

ISSN (ONLINE) 2598-9936



INDONESIAN JOURNAL OF INNOVATION STUDIES
PUBLISHED BY
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SIDOARJO

Table Of Contents

Journal Cover	1
Author[s] Statement	3
Editorial Team	4
Article information	5
Check this article update (crossmark)	5
Check this article impact	5
Cite this article.....	5
Title page	6
Article Title	6
Author information	6
Abstract	6
Article content	7

Originality Statement

The author[s] declare that this article is their own work and to the best of their knowledge it contains no materials previously published or written by another person, or substantial proportions of material which have been accepted for the published of any other published materials, except where due acknowledgement is made in the article. Any contribution made to the research by others, with whom author[s] have work, is explicitly acknowledged in the article.

Conflict of Interest Statement

The author[s] declare that this article was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Copyright Statement

Copyright © Author(s). This article is published under the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) licence. Anyone may reproduce, distribute, translate and create derivative works of this article (for both commercial and non-commercial purposes), subject to full attribution to the original publication and authors. The full terms of this licence may be seen at <http://creativecommons.org/licences/by/4.0/legalcode>

Indonesian Journal of Innovation Studies

Vol. 25 No. 2 (2024): April
DOI: 10.21070/ijins.v25i2.1116

EDITORIAL TEAM

Editor in Chief

Dr. Hindarto, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Managing Editor

Mochammad Tanzil Multazam, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Editors

Fika Megawati, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Mahardika Darmawan Kusuma Wardana, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Wiwit Wahyu Wijayanti, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Farkhod Abdurakhmonov, Silk Road International Tourism University, Uzbekistan

Bobur Sobirov, Samarkand Institute of Economics and Service, Uzbekistan

Evi Rinata, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

M Faisal Amir, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Dr. Hana Catur Wahyuni, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Complete list of editorial team ([link](#))

Complete list of indexing services for this journal ([link](#))

How to submit to this journal ([link](#))

Article information

Check this article update (crossmark)



Check this article impact (*)



Save this article to Mendeley



(*) Time for indexing process is various, depends on indexing database platform

DFA Analysis Revolutionizes FSAE Steering, Enhancing Efficiency in Automotive Design: Analisis DFA Merevolusi Kemudi FSAE, Meningkatkan Efisiensi dalam Desain Otomotif

Mukhammad Isa Kurniawan, Kurniawanisa123@gmail.com (*)

*Program Studi Teknik Mesin Fakultas Sain & Teknologi, Universitas Muhammadiyah
Sidoarjo, Indonesia*

Mulyadi Mulyadi, mulyadi@umsida.ac.id

*Program Studi Teknik Mesin Fakultas Sain & Teknologi, Universitas Muhammadiyah
Sidoarjo, Indonesia*

(*) Corresponding author

Abstract

General Background Formula Society of Automotive Engineers racing vehicles require steering systems that support appropriate vehicle direction and turning characteristics. **Specific Background** Poor steering system design may produce turning angles that do not correspond with vehicle dimensions, while assembly considerations are also important during product manufacturing. **Knowledge Gap** The study addresses the practical need for an FSAE steering configuration that considers both component design and assembly requirements. **Aims** This study designs an FSAE racing car steering system and evaluates its components using Design for Assembly methodology, supported by three dimensional modelling in Solid Edge 2021. **Results** The steering system consisted of 31 listed components with a total recorded operation time of 165.66 seconds. Handling and insertion calculations were applied to the steering subassemblies, and the DFA calculations reported TA values of 0.548 for the smallest section, 1.156 for the middle section, and 1.765 for the largest section. **Novelty** The study combines three dimensional CAD modelling with component level handling and insertion analysis for an FSAE steering configuration. **Implications** The resulting concept and component analysis can support automotive mechanics in developing FSAE racing car steering systems and provide a basis for further geometric and ergonomic evaluation using Solid Edge 2021 or CATIA.

Highlight:

Keyword: FSAE vehicles, Steering system design, DFA analysis, Solid Edge 2021, Ergonomics

Published date: 2024-05-16

PENDAHULUAN

FSAE (Formula Society of Automotive Engineers) awal mulanya diadakan oleh American Society of Automotive Engineers untuk para mahasiswa dalam bidang perancangan dan pembuatan mobil balap yang penilaiannya berdasarkan pada efisiensi, tenaga motor dan lain sebagainya.[1] [2] Adapun sistem kemudi adalah sistem yang berfungsi mengatur arah dan membelokkan kendaraan dengan cara membelokkan roda depan. Cara kerjanya bila steering wheel (roda kemudi) diputar.[3] Pada sistem kemudi biasanya juga terjadi suatu permasalahan yang mana salah satunya pada sistem perancangan yang buruk, yang mengakibatkan sudut belok yang tidak sesuai kondisi (dimensi) kendaraan.[4] [5] Fungsi sistem kemudi adalah untuk mengatur arah kendaraan dengan cara membelokkan roda tenaga putarnya ke steering gear (roda gigi kemudi). Steering gear memperbesar tenaga putar ini sehingga dihasilkan momen puntir yang lebih besar untuk diteruskan ke steering linkage akan meneruskan gerakan steering gear ke roda-roda depan.[6] [7] Desain dari sistem kemudi ini menentukan tingkat keamanan dan kenyamanan saat berkendara. Karena pada saat ini banyak mobil-mobil modern yang mempunyai ban berukuran lebar dengan tekanan yang rendah, sehingga mengakibatkan bidang ban dengan permukaan jalan semakin besar.[8] Adapun tinjauan dari segi kenyamanan dalam mengemudikan kendaraan, maka teknologi sistem kemudi pada saat ini terus berkembang. Mulai dari sistem kemudi manual sederhana yang hanya menggunakan roda gigi yang sederhana untuk mengubah arah gaya untuk membelokkan ban, dengan berkembang sistem.[9] Kelebihan sistem kemudi power steering pada saat ini dalam keadaan stasioner dan berjalan lambat putaran kemudi ringan. Pengaturan steering effort berdasarkan kecepatan kendaraan. Ketika kendaraan melewati jalan yang rusak pada kecepatan sedang dan cepat, meskipun ada rintangan besar dari permukaan jalan, namun tidak akan mempengaruhi arah kontrol kemudi, karena tekanan output hidrolik untuk steering effort menjadi tinggi sama seperti power steering konvensional. Kekurangan sistem kemudi power steering pada saat ini dalam sistem ini, pengontrolan perubahan beban lebih sulit dilakukan.[10]

METODE

Sistem kemudi yang ideal adalah di mana input gerakan belok yang diinginkan oleh pengemudi sesuai dengan output gerak belok yang dihasilkan oleh kendaraan, kondisi tersebut dinamakan kondisi Ackermann. Pada steering gear mengubah arah gerak rotasi menjadi translasi serta menyesuaikan usaha yang diberikan pada roda kemudi ke steering linkage[11] [12]. Gerakan steering linkage yang terdiri dari gerakan tie rod kemudian menggerakkan steering knuckle sehingga roda dapat ikut berbelok

HASIL DAN PEMBAHASAN

Design Steering System Pada Formula Society Of Automotive Engineers (FSAE) akan dijelaskan pada diagram alir sebagai berikut:

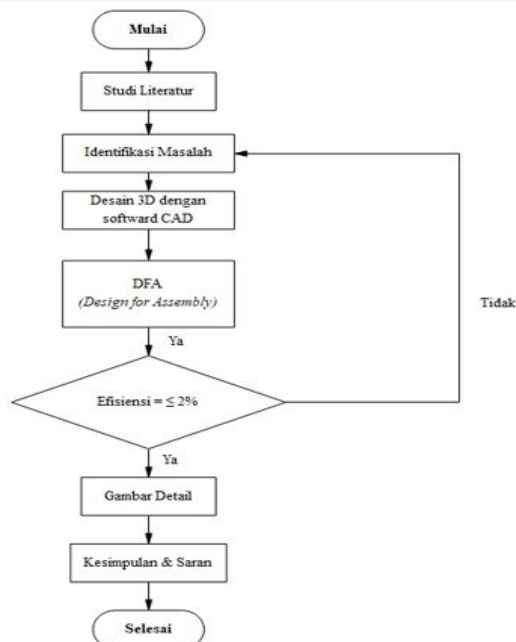


Figure 1. Diagram Alir Penelitian

Design for assembly DFA pada perakitan (assembly) ini memegang peranan yang sangat penting pada waktu proses *manufaktur* suatu produk [13] [14]. Misalnya, jika kita tidak merancang dengan baik maka dalam perakitan akan mendapatkan kesulitan. Sistem Kemudi Kendaraan yang berbelok menggunakan sistem kemudi untuk mengarahkan kendaraan menuju tempat yang akan dituju. Analisa Komponen Kemudi Mobil Analisa pembawaan (*handling*) serta penyiapan (*insertion*) akan dilakukan pada beberapa komponen sub-perakitan kemudi mobil [15].

Item Number	File Name (no extension)	Quantity
1	DHSSIS NEW_Default_As Machined...	1
2	suspension arm_Default_As Machined...	4
3	suspension upper arm_Default_As Machined...	4
4	Shock connection_Default_As Machined...	4
5	suspension joint	8
6	front left wheel hub	2
7	front right wheel hub	2
8	rim	4
9	tires	4
10	Shock absorber	4
11	head rest	1
12	BASE PLATE	1
13	Seat_Predeterminado	1
14	Power Steering System	1
15	SHAFT 2	1
16	SHAFT 1	2
17	steering wheel	1
18	O1-06	2
19	O1-04	2
20	O1-02	2
21	O1-03	2
22	O1-01	2

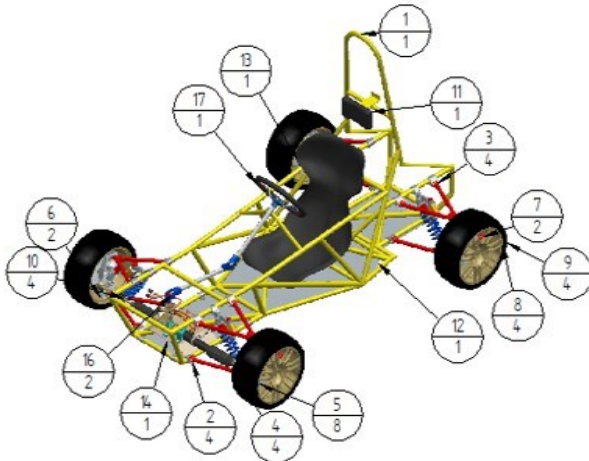


Figure 2. Tabel perhitungan waktu *handling*

Key:

	ONE HAND
--	-----------------

Part can be grasped and manipulation by one hand without the aid of grasping tools	$(\alpha + \beta) < 360^\circ$	0	1.13	1.43	1.88	1.69	2.18	1.84	2.17	2.65	2.45	2.98
	$360^\circ < (\alpha + \beta) < 540^\circ$	1	1.5	1.8	2.25	2.06	2.55	2.25	2.57	3.06	3	3.38
	$540^\circ < (\alpha + \beta) < 720^\circ$	2	1.8	2.1	2.55	2.36	2.85	2.57	2.9	3.38	3.18	3.7
	$(\alpha + \beta) = 720^\circ$	3	1.95	2.25	2.7	2.51	3	2.73	3.06	3.55	3.34	4

	ONE HAND WITH GRASPING AIDS
--	------------------------------------

Part can be grasped and manipulation by one hand but only with the use of grasping tools	$\alpha \leq 180^\circ$	$0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$	4	3.6	6.85	4.35	7.6	5.6	8.35	6.35	8.6	7	7
	$\beta = 360^\circ$		5	4	7.25	4.75	8	6	8.75	6.75	9	8	8
	$\alpha \leq \beta \leq 180^\circ$		6	4.8	8.05	5.55	8.8	6.8	9.55	7.55	9.8	8	9
	$\beta = 360^\circ$		7	5.1	8.35	5.85	9.1	7.1	9.55	7.85	10.1	9	10

	TWO HANDS FOR MANIPULATION
--	-----------------------------------

Parts severely nest or tangle or flexible but can be grasped and lifted by one hand (with the use of grasping tools if necessary) (2)	8	4.1	4.5	5.1	5.6	6.75	5	5.25	5.85	6.35	7
---	---	-----	-----	-----	-----	------	---	------	------	------	---

	PART ADDED BUT NOT SECURED
--	-----------------------------------

Addition of any part (1) where neither the part itself nor any other part is finally secured immediately	Part and associated tool (including hands) can easily reach the desired location	Due to obstructed access or restricted vision (2)	Due to obstructed access and restricted vision (2)	0	1.5	2.5	2.5	3.5	5.5	6.5	6.5	7.5
				1	4	5	5	6	8	9	9	10
				2	5.5	6.5	6.5	7.5	9.5	10.5	10.5	11.5

SEPARATE OPERATION		Mechanical fastening processes (part(s) already in place but not secured immediately after insertion)					Non mechanical fastening processes (part(s) already in place but not secured immediately after insertion)			Non fastening processes		
		None or localized plastic deformation			Bulk plastic deformation (large proportion of part is plastically deformed during fastening)	Metallurgical processes			Chemical processes (e.g adhesive bonding etc.)	Manipulation of parts or adjustment of parts, etc.	Other processes (e.g liquid insertions, etc.)	
		Bending or similar processes	Riveting or similar processes	Screw tightening or other processes		No additional material required (e.g resistance friction welding etc.)	Additional material required					
							Soldering processes	Weld/braze processes				
Assembly processes where all solid parts are in place		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
		9	4	7	5	12	7	8	12	12	9	12

Figure 3. Tabel perhitungan waktu Insertion

Sebagai akhir dari proses penerapan DFA adalah membuat desain baru yang efektif dengan indek efisiensi yang lebih besar.

Hasil analisa dan perhitungan pada tiap komponen kemudi mobil dimasukkan pada table berikut :

Tabel 1. Desain for assembly Pada Kemudi Mobil

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Part ID no	Name of assembly	Number Of Time The Operation Is Carried Out consecutively	Manual Handling code	Manual Handling Time Per Part	Manual Insertion Code	Manual Insertion Time Per Part	Operation time, second = (5) + (7)	Operation cost (Rp) x (8)	Figures For Estimation Of Theoretical Minimum Part
1	Kemudi Mobil	1	1,0	1,5	0,0	1,5	3		10
2	Poros Utama Kemudi	1	0,1	1,43	3,9	8,0	9,43		
3	Batang Kemudi	1	3,0	1,95	0,0	1,5	3,45		
4	Gear Penggerak	1	1,1	1,43	0,0	1,5	2,93		
5	Ring Garpu Penghubung (Slip Sleeve Yoke)	1	8,4	5,8	0,2	2,5	8,3		
6	Garpu Penghubung (Slip Sleeve Yoke) Pada Bagian Atas	1	1,0	1,5	0,0	1,5	3		
7	Baut Salip Penghubung (Krist Joint/Universal Joint)	1	0,1	1,43	3,9	8,0	9,43		
8	Salip Penghubung (Krist Joint/Universal joint) Antara Garpu penghubung (Sleeve Yoke)	1	3,0	1,95	0,0	1,5	3,45		
9	Baut Bagian Garpu penghubung (Sleeve Yoke)	1	1,1	1,43	0,0	1,5	2,93		

10	Garpu Penghubung (<i>Sleeve Yoke</i>) Pada Bagian Bawah	1	8,4	5,8	0,2	2,5	8,3			
11	Baut Garpu penghubung (<i>Sleeve Yoke</i>)	1	1,0	1,5	0,0	1,5	3			
12	Mur Garpu penghubung (<i>Sleeve Yoke</i>)	1	0,1	1,43	3,9	8,0	9,43			
13	Gear Gigi Kemudi	1	3,0	1,95	0,0	1,5	3,45			
14	Valve Body Housing	1	1,1	1,43	0,0	1,5	2,93			
15	Selang Hose Power Steering	1	8,4	5,8	0,2	2,5	8,3			
16	Baut Solar	1	1,0	1,5	0,0	1,5	3			
17	Baut pada bagian valve body housing	1	0,1	1,43	3,9	8,0	9,43			
18	Gear Box Steering	1	3,0	1,95	0,0	1,5	3,45			
19	Rack	1	1,1	1,43	0,0	1,5	2,93			
20	Karet Seal pada bagian gear box	1	8,4	5,8	0,2	2,5	8,3			
21	Klem pada bagian gear box	1	1,0	1,5	0,0	1,5	3			
22	Baut pada bagian klem gear box	1	0,1	1,43	3,9	8,0	9,43			
23	Karet Rack Boot Pada Bagian luar Rack End	1	3,0	1,95	0,0	1,5	3,45			
24	Klem pada bagian selang hose power steering	1	1,1	1,43	0,0	1,5	2,93			
25	Karet Seal bagian klem selang hose power steering	1	8,4	5,8	0,2	2,5	8,3			
26	Rack End/ Long Tie Rod	1	1,0	1,5	0,0	1,5	3			
27	Tie Rod End	1	0,1	1,43	3,9	8,0	9,43			
28	Front Axle	1	3,0	1,95	0,0	1,5	3,45			
29	Baut pada bagian front axle	1	1,1	1,43	0,0	1,5	2,93			
30	Mur pada bagian front axle	1	8,4	5,8	0,2	2,5	8,3			
31	Steering Knuckle Arm	1	1,0	1,5	0,0	1,5	3			
Total		31					165,66			
								TM	CM	NM

Desain efisiensi = 3 x NM/TM

Untuk mengetahui sejauh mana tingkat efisiensi perakitan dari suatu produk assembly dapat dihitung dengan rumus :
rumus dari E=NM x ta yang bagian terkecil

$$E = \frac{NM \times TA}{TA} = \frac{31 \times 2,93}{165,66} = \frac{90,83}{165,66} = 0,548 \quad (1)$$

rumus dari E=NM x ta yang bagian tengah

$$E = \frac{NM \times TA}{TM} = \frac{31 \times (2,93 + 9,43)}{165,66} = \frac{31 \times 12,36}{165,66} = \frac{383,16}{165,66} = 2,313$$

(2)

Rumus dari $E = NM \times ta$ yang bagian terbesar

$$E = \frac{NM \times TA}{TM} = \frac{31 \times 9,43}{165,66} = \frac{292,33}{165,66} = 1,765$$

(3)

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dan penelitian perancangan sistem kemudi pada FSAE (*Formula Society of Automotive Engineers*) untuk proses kemajuan bagi bangsa Indonesia yang telah dilakukan, Perubahan konsep tentang bagaimana desain kemudi mobil dengan penambahan regulasi FSAE yang berfungsi dapat meringankan kinerja kenyamanan dalam berkendara, Bagaimana cara membuat desain kemudi mobil FSAE dalam segi ergonomi dengan menggunakan aplikasi *catia*, Perubahan sistem kemudi pada tiap kendaraan tidak sama tergantung dari model kendaraan sistem dan masih banyak factor lainnya dapat meningkatkan daya beloknya kendaraan, Analisa tentang pengujian ergonomi/geometer cara menyelesaikan permasalahan dalam menguji ergonomi/geometer diajarkan menggunakan aplikasi *catia* atau *Solid Edge 2021*.

References

1. P. I. Purboputro, M. Alfatih H., M. A. Saputro, and W. Setiyadi, "Uji kemampuan rancangan sistem kemudi, transmisi, dan pengereman pada mobil listrik prototype 'Ababil'," *Prosiding University Research Colloquium*, pp. 118–127, 2018.
2. E. P. Pradana and A. Ansori, "Rancang bangun sistem kontrol power steering pada trainer sistem kemudi sebagai media pembelajaran praktek chassis," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 6, no. 2, pp. 5–9, 2021, doi: 10.26740/jrm.v6i02.39412.
3. B. Setyono and Y. Setiawan, "Rancang bangun sistem transmisi, kemudi, dan pengereman mobil listrik 'Semut Abang'," in *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan III 2015*, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, 2015, pp. 89–96.
4. M. R. Pahlevi and U. Wasiwitono, "Perancangan mekanisme uji karakteristik sistem kemudi," *Laporan Penelitian, Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia*, 2014.
5. A. Nasution, "Studi eksperimental karakteristik pembebanan pada sistem kemudi power steering mobil Daihatsu Taft Hiline," *Surabaya Journal of Automotive Engineering*, vol. 3, no. 2, pp. 45–52, 2017.
6. Catatan: judul, penulis, dan tahun ini muncul pada daftar pustaka artikel asal, tetapi saya belum menemukan sumber primer/jurnal aslinya di indeks daring yang dapat memverifikasi metadata lebih lanjut.
7. A. H. Sulistya, *Car Steering System with Front Wheel Drive. Final Project, Mechanical Engineering Study Program, Engineering Faculty, Sanata Dharma University, Yogyakarta, Indonesia*, 2006.
8. M. Poojari, B. S. Shreyas, R. Muddaiah, A. Raj, and B. S. Babu, "Design, analysis of steering system and front suspension for an electric all-terrain vehicle," *Mater. Today Proc.*, vol. 46, pp. 2848–2857, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2021.03.102.
9. H. Choi and S. Choi, "Design of the steering feedback controller of a steer-by-wire system using admittance model," *Int. J. Automot. Technol.*, vol. 25, pp. 565–574, 2024, doi: 10.1007/s12239-024-00055-1.
10. T. A. Nguyen, "Mathematical modeling and characteristics of automotive electric power steering systems: A state-of-the-art literature review," *Ain Shams Eng. J.*, vol. 16, no. 9, Art. no. 103516, 2025, doi: 10.1016/j.asej.2025.103516.
11. X.-P. Zhao, X. Li, J. Chen, and J.-L. Men, "Parametric design and application of steering characteristic curve in control for electric power steering," *Mechatronics*, vol. 19, no. 6, pp. 905–911, 2009, doi: 10.1016/j.mechatronics.2009.05.003.
12. C. Yang, T. Sun, W. Wang, Y. Li, Y. Zhang, and M. Zha, "Regenerative braking system development and perspectives for electric vehicles: An overview," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 198, Art. no. 114389, 2024, doi: 10.1016/j.rser.2024.114389.
13. J.-O. Han, J.-W. Shin, J.-C. Kim, and S.-H. Oh, "Design 2-speed transmission for compact electric vehicle using dual brake system," *Appl. Sci.*, vol. 9, no. 9, Art. no. 1793, 2019, doi: 10.3390/app9091793.
14. Y. Tian, J. Ruan, N. Zhang, J. Wu, and P. Walker, "Modelling and control of a novel two-speed transmission for electric vehicles," *Mech. Mach. Theory*, vol. 127, pp. 13–32, 2018, doi: 10.1016/j.mechmachtheory.2018.04.023.
15. B. Gao, Q. Liang, Y. Xiang, L. Guo, and H. Chen, "Gear ratio optimization and shift control of 2-speed I-AMT in electric vehicle," *Mech. Syst. Signal Process.*, vols. 50–51, pp. 615–631, 2015, doi: 10.1016/j.ymssp.2014.05.045.