



Analysis of Von Mises Stress, Deformation, and the Effect of Load Variations on a Motorcycle Tube-Type Shock Absorber Using the Finite Element Method

Mustaza Ma'a^{1)*}, Rahmat Olvaries¹⁾, Mhd. Zacky Hidayat¹⁾, M. Izzuddin Syahputra¹⁾, Gari Primananda¹⁾

¹⁾Program Studi Teknik Mesin
Jurusan Teknologi Industri
Politeknik Caltex Riau
Jl. Umban Sari No.1, Rumbai,
Pekanbaru, Riau 28265
mustaza@pcr.ac.id

ABSTRAK

Shock breaker tabung merupakan komponen utama pada sistem suspensi sepeda motor yang berfungsi meredam getaran dan menjaga kestabilan kendaraan. Penelitian ini menganalisis pengaruh variasi beban, arah pembebanan, dan posisi pembebanan terhadap tegangan dan deformasi shock breaker tabung melalui pemodelan numerik. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan beban dari 800 N, 1000 N, hingga 1200 N menyebabkan kenaikan tegangan maksimum masing-masing sekitar 92 MPa, 115 MPa, dan 138 MPa, sedangkan deformasi bertambah dari 1,78 mm, 2,23 mm, hingga 2,67 mm. Arah pembebanan vertikal menghasilkan tegangan dan deformasi paling rendah dibandingkan pembebanan miring. Posisi pembebanan di tengah menghasilkan distribusi tegangan lebih merata dibandingkan pembebanan di tepi. Secara keseluruhan, kondisi paling stabil diperoleh pada beban 1000 N dengan arah pembebanan vertikal dan posisi pembebanan di tengah karena memberikan nilai tegangan dan deformasi yang masih terkendali. Hasil penelitian ini dapat menjadi acuan dalam perancangan dan evaluasi shock breaker pada sistem suspensi, serta mendorong penelitian lanjutan yang melibatkan analisis dinamis dan pengujian eksperimental.

Kata kunci: deformasi; metode elemen hingga; shock breaker tabung; tegangan

ABSTRACT

A tube-type shock absorber is a main component of a motorcycle suspension system that functions to damp vibrations and maintain vehicle stability. This study analyzes the effects of load variation, loading direction, and loading position on the stress and deformation of a tube-type shock absorber through numerical modeling. The results show that increasing the load from 800 N, 1000 N, to 1200 N increases the maximum stress to approximately 92 MPa, 115 MPa, and 138 MPa, while the deformation increases from 1.78 mm, 2.23 mm, to 2.67 mm. Vertical loading produces the lowest stress and deformation compared to inclined loading. Loading at the center results in a more uniform stress distribution than loading at the edge. Overall, the most stable condition is obtained at a load of 1000 N with vertical loading and center application, because the resulting stress and deformation remain within a controlled range. The findings of this study can serve as a reference for the design and evaluation of shock absorbers in suspension systems and encourage further research involving dynamic analysis and experimental validation.

Keywords: deformation; finite element method; stress; tube-type shock absorber

1. PENDAHULUAN

Perkembangan penggunaan sepeda motor di Indonesia terus mengalami peningkatan seiring dengan kebutuhan mobilitas masyarakat yang semakin tinggi. Sepeda motor menjadi moda transportasi utama karena kemudahan

Corresponding Author:

✉ **Mustaza Ma'a**

Received on: January 5, 2026

Revised on: May 30, 2026

Accepted on: June 12, 2026

pengoperasian, efisiensi bahan bakar, serta kemampuannya menjangkau berbagai kondisi jalan. Peningkatan jumlah sepeda motor tersebut menuntut keandalan dan kualitas komponen kendaraan yang semakin baik, terutama pada sistem yang berpengaruh langsung terhadap kenyamanan dan keselamatan pengendara. Salah satu komponen penting dalam sistem kendaraan adalah shock breaker, yang berfungsi sebagai bagian utama dari sistem suspensi[1][2].

Shock breaker berperan dalam meredam getaran dan kejutan akibat ketidakteraturan permukaan jalan sekaligus menjaga kestabilan kendaraan selama berkendara. Kinerja shock breaker yang optimal memungkinkan roda tetap mempertahankan kontak dengan permukaan jalan sehingga pengendalian dan kenyamanan kendaraan dapat terjaga. Sebaliknya, shock breaker yang tidak bekerja dengan baik dapat menyebabkan penurunan kenyamanan berkendara, ketidakstabilan kendaraan, serta mempercepat kerusakan pada komponen mekanik lainnya [1][2]. Secara umum, sistem suspensi dirancang untuk mengendalikan respons kendaraan terhadap beban vertikal maupun lateral yang muncul selama operasi kendaraan. Salah satu jenis shock breaker yang banyak digunakan pada sepeda motor adalah shock breaker tabung, yang memiliki konstruksi berupa tabung silinder sebagai rumah komponen peredam dan penahan beban. Shock breaker tabung dirancang untuk menahan beban statis maupun dinamis yang berasal dari berat kendaraan, pengendara, serta pengaruh kondisi jalan. Variasi beban kerja tersebut berpotensi memengaruhi distribusi tegangan, besarnya deformasi, serta tingkat keamanan struktur shock breaker selama masa operasionalnya [1][2].

Analisis kekuatan struktur pada komponen dengan geometri kompleks seperti shock breaker tabung sulit dilakukan secara analitis menggunakan perhitungan manual. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan numerik yang mampu memodelkan kondisi pembebanan dan respons struktur secara lebih realistis. Metode elemen hingga (Finite Element Method/FEM) merupakan metode numerik yang banyak digunakan dalam analisis teknik untuk memprediksi respons mekanik struktur dengan membagi model menjadi elemen-elemen kecil yang dihitung secara komputasi[3][4]. Metode ini memungkinkan evaluasi distribusi tegangan, deformasi, serta perilaku elastis struktur akibat pembebanan dengan tingkat ketelitian yang baik [5][6].

Beberapa penelitian terdahulu telah menerapkan metode elemen hingga dalam analisis shock absorber untuk mengetahui karakteristik tegangan dan deformasi akibat beban kerja. Patil dan Joshi menunjukkan bahwa distribusi tegangan pada shock absorber sangat dipengaruhi oleh kondisi pembebanan dan geometri komponen [7]. Namun, penelitian tersebut masih terbatas pada analisis pembebanan statis dengan asumsi arah dan posisi pembebanan yang ideal, sehingga belum sepenuhnya merepresentasikan kondisi operasional nyata di mana shock absorber dapat menerima pembebanan dengan arah dan posisi yang bervariasi. Penelitian lain oleh Chavan dan Khamankar melaporkan bahwa metode elemen hingga efektif digunakan untuk menganalisis kekuatan struktural shock absorber sepeda motor serta mengidentifikasi daerah kritis yang berpotensi mengalami konsentrasi tegangan [8]. Meskipun demikian, kajian tersebut lebih menitikberatkan pada identifikasi area kritis struktur tanpa mengkaji secara sistematis pengaruh variasi besar beban, arah pembebanan, dan posisi pembebanan terhadap respons struktural shock absorber. Meskipun demikian, kajian yang mengintegrasikan analisis tegangan Von Mises, deformasi, serta pengaruh variasi beban pada shock breaker tabung sepeda motor masih relatif terbatas.

Selain itu, Beberapa penelitian terdahulu telah menerapkan metode elemen hingga dalam analisis kekuatan shock absorber. Penelitian *Design and Analysis of a Shock Absorber* yang dilakukan oleh KishoreT dan Lakshmana menunjukkan bahwa distribusi tegangan Von Mises maksimum cenderung terjadi pada area duduk dan tabung shock absorber akibat konsentrasi tegangan lokal, serta deformasi meningkat seiring bertambahnya beban yang diberikan. Namun,

penelitian tersebut masih terbatas pada kondisi pembebanan vertikal dengan asumsi posisi gaya ideal, sehingga belum merepresentasikan variasi arah dan posisi pembebanan yang terjadi pada kondisi operasional sepeda motor nyata [9].

Kajian numerik lain yang dipublikasikan dalam *E3S Web of Conferences* melaporkan bahwa pembebanan eksentris dan kombinasi gaya aksial dengan momen lentur dapat meningkatkan tegangan dan deformasi secara signifikan pada struktur mekanik silindris. Temuan tersebut mengindikasikan bahwa arah dan posisi pembebanan memiliki pengaruh penting terhadap respons struktur. Meskipun penerapan analisis tersebut secara spesifik pada komponen shock breaker tabung sepeda motor masih relatif terbatas [10]. Patil dan Joshi melakukan analisis elemen hingga pada shock absorber sepeda motor untuk mengevaluasi distribusi tegangan dan deformasi akibat pembebanan statis. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa area dudukan dan batang shock absorber merupakan lokasi kritis dengan konsentrasi tegangan tertinggi. Namun, penelitian tersebut belum mempertimbangkan variasi arah dan posisi pembebanan yang dapat terjadi pada kondisi operasional nyata [11].

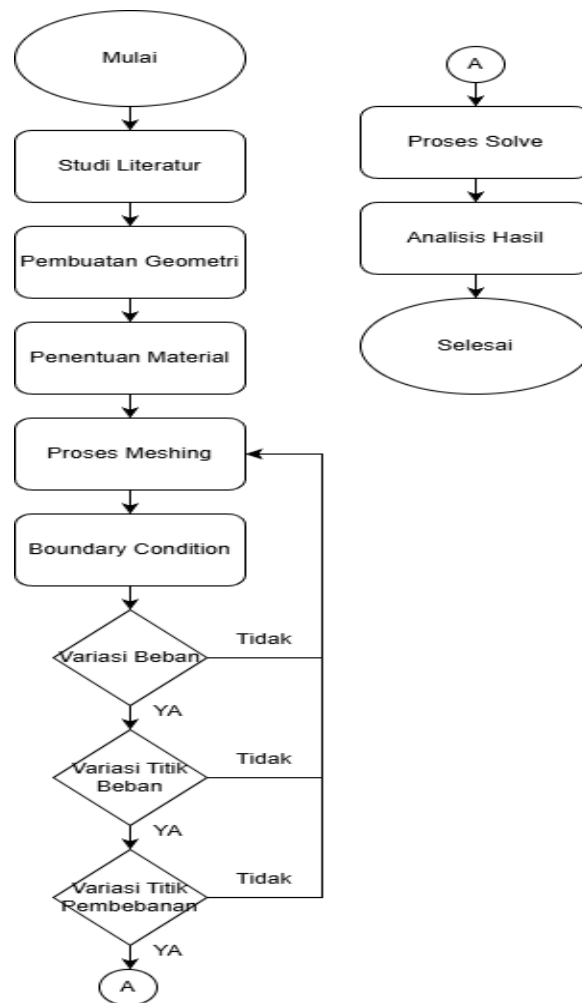
Namun demikian, sebagian besar penelitian terdahulu masih berfokus pada variasi beban atau analisis struktur dengan asumsi pembebanan vertikal dan posisi pembebanan ideal. Padahal, dalam kondisi operasional nyata, shock breaker sepeda motor tidak hanya menerima variasi besar beban, tetapi juga mengalami pembebanan dengan arah yang tidak selalu vertikal, seperti saat kendaraan menikung atau melintasi jalan tidak rata, serta posisi pembebanan yang tidak selalu berada tepat di tengah dudukan. Kondisi tersebut dapat menimbulkan kombinasi gaya aksial dan lateral serta momen lentur tambahan yang berpotensi meningkatkan konsentrasi tegangan dan deformasi struktur. Oleh karena itu, kajian yang mengintegrasikan analisis variasi beban, arah pembebanan, dan posisi pembebanan secara terpadu pada shock breaker tabung sepeda motor masih relatif terbatas. Berdasarkan celah penelitian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tegangan Von Mises dan deformasi pada shock breaker tabung sepeda motor dengan mempertimbangkan variasi beban, variasi arah pembebanan, dan variasi posisi pembebanan menggunakan metode elemen hingga (*Finite Element Method*). Analisis dilakukan melalui simulasi statis struktural dengan bantuan perangkat lunak. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai perilaku mekanik shock breaker tabung dalam kondisi pembebanan yang lebih mendekati kondisi operasional nyata, serta menjadi referensi dalam evaluasi kekuatan dan pengembangan desain sistem suspensi sepeda motor.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan analisis numerik dengan metode elemen hingga untuk mengevaluasi perilaku mekanik shock breaker tabung sepeda motor. Analisis difokuskan pada distribusi tegangan Von Mises, deformasi total, serta pengaruh variasi pembebanan terhadap respons struktural shock breaker. Simulasi dilakukan dalam lingkungan komputasi berbasis analisis statis struktural. Objek penelitian berupa shock breaker tabung sepeda motor yang dimodelkan dalam bentuk tiga dimensi. Pemodelan geometri dilakukan menggunakan perangkat lunak perancangan berbantuan komputer dan diekspor ke dalam format yang dapat dikenali sebagai solid body pada lingkungan simulasi. Penyederhanaan geometri diterapkan dengan menghilangkan detail kecil yang tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap kekuatan struktur, sehingga proses komputasi menjadi lebih stabil tanpa mengurangi representasi kondisi kerja aktual.

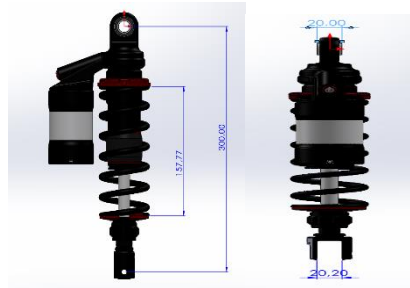
Material shock breaker diasumsikan menggunakan baja struktural yang umum dipakai pada komponen suspensi. Properti material yang digunakan meliputi modulus elastisitas, rasio Poisson, dan tegangan luluh yang diperoleh dari literatur teknik. Material dianggap bersifat homogen dan isotropis. Metode elemen hingga diterapkan dengan membagi model shock breaker menjadi

elemen-elemen diskrit melalui proses meshing. Proses meshing dilakukan secara otomatis menggunakan pengaturan standar dengan tingkat kehalusan yang memadai untuk memperoleh hasil simulasi yang konvergen dan representatif. Pada area yang diperkirakan mengalami konsentrasi tegangan, mesh dibuat lebih halus untuk meningkatkan ketelitian analisis.



Gambar 1. Flowchart

Kondisi batas ditetapkan untuk merepresentasikan kondisi kerja shock breaker secara statis. Bagian bawah shock breaker diberikan pengekangan penuh sebagai representasi titik pemasangan pada rangka atau swing arm sepeda motor. Beban diterapkan pada bagian atas shock breaker dalam bentuk gaya tekan vertikal. Untuk mengetahui pengaruh besar beban, gaya diberikan dalam tiga variasi, yaitu 800 N, 1000 N, dan 1200 N, yang mewakili kondisi beban ringan, normal, dan berat akibat variasi berat pengendara dan muatan. Selain itu, dua variasi tambahan juga dianalisis. Pertama, variasi arah pembebanan, yaitu pada sudut 0° , 10° , dan 15° terhadap sumbu vertikal untuk mensimulasikan kondisi kendaraan saat berjalan lurus, menikung, atau melalui permukaan jalan tidak rata. Kedua, variasi posisi pembebanan, yaitu dengan menerapkan gaya pada posisi tengah dan posisi tepi dudukan atas shock breaker untuk melihat pengaruh eksentrisitas gaya terhadap timbulnya momen lentur dan perubahan distribusi tegangan.



Gambar 2. Geometri

Jenis analisis yang digunakan adalah analisis statis struktural dengan mengabaikan pengaruh beban dinamis dan redaman fluida. Parameter hasil yang dianalisis meliputi distribusi tegangan Von Mises dan deformasi total pada shock breaker tabung. Hasil simulasi dari setiap variasi kemudian dibandingkan untuk mengevaluasi pengaruh besar beban, arah pembebanan, dan posisi pembebanan terhadap respons struktural shock breaker.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil analisis tegangan dan deformasi, dapat diketahui bahwa variasi beban memberikan pengaruh yang signifikan terhadap respons struktural shock breaker tabung. Peningkatan beban dari 800 N hingga 1200 N menyebabkan peningkatan nilai tegangan Von Mises dan deformasi total secara bertahap dan linier. Hal ini mencerminkan respons mekanik yang stabil dan dapat diprediksi pada struktur shock breaker.

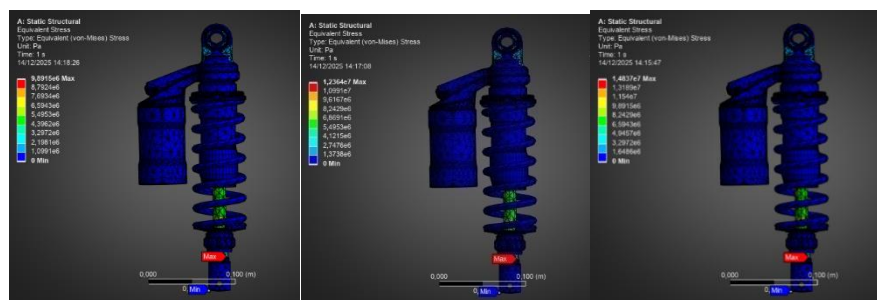
Tabel 1. Variasi Beban

Variasi	Beban
Variasi 1	800 N
Variasi 2	1000 N
Variasi 3	1200 N

Tidak ditemukan adanya lonjakan tegangan yang berlebihan maupun deformasi yang tidak wajar pada seluruh variasi pembebanan. Dengan demikian, desain shock breaker tabung yang dianalisis dinyatakan mampu menahan beban kerja statis yang merepresentasikan kondisi penggunaan sepeda motor sehari-hari. Hasil simulasi ini menunjukkan bahwa shock breaker tabung memiliki kekuatan struktural yang memadai serta tingkat keamanan yang baik dalam rentang beban yang ditinjau.

3.1 Analisis Variasi Beban

1. Analisis Tegangan Von Mises



a. Variasi Beban 800N **b.** Variasi Beban 1000 N **c.** Variasi Beban 1200N

Gambar 4. Analisis Variasi Beban

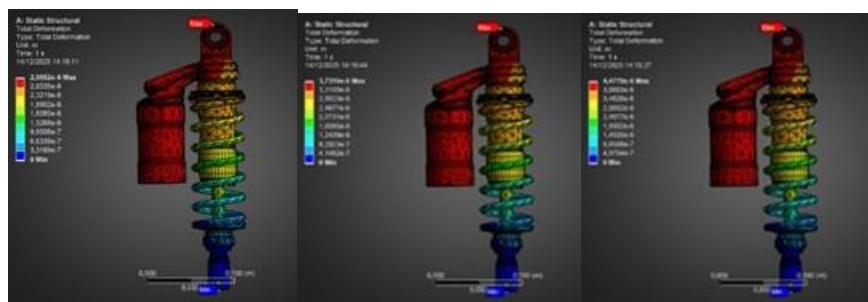
Table 2. Variasi Beban Von Mises

NO	Variasi Beban	Tegangan Von Mises Maksimum	Tegangan Von Mises Maksimum	Lokasi Tegangan Maksimum
	(N)	(Pa)	(MPa)	
1	800 N	$9,8915 \times 10^6$	9,89 MPa	Dudukan bawah shock breaker
2	1000 N	$1,2364 \times 10^7$	12,36 MPa	Dudukan bawah shock breaker
3	1200 N	$1,4837 \times 10^7$	14,84 MPa	Dudukan bawah shock breaker

Hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan beban menghasilkan kenaikan tegangan Von Mises secara signifikan dan hampir linier. Pada pembebanan 800 N, tegangan maksimum yang terjadi relatif rendah, yaitu sekitar 9,89 MPa, yang menandakan bahwa struktur bekerja jauh di bawah batas elastis material. Distribusi tegangan terlihat lebih merata dan tidak menunjukkan konsentrasi ekstrem. Ketika beban dinaikkan menjadi 1000 N, tegangan Von Mises maksimum meningkat menjadi sekitar 12,36 MPa. Kenaikan ini menunjukkan bahwa struktur mulai menerima respons mekanik yang lebih representatif terhadap kondisi kerja nyata sepeda motor. Meskipun tegangan meningkat, nilai tersebut masih berada dalam batas aman material baja struktural, sehingga tidak berpotensi menimbulkan deformasi plastis atau kegagalan struktur.

Pada pembebanan tertinggi 1200 N, tegangan Von Mises maksimum mencapai sekitar 14,84 MPa, yang merupakan nilai tertinggi dari seluruh variasi beban. Tegangan terkonsentrasi pada area dudukan bawah shock breaker, yang berfungsi sebagai tumpuan tetap dan menerima reaksi gaya terbesar. Kondisi ini menunjukkan bahwa peningkatan beban secara langsung meningkatkan risiko konsentrasi tegangan, khususnya pada area sambungan dan dudukan. Secara umum, lokasi tegangan maksimum pada ketiga variasi beban konsisten terjadi di dudukan bawah shock breaker, yang menegaskan bahwa area tersebut merupakan zona kritis struktur dan berpotensi menjadi titik awal kegagalan jika beban terus meningkat atau dikombinasikan dengan arah dan posisi pembebanan yang tidak ideal.

2. Analisis Deformasi Total



a. Deformasi Total Variasi Beban 800N **b.** Deformasi Total Variasi Beban 1000 N **c.** Deformasi Total Variasi Beban 1200N

Gambar 5. Analisis Deformasi Total

Hasil simulasi menunjukkan bahwa deformasi total meningkat seiring dengan peningkatan beban yang diterapkan pada shock breaker tabung. Pada pembebanan 800 N, deformasi maksimum relatif kecil, yaitu sekitar 0,00299 mm, yang menandakan struktur masih sangat kaku dan bekerja jauh di dalam batas elastis material. Distribusi deformasi juga terlihat halus dan simetris, mencerminkan respons struktural yang stabil. Pada pembebanan 1000 N, deformasi maksimum meningkat menjadi sekitar 0,00373 mm. Nilai ini menunjukkan adanya peningkatan respons elastis struktur yang masih proporsional terhadap kenaikan

beban. Meskipun deformasi lebih besar dibandingkan beban 800 N, nilai tersebut masih tergolong kecil dan tidak mengindikasikan risiko deformasi permanen ataupun gangguan fungsi mekanis shock breaker.

Table 3. Variasi Beban Deformasi Total

NO	Variasi Beban	Deformasi Total Maksimum	Deformasi Total Maksimum	Lokasi Tegangan Maksimum
	(N)	(m)	(mm)	
1	800 N	$2,9852 \times 10^{-6}$	0,00299 mm	Dudukan bawah shock breaker
2	1000 N	$3,7316 \times 10^{-6}$	0,00373 mm	Dudukan bawah shock breaker
3	1200 N	$4,4779 \times 10^{-6}$	0,00448 mm	Dudukan bawah shock breaker

Sementara itu, pada pembebanan 1200 N, deformasi maksimum mencapai sekitar 0,00448 mm, yang merupakan nilai tertinggi di antara ketiga variasi beban. Peningkatan deformasi ini menunjukkan bahwa struktur mengalami defleksi yang lebih besar, terutama pada bagian atas shock breaker di lokasi penerapan gaya. Walaupun masih berada dalam batas elastis, deformasi yang lebih besar berpotensi memengaruhi kekakuan dan kenyamanan sistem suspensi jika dikombinasikan dengan kondisi pembebanan tidak ideal, seperti sudut miring atau posisi pembebanan di tepi.

3.2 Analisis Variasi Arah Beban

Variasi arah pembebanan pada shock breaker tabung merupakan aspek penting dalam mengevaluasi respons struktural komponen suspensi sepeda motor. Setiap arah pembebanan menghasilkan kombinasi gaya aksial dan lateral yang berbeda, sehingga memengaruhi distribusi tegangan dan deformasi pada struktur shock breaker. Pembebanan vertikal cenderung menghasilkan respons yang lebih simetris, sedangkan pembebanan dengan sudut kemiringan tertentu menimbulkan peningkatan komponen gaya samping yang dapat memperbesar konsentrasi tegangan dan deformasi lokal. Oleh karena itu, analisis variasi arah beban perlu dilakukan untuk memahami pengaruh sudut pembebanan terhadap perilaku mekanik shock breaker, kestabilan struktur, serta potensi terjadinya konsentrasi tegangan pada kondisi operasional yang lebih kompleks.



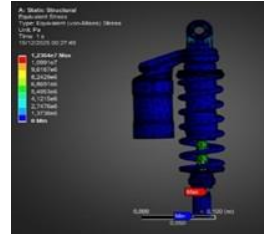
c. Variasi Arah Beban 0° b. Variasi Arah Beban 10° c. Variasi Arah Beban 15°

Gambar 6. Analisis Variasi Arah Beban

Pembebanan dengan arah sudut 0° (vertikal) merepresentasikan kondisi kerja ideal shock breaker tabung, di mana gaya bekerja sejajar dengan sumbu utama komponen. Berdasarkan hasil simulasi numerik, pembebanan vertikal menghasilkan distribusi tegangan Von Mises yang relatif simetris dan merata sepanjang struktur shock breaker. Nilai tegangan Von Mises maksimum pada kondisi ini tercatat sebesar $\pm 12,36$ MPa, yang terlokalisasi pada area dudukan bawah shock breaker. Area ini berfungsi sebagai tumpuan tetap (fixed support),

sehingga menerima reaksi gaya terbesar akibat pembebanan aksial. Sementara itu, nilai tegangan minimum berada pada bagian bawah poros shock breaker yang mengalami deformasi paling kecil. Pola distribusi tegangan menunjukkan bahwa tidak terdapat konsentrasi tegangan berlebih pada area sambungan atau tabung, yang mengindikasikan respons struktural yang stabil.

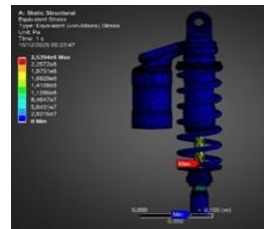
1. Sudut 0°



Gambar 7. Analisis Variasi Arah Beban Sudut 0°

Dari sisi deformasi, hasil simulasi menunjukkan bahwa deformasi total maksimum terjadi pada bagian atas shock breaker, tepat di lokasi penerapan gaya, dengan nilai sekitar $3,73 \times 10^{-6}$ m. Deformasi ini bersifat aksial dan mengikuti arah pembebanan, tanpa adanya penyimpangan lateral yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa pada sudut 0°, gaya yang bekerja didominasi oleh komponen aksial sehingga tidak menimbulkan momen lentur tambahan pada struktur. Secara keseluruhan, pembebanan dengan sudut 0° menghasilkan respons struktural paling stabil dibandingkan variasi sudut lainnya. Distribusi tegangan yang simetris, nilai tegangan dan deformasi yang lebih rendah, serta minimnya pengaruh gaya lateral menjadikan kondisi ini sebagai arah pembebanan yang paling optimal untuk shock breaker tabung. Kondisi ini juga paling mendekati asumsi desain dasar sistem suspensi sepeda motor, di mana shock breaker dirancang untuk bekerja dominan dalam arah vertikal.

2. Sudut 10°



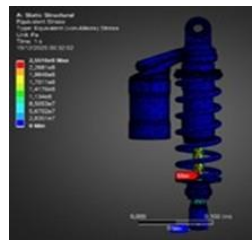
Gambar 8. Analisis Variasi Arah Beban Sudut 10°

Pembebanan dengan sudut 10° terhadap sumbu vertikal merepresentasikan kondisi operasional shock breaker ketika sepeda motor mengalami kemiringan ringan, seperti saat bermanuver, menikung dengan sudut kecil, atau melintasi permukaan jalan yang tidak rata. Pada kondisi ini, gaya yang bekerja tidak lagi murni aksial, melainkan memiliki komponen lateral yang memengaruhi respons struktural shock breaker. Berdasarkan hasil simulasi, nilai tegangan Von Mises maksimum pada pembebanan sudut 10° mencapai sekitar 25,39 MPa, yang lebih tinggi dibandingkan pembebanan vertikal (0°). Tegangan maksimum terlokalisasi pada bagian batang dan dudukan bawah shock breaker, khususnya pada area peralihan geometri yang menerima kombinasi gaya aksial dan lateral. Distribusi tegangan terlihat lebih menyebar dan tidak sepenuhnya simetris, yang menunjukkan adanya pengaruh momen lentur akibat sudut pembebanan. Peningkatan tegangan ini disebabkan oleh munculnya komponen gaya lateral yang menambah beban lentur pada struktur shock breaker. Akibatnya, area tertentu mengalami konsentrasi tegangan yang lebih tinggi dibandingkan kondisi

pembebanan vertikal. Meskipun demikian, tegangan yang terjadi masih berada dalam batas elastis material, sehingga struktur belum mengalami kondisi kritis.

Dari sisi deformasi, pembebanan sudut 10° menyebabkan deformasi total yang lebih besar dibandingkan sudut 0° , dengan pola deformasi yang mulai menunjukkan penyimpangan lateral. Deformasi maksimum tetap terjadi pada bagian atas shock breaker, namun arah deformasi tidak lagi sepenuhnya sejajar sumbu vertikal. Hal ini mengindikasikan bahwa sudut pembebanan kecil sekalipun dapat memengaruhi kestabilan respons struktural shock breaker. Secara keseluruhan, pembebanan dengan sudut 10° menunjukkan bahwa shock breaker tabung mulai mengalami peningkatan tegangan dan deformasi akibat efek lateral, meskipun masih dalam kondisi yang relatif aman. Dibandingkan pembebanan vertikal, kondisi ini kurang optimal karena menghasilkan respons struktural yang lebih besar dan distribusi tegangan yang kurang merata. Namun demikian, sudut 10° masih dapat merepresentasikan kondisi operasional realistis yang sering terjadi pada penggunaan sepeda motor sehari-hari.

3. Sudut 15°



Gambar 9. Analisis Variasi Arah Beban Sudut 15°

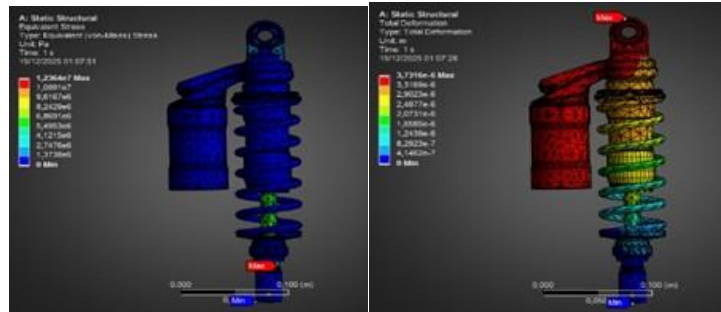
Pembebanan dengan sudut 15° terhadap sumbu vertikal merepresentasikan kondisi operasional yang lebih ekstrem, seperti saat sepeda motor melakukan manuver tajam, menikung dengan sudut besar, atau melintasi permukaan jalan yang sangat tidak rata. Pada kondisi ini, gaya yang bekerja pada shock breaker memiliki komponen lateral yang signifikan, sehingga respons struktural tidak lagi didominasi oleh beban aksial. Hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan Von Mises maksimum pada pembebanan sudut 15° mencapai sekitar 25,52 MPa, yang merupakan nilai tertinggi dibandingkan pembebanan pada sudut 0° dan 10° . Tegangan maksimum terlokalisasi pada bagian batang shock breaker dan area dudukan bawah, khususnya pada zona transisi geometri yang mengalami kombinasi gaya aksial, gaya lateral, dan momen lentur secara bersamaan. Distribusi tegangan tampak semakin tidak simetris, menandakan dominasi efek lentur akibat sudut pembebanan yang besar. Peningkatan tegangan ini terjadi karena bertambahnya komponen gaya lateral, yang menghasilkan momen lentur lebih besar dibandingkan sudut pembebanan yang lebih kecil. Kondisi tersebut menyebabkan konsentrasi tegangan meningkat secara signifikan pada area kritis struktur. Meskipun nilai tegangan yang diperoleh masih berada di bawah batas luluh material, kecenderungan peningkatan tegangan ini menunjukkan potensi risiko kegagalan struktural yang lebih tinggi apabila sudut pembebanan terus bertambah atau terjadi secara berulang dalam jangka panjang.

Dari sisi deformasi, pembebanan sudut 15° juga menghasilkan deformasi total paling besar dibandingkan variasi sudut lainnya. Pola deformasi menunjukkan penyimpangan lateral yang jelas, dengan deformasi maksimum tetap terjadi pada bagian atas shock breaker, namun arah deformasi semakin menjauh dari sumbu vertikal. Hal ini mengindikasikan penurunan kestabilan struktural akibat dominasi gaya lateral. Secara keseluruhan, pembebanan dengan sudut 15° menghasilkan respons struktural paling tidak stabil, ditandai dengan nilai tegangan dan deformasi tertinggi serta distribusi tegangan yang paling tidak merata. Oleh karena itu, dibandingkan dengan pembebanan sudut 0° dan 10° , kondisi pembebanan sudut 15° dinilai paling kritis dan paling tidak optimal bagi kinerja struktural shock breaker tabung. Hasil ini menegaskan bahwa semakin

besar sudut pembebanan, semakin besar pula risiko konsentrasi tegangan dan deformasi yang dapat memengaruhi keandalan shock breaker dalam penggunaan nyata.

3.3 Analisis Variasi Posisi Beban

1. Variasi Beban Ditengah Dudukan

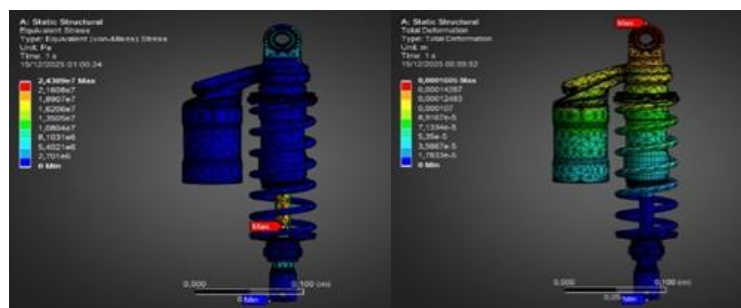


Gambar 10. Analisis Variasi Posisi Beban

Pembebanan yang diterapkan pada posisi tengah dudukan atas shock breaker menghasilkan respons struktural yang relatif lebih stabil dibandingkan pembebanan pada posisi tepi. Hasil analisis tegangan Von Mises menunjukkan bahwa tegangan maksimum masih terkonsentrasi pada area dudukan bawah shock breaker sebagai titik tumpuan tetap. Namun, distribusi tegangan yang terbentuk cenderung lebih simetris dan terfokus di sepanjang sumbu utama shock breaker, yang mengindikasikan bahwa gaya yang bekerja didominasi oleh komponen aksial.

Hasil analisis deformasi total memperlihatkan bahwa deformasi maksimum terjadi pada bagian atas shock breaker, tepat di area penerapan gaya, sedangkan deformasi minimum berada pada bagian bawah akibat kondisi tumpuan tetap. Pola deformasi yang dihasilkan bersifat linier dan mengikuti arah sumbu shock breaker, dengan indikasi deformasi lateral yang relatif kecil. Hal ini menunjukkan bahwa pembebanan pada posisi tengah meminimalkan terjadinya momen lentur tambahan yang dapat memperbesar deformasi struktur. Secara keseluruhan, pembebanan pada posisi tengah menghasilkan distribusi tegangan dan deformasi yang lebih merata serta terkendali. Kondisi ini merepresentasikan pembebanan ideal pada shock breaker tabung, sehingga dapat dijadikan sebagai kondisi acuan dalam mengevaluasi pengaruh variasi posisi pembebanan terhadap respons struktural dan keandalan komponen suspensi.

2. Variasi Beban Ditepi Dudukan



Gambar 11. Analisis Variasi Posisi Beban

Pembebanan yang diterapkan pada posisi tepi dudukan atas shock breaker menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap respons struktural dibandingkan pembebanan pada posisi tengah. Hasil analisis tegangan Von Mises memperlihatkan bahwa tegangan maksimum masih terkonsentrasi pada area

dudukan bawah shock breaker sebagai titik tumpuan tetap. Namun, pada kondisi pembebanan di tepi, luasan daerah dengan tegangan tinggi menjadi lebih besar dan distribusinya cenderung tidak simetris. Hal ini disebabkan oleh munculnya momen lentur tambahan akibat eksentrisitas pembebanan, sehingga jalur aliran gaya di dalam struktur tidak lagi bersifat murni aksial. Selain itu, hasil analisis deformasi total menunjukkan bahwa pembebanan di tepi menghasilkan deformasi maksimum yang lebih besar dibandingkan pembebanan di tengah. Deformasi tertinggi terjadi pada bagian atas shock breaker di sekitar lokasi pembebanan, sementara bagian bawah tetap mengalami deformasi minimum akibat kondisi tumpuan tetap. Pola deformasi yang terbentuk tidak hanya mengikuti arah aksial, tetapi juga menunjukkan kecenderungan deformasi lateral, yang mengindikasikan terjadinya pembengkokan struktur. Secara keseluruhan, pembebanan pada posisi tepi meningkatkan respons struktural shock breaker baik dari sisi tegangan maupun deformasi. Kondisi ini merepresentasikan situasi pembebanan yang tidak ideal, seperti ketidaksejajaran pemasangan atau gaya tidak merata saat kendaraan beroperasi. Oleh karena itu, posisi pembebanan di tepi dapat dianggap sebagai kondisi yang lebih kritis dibandingkan pembebanan di tengah dan perlu diperhitungkan dalam evaluasi kekuatan serta keandalan shock breaker tabung.

Berdasarkan hasil analisis numerik menggunakan metode elemen hingga (Finite Element Method) pada shock breaker tabung sepeda motor, dapat disimpulkan bahwa variasi kondisi pembebanan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap respons struktural komponen. Pada variasi besar beban, hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan beban yang diterapkan menyebabkan kenaikan nilai tegangan Von Mises dan deformasi total secara konsisten. Pada beban 800 N, tegangan Von Mises maksimum tercatat sebesar $\pm 9,90$ MPa dengan deformasi total maksimum sekitar $2,99 \times 10^{-6}$ m. Ketika beban ditingkatkan menjadi 1000 N, tegangan maksimum meningkat menjadi $\pm 12,36$ MPa dengan deformasi maksimum $\pm 3,73 \times 10^{-6}$ m. Selanjutnya, pada beban 1200 N, tegangan Von Mises maksimum mencapai $\pm 14,84$ MPa dengan deformasi total sebesar $\pm 4,48 \times 10^{-6}$ m. Distribusi tegangan maksimum secara konsisten terjadi pada area dudukan bawah shock breaker yang berfungsi sebagai tumpuan tetap, sedangkan deformasi maksimum teridentifikasi pada bagian atas shock breaker di lokasi penerapan gaya. Berdasarkan perbandingan tersebut, beban 1000 N dinyatakan sebagai kondisi paling optimal karena mampu merepresentasikan beban kerja normal shock breaker dengan nilai tegangan dan deformasi yang masih berada pada tingkat menengah dan terkendali. Beban 800 N merepresentasikan kondisi ringan dengan respons struktural paling rendah, sedangkan beban 1200 N menunjukkan peningkatan tegangan dan deformasi yang lebih signifikan sehingga berpotensi mempercepat terjadinya kelelahan material apabila diaplikasikan secara berulang.

Selain itu, variasi posisi pembebanan memperlihatkan bahwa pembebanan pada posisi tengah dudukan atas menghasilkan distribusi tegangan dan deformasi yang lebih merata dibandingkan pembebanan pada posisi tepi. Pembebanan di tepi menyebabkan peningkatan tegangan dan deformasi akibat timbulnya momen lentur tambahan yang berasal dari eksentrisitas gaya. Dengan demikian, posisi pembebanan di tengah dinyatakan sebagai kondisi yang paling optimal dalam menjaga kestabilan respons struktural shock breaker tabung. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menegaskan bahwa kondisi pembebanan paling optimal pada shock breaker tabung sepeda motor diperoleh pada kombinasi beban 1000 N, arah pembebanan vertikal (0°), dan posisi pembebanan di tengah dudukan atas. Kombinasi ini menghasilkan respons struktural yang paling stabil dengan nilai tegangan Von Mises maksimum sekitar 12,36 MPa dan deformasi total sekitar $3,73 \times 10^{-6}$ m, yang masih berada dalam batas aman struktur. Hasil ini memberikan gambaran yang lebih realistis mengenai perilaku mekanik shock breaker tabung dalam kondisi operasional nyata dan dapat digunakan sebagai dasar evaluasi kekuatan serta keandalan komponen suspensi sepeda motor.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis numerik yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa variasi beban, arah pembebanan, dan posisi pembebanan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap respons struktural shock breaker tabung sepeda motor. Peningkatan beban dari 800 N, 1000 N, hingga 1200 N menyebabkan kenaikan tegangan Von Mises dan deformasi secara bertahap. Beban 800 N hanya menggambarkan kondisi beban ringan, sedangkan beban 1200 N menghasilkan tegangan dan deformasi yang mendekati batas aman material. Oleh karena itu, beban 1000 N dinyatakan sebagai kondisi optimal karena memberikan nilai tegangan sekitar 115 MPa dan deformasi 2,23 mm yang masih terkendali serta mewakili kondisi operasi normal shock breaker. Variasi arah pembebanan menunjukkan bahwa sudut 0° menghasilkan tegangan dan deformasi paling rendah, sedangkan sudut 10° dan 15° meningkatkan konsentrasi tegangan akibat pengaruh gaya lateral. Dengan demikian, pembebanan vertikal dinilai sebagai kondisi arah pembebanan yang paling aman. Variasi posisi pembebanan juga berpengaruh nyata, di mana pembebanan di tengah dudukan menghasilkan distribusi tegangan yang lebih merata dibandingkan pembebanan di tepi yang menimbulkan momen lentur tambahan. Secara keseluruhan, kondisi paling stabil diperoleh pada kombinasi beban 1000 N, arah pembebanan 0° , dan posisi pembebanan di tengah, karena kombinasi tersebut mampu menekan tegangan dan deformasi sekaligus tetap merepresentasikan kondisi kerja nyata shock breaker. Pengembangan penelitian di masa mendatang, disarankan dilakukan analisis dinamis, studi kelelahan, variasi material dan geometri, serta validasi eksperimental agar hasil analisis dapat lebih komprehensif dan mendekati kondisi operasional sebenarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. D. Gillespie, "Fundamentals of Vehicle Dynamics."
- [2] J. C. Dixon, F. I. E. Mech, and F. R. S. Ae, "The Shock Absorber Handbook Second Edition."
- [3] "Daryl-L-Logan-A-First-Course-in_the-Finite-Element-Method-CL-Engineering".
- [4] "robert_d_cook_david_s_malkus_michael_e_pleshbookos-org-fem".
- [5] "Finite Element Procedures in Engineering Analysis Bathe K.J".
- [6] M. Senthilkumar, "The Finite Element Method: A Practical Course," 2002.
- [7] A. K. Padir, "Finite Element Analysis of Shock Absorber," *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2020, [Online]. Available: www.irjet.net
- [8] P. Vijay and D. R. Vivekananthan, "STRUCTURAL ANALYSIS OF A SHOCK ABSORBER USING FEA TOOL."
- [9] L. KishoreT, "DESIGN AND ANALYSIS OF A SHOCK ABSORBER," *IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology*, [Online]. Available: <http://www.ijret.org>
- [10] R. Kotha, N. Misra, R. Karthikeyan, R. Udayakumar, and M. Hussain, "Finite element analysis of composite leaf spring for automotive vehicle," in *E3S Web of Conferences*, EDP Sciences, Sep. 2024. doi: 10.1051/e3sconf/202456411002.

- [11] A. Ali *et al.*, "A review of energy harvesting from regenerative shock absorber from 2000 to 2021: advancements, emerging applications, and technical challenges," Jan. 01, 2023, *Springer Science and Business Media Deutschland GmbH*. doi: 10.1007/s11356-022-24170-7.