, "PENGEMBANGAN RANCANG BANGUN SEPEDA PASCA STROK," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2016.
- [15] M. S. Kurniawan, "PENGEMBANGAN MEKANISME PENGGERAK RODA BELAKANG SERAITS (SEPEDA RODA TIGA ITS)," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2020.
- [16] T. N. A. S. Lutiawan, "PENGUJIAN SEPEDA PASCA STROKE KONSEP DELTA UNTUK REHABILITASI PENDERITA," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2016.
- [17] Alinker USA, "The Alinker is designed for how we want to live, regardless of mobility challenges," 2022. <https://www.thealinker.com/products/the-alinker> (accessed Mar. 15, 2022).
- [18] Vanraam, "City Walking aid, People who have trouble walking or prolonged standing." <https://www.vanraam.com/en-gb/our-bikes/walking-aid/walking-aid-city> (accessed Mar. 20, 2022).
- [19] R. Bulthuis, M. Tabak, L. Schaake, and H. Hermens, "Outdoor E-trike cycling: A low intensity physical activity," *Assist. Technol.*, vol. 00, no. 00, pp. 1–8, 2021, doi: 10.1080/10400435.2020.1858995.
- [20] R. Febritasari *et al.*, "Perancangan Sepeda Roda Tiga Pasca Stroke Dengan Mekanisme Penggerak Elektrik Design of a Post Stroke Tricycle with Electric Mechanism," *14 Jmemme*, vol. 7, no. 1, pp. 14–26, 2023, doi: 10.31289/jmemme.v7i1.7552.
- [21] H. Bateni and B. E. Maki, "Assistive devices for balance and mobility: Benefits, demands, and adverse consequences," *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, vol. 86, no. 1, pp. 134–145, 2005, doi: 10.1016/j.apmr.2004.04.023.
- [22] Y. Laufer, "The effect of walking aids on balance and weight-bearing patterns of patients with hemiparesis in various stance positions," *Phys. Ther.*, vol. 83, no. 2, pp. 112–122, 2003, doi: 10.1093/ptj/83.2.112.
- [23] I. M. L. Batan, *Desain Produk*, I. Surabaya: Guna Widya, 2012.
- [24] Karl Ulrich, *Product Design and Development*, 7th ed. Philadelphia: Philadelphia, 2019.
- [25] K. E. K.-E. K. H. E. Kroemer, H. B. Kroemer, *Ergonomics: How to Design for Ease and Efficiency*. Prentice Hall, 2001, 2001.
- [26] P. Sarath, A. Deepak, H. Hrishikesh, N. S. Daniel, and Jinuchandran, "Stress Analysis of Bicycle Frame using Different Materials by FEA," *GRD J. Eng.*, vol. 6, no. 7, pp. 14–20, 2021, [Online]. Available: www.grdjournals.com.
- [27] D. Covill, S. Begg, E. Elton, M. Milne, R. Morris, and T. Katz, "Parametric finite element analysis of bicycle frame geometries," *Procedia Eng.*, vol. 72, pp. 441–446, 2014, doi: 10.1016/j.proeng.2014.06.077.