

## ANALISIS DINAMIS FRAME SEPEDA LIPAT

\*Ahmad Herjuno Satrio W<sup>1</sup>, Achmad Widodo<sup>2</sup>, Ojo Kurdi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

\*E-mail: [ahmadherjuno1@students.undip.ac.id](mailto:ahmadherjuno1@students.undip.ac.id)

### Abstrak

Sepeda lipat cukup banyak diminati akhir-akhir ini karena desainnya yang fleksibel dan ringan sehingga mudah dibawa bahkan saat menaiki transportasi umum. Bagian sepeda lipat yang paling utama adalah bagian rangka (*frame*). Frame sepeda harus bisa menahan beban yang bervariasi. Oleh karena itu diperlukan agar frame dapat menahan beban dinamis untuk bergerak. Penelitian ini berfokus pada analisis dinamis untuk struktur *frame* sepeda lipat dari material chromoly (AISI 4130), dengan tujuan untuk menghindari permasalahan beban pada struktur dan untuk memastikan struktur aman ketika beban diterapkan di atasnya. Analisis dinamis *frame* sepeda lipat dilakukan dengan menggunakan metode analisis elemen hingga (FEA). Untuk memastikan bahwa sepeda lipat dapat dilakukan simulasi dinamis, terlebih dahulu dilakukan analisis statis. Jika hasil simulasi statis dinyatakan aman, selanjutnya dapat dilakukan simulasi dinamis dengan cara simulasi frekuensi (modal) dan simulasi pembebanan dinamis (menggunakan test-rig). Dari uji statis yang dilakukan dengan pembebanan 100 kg pada sadel dan 2 kg pada handlebar diperoleh nilai tegangan von mises maksimum sebesar 155,2 MPa. Dan didapat nilai *safety factor* sebesar 2,956. Dari hasil simulasi pembebanan dinamis sepeda lipat dengan beban 100 kg pada sadel dan 2 kg pada *handlebar*, dan melaju dengan kecepatan 9 km/jam melintasi *speedbump* diperoleh nilai minimum *safety factor* rata-rata yang diperoleh sebesar 1,367.

**Kata kunci:** analisis dinamis; fea; sepeda lipat

### Abstract

Folding bikes are in quite a lot of demand these days because of their flexible and lightweight design that makes them easy to carry even when taking public transportation. The most important part of a folding bike is the frame. Bicycle frames must be able to withstand varying loads. Therefore it is necessary that the frame can withstand dynamic loads to move. This research focuses on dynamic analysis for the structure of a folding bike frame made of chromoly material (AISI 4130), with the aim of avoiding load problems on the structure and to ensure that the structure is safe when loads are applied to it. The dynamic analysis of the folding bike frame was carried out using the finite element analysis (FEA) method. To ensure that folding bike can be dynamically simulated, static analysis is first carried out. If the static simulation results are declared safe, then dynamic simulations can be carried out by means of frequency (modal) simulations and dynamic loading simulations (using a test-rig). From the static test carried out by loading 100 kg on the saddle and 2 kg on the handlebar, the maximum von Mises stress value is 155.2 MPa. The calculations of safety factor value is 2.956. From the results of the dynamic loading simulation of a folding bicycle with a load of 100 kg on the saddle and 2 kg on the handlebar, and traveling at a speed of 9 km/h across a speedbump, the average minimum safety factor value is 1.367.

**Keywords:** dynamic analysis; fea; folding bike

## 1. Pendahuluan

Sepeda merupakan alat transportasi sederhana yang telah digunakan oleh manusia sejak ratusan tahun lalu. Sepeda atau *bicycle* adalah kendaraan beroda dua yang menggunakan pedal sebagai penggerakannya. Dengan adanya fenomena dan potensi kedepannya maka dibutuhkan sepeda yang dapat menunjang aktifitas dan kebutuhan pengguna di perkotaan dengan aktifitas yang dinamis dan mobilitas tinggi [1].

Jenis-jenis sepeda yang saat ini banyak beredar antara lain sepeda gunung, sepeda balap, dan sepeda lipat. Dari ketiga jenis sepeda tersebut, yang cukup banyak diminati masyarakat baru-baru ini adalah sepeda lipat. Sepeda lipat banyak digemari karena memiliki fleksibilitas yang tinggi serta bobot yang ringan sehingga memudahkan dalam penyimpanan serta mobilitas saat tidak dikendarai [2].

Perancangan sepeda lipat dilakukan dengan mengutamakan fleksibilitas, namun tetap memperhatikan aspek keselamatan. Oleh sebab itu, diperlukan pengujian kekuatan sepeda lipat pada bagian frame sepeda. Analisis kekuatan

perlu dilakukan untuk mengetahui kekuatan frame pada saat menerima beban statis serta dinamis, serta mengetahui bagian mana yang merupakan titik kritis sehingga dapat dilakukan pencegahan agar tidak mengalami kegagalan [3].

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan perancangan serta analisis dinamis pada frame sepeda lipat. Proses analisis dinamis dari sepeda lipat akan dilakukan dengan menggunakan fitur FEA pada *software* SolidWorks 2018, yaitu SolidWorks Simulation. Analisis diawali dengan metode analisis statis, dilanjutkan analisis dinamis pada frame sepeda lipat yang telah di desain untuk mengetahui kekuatan frame sepeda lipat melalui hasil distribusi tegangan von mises.

## 2. Bahan dan Metode Penelitian

Tahap pertama dalam penelitian ini adalah membuat model geometri *frame* sepeda lipat. Tahap selanjutnya adalah input material desain *frame* sepeda lipat dengan material AISI 4130. Kemudian melakukan persiapan simulasi statis untuk dilakukan proses meshing dan set-up simulasi. Tahapan selanjutnya adalah memasukan data pembebanan serta titik tumpuan sesuai yang dikehendaki. Tahapan terakhir adalah running simulasi statis dan dinamis pada *frame* sepeda lipat menggunakan *software* SolidWorks Simulation 2018. Dari sini akan diperoleh nilai tegangan dari setiap jenis material dari kasus pembebanan statis dan dinamis yang berguna untuk menentukan kekuatan dari masing-masing desain *frame* sepeda lipat.

### 2.1 Komponen Utama Sepeda Lipat

Komponen utama sepeda lipat terdiri atas beberapa bagian yang masing-masing memiliki fungsi tersendiri. Komponen-komponen tersebut harus terbuat dari material yang tepat dan memiliki sifat yang mendukung terciptanya sepeda lipat yang baik. Sifat yang harus dimiliki oleh tiap komponen pada sepeda lipat adalah harus ringan agar mudah dibawa, namun tetap kuat agar aman digunakan. Komponen utama dari sepeda lipat antara lain *frame*, sadel, *handlebar*, roda, *fork*, rem, serta pedal.

### 2.2 Pemodelan Desain *Frame* Sepeda Lipat

Pembuatan desain sepeda lipat menggunakan *software* CAD dengan menggunakan pendekatan dari desain aslinya. *Solid modeling* dilakukan untuk membuat desain sepeda lipat sesuai ukuran geometri desain acuan. Desain sepeda lipat yang digunakan sebagai acuan adalah sepeda lipat yang beredar di pasaran. Proses *solid modeling* dilakukan dengan membuat masing-masing *part* atau bagian sepeda lipat, kemudian digabungkan dalam satu *assembly*. *Software* CAD yang digunakan untuk memodelkan adalah *Solidworks* 2018. Hasil pemodelan bagian-bagian *frame* sepeda lipat akan digunakan pada simulasi statis dan dinamis dengan bantuan *software* FEA *SolidWorks Simulation* 2018

### 2.3 Material *Frame* Sepeda Lipat

Material *frame* sepeda lipat yang digunakan pada penelitian ini menggunakan material *chromoly*. *Chromoly* merupakan material dengan bahan dasar *steel* (baja) serta campuran *chromium* dan *molybdenum*. Pada SolidWorks 2018, material *chromoly* yang dipakai dalam penelitian ini menggunakan nama standar AISI 4130. Jenis *frame* dengan material ini cocok untuk MTB yang digunakan untuk melintasi litan ekstrem. Contohnya MTB *All Mountain* dan *Dirt Jump*, dimana *frame* sepeda akan banyak menerima hentakan keras. Akhir-akhir ini, material ini juga banyak digunakan pada *road bike* dan sepeda lipat Material *chromoly* dipilih karena memiliki sifat yang kuat dan ulet, serta memiliki nilai ekonomis yang cukup tinggi [4].

### 2.4 Pembebanan Statis dan Dinamis

Pada simulasi statis diberi pembebanan statis pada bagian sadel sebesar 100 kg dan pada masing-masing *handlebar* sebesar 2 kg [5]. Simulasi dinamis sendiri dibagi menjadi dua, yaitu uji frekuensi (modal analysis) dan pembebanan dinamis pengendara 100 kg pada sadel dan 2 kg pada masing-masing *handlebar* dengan metode *test rig* [6]. Model drum yang digunakan diberi kontur cembung sebagai pengganti *speed bump* dengan dimensi tinggi 50 mm. Kecepatan sepeda lipat saat melaju di atas drum dibatasi 9 km/jam.

### 2.5 Teori Kegagalan Von Mises dan *Safety Factor*

Dalam penggunaan teori kegagalan yang terpenting adalah menentukan tegangan utama (*principal stress*). Tegangan yang telah dihitung selanjutnya dibandingkan dengan tegangan yang diijinkan oleh kekuatan material yang didapat dari hasil pengujian. Jika tegangan yang dihitung melebihi tegangan yang diijinkan oleh material maka kegagalan dari material akan terjadi. Penggunaan teori kegagalan dibedakan sesuai sifat material yang dianalisis apakah ulet atau getas.

*Von Mises stress* adalah tegangan yang nilainya didapat dari teori kegagalan karena distorsi energi [7]. Jika nilai *von mises stress* melebihi tegangan luluh dari material, desain akan mengalami kegagalan. Struktur akan mengalami kegagalan jika  $\sigma_{vm} \geq \sigma_y$  [8]. Teori kegagalan von mises (distorsi energi) memprediksi bahwa *yield* terjadi ketika energi regangan distorsi per satuan volume mencapai atau melebihi energi regangan distorsi per satuan volume untuk luluh dalam tegangan sederhana atau kompresi dari material yang sama [9]. Dari percobaan-percobaan yang telah dilakukan, menunjukkan bahwa teori distorsi energi (*von Mises*) memperkirakan kegagalan dengan ketelitian tertinggi pada semua kuadran.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Hasil Uji Konvergensi

Untuk menentukan jumlah elemen yang sesuai dilakukan uji konvergensi terlebih dahulu hingga diperoleh hasil yang konvergen pada setiap perubahan ukuran elemen dengan melakukan perbaikan *mesh* secara bertahap dan pada daerah tertentu. Pada proses uji konvergensi material yang digunakan yaitu AISI 4130 sesuai dengan material yang digunakan pada *frame*. Pada proses uji konvergensi ditentukan oleh nilai minimum *safety factor* adalah hasil dari setiap variasi *meshing* dengan *maximum elements size* 3 mm hingga 15 mm.

#### 3.2 Simulasi Statis

Pada analisis statis ini pembebanan diaplikasikan pada dua titik, yaitu pada *seat post* sebesar 100 kg (981 N), dan pada *handlebar* sebesar 2 kg (19.6 N). Tumpuan yang digunakan adalah *Fixed Fixtures* pada keempat titik *dropout* depan dan belakang. Analisis statis dengan metode elemen hingga pada penelitian ini menggunakan fitur *SolidWorks Simulation* pada *software* SolidWorks 2018 yang menghasilkan tiga *output*, yaitu tegangan normal maksimum secara teori *von Mises*, deformasi, dan *Safety Factor* (SF).

Dari hasil analisis statis, pada *frame* sepeda lipat dengan material *chromoly* AISI 4130 diperoleh bahwa nilai tegangan von mises maksimum terletak pada *rear dropout* sebesar 155,2 MPa yang mana nilai tersebut masih aman karena jauh di bawah nilai tegangan luluh yaitu 460 MPa. Bagian lain dengan nilai tegangan von mises yang tinggi juga terdapat pada bagian engsel sambungan *frame* sepeda lipat. Dari nilai tegangan von mises tersebut diperoleh juga nilai *safety factor* minimum pada titik yang sama (*rear dropout*) sebesar 2,965.

#### 3.3 Simulasi Frekuensi (*Modal Analysis*)

Simulasi frekuensi menghasilkan dua *modal properties*, yaitu frekuensi pribadi dan bentuk modus getar. Modul analisis modus getar normal memungkinkan komputasi modus getar normal dari struktur atom serta visualisasi interaktif dari modus getar yang dihitung dengan menganimasikan perpindahan struktur di sepanjang modus getar. Selain itu, perhitungan frekuensi pribadi dan bentuk modus getar yang sesuai berperan penting dalam analisis getaran karena memberikan banyak informasi mengenai karakteristik dinamis dari suatu sistem. Hasil frekuensi pribadi yang diperoleh dari FEA yang dilakukan menggunakan *SolidWorks Simulation*. Sedangkan hasil untuk bentuk modus getar diperoleh modus getar 1 dan 3 mengalami torsional, modus getar 2 dan 4 mengalami bending, dan untuk modus getar 5 mengalami torsional dan bending

Dari hasil analisis modal diperoleh frekuensi pribadi minimum adalah pada modus getar 1 yaitu 46,848 Hz dan untuk frekuensi pribadi maksimum pada modus getar 5 sebesar 423,49 Hz. Frekuensi pribadi tersebut jika dibandingkan dengan frekuensi eksitasi yang disebabkan oleh kontur jalan dengan Grade B sebesar 11,2 Hz [10] masih cukup aman karena keduanya tidak ada nilai yang sama, sehingga tidak terjadi resonansi.

#### 3.4 Simulasi Dinamis

Pada simulasi pembebanan dinamis beban yang diaplikasikan sama seperti pada analisis statis. Perbedaan terletak pada tumpuan yang digunakan, yaitu berupa sepeda lipat utuh lengkap dengan sepasang roda. Simulasi pembebanan dinamis pada penelitian ini menggunakan fitur *SolidWorks Motion* dan *SolidWorks Simulation* pada *software* SolidWorks 2018 yang menghasilkan tiga parameter, yaitu tegangan normal maksimum secara teori *von Mises*, deformasi, dan *Safety Factor* (SF). Dari hasil simulasi pembebanan dinamis sepeda lipat dengan beban 100 kg diperoleh tegangan *von mises* maksimum rata-rata sebesar 313.9 MPa ( $\sigma_y = 460$  MPa). Deformasi maksimum rata-rata sebesar 6.721 mm. Nilai minimum *safety factor* rata-rata sebesar 1.604.

### 4. Kesimpulan

Setelah dilakukan Setelah dilakukan simulasi pembebanan statis sebesar 100 kg pada sadel dan 2 kg pada *handlebar* menggunakan metode elemen hingga didapatkan nilai tegangan maksimum *von misses* pada bagian kontak as roda belakang sebesar 155,2 MPa. Dengan tegangan sebesar itu menghasilkan nilai minimum SF pada titik yang sama sebesar 2,965. Sehingga secara keseluruhan *frame* sepeda lipat dapat dinyatakan aman saat diberi pembebanan statis. Sedangkan hasil simulasi pembebanan dinamis sebesar 100 kg pada sadel dan 2 kg pada *handlebar* dengan kecepatan 9 km/jam melintasi speedbump dan lubang setinggi 5 cm menggunakan metode elemen hingga didapatkan nilai tegangan maksimum *von misses* pada bagian *chainstay* sebesar 380,4 MPa. Dengan tegangan sebesar itu menghasilkan nilai minimum SF pada titik yang sama sebesar 1,209. Sehingga secara keseluruhan *frame* sepeda lipat dapat dinyatakan aman saat diberi pembebanan dinamis. Hasil simulasi modal membuktikan bahwa frekuensi eksitasi yang disebabkan oleh kontur jalan tidak sama dengan frekuensi pribadi dari *frame* sehingga tidak terjadi resonansi.

### 5. Daftar Pustaka

- [1] Kamiel, B., Nugraha, G., dan Sunardi., 2018, "Perancangan dan Analisis Kekuatan Frame Sepeda Lipat Menggunakan Autodesk Inventor," *JMPM*, 2(2), pp. 126-135.
- [2] Nisa, A. dan Iskandriawan, B., 2017, "Desain Sepeda Kota dengan Konsep Folding Bike untuk Penyimpanan Ruang Terbatas dengan Pengguna Mobilitas Tinggi," *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 6(2), pp. 124-128.

- [3] Monoarfa, Q., Adiluhung, H., dan Zulkarnain, T., 2022, "Perancangan Folding Bike Storage untuk di Rumah Dengan Fitur Dekorasi," e-Proceeding of Art & Design, 9(1), pp. 191-196.
- [4] Bringas John E., 2004. "*Handbook of Comparative World Steel Standard*," 2<sup>nd</sup> ed. West Chonshohocken, PA: ASTM International.
- [5] Wu, C., 2003, "*A Study on Computer Aided Optimization Design for the Frame Form Generation of Electric Bicycle*," Tatung University. Taiwan.
- [6] Titlestad J, Fairlie-Clarke T, Davie M, Whittaker A, Grant S., 2003, "*Experimental Evaluation of Mountain Bike Suspension Systems*," Acta Polytechnica, Jan 5;43(5).
- [7] Budynas, R. G., dan Nisbett, J. K., 2015, "*Shigley's Mechanical Engineering Design*" (Vol. 10). New York: McGraw-Hill.
- [8] Juvinall RC, Marshek KM. "*Fundamentals of Machine Component Design*". John Wiley & Sons; 2020 Jun 23.
- [9] Bhandari VB., "*Design of Machine Elements*," Tata McGraw-Hill Education; 2010.
- [10] Wong JY., "*Theory of Ground Vehicles*," John Wiley & Sons; 2022 Aug 23.