

KAJIAN PEMBEBANAN STATIS PADA DESAIN PURWARUPA SASIS MOBIL LISTRIK DRIYARKARA BERBASIS APLIKASI ELEMEN HINGGA

Achilleus Hermawan Astyanto^{1*}, Yana Resti Yanto², Stephanus Debby³, Adolf Baskoro Wisnu Aji⁴,
Freddy Saputra Romanti⁵

^{1,2,3,4,5} Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma
Kampus III USD Paingan, Maguwoharjo, Depok, Sleman, Yogyakarta
Telp. (0274) 883037, Fax. (0274)886529
E-mail korespondensi: achil.herma@usd.ac.id

INTISARI

Kegiatan pengembangan awal suatu produk unggulan biasanya diinisiasi dengan tahap desain. Sebelum dilanjutkan ke tahap fabrikasi, teknologi komputasi masa kini memberi peluang luas untuk melanjutkan analisis mekanis pada tahapan studi simulasi desain purwarupa yang telah dikonsepkan. Melalui pertimbangan maupun penerapan kondisi batas mendekati keadaan faktual, prosedur ini memungkinkan didapatkannya data yang juga mendekati kondisi riil. Makalah ini merupakan hasil studi inisiasi rangkaian aktivitas desain, simulasi komputer berbasis elemen hingga serta pengujian fisis untuk mengetahui apakah desain sasis purwarupa mobil listrik hemat energi Driyarkara yang telah digagas memenuhi persyaratan kelayakan kekuatan desain dan material yang dipilih terhadap mode pembebanan statis. Dengan fitur simulasi pembebanan pada aplikasi komputer berbasis elemen hingga diperoleh nilai tegangan von Mises maksimum dan maximum displacement masing-masing sebesar 138 MPa dan 7,87 mm untuk total beban statis sebesar 0,7 kN terhadap desain yang dipilih. Hasil yang dipaparkan dalam makalah ini, akan divalidasikan kemudian melalui pengujian fisis berupa strain gauge dan hummer impact test. Strain gauge test diharapkan dapat memberikan validasi nilai tegangan-displacement pada struktur sasis, sementara itu, hummer impact test dilakukan untuk mengetahui frekuensi alami desain yang dihasilkan.

Kata Kunci: sasis, simulasi komputer, elemen hingga, pembebanan statis

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mobil listrik telah diklaim sebagai generasi mobil yang akan bertahan dan berkembang di masa depan. Irit konsumsi bahan bakar serta lebih ramah lingkungan menjadi alasan cerdas di balik pernyataan tersebut. Teknologi mobil listrik dipercaya tidak menghasilkan emisi gas buang seperti mobil konvensional. Selain itu, jenis kendaraan ini juga tidak menghasilkan polusi suara maupun kebisingan.

Didasari kajian bahwa keunggulan yang dikumandangkan berkenaan dengan teknologi mobil listrik adalah pendekatan teoritis yang bersifat faktual, pemerintah pun merespon secara cukup positif pengembangan mobil listrik melalui Peraturan Presiden (Perpres) nomor 22 tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN). Dalam peraturan tersebut, secara eksplisit pemerintah bahkan mendorong optimalisasi pengembangan mobil listrik di Indonesia (www.cnbcindonesia.com).

Dukungan pemerintah terhadap penelitian maupun pengembangan mobil listrik ini kemudian disambut baik secara cukup masif, tidak hanya oleh para pelaku industri otomotif, melainkan juga para akademisi dan peneliti, baik di institusi sekolah menengah kejuruan maupun pendidikan tinggi. Hingga akan memasuki kuartal kedua 2018, tercatat tidak hanya satu kali mobil listrik telah mencuri perhatian pada ajang-ajang pameran otomotif ataupun kompetisi yang berskala purwarupa maupun pengembangan, di tingkat regional, nasional serta internasional. Dalam hal ini produk-produk purwarupa pendidikan tinggi pun tidak lepas dari perhatian para stakeholder maupun khalayak umum.

Rancang bangun purwarupa menjadi langkah awal mengembangkan suatu produk, termasuk mobil listrik. Teknologi perancangan tiga dimensi berbasis parametrik *computer aided design* (CAD) bahkan kian menunjukkan taringnya dalam mengawal kemajuan pesat ini. Sebut saja Dassault dengan Solidworks-nya, Autodesk dengan Inventor dan Fusion 360-nya, hingga Cleo dengan ProEngineer-nya telah umum dikenal oleh berbagai kalangan baik praktisi maupun akademisi. Bagaimana tidak, fitur-fitur yang disediakan bahkan dapat mendukung aplikasi simulatif yang mendekati penggunaan sesungguhnya atau dikenal dengan istilah *computer aided engineering* (CAE).

Pembebanan statis adalah suatu fitur yang tersedia dalam aplikasi simulatif teknologi CAE. Pembebanan ini umum dijumpai dalam pemakaian kendaraan. Hal ini kemudian menjadi parameter penting dalam perancangan sasis kendaraan. Pada pembebanan statis, parameter tegangan maksimum, tegangan von Mises, juga torsi dihitung dan diperbandingkan dengan kekuatan material. Upaya-upaya mencermati hasil pembebanan statis pada umumnya dapat dilakukan baik melalui studi simulasi berbasis elemen hingga menggunakan perangkat lunak (Nugroho, 2015; Yamin dkk, 2008;) maupun secara eksperimental (Wahyudi & Fahrudi, 2016).

1.2 Tinjauan Pustaka

Analisa pembebanan statis berbasis elemen hingga pada sasis kendaraan telah dilakukan oleh banyak peneliti. Rajappan dan Vivekanandhan (2013) mencermati analisa statis dan modal suatu sasis kendaraan niaga. Identifikasi titik-titik dengan kriteria mengalami pembebanan yang tinggi, analisa getaran serta frekuensi alami struktur sasis dilakukan dengan menggunakan aplikasi elemen hingga. Densitas serta *poisson ratio* material menjadi parameter yang divariasikan untuk memperoleh desain optimal sasis yang kemudian diajukan sebagai solusi untuk mengurangi tingkat getaran, memperkuat kekuatan struktur serta menentukan berat optimal dari sasis.

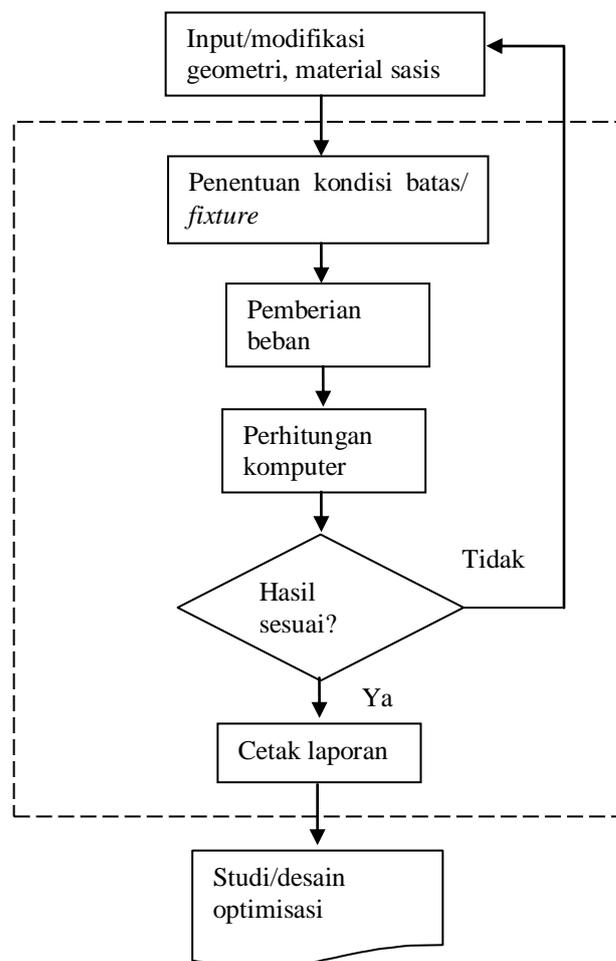
Abadi dkk (2015) meneliti pembebanan statis pada sasis *Automation Guided Vehicle* (AGV) untuk material handling. Analisa pembebanan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Abaqus 6.11 dengan pembebanan didesain dapat berputar untuk mengetahui deformasi serta titik-titik kritis akibat pembebanan. Dengan menerapkan posisi beban dapat diputar serta naik-turun, titik-titik kritis dimungkinkan terjadi pada beberapa bagian.

Pribadi dkk (2015) melanjutkan kajian pembebanan statis pada sistem pengangkat/*lifting* AGV untuk memperoleh nilai tegangan von Mises serta regangan komponen kritikal dari desain yang telah dibuat. Besarnya tegangan dan regangan yang diperoleh dianalisa menggunakan aplikasi elemen hingga pada perangkat lunak Abaqus 6.11. Kondisi pengangkatan beban maksimal mendasari analisa pembebanan tersebut.

Kumar dan Deepanjali (2016) melakukan kajian numeris pada desain sasis truk untuk memperoleh ukuran melintang serta jenis material yang lebih sesuai menggunakan perangkat lunak ANSYS. Pembebanan maksimum diaplikasikan dalam simulasi untuk memperoleh tegangan geser maksimum yang dihasilkan.

1.3 Metodologi Penelitian

Makalah ini merupakan hasil studi inisiasi rangkaian aktivitas desain, simulasi komputer berbasis metode elemen hingga serta pengujian fisis untuk mengetahui apakah desain sasis purwarupa mobil listrik hemat energi Driyarkara yang telah dikonsepsikan sudah memenuhi persyaratan kelayakan kekuatan desain dan material yang dipilih terhadap mode pembebanan statis. Diagram alir simulasi ditunjukkan di Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir aplikasi elemen hingga menggunakan Solidworks

Sasis merupakan suatu struktur mekanis untuk menahan beban statis dari keseluruhan berat kendaraan termasuk mesin dan penumpang. Ada 2 jenis utama sasis yang umum dikenal, yaitu sasis tipe tangga (*ladder chasis*) dan sasis tipe monokok (*monocoque chasis*). Sasis tipe tangga umum digunakan pada kendaraan besar seperti kendaraan niaga, truk dan bus. Sementara itu kendaraan penumpang ringan seperti sedan, *city car* dan *multi purpose vehicle* (MPV) biasanya menggunakan jenis monokok.

Pada sasis, terjadi beberapa beban akibat pembebanan statis. Pembebanan tersebut meliputi beban akibat torsi serta beban vertikal. Beban akibat torsi dialami oleh kendaraan akibat geometri kendaraan, sedangkan beban vertikal dapat meliputi berat penumpang, mesin maupun komponen-komponen pada kendaraan. Benang merah pada pembebanan statis memang terkait dengan resultan gaya yang berkerja pada sasis ketika sasis itu difungsikan sebagaimana mestinya.

Hukum II Newton tentang gerak secara eksplisit menyebutkan bahwa apabila resultan gaya (ΣF) yang bekerja pada suatu partikel tidak sama dengan nol, maka resultan gaya tersebut sebanding dengan massa dikalikan dengan percepatan yang dialami oleh partikel. Hal ini dapat dituliskan dengan formula sebagai berikut.

$$\sum F = ma \quad (1)$$

dengan: m merupakan massa partikel
 a menunjukkan percepatan yang dialami oleh gerak partikel

Sementara itu nilai tegangan normal (σ_n) yang bekerja pada suatu luasan akan berbanding lurus dengan besarnya gaya normal yang diterima oleh partikel tersebut. Hal ini dapat diformulasikan dalam persamaan berikut.

$$\sigma_n = \frac{F_n}{A} \quad (2)$$

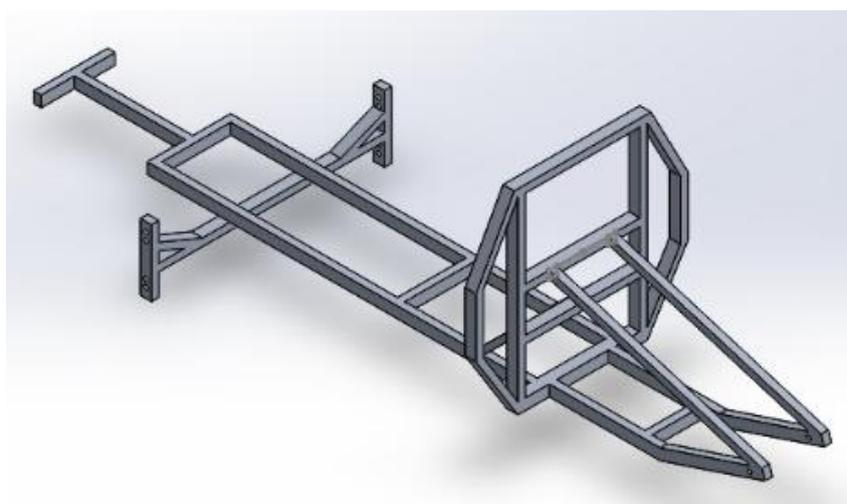
dengan: F_n gaya normal yang dialami oleh partikel
 A menunjukkan luasan gaya diberikan

Adanya gaya yang bekerja pada suatu struktur serta jarak antara titik gaya dan titik referensi puntiran yang mungkin terjadi pada geometri struktur mengakibatkan munculnya torsi. Torsi atau momen puntir (M_t) akan sebanding besarnya gaya yang diterima oleh suatu titik dikalikan dengan jarak titik gaya terhadap sumbu kedudukan. Hubungan antara torsi, gaya dan jarak dituliskan dalam persamaan berikut.

$$M_t = Fr \quad (3)$$

dengan: r adalah jari-jari titik gaya terhadap titik pusat radius puntiran.

Desain sasis yang akan disimulasikan ditunjukkan di Gambar 2. Dimensi sasis secara global direncanakan sebesar 2 meter x 0,5 m x 0,5 m untuk masing-masing panjang, lebar dan tinggi. Sementara itu, jenis material yang digunakan dalam simulasi perancangan adalah Aluminium paduan Al 5154-O berbentuk *hollow square* dengan dimensi 20 mm x 15 mm x 1,5 mm untuk masing-masing lebar, tinggi dan tebal. Material ini dipilih dengan pertimbangan sifatnya yang ringan serta memiliki kekuatan yang cukup baik untuk nilai beban yang diperhitungkan. Beberapa parameter penting properti material ini ditunjukkan pada Tabel 1.



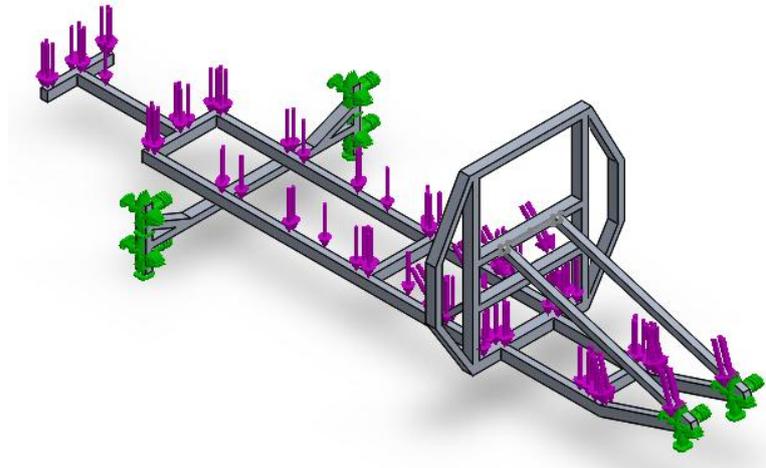
Gambar 2. Desain purwarupa sasis mobil listrik Driyarkara

Tabel 1. Properti material Al 5154-O

Material	Modulus Elastisitas, GPa	Densitas, kg/m ³	Poisson's Ratio	Tegangan Luluh, MPa
Al5154-O	69	2600	0,33	139

2. PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, simulasi desain dilakukan dengan mengaplikasikan beban berupa gaya pada bidang permukaan sasis seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Beban statis tersebut diestimasi sebagai pengganti bobot rerata pengendara yang diizinkan, motor listrik, bodi serta komponen-komponen lain yang akan diasemblikan pada sasis. Sementara itu, lubang-lubang untuk menempatkan poros ban digunakan sebagai titik-titik tumpuan yang tetap/fixture.

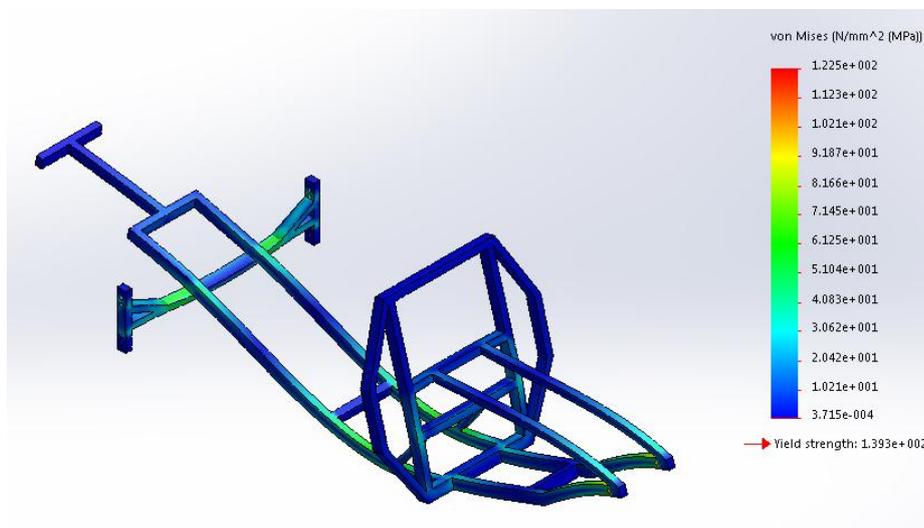


Gambar 3. Kondisi batas dan pembebanan statis yang ditetapkan pada sasis

Dengan merujuk dan mengaplikasikan total beban statis sebesar 0,7 kN pada kondisi perancangan, diperoleh nilai tegangan von Mises minimum dan maksimum masing-masing sebesar 0,26 dan 85,8 MPa. Nilai tegangan von Mises maksimum terbilang masih dalam batas nilai yang diizinkan oleh nilai tegangan luluh material. Titik di mana terdapat tegangan maksimum ini disebut sebagai titik kritis pembebanan. Besarnya nilai tegangan maksimum ini tidak melampaui besarnya kekuatan luluh material.

Tabel 2. Nilai tegangan von Mises untuk 4 variasi beban

Beban, kN	Tegangan von Mises minimum, MPa	Tegangan von Mises maksimum, MPa
0,7	0,26	85,8
0,85	0,32	105
1	0,38	123
1,1	0,41	135



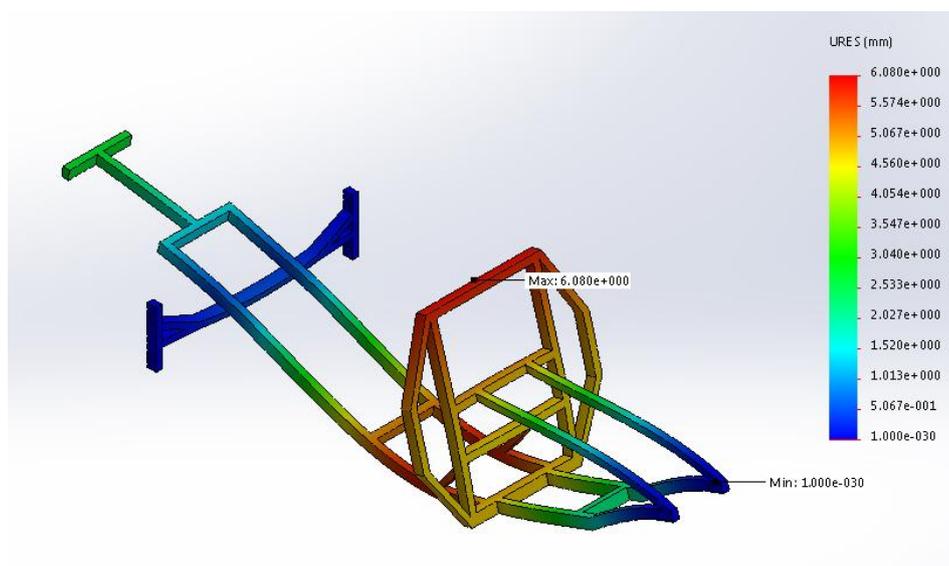
Gambar 4. Kondisi tegangan von Mises pada sasis akibat pembebanan statis

Tabel 2 menyajikan nilai tegangan von Mises untuk beberapa variasi nilai pembebanan, sementara kondisi tegangan von Mises ditunjukkan di Gambar 4. Semakin besar pembebanan yang diberikan, semakin tinggi pula nilai tegangan von Mises yang terjadi. Untuk total pembebanan statis sebesar 0,85 kN diperoleh nilai tegangan von Mises minimum dan maksimum masing-masing sebesar 0,32 dan 105 MPa. Untuk pembebanan statis sebesar 1,0 kN diperoleh nilai tegangan von Mises minimum dan maksimum masing-masing sebesar 0,38 dan 123 MPa. Sementara itu pembebanan statis sebesar 1,1 kN memberikan nilai tegangan von Mises minimum sebesar 0,41 MPa dan tegangan von Mises maksimum sebesar 135 MPa. Dengan demikian, beban total 1,1 kN masih dapat diaplikasikan pada desain ini karena nilai tegangan von Mises maksimum yang dihasilkan masih di bawah kekuatan luluh material, yaitu 139 MPa.

Tabel 3. Nilai *maximum displacement* untuk 4 variasi pembebanan

Beban, kN	Maximum displacement, mm
0,7	5,01
0,85	6,08
1	7,16
1,1	7,87

Tabel 3 menunjukkan nilai *maximum displacement* untuk beberapa variasi nilai pembebanan, sementara kondisi *nodal displacement* ditunjukkan di Gambar 5. Semakin tinggi pembebanan yang diberikan, semakin besar pula regangan maksimum yang terjadi. Untuk pembebanan sebesar 0,7 kN diperoleh nilai *maximum displacement* sebesar 5,01 mm. Untuk pembebanan sebesar 0,85 kN diperoleh nilai *maximum displacement* sebesar 6,08 mm. Untuk pembebanan sebesar 1 kN diperoleh nilai *maximum displacement* sebesar 7,16 mm. Sementara itu, pembebanan 1,1 kN memberikan nilai *maximum displacement* sebesar 7,87 mm.



Gambar 5. Kondisi *displacement* sasis akibat pembebanan statis

3. KESIMPULAN

Kajian pembebanan statis berbasis aplikasi elemen hingga terhadap suatu desain purwarupa sasis mobil listrik telah dipaparkan di makalah ini. Dengan menggunakan perencanaan total pembebanan statis, meliputi bobot pengemudi, motor listrik, bodi kendaraan serta komponen lainnya, adalah 0,7 kN, diperoleh nilai tegangan von Mises maksimum sebesar 85,8 MPa dan nilai *maximum displacement* sebesar 5,01 mm. Bahkan dengan meningkatkan nilai pembebanan hingga 40% dari kondisi perancangan, yaitu 1,1 kN, diperoleh nilai tegangan von Mises maksimum sebesar 138 MPa dan nilai *maximum displacement* sebesar 7,87 mm. Dari hasil simulasi tersebut, boleh disimpulkan bahwa desain purwarupa sasis yang telah dikonsepskan masih dapat dilanjutkan ke tahap studi optimasi untuk memperoleh desain yang lebih baik, dan kemudian dilanjutkan ke tahap fabrikasi serta pengujian fisis.

PUSTAKA

- Abadi, Z., Fauzun, & Mahardika, M. 2014. *Analisa Tegangan pada Desain Frame Automatic Guided Vehicles (AGV) Dengan Pembebanan Statis Menggunakan Software Abaqus 6.11*. Makalah disajikan dalam Seminar Nasional Teknik Mesin (SNTM) 9, Universitas Kristen Petra, Surabaya, 12 Agustus.
- Agrawal, M. S. 2015. Finite Element Analysis of Truck Chassis Frame. *International Research Journal of Engineering and Technology*, (Online), Volume 2, Issue 3, (<https://www.irjet.net>, diakses 9 Maret 2018)
- Beer, F. P., Johnston, E. R., DeWolf, J.T. & Mazurek, D.F. 2012. *Mechanics of Materials (Sixth Edition)*. New York: McGraw-Hill.
- Beer, F. P., Johnston, E. R., & Eisenberg, E. R. 2007. *Vector Mechanics for Engineers (Eighth Edition)*. Singapore: McGraw-Hill Education (Asia).
- Hanung, R. 2018. *Artikel Berita Nasional Menanti Insentif Mobil Listrik di Tanah Air*, (Online), (<https://www.cnbcindonesia.com/news/20180224120933-4-5336/menanti-insentif-mobil-listrik-di-tanah-air>, diakses 14 februari 2018).
- Kumar, A. H., & Deepanjali, V. 2016. Design and Analysis of Automobile Chassis. *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology*, (Online), Volume 5, Issue 1, (<http://www.ijesit.com>, diakses 6 Maret 2018).
- Nugroho, C. B. (2015). Analisa Kekuatan Rangka pada Traktor. *Jurnal Integrasi*, (Online), Volume 7, No. 2, (<https://www.jurnal.polibatam.ac.id>, diakses 5 Maret 2018).
- Pribadi, J. S., Fauzun, & Mahardika, M. 2014. *Analisa Komponen Kristis pada Desain Automatic Guided Vehicles (AGV) Subsystem Lifting Dengan Pembebanan Statis Menggunakan Software Abaqus 6.11*. Makalah disajikan dalam Seminar Nasional Teknik Mesin (SNTM) 9, Universitas Kristen Petra, Surabaya, 12 Agustus.
- Rajappan, R., & Vivekanandhan, M. 2013. Static and Modal Analysis of Chassis by Usign FEA. *The International Journal of Engineering and Sciences*, (Online), Volume 2, Issue 2, (<http://www.theijes.com>, diakses 9 Maret 2018).
- Wahyudi, N., & Fahrudi, Y. A. 2016. Studi Eksperimen Rancang Bangun Rangka Jenis Ladder Frame pada Kendaraan Sport. *Journal of Electrical Electronic Control and Automotive Engineering*, (Online), Volume 1, No. 1, (<http://www.journal.pnm.ac.id>, diakses 8 Maret 2018).
- Yamin, M., Satyadarma, D., & Hasanudin, O. A. 2008. *Analisis Tegangan pada Rangka Mobil Boogie*. Makalah disajikan dalam Seminar Ilmiah Nasional Komputer dan Sistem Intelijen (KOMMIT), Universitas Gunadarma, Depok 20-21 Agustus.