

Analisis Struktural *Connecting rod* Baja AISI 1045 Menggunakan Metode *Finite Element* dan Simulasi *SimScale* untuk Evaluasi Tegangan dan Deformasi

An-Nisa Magnolia¹, Adam Wisnu Murti^{2*}, Arzaq Guruh Dityamri³, dan Syaipudin Anwar¹.

¹Jurusan Teknik Mesin, Universitas Lampung, Bandar Lampung, 35145, Indonesia

²Politeknik Negeri Lampung, Bandar Lampung, 35141, Indonesia

³Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sang Bumi Ruwa Jurai, Bandar Lampung, 35212, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

ABSTRAK

Article history:

Received : 09-10-2025

Revised : 12-11-2025

Accepted : 13-11-2025

Kata kunci:

Analisis statik;

Baja;

Connecting rod;

Elemen hingga;

Tegangan *Von Mises*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji perilaku struktural *connecting rod* berbahan baja AISI 1045 melalui analisis statik berbasis metode elemen hingga (FEM) dan simulasi komputer menggunakan platform *SimScale*. *Connecting rod* merupakan salah satu komponen kritis dalam mesin kendaraan yang harus mampu menahan tekanan siklik dan beban berat selama operasi. Dalam studi ini, model geometrinya dibuat secara detail dan dimodelkan dengan elemen tetrahedral tak beraturan untuk mencapai tingkat akurasi tinggi dalam prediksi distribusi tegangan dan deformasi. Teknik penyempurnaan *mesh* dilakukan secara selektif di area fillet dan bagian kritis lainnya agar hasil analisis mendetail dan andal. Simulasi dilakukan dengan pemberian beban statik sebesar 500 N serta pengaruh gravitasi, dan hasil distribusi tegangan *Von Mises* serta deformasi dianalisis menggunakan peta kontur. Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai tegangan maksimum berada di bawah batas yield strength dari baja AISI 1045, sehingga desain dinyatakan aman, ditunjang oleh faktor keselamatan yang cukup tinggi. Pendekatan gabungan FEM dan *SimScale* ini memungkinkan validasi silang hasil dan memberikan insight penting bagi pengembangan desain yang lebih optimal dan tahan lama. Hasil penelitian ini diharapkan mampu memperkuat dasar ilmiah dalam desain *connecting rod* berbahan baja dan meningkatkan kepercayaan terhadap penggunaan platform simulasi awan di bidang rekayasa mesin.



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0

1. Pendahuluan

Connecting rod adalah komponen kunci dalam mesin pembakaran dalam yang berfungsi sebagai penghubung mekanik antara piston dan *crankshaft*. Fungsi ini menjadikannya elemen penting dalam mentransmisikan gaya pembakaran yang kompleks dan berubah-ubah ke sistem penggerak. Selama proses tersebut, *connecting rod* menerima berbagai jenis beban, termasuk gaya tekan, tarik, dan momen lentur, yang harus ditangani dengan kekuatan dan keandalan tinggi agar mesin berfungsi optimal.

Beban tersebut dapat berfluktuasi mengikuti berbagai kondisi operasional mesin seperti perubahan putaran dan tekanan pembakaran, sehingga menuntut desain yang tahan terhadap kondisi tersebut. Kerusakan pada *connecting rod* dapat memiliki dampak serius, seperti kegagalan mesin yang parah dan pengaruh negatif pada komponen sekitar. Karenanya, analisis mendalam diperlukan untuk memahami distribusi tegangan dan pola deformasi pada *connecting rod*, terutama pada area yang rawan seperti fillet big end dan small end, yang merupakan titik konsentrasi tegangan utama [1]. Tahap awal yang krusial untuk memahami perilaku struktural *connecting rod* adalah analisis statik.

* e-mail Corresponding: adamwisnumurti@polinela.ac.id

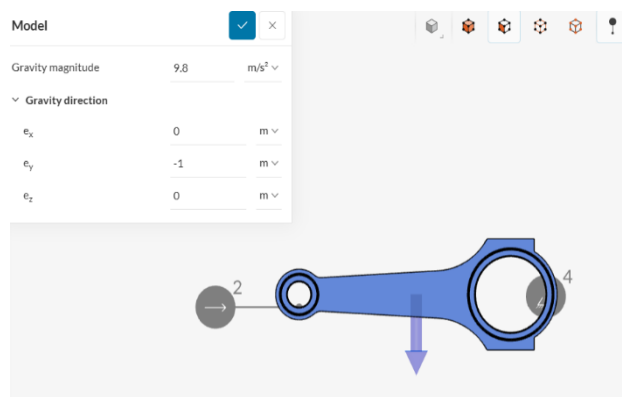
Melalui analisis ini, pola distribusi tegangan dan deformasi pada kondisi beban statik dapat diperoleh, memberikan gambaran lokasi konsentrasi tegangan serta pola lendutan struktur akibat beban tetap. Informasi ini sangat penting untuk mendasari perbaikan desain yang bertujuan menekan risiko kegagalan akibat kerusakan dini. Metode elemen hingga (FEM) menjadi pilihan utama karena kemampuannya mengakomodasi geometri kompleks dan memberikan hasil yang sangat detail mengenai distribusi tegangan dan deformasi. Dengan membagi model menjadi elemen-elemen kecil, FEM memungkinkan analisis numerik yang mendalam dan valid [2].

Lebih jauh lagi, *connecting rod* dirancang untuk menahan beban siklik selama operasi yang dapat menyebabkan kelelahan material. Namun, sebelum membahas ke kondisi pembebanan siklik, penting untuk mengetahui kenyamanan struktur bekerja di batas elastisnya saat menerima beban statik. Penelitian terhadap performa elastik komponen ini akan membantu menentukan keamanan desain serta parameter geometris kritis seperti radius fillet yang mempengaruhi konsentrasi tegangan. Dengan demikian, penelitian ini difokuskan pada analisis statik *connecting rod* berbahan baja sebagai dasar validasi kekuatan dasar dan titik awal dalam optimasi desain untuk mencegah kegagalan *premature* [3].

2. Alat dan Bahan

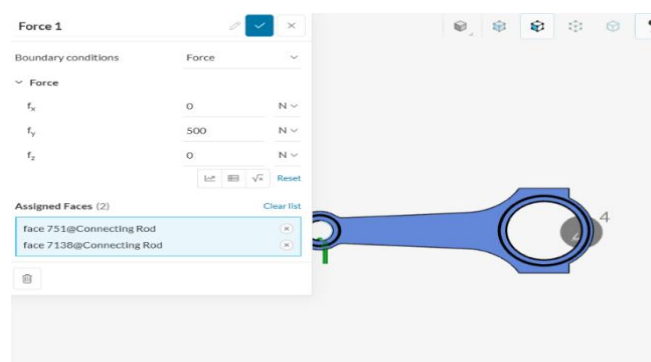
Dalam analisis *connecting rod*, sejumlah alat dan bahan digunakan untuk memperoleh data yang akurat mengenai distribusi tegangan serta deformasi yang terjadi pada komponen tersebut. Analisis ini penting karena *connecting rod* adalah bagian vital dalam mesin yang dapat mempengaruhi kinerja dan keandalan mesin secara keseluruhan. Pemahaman yang mendalam tentang titik-titik kritis dan pola pembebanan pada *connecting rod* dapat menghindarkan terjadinya kerusakan yang serius dan gagal fungsi mesin. Salah satu pendekatan yang umum digunakan dalam analisis *connecting rod* adalah metode elemen hingga (FEM). Metode ini dipilih karena kemampuannya untuk menangani geometri kompleks serta memberikan hasil yang sangat detail mengenai distribusi tegangan dan deformasi. Dalam penerapannya, model *connecting rod* dipecah menjadi elemen-elemen kecil, yang memungkinkan analisis numerik yang komprehensif tentang bagaimana material bereaksi terhadap beban yang diberikan.

Proses analisis biasanya melibatkan simulasi menggunakan metode statik linier elastik, di mana hasilnya mencakup peta kontur tegangan *Von Mises*, deformasi, dan gradien distribusi tegangan di titik-titik kritis seperti *fillet* pada *big end* dan *small end*. Titik-titik ini sangat penting karena merupakan area konsentrasi tegangan yang tinggi, berpotensi menyebabkan kegagalan jika tidak dianalisis dengan baik. Dengan menganalisis data tersebut, insinyur dapat memperkirakan nilai maksimum tegangan relatif terhadap batas luluh material, serta menentukan pola *displacement* yang terjadi.



Gambar 1. Penyesuaian Metode Gravitasi

Material yang diangkat dalam penelitian ini adalah baja karbon sedang yang memiliki sifat isotropik linier elastis. Karakteristik material meliputi modulus elastisitas sebesar 2.05×10^{11} Pa, rasio Poisson 0.28, dan densitas sekitar 7870 kg/m^3 , yang sesuai standar untuk komponen mesin yang memerlukan ketahanan mekanis tinggi. Baja jenis ini umum digunakan karena menawarkan keseimbangan antara kekuatan, daya tahan siklik, dan biaya produksi. Material isotropik memastikan sifat mekanik seragam di semua arah, sehingga hasil analisis mekanika berbasis asumsi ini memiliki validitas tinggi. Selain itu, kemampuan elastisitas material tersebut memadai untuk menahan beban kerja tanpa deformasi permanen, yang menjadikannya ideal untuk diuji dengan simulasi elastis linier [4].



Gambar 2. Penentuan titik pembebanan

Dalam analisis *connecting rod*, penambahan nilai gravitasi atau beban gravitasi dalam simulasi sangat krusial karena mempengaruhi distribusi tegangan dan deformasi komponen secara signifikan. Gravitasi berperan sebagai salah satu faktor beban yang harus diperhitungkan, terutama pada komponen yang mengalami siklus pembebanan dinamis, seperti *connecting rod* yang berfungsi dalam mesin pembakaran internal.

Pemasukan nilai gravitasi dalam simulasi bertujuan untuk menciptakan kondisi yang lebih realistis dalam analisis. Tanpa mempertimbangkan pengaruh gravitasi, hasil analisis bisa memberikan gambaran yang tidak akurat mengenai kinerja komponen, karena beban akibat gravitasi dapat menyebabkan pembebanan tambahan yang mengubah pola distribusi tegangan di area penting, seperti *fillet* pada *big end* dan *small end*. Ini adalah titik-titik kritis yang relevan karena mereka sering kali menjadi tempat terjadinya konsentrasi tegangan tinggi, yang dapat berujung pada kegagalan jika kondisi tidak sesuai.

Dalam praktiknya, simulasi dilakukan menggunakan metode elemen hingga (FEM) yang mencakup gravitasi sebagai bagian dari *loading condition*. Pemodelan ini memungkinkan untuk menghitung efek kombinasi dari gaya eksternal dan gaya gravitasi, sehingga memberikan peta kontur tegangan yang lebih akurat serta informasi terkait deformasi dan distribusi tegangan di sepanjang *connecting rod*. Hasil dari analisis tersebut tidak hanya memberikan wawasan mengenai batas aman desain tetapi juga membantu dalam merumuskan rekomendasi untuk memperbaiki desain agar lebih tahan terhadap potensi kegagalan.

Dengan demikian, penambahan nilai gravitasi dalam simulasi analisis *connecting rod* adalah hal yang esensial untuk mengoptimalkan ketahanan dan keandalan desain komponen ini dalam aplikasi nyata. Pemodelan geometri *connecting rod* dilakukan menggunakan perangkat lunak CAD dengan bentuk solid tiga dimensi lengkap yang mencakup lubang *big end* dan *small end* serta *fillet* kritis. Detail geometri, terutama pada *fillet*, sangat penting karena perubahan kecil pada radius *fillet* dapat memiliki dampak besar terhadap pola distribusi tegangan. Geometri ini selanjutnya diimpor untuk dianalisis menggunakan perangkat lunak FEM yang memungkinkan definisi sifat-sifat material dengan presisi tinggi. Simulasi dilakukan dengan *mesh tetrahedral* yang diperhalus terutama di area *fillet* untuk memastikan akurasi hasil analisis, mengingat daerah ini sering menjadi titik kegagalan [5].

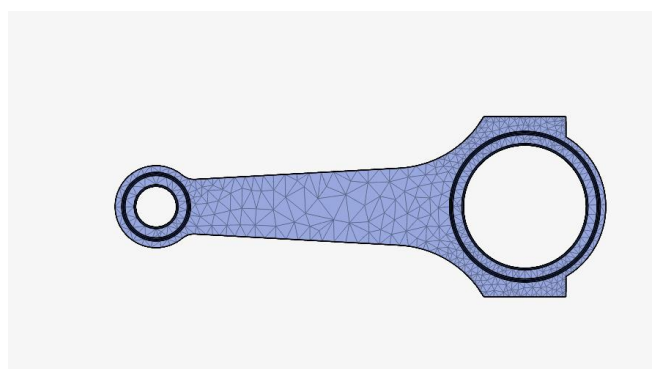
3. Metode Penelitian

Metode penelitian akan diperluas dengan penambahan analisis menggunakan *SimScale* sebagai *platform* simulasi berbasis *cloud* yang mendukung analisis mekanik dengan pemodelan berbasis elemen hingga (FEM). *SimScale* memungkinkan pemanfaatan sumber daya komputasi besar secara daring untuk melakukan simulasi mekanik secara cepat dan akurat tanpa memerlukan perangkat keras khusus. Dalam penelitian ini, model geometri *connecting rod* yang telah dibuat pada perangkat CAD diimpor ke *SimScale*, lalu didefinisikan sifat mekanik material baja isotropik linier elastik sama seperti simulasi sebelumnya. Kondisi batas berupa fiksasi total pada *big end* dan gaya statik 500 N pada *small end* juga diaplikasikan sama, serta berat sendiri komponen dihitung menggunakan percepatan gravitasi 9.8 m/s^2 . *Mesh* berbasis *tetrahedral* diperhalus di bagian *fillet* untuk memastikan akurasi tinggi, dikombinasikan dengan algoritma *mesh* adaptif *SimScale* yang meningkatkan resolusi pada daerah dengan gradien tegangan tinggi secara otomatis. Hasil simulasi *SimScale* berupa distribusi tegangan *Von Mises* dan deformasi dianalisis dan dibandingkan dengan hasil simulasi FEM *offline* sebagai bentuk validasi silang hasil dan peningkatan akurasi.

Pemanfaatan *SimScale* dalam penelitian ini memberikan beberapa keuntungan yaitu kemudahan kolaborasi tim melalui *platform* daring, kemampuan mengakses simulasi kapan saja tanpa batasan kapasitas perangkat lokal, serta integrasi alat pra dan pasca pemrosesan yang intuitif. Selain itu, *SimScale* menyediakan *history tracking* untuk setiap tahapan simulasi sehingga memudahkan audit dan reproduksi hasil penelitian. Dengan penambahan metode simulasi berbasis *cloud* ini, penelitian memperoleh dua sumber data pembandingan yang saling menguatkan sehingga meningkatkan kepercayaan akan

keabsahan hasil analisis statik *connecting rod*. Pendekatan ini mendukung metodologi penelitian modern yang menggabungkan kemampuan komputerisasi tinggi dengan pemodelan mekanik presisi untuk menghasilkan data yang dapat dipertanggungjawabkan.

Setelah pembuatan model CAD, termasuk detail area kritis seperti *fillet*, model dibersihkan dari cacat geometris agar saat diimpor ke *platform* simulasi tidak menghasilkan error *mesh* yang mengganggu analisis. Properti material diinput berdasarkan data eksperimental dengan konfirmasi literature untuk memastikan kesesuaian karakteristik baja karbon sedang sebagai bahan utama. Proses penentuan kondisi batas mempertimbangkan data empiris dan spesifikasi mesin aktual sehingga gaya dan fiksasi yang diaplikasikan merefleksikan kondisi kerja nyata. *Meshing* dilakukan dua tahap, awal menggunakan *mesh* global kasar untuk pemeriksaan awal dan *mesh* kedua dengan penyempurnaan di daerah kritis untuk mendapatkan hasil distribusi tegangan dan deformasi yang valid. Simulasi dilakukan dengan metode statik linier elastik, perekaman hasil berupa peta kontur tegangan *Von Mises*, deformasi, dan gradient distribusi tegangan di titik-titik kritis. Analisis data mempertimbangkan nilai maksimum tegangan relatif terhadap batas luluh material dan pola displacement untuk menentukan keamanan desain dan rekomendasi perbaikan [6], [7].



Gambar 3. Hasil Mesh

Dalam konteks analisis struktur *connecting rod*, penggunaan metode elemen hingga (*Finite Element Method*, FEM) adalah teknik yang umum dan diakui karena kemampuannya untuk mengatasi geometri yang kompleks dan memberikan wawasan mendalam mengenai distribusi tegangan serta deformasi yang terjadi pada komponen ini. Proses *meshing* yang cermat merupakan langkah pertama dalam penerapan FEM, di mana model geometris dibagi menjadi elemen-elemen kecil yang secara numerik dapat dianalisis. Elemen tetrahedral, yang memiliki bentuk tidak beraturan, sering digunakan dalam hal ini karena fleksibilitasnya yang tinggi dalam mengikuti bentuk geometris yang rumit dari *connecting rod*, terutama di area yang membutuhkan detail tinggi.

Pentingnya penyempurnaan *meshing* di daerah kritis, seperti *fillet* pada *big end* dan *small end*, tidak dapat diremehkan. Area ini merupakan titik konsentrasi tegangan yang sangat signifikan dan seringkali rentan terhadap kegagalan material. Dengan mengimplementasikan *mesh* yang lebih halus di area tersebut, detail mengenai variasi tegangan dapat terdeteksi dengan tingkat presisi yang lebih baik. Adanya elemen-elemen yang lebih kecil dan rapat ini

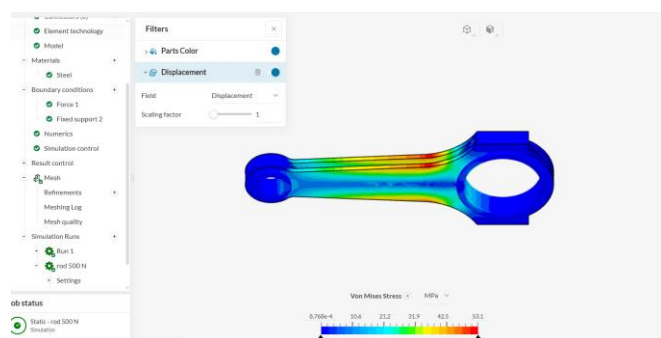
memungkinkan simulasi untuk memberikan gambaran yang lebih akurat mengenai pola distribusi tegangan, sehingga dapat membantu dalam mengidentifikasi potensi risiko kegagalan.

Meshing dalam analisis dilakukan dengan menggunakan elemen tetrahedral yang memiliki bentuk tidak beraturan untuk menyesuaikan kompleksitas geometri *connecting rod*. Penggunaan elemen tetrahedral ini penting karena mampu mengikuti bentuk konstruksi komponen yang rumit dan menghasilkan *mesh* yang kompak sehingga meningkatkan keakuratan simulasi. Area *fillet*, yang dikenal sebagai titik rawan konsentrasi tegangan, mendapat perhatian khusus dengan penyempurnaan *mesh* agar elemen-elemen pada bagian tersebut lebih kecil dan rapat. Penyempurnaan *mesh* ini memungkinkan simulasi mendeteksi variasi tegangan dengan detail yang lebih tinggi terutama pada titik kritis yang rawan mengalami kegagalan. Dengan demikian, ketelitian dalam membentuk *mesh* berkontribusi besar dalam validitas hasil simulasi distribusi tegangan dan deformasi komponen.

Setelah parameter *mesh* dan kondisi simulasi lainnya seperti sifat material dan pembebanan ditetapkan dengan seksama, analisis statik dijalankan untuk memproses model tersebut. Tujuan utama dari analisis ini adalah memperoleh distribusi tegangan *Von Mises* yang menggambarkan intensitas tegangan efektif di seluruh struktur *connecting rod*. Selain itu, deformasi total yang terjadi akibat pembebanan juga dihitung, memberikan gambaran bagaimana struktur merespon gaya yang diterima. Analisis statik ini penting sebagai tolok ukur kekuatan struktural untuk memastikan komponennya mampu menahan beban tanpa mengalami kerusakan atau deformasi permanen. Data output dari simulasi berupa peta kontur tegangan dan deformasi yang dapat divisualisasikan secara spasial memberi alat analisis yang kuat bagi para insinyur untuk melakukan evaluasi

4. Hasil dan pembahasan

Adapun hasil penelitian dan pembahasan yaitu sebagai berikut,



.Gambar 4. Hasil analisis

Analisis *connecting rod*, sebagai salah satu komponen vital dalam mesin, memerlukan pendekatan yang sangat detail dan sistematis. Mengingat perannya yang krusial dalam mentransfer tenaga dari piston ke crankshaft, kegagalan pada *connecting rod* dapat mengakibatkan dampak serius, termasuk kegagalan mesin secara keseluruhan. Oleh karena itu, analisis mendalam diperlukan untuk memahami distribusi tegangan dan pola deformasi

yang terjadi pada komponen ini, terutama di area non-homogen seperti *fillet* yang menghubungkan big end dengan batang *connecting rod* dan kran. Metode yang umum digunakan dalam analisis ini adalah metode elemen hingga (Finite Element Method, FEM) yang diakui secara luas. FEM memiliki keunggulan dalam mengakomodasi geometri kompleks, mampu menghasilkan data yang akurat mengenai distribusi tegangan dan deformasi dalam struktur yang tidak sederhana.

Dalam praktiknya, FEM membagi model menjadi elemen-elemen kecil yang lebih mudah dianalisis, yang pada gilirannya memungkinkan pemahaman yang lebih dalam tentang perilaku material di bawah kondisi beban tertentu. Penerapan FEM pada analisis *connecting rod* dilakukan dengan menciptakan model geometris yang mencerminkan sifat nyata dari komponen. Model ini kemudian dikenakan pada berbagai kondisi beban, termasuk pembebanan statik dan dinamik, untuk mengevaluasi respons struktur. Dalam konteks analisis statik, penting untuk dicatat bahwa nilai tegangan *Von Mises* yang dihasilkan dari simulasi memberikan gambaran tentang intensitas tegangan efektif di seluruh struktur *connecting rod*. Hal ini sangat penting karena membantu mengidentifikasi area-area kritis yang mungkin berisiko mengalami kegagalan, seperti pada *fillet* yang sering kali menjadi titik awal retakan akibat konsentrasi tegangan.

Dalam proses simulasi, penggunaan peta kontur tegangan *Von Mises* merupakan alat yang sangat berguna untuk memvisualisasikan distribusi tegangan di dalam material. Dengan data tersebut, analisis ini dapat memberikan informasi yang lebih mendalam tentang di mana konsentrasi tegangan tertinggi terjadi. Temuan ini akan menunjuk pada *fillet* big end, yang menjadi titik lemah mengingat perubahan geometri yang tajam dan beban tekan yang diteruskan dari small end. Di sisi lain, pengukuran yang dilakukan pada small end menunjukkan bahwa meskipun nilai tegangan di bagian ini lebih rendah, deformasi yang dialami justru paling signifikan. Ini sejalan dengan karakteristik perilaku batang kantilever, di mana bagian ujung bebas biasanya mengalami displacement yang lebih tinggi sebagai respons terhadap gaya yang diterapkan. Dalam penelitian ini, gaya tekan yang diterapkan sebesar 500 N menghasilkan pola deformasi yang mengindikasikan kelengkungan pada arah gaya, memberikan informasi berharga tentang bagaimana struktur merespons beban luar yang dikenakan padanya. Apabila kita analisis lebih lanjut, meskipun nilai tegangan maksimum yang diperoleh dari simulasi berada di bawah batas luluh material baja, hal ini tetap perlu mendapatkan perhatian lebih lanjut. Memastikan bahwa nilai tersebut berada dalam batas aman adalah langkah penting dalam mendesain komponen yang mampu bertahan dalam kondisi operasional normal. Dengan demikian, analisis statik ini menjadi sebuah tolok ukur penting dalam menentukan keamanan dan keandalan desain, serta memberikan panduan untuk rekomendasi perbaikan struktur di area-area yang teridentifikasi sebagai titik rawan.

Proses evaluasi ini tidak hanya sekadar analisis kegagalan tetapi juga sebuah kesempatan untuk mengoptimalkan desain. Pengoptimalan ini dapat dilakukan dengan mempertimbangkan perubahan radius pada *fillet* atau meningkatkan ketebalan pada area yang rawan, sehingga konsentrasi tegangan dapat diminimalkan. Beberapa studi menunjukkan bahwa peningkatan radius

fillet dapat mengurangi risiko kegagalan lokal dengan cara menyebarkan tegangan lebih merata di sepanjang struktur.

Melalui siklus analisis yang berulang ini, para insinyur dapat merancang model yang bukan hanya memenuhi kriteria kinerja tetapi juga aman dalam jangka panjang, mengurangi kemungkinan terjadinya kerusakan atau keausan yang dapat mempengaruhi efisiensi operasional mesin secara keseluruhan. Dengan demikian, optimasi desain yang didasarkan pada analisis statik memberikan kontribusi terhadap kualitas dan keandalan komponen yang dirancang, serta menyebabkan penghematan biaya perawatan dan penggantian di masa depan. Secara keseluruhan, penting untuk mengingat bahwa pemahaman yang mendalam mengenai distribusi tegangan dan deformasi dalam *connecting rod* adalah krusial. Analisis ini tidak hanya membantu dalam evaluasi kinerja struktural setelah simulasi statik tetapi juga menempatkan dasar yang kuat untuk eksplorasi lebih lanjut dalam analisis dinamis dan kelelahan, mengantarkan arah penelitian ke aplikasi dunia nyata yang lebih beragam dan kompleks.

5. Kesimpulan

Hasil analisis yang dilakukan pada *connecting rod* menunjukkan bahwa distribusi tegangan *Von Mises* tidak merata di seluruh struktur, dengan konsentrasi tegangan tertinggi ditemukan pada *fillet big end*, yang merupakan area penghubung antara batang *connecting rod* dan kedudukan crankshaft. Konsentrasi tegangan ini muncul sebagai akibat dari perubahan geometris yang tajam dan beban tekan yang diteruskan dari *small end*. *Fillet* sebagai area transisi dalam geometri komponen ini sering kali menjadi titik awal retakan, terutama ketika terpapar pembebanan siklik yang berulang, mengingat bahwa pada banyak komponen mesin, titik kritis seperti ini memiliki potensi untuk menjadi lokasi kegagalan.

Meskipun terjadi peningkatan stres di *big end*, area *small end* menunjukkan nilai tegangan yang lebih rendah. Namun, pengukuran deformasi memberikan hasil yang menarik, di mana *small end* mengalami deformasi terbesar. Hal ini sejalan dengan karakteristik perilaku struktural seperti batang kantilever, di mana bagian ujung bebas umumnya mengalami displacement yang lebih tinggi akibat penerapan gaya. Dalam simulasi ini, beban yang dikenakan sebesar 500 N menunjukkan pola deformasi yang khas, memperlihatkan kelengkungan yang terjadi di arah beban, yang mendemonstrasikan respons struktural terhadap gaya yang diterima.

Nilai maksimum tegangan yang dihasilkan dari analisis tetap berada di bawah batas luluh material baja, yang menunjukkan bahwa desain *connecting rod* tersebut aman untuk kondisi pembebanan statik. Meskipun terdapat konsentrasi tegangan, komponen masih dalam area aman untuk beroperasi tanpa risiko kerusakan jangka pendek. Temuan ini memberikan informasi yang berharga dalam evaluasi kekuatan desain dan dapat digunakan sebagai referensi untuk melangkah ke tahap analisis lebih lanjut, termasuk analisis dinamis dan kelelahan.

Pesan yang jelas dari analisis ini adalah pentingnya mengidentifikasi area yang membutuhkan perhatian khusus, seperti pengoptimalan desain di lokasi-lokasi dengan konsentrasi tegangan tinggi. Untuk mengurangi risiko retakan dan memperpanjang umur layanan komponen,

beberapa rekomendasi desain dapat diimplementasikan. Misalnya, memperbesar radius pada *fillet* atau meningkatkan ketebalan di bagian yang rawan dapat mereduksi konsentrasi tegangan yang berbahaya. Melalui optimasi desain ini, bisa dicapai peningkatan performa dan keandalan dari *connecting rod*, serta komponen mesin lainnya.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Politeknik Negeri Lampung, Bandar Lampung, 35141, Indonesia, atas fasilitas dan dukungan akademik yang diberikan selama proses penelitian ini. Apresiasi juga disampaikan kepada Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sang Bumi Ruwa Jurai, Jl. Imam Bonjol No. 468 Langkapura, Bandar Lampung, yang telah memberikan bantuan teknis dan fasilitas penelitian sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik. Dukungan dari kedua institusi ini sangat berarti bagi kelancaran dan keberhasilan studi yang penulis lakukan.

Daftar pustaka

- [1]. Kumar, A., & Yadav, R. (2021). Static structural and fatigue analysis of *connecting rod* using FEA. *Materials Today: Proceedings*, 46, 5323–5330.
- [2]. Zhang, L., Chen, H., & Zhou, J. (2021). Recent advances in finite element analysis for mechanical component evaluation. *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 127, 45–57.
- [3]. Mourad, M., Abdelghany, M., & Hassan, M. (2022). Finite element analysis and optimization of *connecting rod* for lightweight engine design. *Engineering Solid Mechanics*, 10(2), 145–154.
- [4]. Ismail, M. R., Aly, M. F., & Awad, M. (2021). Failure analysis and stress evaluation of automotive *connecting rods* under static and dynamic loads. *Alexandria Engineering Journal*, 60(5), 4751–4762.
- [5]. Nayak, S., & Jena, S. (2020). Structural analysis and shape optimization of *connecting rod* using finite element method. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 9(4), 569–575.
- [6]. Basha, A., & Kumar, P. (2023). Stress concentration and fatigue life evaluation of engine *connecting rod* under variable loading. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 37(1), 421–432.
- [7]. Li, S., & Chen, X. (2020). Improved tetrahedral meshing strategies for stress accuracy in curved mechanical parts. *Computer-Aided Design*, 123, 102850.