

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan menggunakan metode elemen hingga (Finite Element Analysis, FEA) pada *bumper bar* bus Hino, dapat ditarik beberapa kesimpulan penting mengenai performa dan keamanan desain bumper bar tersebut dalam menghadapi beban statis yang diberikan.

1. Tegangan pada *Bumper Bar*

Hasil analisis tegangan menunjukkan bahwa tegangan maksimum terjadi pada sambungan antara *bumper bar* dan rangka pendukung, dengan nilai 1.852 MPa. Bagian ini memiliki potensi kegagalan yang cukup tinggi, yang dapat berisiko apabila bumper bar menghadapi beban yang lebih besar dari yang diuji. Sebaliknya, bagian struktur utama *bumper bar* mengalami tegangan yang jauh lebih rendah (berwarna biru), menandakan bahwa bagian tersebut dapat bertahan dengan baik terhadap beban yang diberikan. Oleh karena itu, titik sambungan antara *bumper bar* dan rangka pendukung harus menjadi perhatian utama dalam proses desain dan optimasi lebih lanjut untuk menghindari kegagalan struktural.

2. Perpindahan pada Struktur

Analisis perpindahan menunjukkan bahwa perpindahan maksimum terjadi pada ujung *bumper bar* dengan nilai 0.01933 mm. Meskipun nilai perpindahan ini terbilang kecil dan dalam batas aman, area tersebut menunjukkan fleksibilitas *bumper bar* dalam menyerap energi benturan. Sementara itu, struktur utama dan titik pemasangan ke sasis tetap stabil dengan perpindahan yang mendekati nol. Hasil ini menunjukkan bahwa desain bumper bar memiliki kinerja yang baik dalam mempertahankan kestabilan struktural pada bagian-bagian kritis.

3. Regangan pada *Bumper Bar*

Berdasarkan hasil simulasi regangan, terlihat bahwa nilai regangan maksimum terjadi pada sambungan antara *bumper bar* dan rangka pendukung. Dengan nilai regangan maksimum yang kecil (5.881×10^{-6}), material *bumper bar* masih berada dalam batas elastis dan tidak

mengalami deformasi permanen. Hal ini menunjukkan bahwa *bumper bar* mampu menyerap energi benturan tanpa mengalami kerusakan atau perubahan bentuk yang signifikan. Oleh karena itu, desain *bumper bar* dapat dikatakan efektif dalam menjaga struktur tetap aman di bawah kondisi pembebanan yang diuji.

4. Faktor Keamanan pada Struktur

Hasil simulasi faktor keamanan menunjukkan bahwa meskipun terdapat area dengan faktor keamanan minimum pada sambungan *bumper bar* dan rangka pendukung (nilai FOS 1.116×10^2), struktur ini masih berada dalam kondisi aman. Nilai FOS yang jauh lebih tinggi di beberapa area lainnya menunjukkan bahwa desain *bumper bar* memiliki margin keamanan yang cukup besar. Hal ini menandakan bahwa desain *bumper bar* masih mampu menahan beban lebih besar dengan risiko kegagalan yang sangat rendah.

Secara keseluruhan, hasil simulasi menunjukkan bahwa desain *bumper bar* bus Hino sudah berada dalam kondisi aman dan efektif untuk menghadapi beban statis yang diterapkan. Namun, untuk menghadapi skenario kecelakaan yang lebih ekstrem atau beban yang lebih besar, perlu dilakukan optimasi tambahan pada titik-titik kritis, terutama pada sambungan *bumper bar* dengan rangka pendukung, dengan meningkatkan ketebalan material atau menggunakan material yang lebih kuat. Desain yang dihasilkan melalui simulasi ini dapat menjadi acuan dalam pengembangan bumper bar yang lebih kuat dan optimal, sehingga mampu memberikan perlindungan maksimal bagi penumpang dan kendaraan dalam kondisi operasional yang sebenarnya.

V.2. Saran

Berdasarkan hasil analisis dan simulasi yang telah dilakukan pada *bumper bar* bus Hino, beberapa saran berikut dapat dipertimbangkan untuk pengembangan lebih lanjut dalam desain dan optimasi *bumper bar* agar lebih efektif dalam menangani beban dan meningkatkan keselamatan kendaraan:

1. Optimasi pada Titik Kritis Sambungan

Dari hasil simulasi tegangan dan regangan, diketahui bahwa sambungan antara *bumper bar* dan rangka pendukung adalah titik yang paling rentan terhadap potensi kegagalan struktural. Oleh karena itu, perlu dilakukan optimasi pada desain sambungan ini, seperti meningkatkan ketebalan material pada area tersebut atau menggunakan material dengan kekuatan tarik yang lebih tinggi untuk memperkuat titik kritis ini. Penguatan pada sambungan akan mengurangi risiko kegagalan dan meningkatkan daya tahan *bumper bar* terhadap beban yang lebih besar.

2. Penggunaan Material yang Lebih Kuat dan Ringan

Untuk meningkatkan performa *bumper bar* dalam menghadapi benturan, disarankan untuk mengeksplorasi penggunaan material komposit atau material dengan kekuatan yang lebih tinggi namun tetap ringan. Material seperti baja yang lebih kuat atau aloi ringan dengan kekuatan tarik yang tinggi dapat meningkatkan daya serap energi *bumper bar* tanpa menambah bobot yang signifikan, yang pada akhirnya dapat memberikan keuntungan pada efisiensi bahan bakar dan kinerja kendaraan secara keseluruhan.

3. Evaluasi Terhadap Beban Dinamis

Hasil simulasi yang dilakukan pada *bumper bar* bus Hino lebih mengarah pada beban statis, yang merupakan kondisi ideal dalam pengujian. Namun, dalam kenyataannya, bumper bar juga akan menghadapi beban dinamis pada saat terjadi tabrakan atau benturan dengan kecepatan tinggi. Oleh karena itu, disarankan untuk melakukan simulasi lebih lanjut dengan mempertimbangkan beban dinamis yang lebih ekstrem agar desain *bumper bar* dapat memastikan bahwa

performa strukturalnya tetap terjaga pada kondisi benturan yang lebih keras.

4. Penerapan Standar Keamanan yang Lebih Ketat

Meskipun desain *bumper bar* sudah menunjukkan nilai faktor keamanan yang memadai, penerapan standar keselamatan yang lebih ketat dan lebih komprehensif perlu dipertimbangkan, terutama dalam konteks perlindungan bagi penumpang dan pejalan kaki. Melakukan uji benturan dengan standar kecelakaan yang lebih ekstrem dapat memberikan gambaran lebih jelas tentang kekuatan *bumper bar* dan memastikannya sesuai dengan regulasi keselamatan kendaraan yang lebih ketat.

5. Pemanfaatan Teknologi Simulasi Lanjutan

Untuk memastikan desain bumper bar yang lebih optimal dan aman, disarankan untuk memanfaatkan teknologi simulasi lanjutan seperti simulasi benturan atau *crash test virtual* menggunakan perangkat lunak yang lebih spesifik untuk uji kecelakaan. Hal ini akan memberikan hasil yang lebih representatif terhadap kinerja *bumper bar* di bawah kondisi tabrakan yang lebih kompleks, serta membantu merancang solusi yang lebih efektif dalam menyerap energi benturan dan mengurangi risiko cedera pada penumpang.

6. Evaluasi Durabilitas dan Keandalan Jangka Panjang

Selain mempertimbangkan kekuatan dan daya serap energi *bumper bar*, penting juga untuk mengevaluasi durabilitas dan keandalan bumper bar dalam jangka panjang. Uji ketahanan terhadap korosi, keausan material, dan degradasi fisik akibat paparan cuaca atau bahan kimia juga harus dilakukan untuk memastikan *bumper bar* tetap berfungsi dengan baik dalam jangka waktu yang panjang. Desain *bumper bar* yang tahan lama akan memberikan nilai lebih pada keselamatan dan biaya pemeliharaan kendaraan.

Dengan mengikuti saran-saran di atas, desain *bumper bar* bus Hino dapat diperbaiki dan dioptimalkan lebih lanjut untuk meningkatkan keselamatan dan kinerjanya. Penerapan perbaikan dan optimasi desain yang berkelanjutan akan memberikan dampak positif bagi industri otomotif, terutama dalam hal peningkatan perlindungan penumpang dan pengemudi.

DAFTAR PUSTAKA

- PT Anindya Mitra Internasional. (n.d.). Retrieved Oktober 10, 2023, from <http://anindya.co.id/>
- Peraturan Daerah No. 4 Tahun 1987 tentang *Perusahaan Daerah Aneka Industri dan Jasa "ANINDYA"* Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta
- Steenbrink, P. A. (1974). *Optimization of Transport Networks*. New York: John Wiley & Sons.
- Zienkiewicz, O. C. , & T. R. L. (2005). *The Finite Element Method Fifth edition Volume 1: The Basis*.
- Du, B., Li, Q., Zheng, C., Wang, S., Gao, C., & Chen, L. (2023). Application of Lightweight Structure in Automobile Bumper Beam: A Review. Dalam *Materials* (Vol. 16, Nomor 3). MDPI. <https://doi.org/10.3390/ma16030967>
- SOLIDWORKS. (2021). SOLIDWORKS 3D CAD | SOLIDWORKS. <https://www.solidworks.com/product/solidworks-3d-cad>
- Belytschko, T., & Fleming, M. (1999). Smoothing, enrichment and contact in the element-free Galerkin method. *Computers & Structures*, 71(2), 173–195. [https://doi.org/10.1016/S0045-7949\(98\)00205-3](https://doi.org/10.1016/S0045-7949(98)00205-3)
- UN ECE R.42. (1980). Agreement concerning the adoption of uniform conditions of approval and reciprocal recognition of approval for motor vehicle equipment and parts done at geneva on 20 march 1958 date of entry into force as an annex to the agreement uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to their front and rear protective devices (bumpers, etc.).
- Kumar, K. (2020). *Journal of Automobile Engineering and Applications Study of Two-distinct Automotive Bumper Beam Designs during Low speed impacts*. 16–28. www.stmjournals.com
- Steel Market Development Institute. (2013). *Steel Bumper Systems For Passenger Cars And Light Trucks Product*. <https://www.yumpu.com/en/document/read/34555946/steel-bumper-systems-for-passenger-cars-and-light-trucks-product>
- Hutton, D. V. (2004). *Fundamentals of Finite Element Analysis, Hutton (2004)*.