

ANALISA KERUSAKAN DAN MERANCANG TAMBAHAN KONSTRUKSI PENGUAT UNTUK PENINGKATAN KEKUATAN BATANG LINTANG DENGAN *TRIAL AND ERROR* MENGGUNAKAN METODA ELEMEN HINGGA *DAMAGE ANALYSIS AND DESIGN OF ADDITIONAL CROSS BEAM REINFORCEMENT USING FE METHOD*

Agus Sasmito^{a)}, Tresna Priyana Soemardi^{b)}, Harkali Setiyono^{a)}, Abdul Rohman Farid^{c)}

^{a)}Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur - BPPT, Kawasan PUSPIPTEK Gd. 220, Serpong
Tangerang 15314

^{b)}Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok, Jawa Barat

^{c)}PT.INKA, Jl. Yos Sudarso No. 71 Madiun, Jawa Timur

e-mail : centralindonesia@yahoo.com, tresnasoemardi@yahoo.com, harkali_setiyono@yahoo.co.id,
farid@inka.co.id

Tanggal masuk naskah : 18/01/2013 ; Tanggal revisi: 14/03/2013 ; Tanggal persetujuan cetak : 08/04/2013

Abstrak

Riset ini fokus pada kerusakan struktur batang lintang yang berfungsi untuk dudukan lengan rem pada kereta makan pada rangkaian kereta api. Analisa kerusakan batang lintang didasarkan pada kondisi desain dan kondisi aktual pemakaiannya. Investigasi kerusakan batang lintang dilakukan dengan analisa finite elemen. Berdasarkan pada hasil analisa diketahui faktor penyebab dan mekanisme kerusakan pada batang lintang adalah akibat kesalahan desain yang menyebabkan tegangan melampaui tegangan yield material, selanjutnya dibuat perbaikan desain untuk kereta yang telah diproduksi dengan membuat struktur penguat sehingga tegangan yang terjadi turun pada batas aman.

Kata Kunci : Analisa Kerusakan, Kereta Api, Finite Element, Cross Beam, Beban Eksentrik.

Abstract

The paper focuses on structural damage of cross beam arms for brake rod in the car of train. Analysis of cross beam was based on the design and actual conditions of the car application. Investigation the cross beam damage was done by finite element analysis. Based on the finite element analysis results, it is known that damage mechanism and design fault were caused by yield stress of cross beam that exceeded the material yield strength. Further, a design improvement of cross beam was done by additional structure that can reduce the stress into safe limits.

Keywords : Damage Analysis, Railway, Finite Element, Cross Beam, Eccentric Load.

1. PENDAHULUAN

Kereta merupakan suatu konstruksi yang kompleks, terdiri dari banyak komponen yang kritis. Desain struktur kereta didasarkan pada standar desain, fungsi struktur, kondisi aktual yang ada dan beberapa parameter lainnya. Untuk keperluan desain, analisa

kekuatan dan uji struktur semuanya didasarkan pada kondisi pemakaian kereta⁽¹⁾. Untuk keperluan simulasi beban eksternal dan uji untuk struktur komponen kereta ditentukan berdasarkan kondisi praktis aktual pemakaian kereta⁽²⁾. Salah satu komponen yang kritis adalah sistem pengereman, dimana terdapat dua posisi pengereman pada tiap gerbong,

satu posisi pengereman dibagian belakang dan satu dibagian depan. Beberapa komponen penting pengereman antara lain lengan rem yang berfungsi sebagai engkol untuk menarik tali rem dan kanvas, lengan rem tertumpu pada batang lintang yang merupakan komponen bogi kereta. Ilustrasi sistem pengereman kereta ditunjukkan pada Gambar 1⁽³⁾.

Pada januari 2012 terjadi kerusakan pada salah satu struktur komponen rem pada gerbong kereta makan yang beroperasi melayani rute Jakarta-Yogyakarta, batang lintang yang berfungsi sebagai dudukan lengan rem mengalami patah.

2. BAHAN DAN METODA

Batang lintang yang berfungsi sebagai dudukan lengan rem pada kereta mengalami patah, padahal usia operasional kereta belum lebih dari satu tahun. Posisi batang lintang yang mengalami patah tepat pada sambungan dengan komponen batang lintang lain yang disambung dengan las, dengan patahnya batang lintang maka proses pengereman kereta akan gagal, dengan demikian dicari bagaimana upaya pencegahan kerusakan batang lintang pada kereta yang telah diproduksi, dan perbaikan batang lintang untuk produksi kereta selanjutnya.

Tujuan analisa ini untuk mengetahui kekuatan konstruksi batang lintang kereta yang mengalami kegagalan pada area tumpuan lengan rem. Hasil analisa ini nantinya digunakan untuk verifikasi desain dan menentukan kelayakan operasi serta kemampuan konstruksi dari segi kekuatan dan kekakuan.

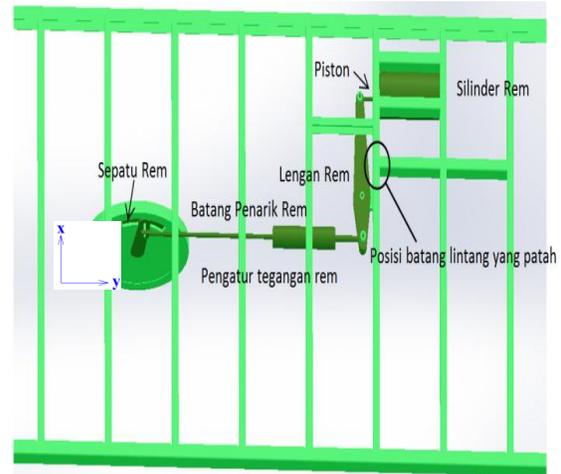
Hasil analisa yang didapat, digunakan untuk dasar penguatan desain kereta yang telah beroperasi dan perbaikan desain, pemilihan material, khususnya struktur batang lintang pada pembuatan struktur kereta selanjutnya.

Dalam riset tesis ini, permasalahan hanya dibatasi pada batang lintang yang mengalami patah. Struktur batang lintang, bentuk rangkaian *Body Car*, beban dan kondisi aktual operasi diambil dari kondisi.

Untuk analisa kegagalan batang lintang digunakan penyederhanaan sebagai berikut :

- Efek kelelahan diabaikan
- Efek korosi dan kotoran pada batang lintang diabaikan
- Cacat las pada sambungan diabaikan.
- Tinjauan beban penyebab kegagalan batang lintang hanya disebabkan oleh beban lateral yang ditinjau secara statis akibat proses pengereman.

Kerja sistem pengereman kereta tampak seperti pada Gambar 1, pada saat masinis menekan rem, maka hal ini akan memberi sinyal kepada silinder rem untuk menggerakkan piston keluar, piston yang keluar akan memutar lengan rem, perputaran lengan rem menyebabkan penarik batang rem tertarik kebelakang, sehingga sepatu rem menyentuh roda kereta untuk pengereman. Pada saat sepatu rem menyentuh roda kereta, akan terjadi gaya tarik yang besar akibat perputaran roda, gaya tarik ini dilawan oleh piston melalui mekanisme lengan rem. Tarik tekan oleh penarik batang rem dan piston pada lengan rem menyebabkan gaya lateral pada batang lintang tumpuan lengan rem. Dari hasil pengamatan, ditemukan kegagalan batang lintang terjadi pada posisi tumpuan dimana batang lintang menerima gaya dari lengan rem⁽³⁾.



Gambar 1 : Komponen sistem pengereman dan posisi batang lintang yang patah pada *car body*

Analisa kerusakan dan merancang tambahan konstruksi penguat untuk peningkatan kekuatan batang lintang dengan *Trial and Error* menggunakan metoda elemen hingga (Agus Sasmito dkk)

Foto struktur batang lintang yang patah ditunjukkan pada Gambar 2 ⁽³⁾. Batang lintang patah didekat sambungan penguat, dimana sambungan dibuat dengan proses las.



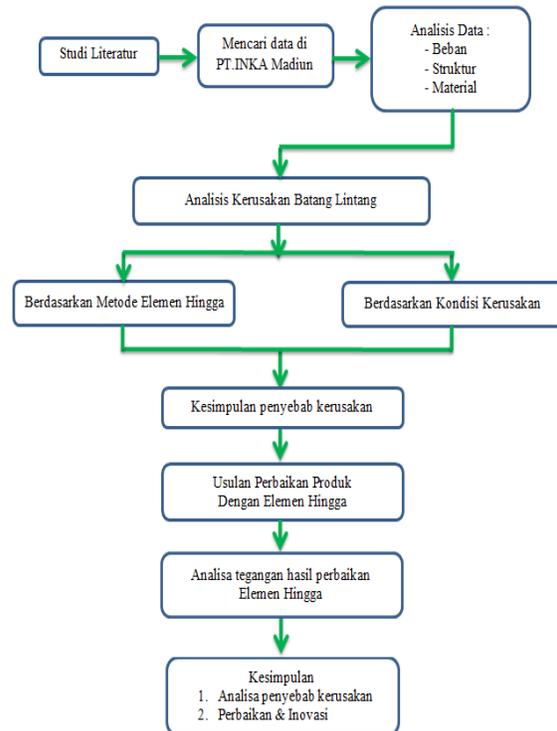
(a)



(b)

Gambar 2 : Foto Kerusakan batang lintang tampak dari depan (a), dan tampak kerusakan dari belakang (b)

Alur penelitian mengikuti diagram alur pada gambar 3



Gambar 3 : Diagram alur penelitian

Penelitian oleh beberapa orang sebelumnya perihal kerusakan yang terjadi pada kereta, selain itu juga beberapa peneliti telah menemukan metode untuk analisa kereta, berikut antara lain beberapa riset yang dapat dijadikan referensi :

- Pada Januari 2007, T.LM Morgado, melakukan studi perihal retak yang terjadi pada rumah roda gigi lokomotif seri 2600, dimana komponen ini menerima beban vibrasi dan kondisi lelah ⁽¹⁾.
- Pada 7 April 2005, Weihua Zhang, melakukan analisa kerusakan struktur pada beberapa bagian kereta cepat "Blue Arrow" di cina. Analisa kerusakan struktur kereta didasarkan pada kondisi desain dan keadaan real saat kereta bekerja ⁽²⁾.
- Pada Februari 1984, Don E. Bray, melakukan pengumpulan data dan analisa kerusakan pada *rotary coupler* kereta batu bara, selanjutnya data yang telah diperoleh dibandingkan dengan model kerusakan berdasarkan distribusi Weibull ⁽⁴⁾.

- Pada Desember 2002, V. Invante, melakukan analisa studi kasus kerusakan komponen koupling baja tuang pada kereta pengangkut batu bara, analisa didasarkan pada mikrostruktur material, stress, frekuensi getaran dan kondisi kerja. Elemen hingga juga digunakan untuk mensimulasikan distribusi stress secara 3D, dari hasil eksperimen dan elemen hingga maka dicari kesesuaian untuk menentukan penyebab kerusakan kelelahan yang banyak terjadi pada komponen koupling⁽⁵⁾.
- Pada 2011, Du Sanming, melakukan analisa mikro struktur dan mekanisme kerusakan pada *grounding pad* yang digunakan untuk kereta cepat, analisa menggunakan SEM, EDS dan Difraksi X-Ray⁽⁶⁾.

Struktur batang lintang dimodelkan dengan software elemen hingga, besar dan arah gaya-gaya yang bekerja didasarkan pada data pembebanan yang telah diperoleh dari PT. INKA Madiun. Hal ini dilakukan untuk menganalisa dan memprediksi mode kegagalan terhadap eksperimen yang akan dibuat.

Terdapat beberapa metode untuk analisa tekukan elastis pada struktur baja hasil *cold-formed* antara lain *finite-strip method*, *finite-element method*, *general beam theory*, dan *manual solutions*⁽⁷⁾. Elemen hingga telah banyak dikembangkan untuk analisa struktur baja hasil dari *cold formed*, berikut adalah beberapa peneliti yang telah menggunakannya, pada 1984, H.P. Lee, P. J. Harris, Cheng-Tzu Thomas Hsu, pada 1998, K.S. Sivakumaran, menjelaskan perihal pemodelan dan pemilihan jenis elemen untuk elemen hingga (FE), terutama untuk analisa struktur baja yang dibuat dengan *cold-formed*. Model FE yang dibuat ditujukan untuk analisa setelah tekukan setempat akibat tekukan setempat⁽⁸⁾. Juni 2006, D. Kleine, melakukan analisa prediksi kegagalan pada *profile sheeting*, salah satu analisa menggunakan FE, pada pemodelan FE dijelaskan cara pembagian daerah elemen sehingga didapat elemen yang efektif dan analisa model yang efektif⁽⁹⁾. Mei 2010, B.W. Schafer, melakukan komputasi pemodelan untuk kegagalan pada komponen *cold-formed steel*, komputasi dititik beratkan untuk penentuan nilai tegangan sisa, material modelling, analisa batas, pemilihan elemen, diskritisasi elemen, dan kontrol solusi

pada elemen hingga, selanjutnya hasil elemen hingga diperbandingkan dengan hasil analisa metode *finite-strip*⁽¹⁰⁾.

Dalam desain teknik umumnya terdapat proses *trial and error* dengan membuat prototipe dan menyempurnakannya menjadi sebuah produk berdasarkan pada analisa dan pengalaman, komputer saat ini juga memainkan peranan yang penting untuk desain⁽¹³⁾. Salah satu metode yang mudah untuk desain struktur adalah elemen hingga⁽¹⁴⁾.

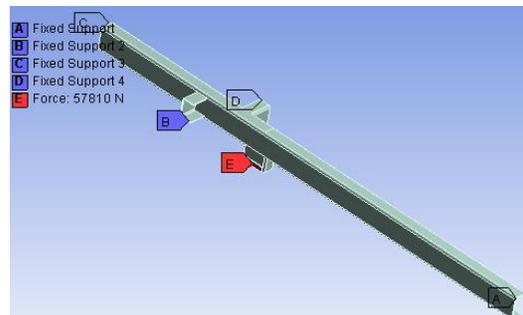
Beberapa permasalahan analisa, desain dan modifikasi suatu struktur dapat dinyatakan pada suatu permasalahan disain ulang, dimana kondisi desain pertama dianalisa dengan metode elemen hingga, apabila tidak memenuhi persyaratan, maka dasar analisa pertama dinyatakan kondisi kedua yang memenuhi kualifikasi, dari kondisi kedua dibuat model dan analisa kembali dengan pemodelan elemen hingga yang sama⁽¹⁵⁾.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Batang lintang dibuat dengan proses bending (*cold-formed*) dari bahan dasar plat baja SS 400⁽³⁾. Untuk desain analisa FEM, berdasarkan struktur batang lintang pada *car body*, maka dibuat model seperti Gambar 4.



(a)



(b)

Analisa kerusakan dan merancang tambahan konstruksi penguat untuk peningkatan kekuatan batang lintang dengan *Trial and Error* menggunakan metoda elemen hingga (Agus Sasmito dkk)

Gambar 4 : Pemodelan batang lintang untuk analisa elemen hingga, pemodelan struktur batang lintang (a), dan penempatan konstrain dan beban pada batang lintang (b).

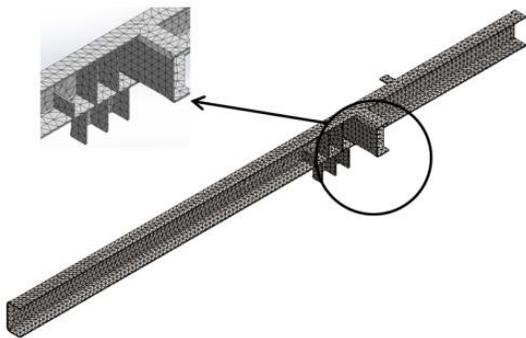
Besar beban pada batang lintang untuk mewakili kondisi saat pengereman sebesar 57,81 kN ⁽⁶⁾, penentuan besar beban dihitung dengan menggunakan data-data pada kondisi tertentu.

Jenis material yang digunakan untuk batang lintang adalah SS400 (JIS G 3101), spesifikasi teknis SS400 terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat-sifat Teknis Material

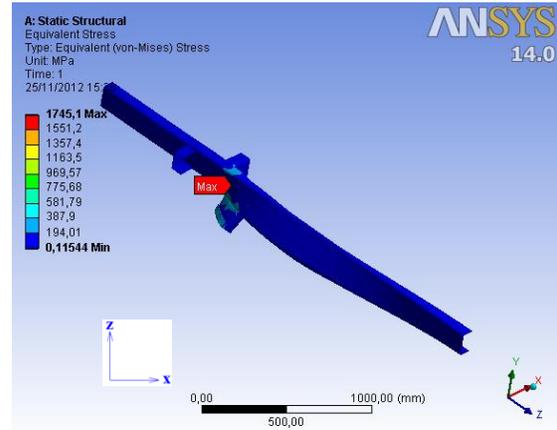
Sifat Teknis Material SS400 (JIS G 3101)	Nilai
Modulus Young	207000 MPa
Modulus Geser	77000 MPa
Poison's Ratio	0,3
Densitas	7,85 E-06 kg/mm ³
Kekuatan Luluh	245 MPa
Kekuatan Ultimate	400 MPa

Tipe elemen yang dipilih untuk analisa ini adalah hexahedral, pembuatan elemen untuk batang lintang dibuat dengan ukuran yang sama untuk setiap bagian. Ilustrasi pembuatan elemen pada batang lintang ditunjukkan pada Gambar 5.

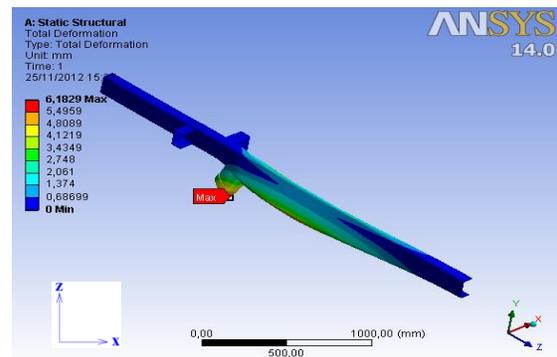


Gambar 5 : Tipe elemen yang digunakan untuk pemodelan elemen hingga

Hasil analisa elemen hingga menunjukkan bahwa tegangan terbesar berada dekat dengan sambungan, pada titik siku bagian bawah. Daerah yang mendapat tegangan terbesar dan defleksi yang terjadi pada beam ditunjukkan pada Gambar 6.



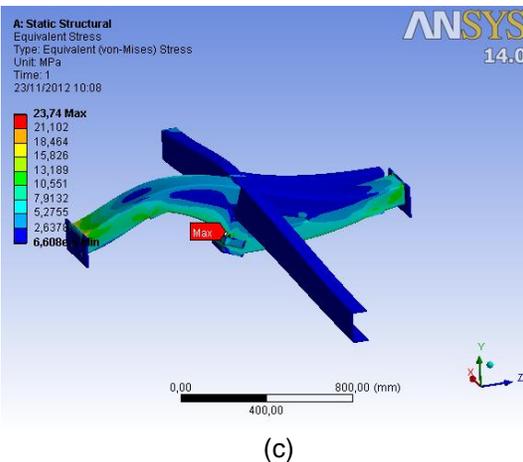
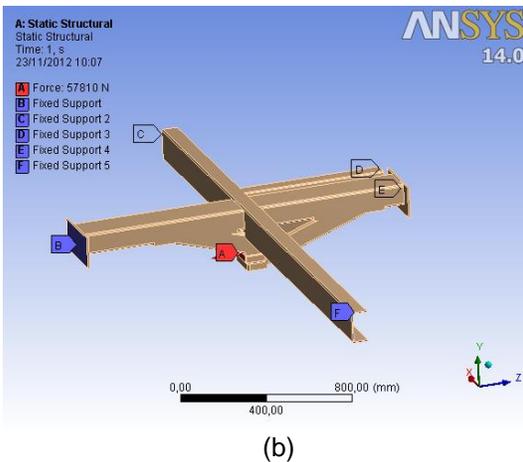
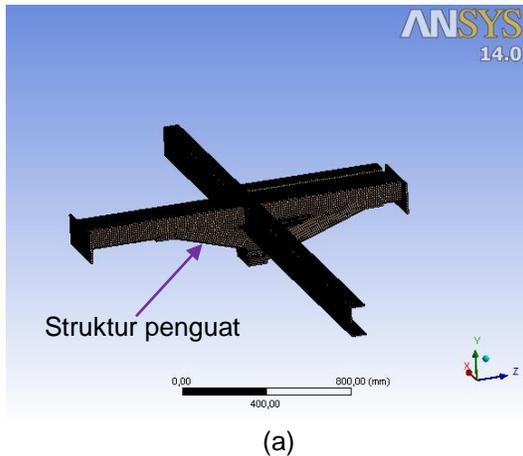
(a)



(b)

Gambar 6 : Hasil analisa model dengan elemen hingga, stress yang terjadi (a), dan deformasi yang terjadi pada batang lintang (b)

Dengan menggunakan *trial and error* menggunakan software metode elemen hingga dibuat struktur tambahan supaya batang lintang mampu menahan beban tanpa melampaui nilai *yield material*. Hasil pemodelan elemen hingga ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7 : Hasil *Trial and Error* dengan menggunakan elemen hingga, pembuatan elemen pada model penambahan struktur batang lintang (a), posisi konstrain (b), dan tegangan yang terjadi pada batang lintang setelah penambahan struktur baru (c).

4. KESIMPULAN

Dari hasil analisa dengan elemen hingga pada Gambar 6, tegangan yang terjadi melampaui nilai *ultimate tensile strength* material batang lintang, sehingga batang lintang secara desain tidak mampu menahan beban lateral 57,81 kN dari lengan rem saat terjadi pengereman. Kondisi inilah yang menyebabkan batang lintang rusak.

Penambahan struktur pada batang lintang seperti pada Gambar 7 dapat menurunkan tegangan yang terjadi dibawah *yield stress* material batang lintang, yaitu dari 1.745,1 MPa menjadi 23,74 MPa.

Untuk membuktikan kekuatan struktur penguat batang lintang hasil analisa elemen hingga, maka perlu dilanjutkan dengan validasi uji eksperimen.

DAFTAR PUSTAKA

1. T.L.M. Morgado a, C. B. "A failure study of housing of the gearboxes of series 2600 locomotives of the Portuguese Railway Company." 1. T.L.M. Morgado a, C. B. (2008). A failure study of housing of the gearboxes of Engineering Failure Analysis 15, 2008: 154-164.
2. Weihua Zhang, Pingbo Wu, Xuejie Wu, Jing Zeng. "An investigation into structural failures of Chinese high-speed trains." Engineering Failure Analysis 13, 2006: 427-441.
3. Madiun, Staf Divisi Teknologi PT INKA, wawancara oleh Agus Sasmito. Magang Riset dan Mengumpulkan data tentang Kereta (Maret - Mei 2012).
4. Don E. Bray, Meritt M. Goff and Roger E. Zard. "Reliability Analysis of Rotary Couplers on Unit-Train Coal Car." Reliability Engineering 10, 1985: 27-48.
5. V. Infantea, C.M. Branco, A.S. Britoa, T.L. Morgado. "A failure analysis study of cast steel railway couplings used for coal transportation." Engineering Failure Analysis 10 , 2003: 475-489.

6. Du Sanming, Shangguan Baob, Zhang Yongzhen c. *"Failure Mechanisms of Grounding Pad of High-speed Train."* 2011 2nd International Conference on Advances in Energy Engineering. Elsevier Ltd, 2011. 2118 – 2122.
7. Wei-Wen Yu, Roger A. LaBoube. *Cold-Formed Steel Design*, Fourth Edition. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2010.
8. K.S. Sivakumaran, Nabil Abdel-Rahman. *"A finite element analysis model for the behaviour of cold-formed steel members."* Thin-Walled Structures 31 , 1998: 305–324.
9. D. de Kleinea, H. Hofmeyera,, M.C.M. Bakker. *"Rigid-link and FE models for first-generation sheet-section failure."* Thin-Walled Structures 44, 2006: 1240–1249.
10. B.W. Schafer a, Z.Li a, C.D.Moen. *"Computational modeling of cold-formed steel."* Thin-Walled Structures, 2010: 752–762.
11. N.S. Trahair, M.A. Bradford, D.A. Nethercot, and L. Gardner. *The Behaviour and Design of Steel Structures to EC3*, Fourth edition. 270 Madison Ave, NewYork, NY 10016: Taylor & Francis, 2008.
12. Ziemian, Ronald D. *Guide To Stability Design Criteria For Metal Structures, 6th Edition*. Hoboken, New Jersey: John Willey & Sons, 2010.
13. YANG, Wei H. *"ON A CLASS OF OPTIMIZATION PROBLEMS FOR FRAMED STRUCTURES."* COMPUTER METHODS IN APPLIED MECHANICS AND ENGINEERING 15, 1978 : 85-97.
14. Natalia S. Ermolaeva, Maria B.G. Castro, Prabhu V. Kandachar. *"Materials selection for an automotive structure by integrating structural optimization with environmental impact assessment."* Materials and Design 25, 2004: 689–698.
15. M.M. Bernitsas, E. Beyko, C.W. Rim & B. Alzahabi. *"Finite element structural redesign by large admissible perturbations."* Applied Ocean Research 14 , 1992: 219-230.