

**Desain dan Analisa Single-Sided Regenerative Swingarm Untuk  
E-Scooter**

*Design and Analysis of Single-Sided Regenerative Swingarm for  
E-Scooter*

**Bimo Eko Saputra<sup>1</sup>, Harus Laksana Guntur<sup>2\*</sup>**

<sup>1</sup> Department of Mechanical Engineering, ITS, Sukolilo Surabaya 60111, Indonesia

<sup>2\*</sup> Department of Mechanical Engineering, ITS, Sukolilo Surabaya 60111, Indonesia

email: [bimoeko3235@gmail.com](mailto:bimoeko3235@gmail.com), <sup>2\*</sup>Correspondence Author: [haruslg@me.its.ac.id](mailto:haruslg@me.its.ac.id)

---

**Abstrack**

Pada penelitian ini, dilakukan perancangan dan simulasi Regenerative Swingarm (RSA) untuk meningkatkan efisiensi energi kendaraan listrik. RSA memanfaatkan gerakan naik-turun swingarm belakang untuk menghasilkan listrik melalui generator yang dihubungkan dengan spur gear yang dilengkapi one way clutch. Desain swingarm dibuat menggunakan SolidWorks 2020 dengan jenis single-sided, dan ada tiga variasi desain: tulang silang, tulang lurus, dan tanpa tulang. Simulasi struktural menggunakan Ansys Workbench R2 2021 menunjukkan bahwa desain tanpa tulang mengalami stress maksimum paling tinggi, mencapai 532,26 MPa dalam kondisi pembebanan statis, dan 725,52 MPa saat pengereman. Sebaliknya, desain tulang lurus memiliki stress maksimum terendah, yakni 231,83 MPa dan 307,11 MPa dalam kondisi yang sama. Total Deformation maksimum juga terbesar pada desain tanpa tulang (3.9 dalam kondisi statis dan 7.6 saat pengereman), sementara desain tulang silang memiliki Total Deformation terkecil (0.32 dan 0.085). Temuan ini menunjukkan bahwa desain dengan elemen tulang dapat mengurangi stress dan deformasi pada swingarm, menandakan keunggulan strukturalnya. Hasil ini dapat digunakan untuk memilih desain yang optimal dalam memproduksi RSA, mempertimbangkan kekuatan dan kinerja strukturalnya untuk aplikasi kendaraan listrik yang efisien secara energi.

**Kata kunci :** E-Scooter, Inovasi, Gerak translasi-rotasi, Regenerative Swingarm

**Abstrack**

*In this study, the design and simulation of a Regenerative Swingarm (RSA) were conducted to enhance the energy efficiency of electric vehicles. The RSA harnesses the up-and-down motion of the rear swingarm to generate electricity through a generator connected to a spur gear equipped with a one-way clutch. The swingarm design was created using SolidWorks 2020, featuring a single-sided type, with three variations: crossbone, straight bone, and without bone. Structural simulations using Ansys Workbench R2 2021 revealed that the boneless design experienced the highest maximum stress, reaching 532.26 MPa under static loading and 725.52 MPa during braking. Conversely, the straight bone design exhibited the lowest maximum stress, at 231.83 MPa and 307.11 MPa under the same conditions. The*

*maximum Total Deformation was also greatest in the boneless design (3.9 under static conditions and 7.6 during braking), while the crossbone design showed the smallest Total Deformation (0.32 and 0.085). These findings indicate that designs incorporating bone elements can reduce stress and deformation in the swingarm, highlighting their structural advantages. These results can guide the selection of an optimal design for RSA production, considering both strength and structural performance for efficient energy application in electric vehicles.*

*Keywords: E-Scooter, Innovation, Translation-Rotation Motion, Regenerative Swingarm*

## 1. Pendahuluan

Swing arm merupakan salah satu bagian yang penting kendaraan listrik. Fungsi dari swing arm yaitu menghubungkan rangka kendaraan ke rakitan roda belakang. Melalui swing arm tenaga dari motor listrik bisa diteruskan ke roda belakang.

Beberapa peneliti telah menganalisa mengenai potensi energi harvesting yang terdapat pada suspensi dan swing arm kendaraan. Masih banyak hasil dari penelitian yang belum optimal sehingga pengembangan RESA (Regenerative Shock Absorber) dan RSA (Regenerative Swing Arm) terus dilakukan agar bisa mencapai kebutuhan yang diharapkan yaitu listrik yang dihasilkan. Desain RSA dapat dikelompokkan menjadi 2 bagian yaitu linear dan rotary. linear berarti menguah gerakan naik-turun dari suspensi secara langsung melalui linear magnet untuk menghasilkan listrik. rotary berarti mengubah gerak naik-turun suspense menjadi gerak rotasional melalui gear yang selanjutnya dihubungkan ke generator untuk menghasilkan listrik. **Tang dkk (2014)** mendesain dari linear RSA dimana hasil efisiensi listrik mencapai 70%-80% tetapi memiliki koefisien redaman yang rendah. karena menghasilkan koefisien redaman rendah maka penelitian mengenai rotary RSA lebih mendominasi dalam beberapa tahun belakang. **Taraborrelli, dkk (2017)**, Paper ini berfokus pada efek dari deformasi pada swingarm double handed pada kestabilan motor. Dengan menggunakan metode twist axis untuk mencari lumped stiffnes dan damping elements, Untuk bisa menghasilkan bending dan torsi deformasi pada swingarm. Hasil dari perhitungan ini digunakan untuk membuktikan bahwa deformability memiliki efek yang kecil terhadap stabilitas sepeda motor sport. **Ilham Winarno dan Eka Marliana (2018)** Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kegagalan struktur yang terjadi terhadap jenis material swingarm pada sepeda motor Honda Supra X 125R akibat pembebanan statis yang terjadi. Analisa statistika dilakukan untuk mengetahui nilai tegangan ekuivalen dan displacement yang terjadi pada struktur swingarm, serta melakukan analisa kegagalan untuk mengetahui umur siklus pembebanan dan faktor keamanan yang didapatkan. **Ahmad Kholil (2013)** Analisis dinamika struktur yang dilakukan pada lengan ayun (swing arm) bertujuan untuk mengetahui karakteristik struktur lengan ayun sepeda motor pada sistem suspensi monoshock. **Polychronis Spanoudakis, dkk (2020)** berfokus pada swingarm single side depan pada scooter listrik 3 roda. Tujuan dari penelitian ini yaitu mengembangkan swingarm yang mampu menahan gaya yang diterapkan selama pengoperasian dan bisa bertahan selama mungkin. **Bayu Mega Suryana (2020)** mampu merancang bangun RSA pada scooter electric dengan memanfaatkan gear sebagai gerak rotary yang selanjutnya diteruskan ke generator untuk menghasilkan listrik kemudian disimpan dibaterai. didapat hasil tegangan dan daya maksimum yaitu dengan nilai 0,0042 V dan 1,82E-09 W pada frekuensi 15 hrtz, hambatan 15 ohm dengan massa unbalance 1200 gr.

Pada penelitian ini akan dikembangkan desain prototype dari RSA (Regenerative Swing Arm) yang sebelumnya diteliti oleh Bayu Mega Suryana (2020) dari Teknik Mesin

ITS. desain prototype dari RSA (Regenerative Swing Arm) yang sebelumnya menggunakan jenis lengan ayun double berbahan dasar aluminium. Permasalahan yang dialami penelitian tersebut yaitu peforma dari desain swingarm yang dibuat kurang maksimal sehingga mengakibatkan energi yang dihasilkan masih tergolong kecil. Maka dari itu, pada RSA kali ini melakukan pemodelan dan simulasi pada salah satu komponen swing arm yang menggunakan jenis lengan ayun sisi tunggal dan bahan dasar plat aluminium. hal tersebut dilakukan untuk menginvestigasi perbedaan jenis dan desain terhadap swingarm berpengaruh terhadap energi yang akan dihasilkan atau tidak.

## 2. METODE

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan dan energi bangkitan dari desain *regenerative swingarm* melalui simulasi. Analisis kekuatan yang dilakukan yaitu berupa pengujian pembebanan statis menggunakan *software Ansys Workbench*. Sedangkan analisis energi bangkitan dilakukan menggunakan *software Matlab Simulink* melalui pemodelan dinamis kendaraan. Sehingga dari hasil pengujian tersebut akan didapatkan data yang nantinya bisa dianalisa untuk mengetahui kekuatan dan energi bangkitan dari desain *regenerative swingarm*.

### 2.1 Parameter Kendaraan

Pada penelitian *single side-regenerative swingarm*, parameter kendaraan mengacu pada spesifikasi kendaraan e-scooter volta 302. Berikut merupakan tabel spesifikasi kendaraan e-scooter volta 302 :

**Tabel 1.** Parameter Kendaraan

Wheelbase	1230 mm
Groundclearance	160 mm
Roda	16 x 2,50 inch
Dimensi (P x L x T)	1700 x 680 x 1260 mm
Berat bagian depan	23,70 kg/232,42 N
Berat bagian belakang	42,45 kg/416,30 N
Berat kendaraan	66 kg/647,24 N
Pengendara	92 kg/902,22 N
Kecepatan Maksimum	40 km/jam
Jarak Tempuh	40 km
Motor	600 Watt

### 2.2 Material

Pada penelitian *single side-regenerative swingarm*, material yang digunakan adalah Aluminium 7075 T6. Material ini dipilih karena ketersediaan material di pasaran Indonesia. Berikut merupakan properties dari material Aluminium 7075 T6 yang diambil dan akan digunakan dalam simulasi :

**Tabel 2.** *Material Properties Aluminium 7075-T6*

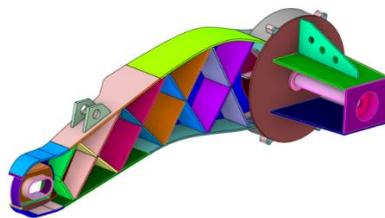
Parameter	Spesification
Density	2,81 g/cm <sup>3</sup>
Ultimate Tensile Strenght	600 MPa
Yield Strenght	520 MPa
Young Modulus	72 GPa
Possion's Ratio	0,33

### 2.3 Analisa Kekuatan Desain Swingarm

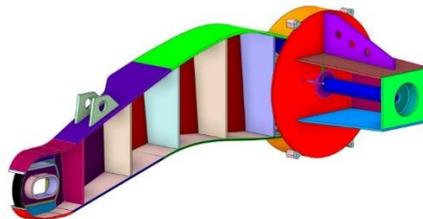
Analisis kekuatan terhadap desain *regenerative swingarm* dilakukan secara simulasi menggunakan *software Ansys Workbench R2 202*. Pada analisis kekuatan ini menggunakan pembebanan statis (*static structural*). Beban yang digunakan yaitu beban kendaraan ditambah dengan beban pengendara.

#### a. Pembuatan Geometri

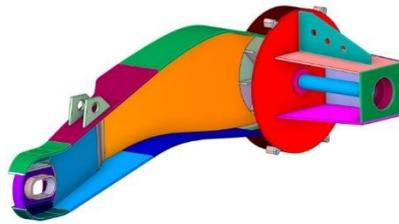
Pembuatan desain dilakukan dengan bantuan *software solidwork 2020* lalu kemudian di simpan dalam format file (.STEP), hal ini dilakukan agar file desain bisa di import ke *software ANSYS R2 2021*. Untuk megimport file, menggunakan fitur pada ANSYS yaitu *spaceclaim*. Berikut merupakan variasi desain dari *single sided-regenerative swingarm* :



**Gambar 1.** *Swingarm Tulang Silang*



**Gambar 2.** *Swingarm Tulang Lurus*



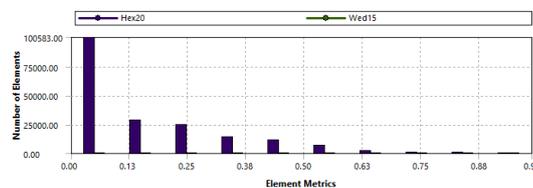
Gambar 3. *Swingarm* Tanpa Tulang

b. Meshing

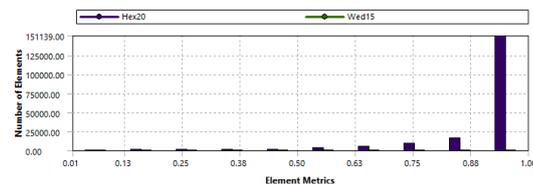
Mesh adalah bagian integral dari proses simulasi teknik yang dimana geometri kompleks dibagi menjadi elemen sederhana yang dapat digunakan sebagai pendekatan lokal diskrit dari domain yang lebih besar dengan tujuan untuk mendapatkan hasil komputasi yang lebih detail dan akurat. Proses meshing sangat mempengaruhi hasil simulasi yang dilakukan. Oleh karena itu pada proses meshing dilakukan pengaturan parameter sesuai dengan kebutuhan penelitian. Kualitas mesh yang baik bisa dicek melalui uji konvergensi meshing. Uji konvergensi meshing dilakukan dengan mengacu pada nilai yang terdapat pada metrics spectrum dari *skewness mesh* & *orthogonal quality mesh*. Kualitas mesh yang baik apabila nilai *skewness* mendekati 0 dan nilai *orthogonal quality* mendekati 1.



Gambar 4. *Meshing Swingarm Tulang Silang*



Gambar 5. *Skewness Swingarm Tulang Silang*

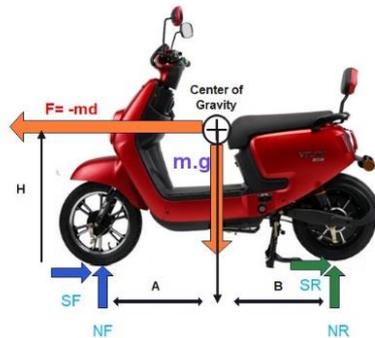


Gambar 6. *Orthogonal Quality Swingarm Tulang Silang*

c. Processing

Processing disini yaitu menguji *swingarm* saat kondisi statis yang kemudian diberi beban untuk melihat kekuatan struktur dari *swingarm* tersebut. Pengujian ini menggunakan prinsip finite element (FEA). Proses analisa tersebut dilakukan dengan bantuan *software ansys* yang mana output yang dihasilkan berupa nilai deformasi dan nilai

stress. Pembebanan yang dilakukan pada penelitian disini ada 2 skenario, skenario pertama yaitu pembebanan dengan gaya terdistribusi dan skenario kedua yaitu pembebanan dengan gaya pengereman. Dengan memodelkan e-scooter volta 302 dan pengendara, akan diperoleh nilai perhitungan yang bisa dijadikan data yang nantinya diperlukan untuk kebutuhan simulasi. Berikut merupakan pemodelan beban terdistribusi dari e-scooter volta 302 :



**Gambar 7.** Pemodelan E-scooter Volta 302 dengan distribusi beban dan gaya pengereman

Berdasarkan gambar di atas, langkah pertama yang perlu dilakukan yaitu mencari Center of Gravity (CoG) untuk menentukan pusat distribusi beban yang diterima kendaraan. CoG nantinya akan digunakan untuk mengetahui seberapa besar gaya yang akan bekerja pada ban. Pada penelitian ini, berat kendaraan ditambah dengan pengendara yaitu  $(66+92 = 158 \text{ kg})$  yang merupakan beban yang bekerja pada CoG.

Dengan menjumlahkan gaya-gaya pada sumbu x dan z yang bekerja pada pusat gravitasi (CoG) di kendaraan maka diperoleh persamaan untuk pembebanan sebagai berikut :

$$S_f + S_r = md \quad (1)$$

$$N_f + N_r = mg \quad (2)$$

$$N_r b - N_f a + (S_r + S_f)h = 0 \quad (3)$$

Dimana ,

$S_f$  = Gaya pengereman pada ban depan,

$S_r$  = Gaya pengereman pada ban belakang

$N_f$  = Gaya reaksi jalan ke ban depan

$N_r$  = Gaya reaksi jalan ke ban belakang

$d$  = Deakselerasi

$m$  = total berat

$m.d$  = Gaya inersia dari pengereman.

Apabila persamaan (1)-(3) diuraikan lagi berdasarkan  $N_f$  dan  $N_r$  maka diperoleh :

$$N_f = mg \frac{b}{a+b} + md \frac{h}{a+b} \quad (4)$$

$$N_r = mg \frac{a}{a+b} - md \frac{h}{a+b} \quad (5)$$

Sehingga dari persamaan diatas, maka distribusi berat yang bekerja pada roda depan dan belakang dapat diperoleh. Seperti yang dijelaskan diatas, distribusi gaya berat

pada ban ditentukan dari posisi pusat gravitasi (CoG) dan berat kendaraan termasuk pengemudi, pada penelitian ini sebesar 158 kg. Dengan mengurangi massa *unsprung* dari *wheel hub motor* dan roda yang diasumsikan sebesar 7 kg maka total berat yang bekerja pada CoG adalah  $m_{tot} = 151 \text{ kg}$ . Maka distribusi gaya berat pada roda depan dan belakang dengan mengasumsikan  $d = 0$ , diperoleh :

Roda Belakang :

$$N_r = mg \frac{a}{a+b} - md \frac{h}{a+b}$$

$$N_r = 151 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 \frac{(0.789\text{m})}{(0.789) + (0.441\text{m})} - (0) \quad (0)$$

$$N_r = 950,21 \text{ N}$$

Dengan mempertimbangkan bahwa gaya ini diteruskan hingga kesuspensi, asumsi suspensi dipasang pada posisi  $60^\circ$ , Maka suspensi bereaksi dengan memberikan gaya yang sama kearah berlawanan yang dibagi menjadi komponen vertikal dan horizontal sebagai berikut :

$$F_{S_{vertikal}} = N_r \times \cos 60 = 475.105 \text{ N}$$

$$F_{S_{horizontal}} = N_r \times \sin 60 = 822.9 \text{ N}$$

Selanjutnya pembebanan dilakukan dalam kondisi pengereman. Selain beban, terdapat gaya - gaya yang bekerja saat kondisi pengereman yaitu gaya pengereman dan gaya gesek pada ban.

Seperti pada persamaan (1), Gaya total pengereman  $S_{total}$  adalah :

$$S_{tot} = S_f + S_r = md \quad (6)$$

Tujuan dari pembebanan saat pengereman ini yaitu untuk memastikan keamanan dari *swingarm* saat pengereman dan pengemudi terhindar dari kondisi *tire skidding*. *Skidding* merupakan suatu kondisi dimana roda kehilangan gaya cengkram pada jalan. Suatu batas traksi didefinisikan sebagai  $D$ , yang dipertimbangkan melalui rasio gaya gesek  $\mu$  ( normalisasi gaya pengereman) dengan dipengaruhi oleh gaya pengereman  $S$  dan beban vertical  $N$ . Sehingga untuk menjaga cengkraman ban ke jalan pada saat pengereman maka rasio tersebut tidak boleh melebihi nilai dari  $D$ . Dimana ( $D_f$ ) untuk ban depan dan ( $D_r$ ) untuk ban belakang.

$$\mu_f = \frac{S_f}{N_f} < D_f \quad (7)$$

$$\mu_r = \frac{S_r}{N_r} < D_r \quad (8)$$

Saat total gaya pengereman  $S_{total}$  meningkat, maka fenomena *tire skidding* kemungkinan terjadi pada roda depan atau roda belakang, tergantung dengan distribusi gaya pengeremannya. Sehingga untuk mengkaji fenomena tersebut, maka rasio keseimbangan pada pengereman  $\rho$  diperkenalkan, dengan menghubungkan gaya pengereman pada ban belakang dan total gaya pengereman :

$$\rho = \frac{S_r}{S_f + S_r} = \frac{S_r}{S_{tot}} \quad (9)$$

Dengan menggunakan persamaan (3.1)-(3.3) dan (3.7)-(3.9), maka normalisasi gaya gesek  $\mu$  dapat diekspresikan dalam fungsi deakselerasi  $d$  dan keseimbangan pengereman  $\rho$ , sebagai berikut :

$$\mu_f = (1 - \rho) \frac{(a+b)d}{ag+hd} \quad (10)$$

$$\mu_r = \rho \frac{(a+b)d}{ag-hd} \quad (11)$$

Dimana ketika  $\rho = 0$  maka  $\mu_r = 0$ , artinya hanya rem bagian depan yang digunakan, sedangkan ketika  $\rho = 1$ , maka hanya roda bagian belakang yang digunakan. Menurut Joakim (2015), Untuk menghitung rasio pengereman pada kondisi sesaat sebelum terjadinya skidding, maka laju pengereman atau deakselerasi pada kondisi ini harus diketahui. Dengan mengasumsikan koefisien gesek ban belakang dan depan sama, maka gaya total pengereman pada kondisi sesaat sebelum terjadinya skidding dapat dihitung melalui persamaan (3.2) :

$$F_{skid} = (N_f + N_r)\mu = mg\mu \quad (12)$$

Dengan menyamakan persamaan (6) dengan (12) maka ekspresi dari laju pengereman maksimum dapat diperoleh :

$$F_{skid} = S_{total} \Rightarrow d = -\mu g \quad (13)$$

Tanda negatif mengindikasikan bahwa kendaraan dalam kondisi mengerem/deakselerasi. Pada umumnya, koefisien gesek dari ban ditentukan oleh kondisi jalan (basah dan kering) dan dipengaruhi oleh material jalan (aspal, beton). Meski begitu, ban pada kendaraan roda 2 berbeda dengan roda 4. Berbeda dari segi bentuk dan kontak dengan jalan. Hasil penelitian terkait kontak ban roda 4 dengan jalan yang terbuat dari aspal dengan kondisi kering dilakukan oleh Lambourn, R (2010) dengan hasil koefisien gesek pada kendaraan roda 4 rentang nilai  $0.7 < \mu < 0.9$ . Serta pada kendaraan roda 2 diperoleh nilai  $\mu = 0.8$  pada kondisi jalan kering. Dengan mempertimbangkan semua informasi diatas, maka perhitungan yang digunakan pada penelitian ini menggunakan referensi koefisien gesek untuk roda depan dan belakang sebesar  $\mu_f = \mu_r = 0.8$ . Sehingga berdasarkan persamaan (3.13) dengan mengasumsikan  $\mu = 0.8$ , maka secara teori laju pengereman maksimum agar ban tidak mengalami *skidding* terhitung sebesar  $d = 0.8 g$ . Berdasarkan persamaan (8) dan  $\mu_f = \mu_r = 0.8$  dan  $N_f, N_r$  maka gaya pengereman pada ban belakang dapat diperoleh sebesar :

$$S_r = \mu_r \times N_r$$

$$S_r = 0.8 \times (950,21 N) = 760.168 N$$

Momen yang diakibatkan oleh gaya pengereman  $S_r$  juga dapat dihitung sebesar dengan radius ban kendaraan :

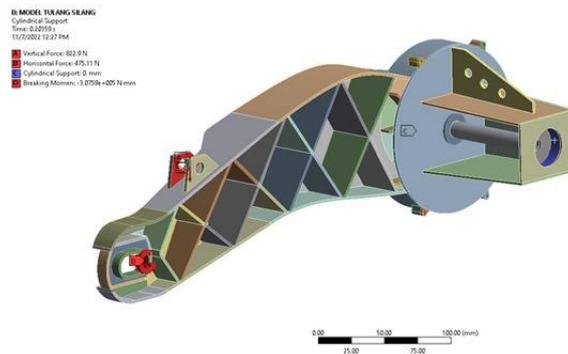
$$M_{br} = S_r \times R = 760.168 \times 0.4064 m$$

$$M_{br} = 307.594 Nm$$

Gaya-gaya dan momen yang terjadi disini adalah skenario pembebanan swing arm saat laju pengereman./deakselerasi adalah sebesar  $d = 0.8 g$  dengan asumsi  $\mu = 0.8$  agar kendaraan terhindar dari terjadinya *skidding*.

#### d. Boundary Condition

Batas kondisi (*boundary condition*) adalah kondisi-kondisi batas atau kontrol perhitungan yang dimasukkan sebelum dilakukan proses simulasi. Boundary condition yang akan ditentukan antara lain adalah: titik tumpuan (support), titik peletakan beban.



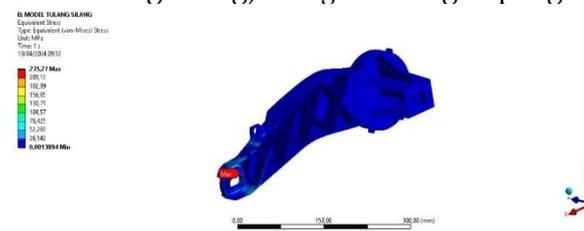
Gambar 8. Boundary Condition Pengujian Static

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

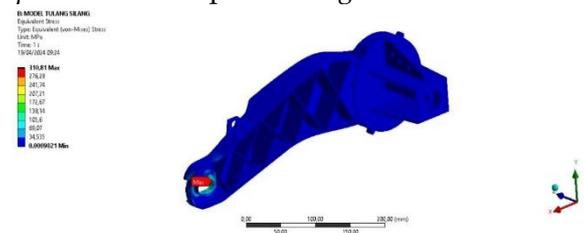
#### a. Hasil Simulasi Pembebanan Statis (Ansys Workbench)

##### [1] Equivalent Stress

Berikut merupakan nilai *equivalent stress* hasil simulasi *static structural* pada salah satu variasi (variasi model tulang silang) *swingarm* dengan pengaturan *boundary condition*.



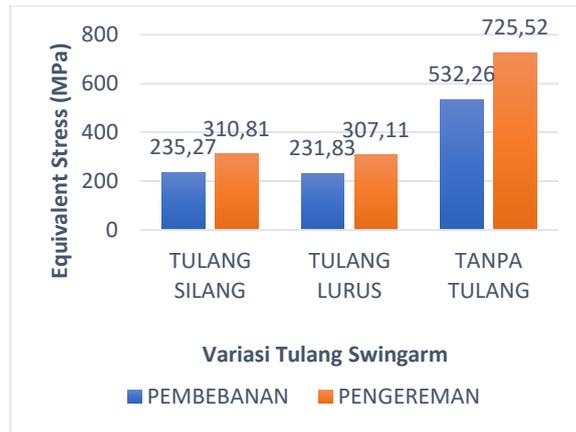
(a) Equivalent Stress pada *swingarm* saat kendaraan diam



(b) Equivalent Stress pada *swingarm* saat pengereman

Gambar 9. Hasil Simulasi Static Equivalent Stress

Gambar diatas merupakan hasil *equivalent stress* dari *swingarm* saat kendaraan diam dan saat pengereman. *Stress* maksimum dari kedua kondisi terletak pada bagian poros roda. Hal ini dikarenakan sebagian besar gaya bertumpu pada poros roda. Berikut merupakan nilai *stress* maksimum dari ketiga variasi *swingarm* dengan 2 kondisi :

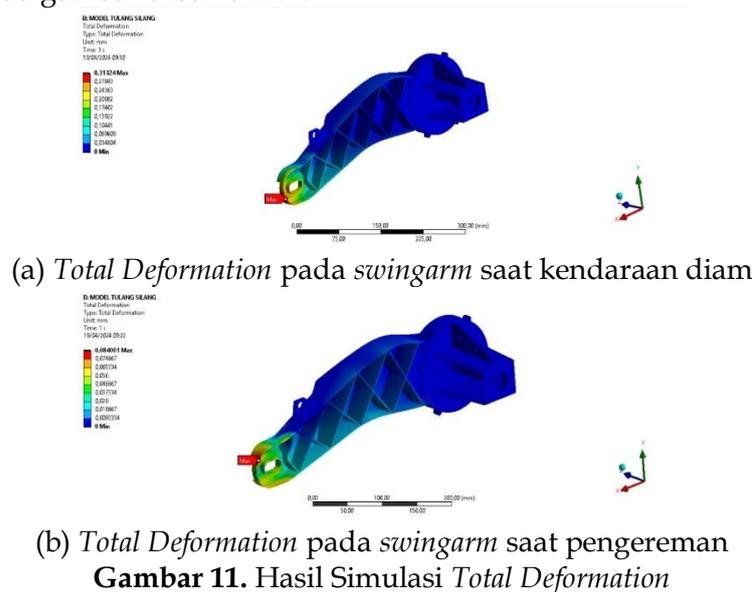


Gambar 10. Perbandingan nilai stress pada 3 variasi swingarm

Pada gambar diatas, terlihat nilai stress dari ketiga variasi dan 2 kondisi dari swingarm. Nilai stress tertinggi berada pada variasi tanpa tulang di kedua kondisi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dari desain swingarm ini, pemberian tulang/rusuk terhadap bagian swingarm sangat berpengaruh pada kekuatan struktur swingarm untuk menahan beban dan gaya yang dialami kendaraan.

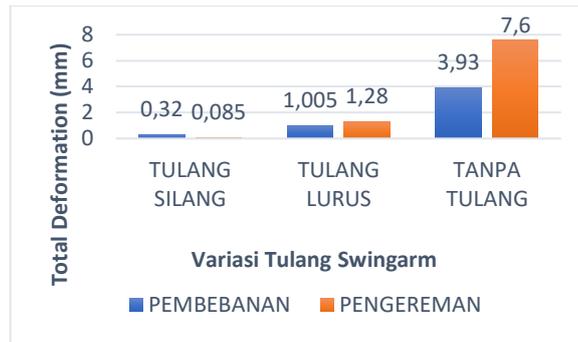
[2] Total Deformasi

Berikut merupakan hasil deformasi dari salah satu variasi (variasi model tulang silang) swingarm setelah diberikan beban dari kendaraan E-Scooter dengan pengaturan boundary condition yang sudah dijelaskan di bab sebelumnya. Untuk Hasil lebih lengkapnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 11. Hasil Simulasi Total Deformation

Gambar diatas merupakan hasil Total Deformation dari swingarm saat kendaraan diam dan saat pengereman. Deformasi maksimum dari kedua kondisi terjadi di area tempat poros roda karena sebagian besar gaya terjadi di area tersebut. Berikut merupakan nilai deformasi dari ketiga variasi swingarm dengan 2 kondisi :



**Gambar 12.** Perbandingan nilai *total deformation* pada 3 variasi *swingarm*

Pada gambar diatas, terlihat nilai *total deformation* dari ketiga variasi dan 2 kondisi dari *swingarm*. Nilai *total deformation* tertinggi berada pada variasi tanpa tulang di kedua kondisi.

[3] Safety factor

Setelah menampilkan hasil simulasi statis yang menampilkan nilai *stress* yang terjadi maka dapat dicari nilai *safety factor* dari desain yang dibuat. Analisa *safety factor* digunakan untuk mengevaluasi kemandan dari struktur *swingarm* yang diteliti. *Safety factor* didapatkan dengan membandingkan *stress* yang terjadi dengan *yield strength* dari material yang digunakan yang mana pada penelitian ini menggunakan material Aluminium 7075 T6 (520 MPa). Jika nilai *safety factor* lebih besar 1 maka model dianggap sudah aman. Untuk *safety factor* pada penelitian ini dibagi menjadi 3 yaitu *safety factor* dari *swingarm* tulang silang, tulang lurus, dan tanpa tulang. Berikut merupakan nilai *safety factor* pada penelitian ini.

**Tabel 3.** Nilai *Safety Factor* dari *Swingarm*

Kondisi	Nilai <i>Safety Factor</i>		
	Tulang Silang	Tulang Lurus	Tanpa Tulang
Pembebanan	2,21	2,25	0,98
Pengereman	1,68	1,69	0,72

Berdasarkan tabel diatas, dapat disimpulkan bahwa untuk variasi desain *swingarm* yang aman untuk digunakan yaitu variasi tulang silang dan tulang lurus karena nilai *safety factor* lebih dari 1. Sedangkan desain *swingarm* variasi tanpa tulang dapat disimpulkan tidak aman untuk digunakan karena nilai *safety factor* dibawah 1.

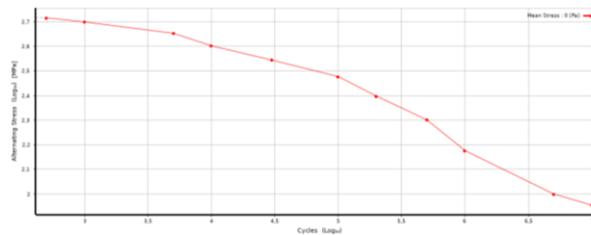
[4] Fatigue

*Fatigue* merupakan kelelahan suatu struktur/benda setelah menerima beban secara berulang (*cyclic loading*). Pada penelitian ini analisa *fatigue* digunakan untuk mengetahui umur dari struktur *swingarm single-sided* yang didesain saat diberi beban, sehingga dari analisa tersebut bisa diketahui desain *swingarm* layak tidaknya untuk dimanufaktur dan digunakan dalam jangka panjang. Pada kasus ini, analisa *fatigue* *swingarm* dilakukan dengan mengacu pada teori Maurice Goodman (1941). Point utama dari teori goodman yaitu memanfaatkan nilai tegangan (*stress*) yang dihasilkan dari pembebanan untuk mengetahui nilai *fatigue* dari suatu struktur/benda. Nilai *fatigue* biasanya disajikan dalam bentuk

kurva S-N dimana S=Stress dan N=Nilai dari siklus yang diijinkan suatu material. Untuk penelitian ini *swingarm* menggunakan material Aluminium 7075-T6 dengan nilai fatigue maksimal yaitu  $1 \times 10^7$  siklus. Berikut kurva S-N material Aluminium 7075-T6 :

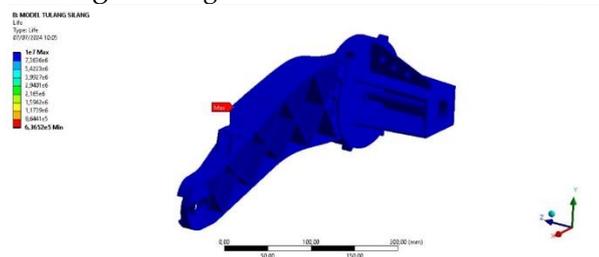
**Tabel 4.** Parameter nilai *Stress* terhadap siklus *fatigue*

Tegangan/Stress (MPa)	Siklus Hingga Patah
90	$1 \times 10^7$
100	$5 \times 10^6$
150	$1 \times 10^6$
200	$5 \times 10^5$
250	$2 \times 10^5$
300	$1 \times 10^5$
350	$3 \times 10^4$
400	$1 \times 10^4$
450	$5 \times 10^3$
500	$1 \times 10^3$
520	$5 \times 10^2$



**Gambar 13.** Kurva S-N *Fatigue*

Setelah didapat data kurva S-N, memasukkan data tersebut kedalam engineering data di ansys workbench yang akan digunakan untuk analisa fatigue. Berikut merupakan hasil fatigue life desain *swingarm single-sided* :



**Gambar 14.** *Fatigue Life*

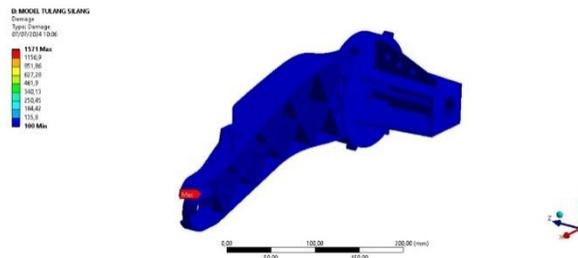
**Tabel 5.** Variasi *swingarm* terhadap *fatigue life*

Variasi Desain <i>Swingarm</i>	<i>Fatigue Life</i> (Siklus)
<i>Swingarm</i> Tulang Silang	$6,37 \times 10^5$

Swingarm Lurus	Tulang	$3,06 \times 10^5$
Swingarm Tulang	Tanpa Tulang	0

Setelah dilakukan analisa fatigue, dapat diketahui untuk material Aluminium 7075-T6 memiliki nilai fatigue maksimum yaitu  $1 \times 10^7$ . Kerusakan akibat kelelahan material pada suatu struktur searah dengan besaran tegangan yang dialami oleh struktur desain *swingarm*. Jadi, semakin kecil tegangannya akan meningkat jumlah siklusnya dan bisa mencapai umur maksimalnya. Dari ketiga desain *swingarm* tersebut, desain *swingarm* tulang silang yang memiliki nilai *fatigue life* lebih baik dibanding desain lainnya yaitu sebesar  $6,37 \times 10^5$  siklus.

Berikut merupakan hasil fatigue damage desain *swingarm single-sided* :



Gambar 15. Fatigue Damage

Tabel 6. Variasi *swingarm* terhadap *fatigue damage*

Variasi Desain <i>Swingarm</i>		<i>Fatigue Damage</i> (siklus)
<i>Swingarm</i> Silang	Tulang	1571
<i>Swingarm</i> Lurus	Tulang	3273,6
<i>Swingarm</i> Tulang	Tanpa Tulang	$1 \times 10^{32}$

*Fatigue Damage* merupakan kerusakan/kelelahan yang dialami suatu struktur akibat beban/stress yang berulang-ulang atau beresilasi. Kerusakan struktur desain bisa dipengaruhi banyak factor salah satunya yaitu tegangan beresilasi/*stress cycle*. Pada desain *swingarm* ini, yang mengalami *fatigue damage* paling tinggi yaitu  $1 \times 10^{32}$ .

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Studi ini membandingkan berbagai desain *swingarm* dalam simulasi statis struktural, fokus pada deformasi total maksimum dan tegangan maksimum dalam kondisi pembebanan statis serta beban pengereman. Desain variasi tanpa tulang menunjukkan deformasi total maksimum yang signifikan lebih besar (hingga 3.9 dalam kondisi statis dan 7.6 dalam beban pengereman) dibandingkan dengan desain variasi tulang lurus (0.32 dalam statis dan 0.085 dalam pengereman). Tegangan maksimum juga lebih tinggi pada desain tanpa tulang (hingga 725.52 MPa) dibandingkan dengan desain tulang lurus (307.11 MPa). Rekomendasi untuk penelitian selanjutnya termasuk analisis mekanisme kegagalan

struktural lebih lanjut, eksplorasi material alternatif seperti komposit, dan perencanaan yang matang dalam analisis struktural untuk meningkatkan kekuatan dan ketahanan swingarm secara keseluruhan. Penelitian ini menegaskan pentingnya desain struktural yang optimal untuk memperbaiki performa dan ketahanan komponen-komponen krusial seperti swingarm dalam kendaraan.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Apresiasi tulus dan ucapan terima kasih saya sampaikan kepada Prof.Dr.Eng. Harus Laksana Guntur, ST, M.Eng. atas dorongan yang tak tergoyahkan dan saran berharga, yang sangat meningkatkan kualitas dan kedalaman makalah penelitian yang berfokus pada E-Scooter ini.

#### DAFTAR RUJUKAN

- A. Powar, H. Joshi, S. Khuley, and D. P. Yesane, *International Journal of Current Engineering and Technology Analysis and Topological Optimization of Motorcycle* (Ashish Powar, 2016). [Online]. Available: <http://inpressco.com/category/ijcet>.
- Charles, M. Close. Frederick., Desn K. Newel Jonathan C. (2002). *Modeling and Analysis of Dynamic System (Third Edition)*. Hamilton Printing Company. USA.
- Cossalter, V., Lot, R., & Maggio, F. (2004). On the braking behavior of motorcycles. *SAE transactions*, 1274-1280.
- Dana, K. K. (2022). *Perancangan Dan Pemodelan Single Side Swingarm Untuk E-Scooter Melalui Pembebanan Statis Dan Dinamis Menggunakan Metode Elemen Hingga* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Lange, J. (2015). Development of front suspension for an electric two-wheeled amphibious vehicle.
- Kholil, A. (2013). Analisis Dinamika Struktur Swing Arm Sepeda Motor Jenis Suspensi Monoshock Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur*, 1-13.
- Lambourn, R., & Wesley, A. (2010). *Comparison of motorcycle and car tyre/road friction*.
- Limpert, R. (2011). *Brake design and safety*. SAE international.
- Liu, G. R., & Quek, S. S. (2013). *The finite element method: a practical course*. Butterworth-Heinemann.
- Spanoudakis, P., Christenas, E., & Tsourveloudis, N. C. (2020). Design and structural analysis of a front single-sided swingarm for an electric three-wheel motorcycle. *Applied Sciences*, 10(17), 6063.

- Sponziello, A., Frendo, F., & Guiggiani, M. (2009). Stability analysis of a three-wheeled motorcycle. *SAE International Journal of Engines*, 1(1), 1396-1401.
- Tang, X., Lin, T., & Zuo, L. (2013). Design and optimization of a tubular linear electromagnetic vibration energy harvester. *IEEE/ASME Transactions On Mechatronics*, 19(2), 615-622.
- Taraborrelli, L., Favaron, V., & Doria, A. (2017). The effect of swingarm stiffness on motorcycle stability: experimental measurements and numerical simulations. *International Journal of Vehicle Systems Modelling and Testing*, 12(3-4), 240-261.
- Wibowo, P. R., & Guntur, H. L. (2021). Pemodelan dan Analisis Karakteristik Dinamis Regenerative Swing Arm pada Scooter. *Jurnal Teknik ITS*, 10(2), E188-E194.