

## DAFTAR ISI

|   |       |
|---|-------|
| <b>JUDUL</b>  | i     |
| <b>PENGESAHAN</b>   | ii    |
| <b>PERNYATAAN</b>   | iii   |
| <b>NASKAH TUGAS AKHIR</b>   | iv    |
| <b>PERSEMBAHAN</b>  | v     |
| <b>KATA PENGANTAR</b>   | vi    |
| <b>DAFTAR ISI</b>   | vii   |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b>  | xi    |
| <b>DAFTAR TABEL</b>   | xv    |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN</b>  | xvi   |
| <b>DAFTAR NOTASI</b>  | xvii  |
| <b>INTISARI</b>   | xviii |
| <b>ABSTRACT</b>   | xix   |
| <b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>  | 1     |
| 1.1 Latar Belakang  | 1     |
| 1.2 Rumusan Masalah   | 2     |
| 1.3 Batasan Masalah   | 2     |
| 1.4 Tujuan Penelitian   | 2     |
| 1.5 Manfaat Penelitian  | 3     |
| <b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b>   | 4     |
| 2.1 <i>Undercarriage</i>  | 4     |
| 2.2 Rangka  | 4     |
| 2.2.1 Rangka <i>Ladder</i>  | 5     |
| 2.2.2 Rangka <i>Monocoque</i>   | 6     |
| 2.2.3 <i>Tubular Frame</i>  | 7     |
| 2.3 Penelitian Yang Pernah dilakukan  | 8     |
| 2.3.1 <i>Stress analysis of a truck chassis with riveted joints</i>               | 8     |
| 2.3.2 Design and Analysis of 'Eco' Car Chassis                                    | 12    |
| 2.3.3 Analisis Statik Menggunakan Metode <i>Finite Element</i> Pada Chassis Mobil | 17    |
| <b>BAB 3 DASAR TEORI</b>  |       |
| 3.1 Tegangan  | 24    |
| 3.1.1 Tegangan Normal   | 24    |

|              |   |           |
|--------------|---|-----------|
| 3.1.2        | Tegangan Geser  | 25        |
| 3.1.3        | Tegangan Akibat Bending   | 26        |
| 3.1.4        | Transformasi Tegangan   | 28        |
| 3.1.5        | Tegangan Utama ( <i>Principle stress</i> ) dan<br>Tegangan Geser Maksimum ( <i>Maximum shear stress</i> ) | 31        |
| 3.1.6        | Kriteria Keamanan   | 33        |
| 3.1.6.1      | Kriteria tegangan geser maksimum ( <i>Tresca</i> )  | 33        |
| 3.1.6.2      | Kriteria distorsi energi maksimum ( <i>Von mises</i> )  | 34        |
| 3.2          | Pengujian Statik  | 35        |
| 3.2.1        | Daerah Elastik  | 35        |
| 3.2.2        | Daerah Plastis  | 38        |
| 3.3          | Metode <i>Finite Element</i>  | 38        |
| 3.3.1        | Menentukan Diskritisasi   | 39        |
| 3.3.2        | Menentukan Model atau Fungsi Pendekatan   | 40        |
| 3.3.3        | Menyelesaikan Persamaan Elemen  | 40        |
| 3.3.4        | Perakitan Persamaan Elemen Menjadi Persamaan Global   | 41        |
| 3.3.5        | Memecahkan Besaran yang Tidak Diketahui   | 41        |
| 3.3.6        | Interpretasi Hasil  | 41        |
| <b>BAB 4</b> | <b>METODE PENELITIAN</b>  | <b>43</b> |
| 4.1.         | Desain Awal   | 44        |
| 4.2.         | Penyederhanaan Bentuk   | 45        |
| 4.3.         | Simulasi <i>Finite Element</i> untuk Uji Kekuatan dan Frekuensi Alami                                     | 45        |
| 4.3.1.       | Penentuan Pembebanan  | 45        |
| 4.3.2.       | Penentuan <i>Constraint</i>   | 46        |
| 4.3.3.       | <i>Running</i> Simulasi   | 46        |
| 4.3.4.       | Interpretasi Hasil Simulasi   | 47        |
| 4.3.5.       | Penentuan Titik Rawan   | 47        |
| 4.4.         | Optimasi  | 48        |
| 4.5.         | Desain Akhir  | 48        |
| 4.6.         | Desain untuk Proses Manufaktur  | 48        |

|  |           |
|--|-----------|
| 4.7.Manufaktur Rangka                          | 48        |
| <b>BAB 5 PEMBAHASAN</b>                        | <b>50</b> |
| 5.1 Desain                                     | 50        |
| 5.1.1 <i>Wheel Base</i>                        | 50        |
| 5.1.2 Suspensi Depan                           | 52        |
| 5.1.3 Suspensi Belakang                        | 54        |
| 5.1.4 Baterai                                  | 55        |
| 5.1.5 Mesin                                    | 55        |
| 5.1.6 Rangka                                   | 56        |
| 5.2 Simulasi                                   | 57        |
| 5.2.1 Konsep Perhitungan <i>Finite Element</i> | 57        |
| 5.2.2 Bahan                                    | 60        |
| 5.2.3 Pembebanan                               | 60        |
| 5.2.4 <i>Constraint</i>                        | 63        |
| 5.2.5 Tahap Simulasi                           | 64        |
| 5.3 Hasil Simulasi                             | 65        |
| 5.3.1 Model 1                                  | 65        |
| 5.3.1.1 Uji statik                             | 66        |
| 5.3.1.2 Uji puntir                             | 71        |
| 5.3.1.3 Uji percepatan                         | 73        |
| 5.3.1.4 Uji berbelok                           | 74        |
| 5.3.2 Model 2                                  | 76        |
| 5.3.2.1 Uji statik                             | 76        |
| 5.3.2.2 Uji puntir                             | 78        |
| 5.3.2.3 Uji percepatan                         | 80        |
| 5.3.2.4 Uji berbelok                           | 81        |
| 5.3.3 Model 3                                  | 82        |
| 5.3.3.1 Uji statik                             | 83        |
| 5.3.3.2 Uji puntir                             | 84        |

|                                      |           |
|--------------------------------------|-----------|
| 5.3.3.3 Uji percepatan               | 86        |
| 5.3.3.4 Uji berbelok                 | 88        |
| 5.4 Pemilihan Desain                 | 89        |
| 5.5 Manufaktur                       | 92        |
| 5.5.1 Desain untuk proses manufaktur | 92        |
| 5.5.2 Proses manufaktur              | 92        |
| <b>BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN</b>    | <b>94</b> |
| 6.1 Kesimpulan                       | 94        |
| 6.2 Saran                            | 94        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b>                | <b>95</b> |
| <b>LAMPIRAN</b>                      | <b>96</b> |

## DAFTAR GAMBAR

|  |    |
|--|----|
| Gambar 2.1. Rangka <i>Ladder</i> (wardsauto.com,2015)  | 6  |
| Gambar 2.2. Rangka <i>Monocoque</i> (autoenginefun.com,2015)   | 7  |
| Gambar 2.3. <i>Tubular Frame</i> (Rallycross.com,2015)   | 7  |
| Gambar 2.4. <i>Truck chassis with riveted joints</i> (Cicek Karaoglu dkk, 2001)  | 8  |
| Gambar 2.5. <i>riveted joints</i> (Cicek Karaoglu dkk, 2001)   | 9  |
| Gambar 2.6. Perbandingan tegangan pada <i>side bar</i> untuk tebal 8 mm<br>dan 12 mm , <i>connecting plate</i> 7 mm dan panjang<br><i>connecting plate</i> 390 mm (Cicek Karaoglu dkk, 2001)         | 10 |
| Gambar 2.7. Perbandingan tegangan pada <i>connecting plate</i> untuk tebal 8 mm dan 12<br>mm , <i>connecting plate</i> 7 mm dan panjang<br><i>connecting plate</i> 390 mm (Cicek Karaoglu dkk, 2001) | 10 |
| Gambar 2.8. Perbandingan tegangan pada <i>side member</i> untuk tebal 8 mm<br>dengan <i>connecting plate</i> 7 mm dan 10 mm<br>(Cicek Karaoglu dkk, 2001)  | 11 |
| Gambar 2.9. Perbandingan tegangan pada <i>connecting plate</i> untuk tebal 8 mm<br>dengan <i>connecting plate</i> 7 mm dan 10 mm<br>(Cicek Karaoglu dkk, 2001)                                       | 12 |
| Gambar 2.10. Tegangan dan <i>displacement</i> yang terjadi pada simulasi<br><i>static load</i> (Mohd Hanif dkk,2012)   | 14 |
| Gambar 2.11. Tegangan dan <i>displacement</i> yang terjadi pada simulasi<br>beban sebesar 4g pada <i>main hoop</i> (Mohd Hanif dkk,2012)   | 15 |
| Gambar 2.12. Tegangan dan <i>displacement</i> yang terjadi pada<br>simulasi beban 1.5g untuk percepatan (Mohd Hanif dkk,2012)  | 15 |
| Gambar 2.13. Tegangan dan <i>displacement</i> yang terjadi pada<br>simulasi beban 1.5g untuk pengereman (Mohd Hanif dkk,2012)  | 15 |
| Gambar 2.14. Tegangan dan <i>displacement</i> yang terjadi pada<br>simulasi beban torsional (Mohd Hanif dkk,2012)  | 16 |
| Gambar 2.15. penempatan beban (Urip Agus Salim dkk, 2015)  | 18 |
| Gambar 2.16. Skenario 1 (Urip Agus Salim dkk, 2015)  | 18 |

|   |    |
|---|----|
| Gambar 2.17. Skenario 2 (Urip Agus Salim dkk, 2015)                                       | 19 |
| Gambar 2.18. Desain rangka (Urip Agus Salim dkk, 2015)                                    | 20 |
| Gambar 2.19. Deformasi pada skenario (Urip Agus Salim dkk, 2015)                          | 21 |
| Gambar 2.20. Konsentrasi tegangan pada skenario 1 (Urip Agus Salim dkk, 2015)             | 21 |
| Gambar. 2.21. Deformasi pada skenario 2 (Urip Agus Salim dkk, 2015)                       | 22 |
| Gambar. 2.22. Konsentrasi tegangan pada skenario 2 (Urip Agus Salim dkk, 2015)            | 23 |
| Gambar 3.1. Tegangan normal pada suatu titik (Ferdinant P Beer dkk, 2009)                 | 25 |
| Gambar 3.2. Beban yang menyebabkan tegangan geser<br>(Ferdinant P Beer dkk, 2009)         | 25 |
| Gambar 3.3. Gaya geser (Ferdinant P Beer dkk, 2009)                                       | 26 |
| Gambar 3.4. Beban bending (Ferdinant P Beer dkk, 2009)                                    | 25 |
| Gambar 3.5. Daerah tekan, daerah tarik, dan bidang netral<br>(Ferdinant P Beer dkk, 2009) | 27 |
| Gambar 3.7. Transformasi tegangan (Ferdinant P Beer dkk, 2009)                            | 29 |
| Gambar 3.8. Elemen tegangan bidang (Ferdinant P Beer dkk, 2009)                           | 29 |
| Gambar 3.9. Elemen tegangan bidang (Ferdinant P Beer dkk, 2009)                           | 30 |
| Gambar 3.10. Lingkaran Mohr (Ferdinant P Beer dkk, 2009)                                  | 32 |
| Gambar 3.11. Kriteria <i>Tresca</i> (Ferdinant P Beer dkk, 2009)                          | 34 |
| Gambar 3.13. Kriteria <i>Von Mises</i> (Ferdinant P Beer dkk, 2009)                       | 35 |
| Gambar 3.13. Deformasi disebabkan oleh beban tarik (Tata Surdia, 1985)                    | 36 |
| Gambar 3.14. Grafik tegangan regangan (James M. Gere, 1996)                               | 37 |
| Gambar 3.15. Diskritisasi (Desai, 1998)   | 39 |
| Gambar 3.16 Bentuk mesh (Desai, 1998)   | 40 |
| Gambar 4.1. Diagram alir proses penelitian  | 43 |
| Gambar 4.2. Diagram alir proses simulasi  | 44 |
| Gambar 5.1 <i>Wheel base</i>  | 51 |
| Gambar 5.2 <i>Double A arm suspension</i>   | 52 |
| Gambar 5.3 <i>MacPherson suspension</i>   | 53 |
| Gambar 5.4 Dudukan Suspensi depan tampak depan  | 53 |
| Gambar 5.5 Dudukan Suspensi depan tampak bawah  | 54 |

|   |    |
|---|----|
| Gambar 5.6 <i>Torsion beam</i>                                    | 54 |
| Gambar 5.7 Dudukan suspensi belakang                              | 55 |
| Gambar 5.8 Dudukan mesin  | 56 |
| Gambar 5.9 Desain rangka  | 56 |
| Gambar 5.10 Desain rangka   | 57 |
| Gambar 5.11 Desain mobil  | 57 |
| Gambar 5.12 Pegas ujung bebas                                     | 58 |
| Gambar 5.13 Lokasi beban barang                                   | 61 |
| Gambar 5.14 Lokasi beban body                                     | 61 |
| Gambar 5.15 Lokasi beban mesin                                    | 62 |
| Gambar 5.16 Lokasi beban baterai                                  | 62 |
| Gambar 5.17 Lokasi beban penumpang                                | 63 |
| Gambar 5.18 Lokasi beban AC                                       | 63 |
| Gambar 5.19 Letak dan jenis <i>constraint</i>                     | 64 |
| Gambar 5.20 Model 1   | 66 |
| Gambar 5.21 Model untuk perhitungan analitis                      | 67 |
| Gambar 5.22 <i>Shear Force Diagram</i> (SFD)                      | 68 |
| Gambar 5.23 <i>Bending Moment Diagram</i> (BMD)                   | 68 |
| Gambar 5.24 Tegangan <i>von mises</i> pada model 1                | 70 |
| Gambar 5.25 Lokasi yang memiliki tegangan besar                   | 70 |
| Gambar 5.26 Deformasi pada model 1                                | 71 |
| Gambar 5.27 Tegangan <i>von mises</i> uji puntir pada model 1     | 72 |
| Gambar 5.28 Lokasi yang memiliki tegangan besar                   | 72 |
| Gambar 5.29 Deformasi uji puntir pada model 1                     | 73 |
| Gambar 5.30 Tegangan <i>von mises</i> uji percepatan pada model 1 | 73 |
| Gambar 5.31 Lokasi yang memiliki tegangan besar                   | 74 |
| Gambar 5.32 Deformasi uji percepatan pada model 1                 | 74 |
| Gambar 5.33 Tegangan <i>von mises</i> uji berbelok pada model 1   | 75 |
| Gambar 5.34 Lokasi yang memiliki tegangan besar                   | 75 |
| Gambar 5.35 Deformasi uji berbelok pada model 1                   | 76 |

|  |    |
|--|----|
| Gambar 5.36 Model 2  | 76 |
| Gambar 5.37 Tegangan <i>von mises</i> pada model 2                           | 77 |
| Gambar 5.38 Lokasi yang memiliki tegangan besar                              | 77 |
| Gambar 5.39 Deformasi pada model 2   | 78 |
| Gambar 5.40 Tegangan <i>von mises</i> uji puntir pada model 2                | 78 |
| Gambar 5.41 Lokasi yang memiliki tegangan besar                              | 79 |
| Gambar 5.42 Deformasi uji puntir pada model 2                                | 79 |
| Gambar 5.43 Tegangan <i>von mises</i> uji percepatan pada model 2            | 80 |
| Gambar 5.44 Lokasi yang memiliki tegangan besar                              | 80 |
| Gambar 5.45 Deformasi uji percepatan pada model 2                            | 81 |
| Gambar 5.46 Tegangan <i>von mises</i> uji berbelok pada model 2              | 81 |
| Gambar 5.47 Lokasi yang memiliki tegangan besar                              | 82 |
| Gambar 5.48 Deformasi uji berbelok pada model 2                              | 82 |
| Gambar 5.49 Model 3  | 83 |
| Gambar 5.50 Tegangan <i>von mises</i> pada model 3                           | 83 |
| Gambar 5.51 Lokasi yang memiliki tegangan besar                              | 84 |
| Gambar 5.52 Deformasi pada model 3   | 84 |
| Gambar 5.53 Tegangan <i>von mises</i> uji puntir pada model 3                | 85 |
| Gambar 5.54 Lokasi yang memiliki tegangan besar                              | 85 |
| Gambar 5.55 Deformasi uji puntir pada model 3                                | 86 |
| Gambar 5.56 Tegangan <i>von mises</i> uji percepatan pada model 3            | 87 |
| Gambar 5.57 Lokasi yang memiliki tegangan besar                              | 87 |
| Gambar 5.58 Deformasi uji percepatan pada model 3                            | 88 |
| Gambar 5.59 Tegangan <i>von mises</i> uji berbelok pada model 3              | 88 |
| Gambar 5.60 Lokasi yang memiliki tegangan besar                              | 89 |
| Gambar 5.61 Deformasi uji berbelok pada model 3                              | 90 |
| Gambar 5.62 Grafik hubungan ketebalan profil dengan tegangan<br>yang terjadi | 91 |
| Gambar 5.63 Grafik hubungan ketebalan profil dengan berat rangka             | 92 |



## DAFTAR TABEL

|   |    |
|---|----|
| Tabel. 2.1 Material <i>properties</i> untuk <i>mild steel</i><br>(Mohd Hanif dkk, 2012) | 13 |
| Tabel 2.2 Hasil Simulasi (Urip Agus Salim dkk, 2015)                                    | 23 |
| Tabel 5.1 <i>Wheel base</i> beberapa jenis kendaraan                                    | 51 |
| Tabel 5.2 Nilai beban simulasi  | 60 |
| Tabel 5.3 Nilai titik sampel hasil perhitungan  | 69 |
| Tabel 5.4 Ringkasan hasil simulasi  | 90 |

## DAFTAR LAMPIRAN

|  |     |
|--|-----|
| Lampiran 1. Validasi Uji Statis dengan Perhitungan | 96  |
| Lampiran 2. Hasil Simulasi Wire Model              | 100 |
| Lampiran 3. Langkah Menggunakan Abaqus             | 104 |
| Lampiran 4. Gambar Desain Rangka                   | 111 |

## DAFTAR NOTASI

|                |                                  |                   |
|----------------|----------------------------------|-------------------|
| P              | = Gaya                           | (N)               |
| A              | = Luas penampang                 | (m <sup>2</sup> ) |
|                | = Tegangan normal                | (MPa)             |
|                | = Tegangan geser                 | (MPa)             |
| M              | = Momen bending                  | (Nm)              |
| y              | = Jarak dari sumbu netral        | (m)               |
| I              | = Momen inersia luas penampang   | (m <sup>4</sup> ) |
| u              | = Distorsi energi                | (Joule)           |
| a, b           | = Tegangan utama                 | (MPa)             |
| 1, 2           | = Tegangan utama                 | (MPa)             |
| G              | = Modulus <i>Rigidity</i>        | (MPa)             |
|                | = Deformasi                      | (m)               |
| l <sub>0</sub> | = Panjang awal                   | (m)               |
|                | = <i>Poisson ratio</i>           |                   |
| l              | = Regangan memanjang             |                   |
| r              | = Regangan melintang             |                   |
| [k]            | = Konstanta                      |                   |
| [d]            | = Parameter manipulasi deformasi | (mm)              |
| [F]            | = Parameter respon gaya          | (N)               |