

## ANALISIS RANGKA *BICYCLE MOTORCROSS EXTREME (BMX)* MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Edward Rissan Girsang<sup>1</sup>, Djoeli Satrijo<sup>2</sup>, Toni Prahasto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

\*Email : edwardrissan@gmail.com

### Abstrak

Sepeda BMX dicirikan oleh input beban yang kompleks dan berkekuatan tinggi yang dihasilkan dari lompatan, benturan, ketidak teraturan permukaan, dan interaksi pengendara. Untuk memastikan keamanan produk, dan memungkinkan optimalisasi kinerja, pengetahuan yang lebih rinci tentang beban yang diterapkan dan respons struktural sepeda BMX sangatlah penting. Penelitian ini menggunakan Metode Elemen Hingga, untuk menguji rangka sepeda bmx dengan beban statis yang didapat dari berat pengendara pada 5 kasus pembebanan, 4 kasus pembebanan disimulasi dengan simulasi statis 4 posisi pembebanan tersebut yaitu pembebanan pada posisi *road bump front wheel* Pembebanan pada posisi *road bump rear wheel*, pembebanan pada posisi *statis start up* dan pembebanan pada posisi *steady state pedalling*, distribusi gaya pada keempat posisi pembebanan diambil dari referensi jurnal. Kasus pembebanan terakhir adalah pembebanan pada posisi jatuh dari ketinggian 2 m. Untuk kasus pembebanan terakhir, dianalisis dengan simulasi *Linear Static* dan *Dynamic Explicit*. Untuk simulasi *linear static*, beban ekuivalen dihitung dengan menghitung *Impact Factor* dari defleksi pada rangka ketika diberi beban static dari berat pengendara dan rangka. Sementara simulasi *Dynamic Explicit* menggunakan *Impactor* yang diberi kecepatan sesuai dengan energy kinetic dari rangka dan pengendara yang jatuh dari ketinggian 2 meter. Hasil simulasi *Linear static* pada empat kasus pertama. Pada simulasi *impact* dengan simulasi *Linear static* beban ekuivalen menggunakan *Altair Hyperworks Optistruct 2019* didapat Max Von Mises 562 MPa, tegangan yang melewati batas *yield strength* ada di *bottom bracket* sekitar sambungan dengan *seat tube*, *chain stays* dan *down tube*. Pada simulasi *Impact Dinamic Explicit* menggunakan *Altair Hyperworks Radioss 2018* didapat Max Von Mises 630.4 MPa pada waktu 0.4 ms, tegangan yang melewati *yield strength* ada di *rear end*, bagian bawah *head tube* dan *bottom bracket*.

**Kata Kunci:** *impact factor*; rangka bmx; simulasi *dynamic explicit*; simulasi *linear static*

### Abstract

*BMX bicycles are characterized by complex and high-strength load input resulting from jumps, impacts, surface irregularities, and rider interaction. To ensure product safety, and enable performance optimization, a more detailed knowledge of the applied loads and the structural response of BMX bikes is essential. This study uses the Finite Element Method, to test the bmx bicycle frame with a static load obtained from the rider's weight in 5 loading cases, 4 loading cases simulated with a static simulation of the 4 loading positions, namely loading at the road bump front wheel position, loading at the road bump rear position. wheel, loading at static start up position and loading at steady state pedaling position, force distribution at the four loading positions taken from journal references. The last case of loading is loading in a falling position from a height of 2 m. For the last loading case, it was analyzed by using Linear Static and Dynamic Explicit simulations. For linear static simulations, the equivalent load is calculated by calculating the Impact Factor of the deflection in the frame when subjected to a static load from the weight of the rider and frame. While the Dynamic Explicit simulation uses an Impactor which is given a speed according to the kinetic energy of the frame and the rider who falls from a height of 2 meters. Linear static simulation results in the first four cases, the maximum Von Mises stress does not exceed the yield strength of the material, which is 430 MPa. In the impact simulation with the equivalent linear static load simulation using the Altair Hyperworks Optistruct 2019, the Max Von Mises 2019 obtained is 562 MPa, the stress that exceeds the yield strength limit is in the bottom bracket around the connection with the seat tube, chain stays and down tube. In the Impact Dynamic Explicit simulation using Altair Hyperworks Radioss 2018, Max Von Mises obtained 630.4 MPa at 0.4 ms, the stress that passes through the yield strength is at the rear end, the bottom of the head tube and bottom bracket.*

**Keywords:** *bmx frame; dynamic explicit simulation; impact factor; linear static simulation.*

## 1. Pendahuluan

Sepeda BMX dimulai pada awal 1970-an, pada saat itu anak-anak mulai bersepeda pada jalan tanah di California Selatan karena terinspirasi dari olahraga motocross yang sedang populer pada saat itu. Pada pertengahan dekade tersebut, olahraga BMX memiliki banyak sekali peminat, dan pabrik mulai memproduksi sepeda khusus yang dirancang untuk olahraga ini. Sepeda BMX juga sudah banyak digunakan oleh para pecinta sepeda di Indonesia. Sudah banyak klub BMX yang dibentuk diberbagai kota. Berbagai perlombaan sepeda BMX sering diadakan di berbagai daerah dengan hadiah yang tidak sedikit. Bahkan sepeda BMX sudah diperlombakan dalam ajang olahraga Asian Games dan SEA Games.

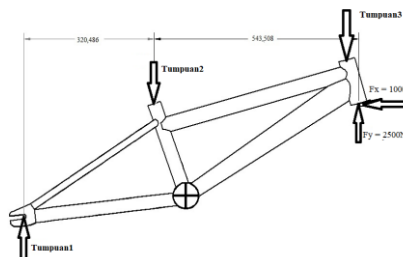
Sepeda BMX dicirikan oleh input beban yang kompleks dan berkekuatan tinggi yang dihasilkan dari lompatan, benturan, ketidakteraturan permukaan, dan interaksi pengendara[1]. Meskipun Informasi tentang beban apa yang dikenakan pada sepeda BMX dan respon struktural yang dihasilkan dalam penggunaan sebenarnya tidak ada dalam domain publik, tetapi untuk memastikan keamanan produk, dan memungkinkan optimalisasi kinerja, pengetahuan yang lebih rinci tentang beban yang diterapkan dan respons struktural sepeda BMX sangatlah penting [2].

Rangka sepeda adalah komponen utama sepeda; rangka menyediakan fungsi struktural dengan menghubungkan berbagai bagian mekanis, dan menyangga pengendara. Pemindahan energi mekanik yang dihasilkan pengendara dari pedal ke roda belakang dicapai oleh rangka sepeda. Rangka yang sangat efisien mengirimkan output daya mekanis pengendara ke rantai penggerak sambil meminimalkan kehilangan energi karena ketegangan [3]. Untuk menganalisis ketahanan rangka sepeda bisa dilakukan dengan mengukur menggunakan sensor yang ditempatkan pada rangka, kemudian rangka akan diberikan beban dan selanjutnya hasil pengukuran sensor akan dianalisis[. Dalam penelitian Tugas Akhir ini, untuk mengetahui respon struktural pada rangka sepeda bmx bila dikenakan beban *impact*, dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga sebagai langkah awal untuk melakukan perancangan [4]. Beban *impact* dapat disederhanakan menjadi beban statis, yaitu dengan menghitung *Impact Factor* dan kemudian akan menghitung Beban *Static impact*. Dan juga bisa dimodelkan dengan menghitung energi dari tumbukan, kemudian besar energi tersebut akan diberikan kepada *Impactor* yang akan ditumbukkan langsung pada rangka sepeda bmx [5].

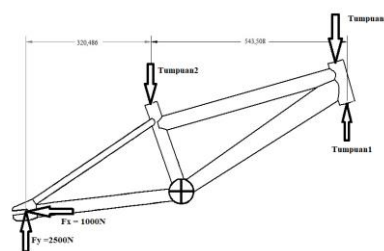
## 2. Metodologi Penelitian

### 2.1. Simulasi Statis

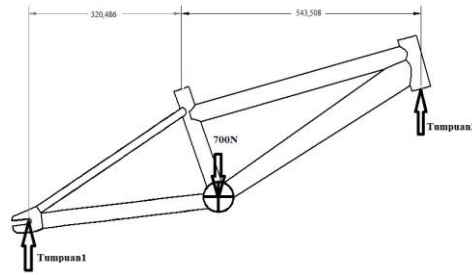
Simulasi statis dilakukan dengan Software Altair Hyperworks 2019 menggunakan Solver Optistruct. Gaya-gaya yang bekerja pada rangka pada kasus pembebanan statis adalah gaya berat pengendara akibat percepatan gravitasi dengan distribusi gaya seperti yang ditunjukkan pada Gambar berikut. Kasus pembebanan disimulasi dengan simulasi statis 4 posisi pembebanan tersebut yaitu pembebanan pada posisi *road bump front wheel* Pembebanan pada posisi *road bump rear wheel*, pembebanan pada posisi *statis start up* dan pembebanan pada posisi *steady state pedalling*, distribusi gaya pada keempat posisi pembebanan diambil dari referensi jurnal [7].



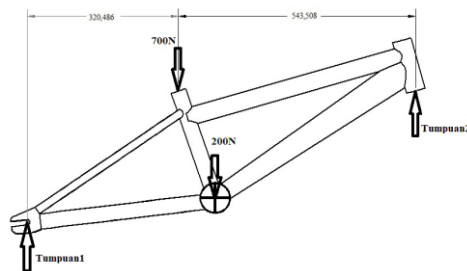
Gambar 1. Distribusi Gaya pada Posisi *road bump front wheel*



Gambar 2. Distribusi Gaya pada Posisi *road bump rear wheel*



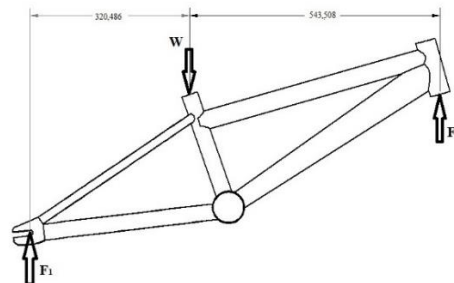
Gambar 3. Distribusi Gaya pada Posisi *static start up*



Gambar 4. Distribusi Gaya pada Posisi *steady state pedalling*

## 2.2. Simulasi *Impact static*

Pada kasus *impact* jatuh dari ketinggian 2 meter, dilakukan dengan 2 jenis simulasi, simulasi pertama adalah simulasi statis. Pada saat terjadi *impact* jatuh dari ketinggian 2 m, maka rangka akan menerima gaya *impact* pada dua titik yaitu di bagian bawah *head tube*  $F_1$  dan pada *rear end*  $F_2$  [8]. Maka pada diagram benda bebas digambarkan gaya yang diterima rangka ada tiga, yaitu berat pengendara dan dua titik gaya *impact* seperti yang ditunjukkan Gambar 5. Kemudian dari kesetimbangan gaya dan momen akan dihitung gaya reaksi di titik  $F_1$  dan  $F_2$  [9].



Gambar 5. Diagram Benda Bebas Simulasi *Static impact*

Keseimbangan gaya arah sumbu Y:

$$\begin{aligned}\sum F_y &= 0 \\ F_1 + F_2 - W &= 0 \\ F_1 + F_2 - 686 \text{ N} &= 0 \\ F_1 + F_2 &= 686 \text{ N}\end{aligned}$$

Total momen di titik tumpuan  $F_2 = 0$

$$\begin{aligned}\sum M_2 &= 0 \\ F_1(863,994) - 686(543,508) &= 0 \\ F_1 &= \frac{372.846,488}{(863,994)} \\ F_1 &= 431,538283\end{aligned}$$

Mencari gaya reaksi  $F_2$

$$\begin{aligned}F_1 + F_2 &= 686 \text{ N} \\ 431,538283 + F_2 &= 686 \text{ N}\end{aligned}$$

$$F_2 = 686 \text{ N} - 431,538283$$

$$F_2 = 254,461716 \text{ N}$$

Selanjutnya adalah menghitung defleksi, dengan menggunakan nilai  $F_1$  dan  $F_2$  yang didapat sebagai beban statis dan memasang tumpuan pada bagian *atas seat tube* dan *head tube*. Dengan menggunakan simulasi *Linear static* pada Altair Optistruct 2019, maka didapat nilai deformasi pada kedua tumpuan sebagai berikut.

$$\delta_{F_1} = 2,10 \times 10^{-1} \text{ m}$$

$$\delta_{F_2} = 3,08 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Dari nilai defleksi yang didapat dihitung nilai *Impact Factor*.

$$IF_1 = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\delta_{F_1}}}$$

$$IF_1 = 1 + \sqrt{1 + \frac{2.2}{2,10 \times 10^{-1}}}$$

$$IF_1 = 5,476$$

$$Fe_1 = (5,476)(431,538283)$$

$$Fe_1 = 2.363,103 \text{ N}$$

$$IF_2 = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\delta_{F_2}}}$$

$$IF_2 = 1 + \sqrt{1 + \frac{2.2}{3,08 \times 10^{-3}}}$$

$$IF_2 = 37,051$$

$$Fe_2 = 37,051(254,461716)$$

$$Fe_2 = 9.094,575 \text{ N}$$

Setelah nilai Gaya Statik ekuivalen didapat,  $Fe_1$  dan  $Fe_2$ . Kemudian model kembali disimulasikan pada Altair Optistruct 2019 dengan settingan yang sama, dengan mengganti gaya  $F_1$  dan  $F_2$  menjadi  $Fe_1$  dan  $Fe_2$ .

### 2.3. Simulasi *Dynamic Explicit*

Simulasi *Dynamic Explicit* dilakukan dengan menggunakan 2 *impactor* yaitu pada *rear end* dan bawah *head tube* yang diberi kecepatan. Kecepatan *Impactor* mengacu pada energi kinetik dari rangka dan pengendara yang jatuh dari ketinggian 2 meter. Total energi kinetik dari kedua *impactor* harus sama dengan energi kinetik dari rangka dan pengendara yang jatuh dari ketinggian 2 meter. Berikut proses menghitung kecepatan *impactor* [10].

$$W_{\text{pengendara}} = 70 \text{ kg}, \quad W_{\text{rangka}} = 4,80545 \text{ kg}, \quad W_{\text{Total}} = 74,80545 \text{ kg}$$

$$\text{Energi potensial} = 74,80545 \text{ Kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 2 \text{ m}$$

$$\text{Energi potensial} = 1.466,18682 \text{ J}$$

$$\text{Energi yang digunakan tiap impactor} = 733,0941 \text{ J}$$

$$\text{Volume impactor} = 42 \times 50 \times 16 = 33.600 \text{ mm}^3$$

$$\text{Massa Impactor} = 263760 \times 10^{-6} \text{ Kg}$$

$$v_{\text{impactor}} = \sqrt{\frac{2 \times \text{energi}}{\text{massa impactor}}}$$

$$v_{\text{impactor}} = \sqrt{\frac{2 \times 733,09341}{263.760 \times 10^{-6}}}$$

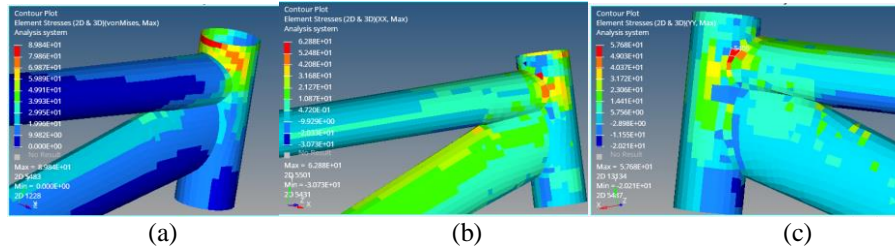
$$v = 74,557 \text{ m/s}$$

Dari hasil perhitungan didapatkan nilai kecepatan sebesar  $v = 74,557 \text{ m/s}$ , kecepatan tersebut akan di input untuk mendefinisikan beban pada simulasi *dynamic Explicit* di *Hyperworks Radioss 2018*.

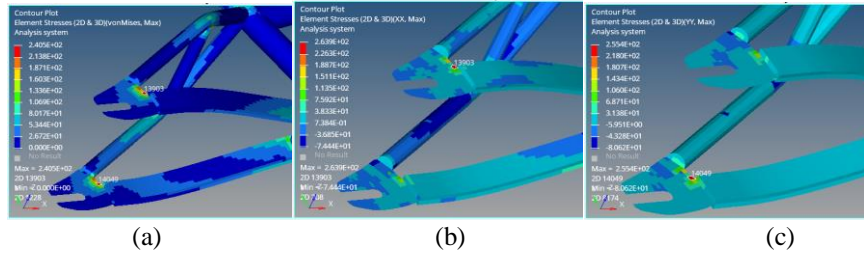
## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Hasil dan Pembahasan Simulasi Statis

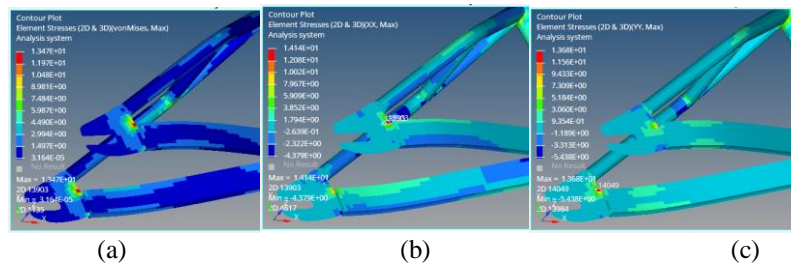
Berikut hasil simulasi dari keempat skema pembebanan statis.



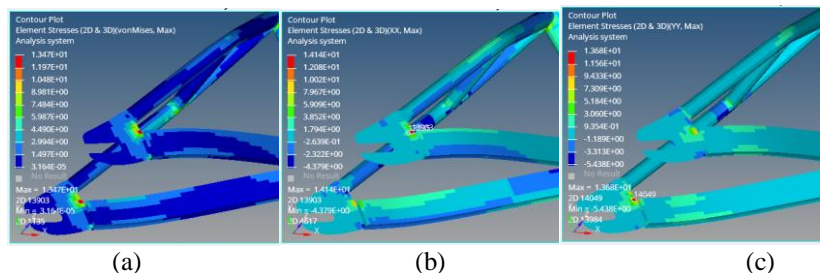
Gambar 6 Analisis Statik pada Rangka 1 kasus *road bump front wheel* (a) Normal X Stress (b) Normal Y Stress (c) Von Mises Stress



Gambar 7 Analisis Statik pada Rangka 2 kasus *road bump rear wheel* (a) Normal X Stress (b) Normal Y Stress (c) Von Mises Stress



Gambar 8 Analisis Statik pada Rangka 1 kasus Posisi *Standing Riding* (a) Normal X Stress (b) Normal Y Stress (c) Von Mises Stress

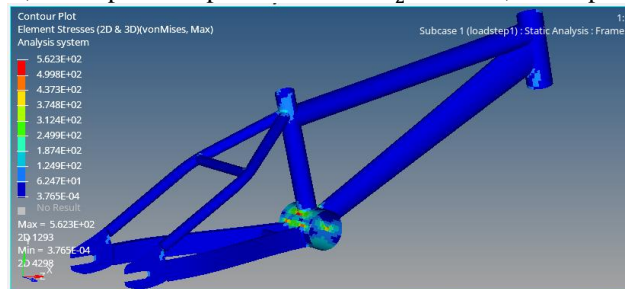


Gambar 9 Analisis Statik pada Rangka 2 kasus *steady state pedalling* (a) Normal X Stress (b) Normal Y Stress (c) Von Mises Stress

Dari hasil analisis statik yang ditunjukkan Gambar 6 untuk kasus *road bump front wheel*, pada rangka diketahui bahwa *Max Normal X Stress* sebesar 57,35 MPa dan *Max Normal Y Stress* sebesar 54,06 MPa, terjadi di *head tube* dan di sekitar sambungan antara *seat tube* dan *top tube*. Gambar 7 untuk kasus *road bump rear wheel*, pada rangka diketahui bahwa *Max Normal X Stress* sebesar 25,39 MPa dan *Max Normal Y Stress* sebesar 25,54 Mpa. Gambar 8 untuk kasus *static start up*, pada rangka diketahui bahwa *Max Normal X Stress* sebesar 14,14 MPa dan *Max Normal Y Stress* sebesar 13,68 Mpa. Gambar 9 untuk kasus *steady state pedalling*, pada rangka diketahui bahwa *Max Normal X Stress* sebesar 24,87 MPa dan *Max Normal Y Stress* sebesar 24,27 Mpa. Dari keempat kasus pembebanan tidak didapat tegangan yang melewati *yield strength*.

### 3.2. Hasil dan Pembahasan Simulasi Statis Impact

Setelah didapat nilai defleksi statis dari hasil simulasi pembebanan statis, kemudian dilakukan perhitungan nilai *impact factor*. Pembebanan statis *impact factor* yaitu dengan pembebanan gaya ekuivalensinya dari perhitungan di dapatkan nilai sebesar  $Fe_1 = 2.363,103 \text{ N}$  pada tumpuan satu dan  $Fe_2 = 9.094,575 \text{ N}$  pada tumpuan dua.

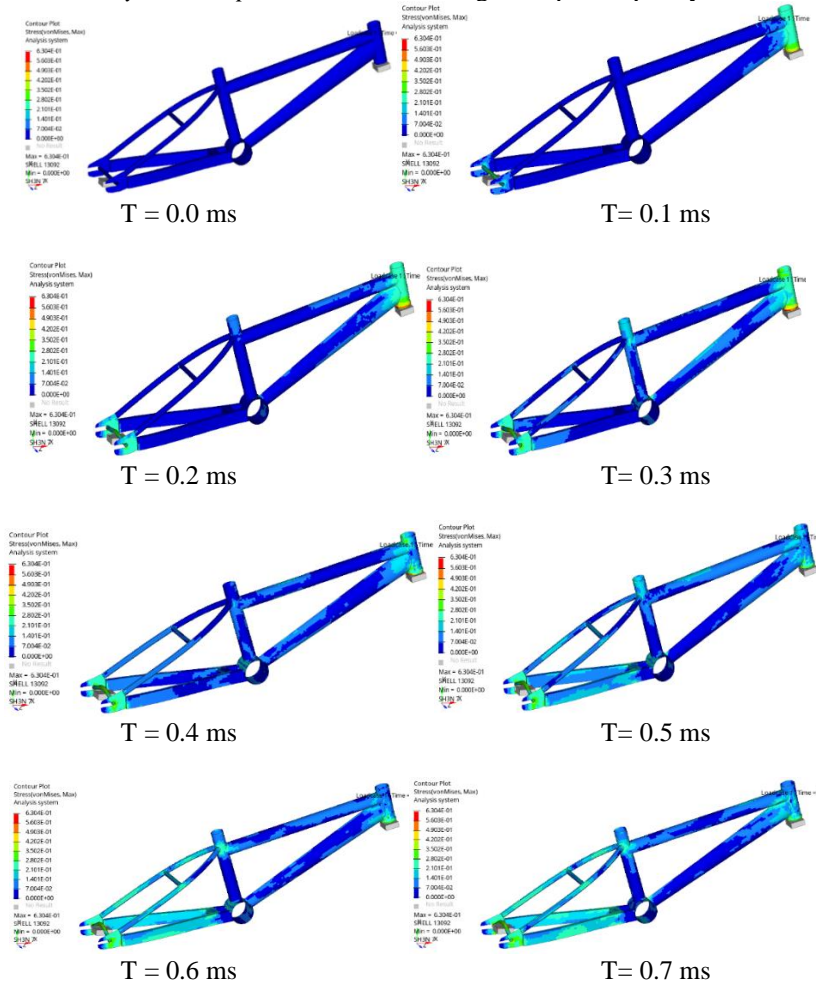


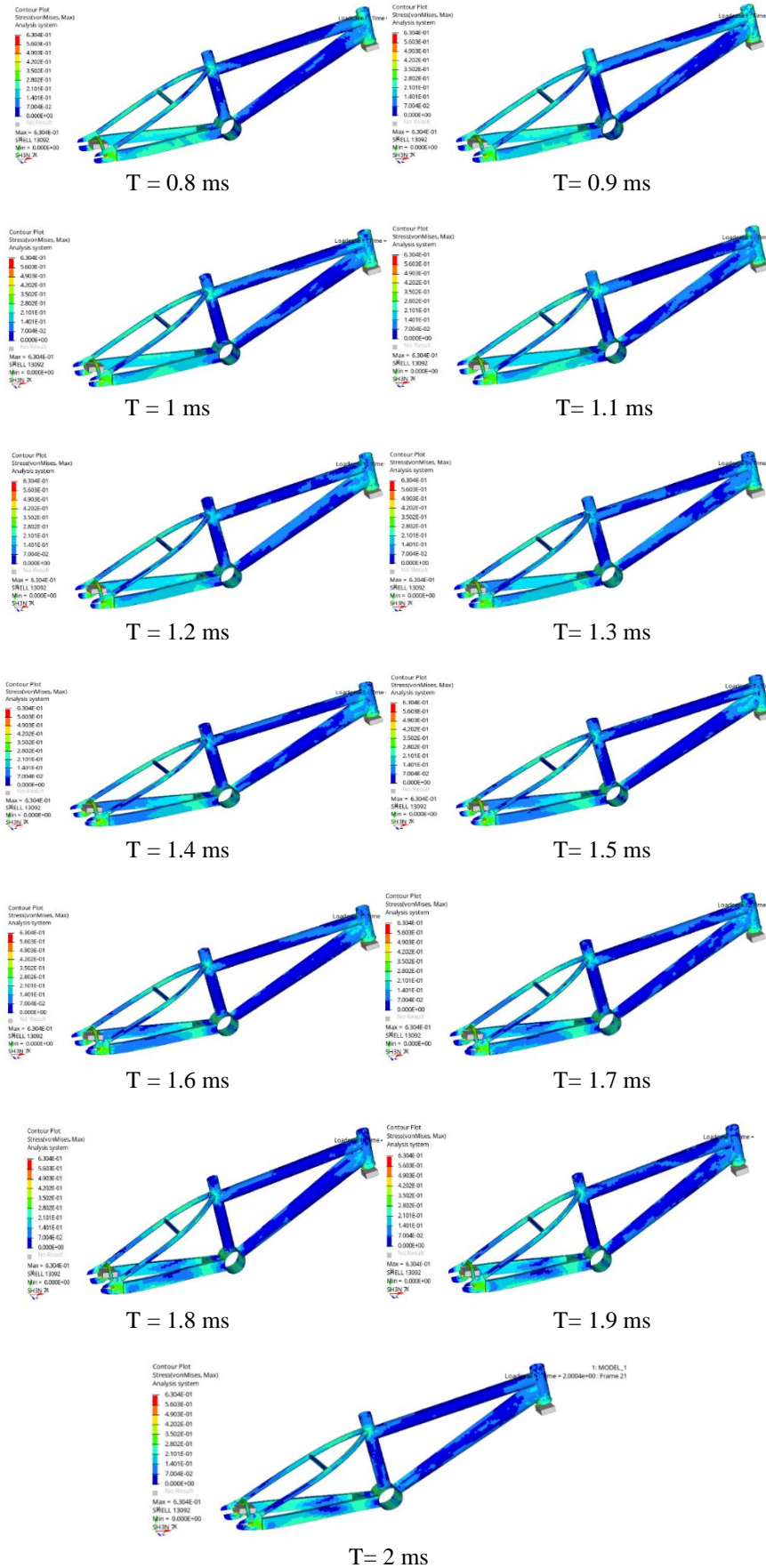
Gambar 10 Kontur tegangan beban statik ekuivalen

Dari Gambar 10 dapat dilihat hasil simulasi beban ekuivalen yang dikenakan pada kedua tumpuan. Dari hasil simulasi didapatkan bahwa nilai tegangan von mises maksimum sebesar 562,3 MPa pada *bottom bracket* dekat sambungan ke *seat tube*. Pada daerah lain tegangan yang dihasilkan berada dibawah 250 MPa.

### 3.3. Hasil dan Pembahasan Simulasi Dynamic Explicit

Berikut hasil simulasi *Dynamic Explicit* selama 2 ms dengan output frequency 0.1 ms.





**Gambar 11.** Kontur tegangan simulasi *Dynamic explicit* setiap 0.1 ms selama 2 ms

Dari hasil simulasi *Dinamic Explicit* dapat dilihat bahwa tegangan maksimum melewati batas *yield strength* 460 MPa. Tegangan yang melewati batas *yield strength* ada di daerah *bottom bracket* (sambungan *seat tube*, *chain stays* dan *down tube*), *head tube* (bagian bawah) dan *rear end* (bagian kontak dengan as roda). Dari hasil simulasi bisa dilihat daerah-daerah yang gagal, maka perlu untuk memperbaiki desain struktur rangka bagian-bagian yang gagal yaitu sambungan pada *bottom bracket*, *head tube* dan *rear end*. Untuk meningkatkan kekuatan rangka bisa dilakukan dengan menambah ketebalan pada bagian-bagian yang melewati batas *yield strength*, karena geometri rangka yang diuji memiliki ketebalan yang disamakan untuk semua bagian menjadi 2 mm pada semua bagian kecuali pada *rear end* yang memiliki ketebalan 4 mm.

#### 4. Kesimpulan

Dari Hasil Simulasi dan Pembahasan yang telah dilakukan, maka saya dapat menarik tiga kesimpulan, yaitu sebagai berikut.

1. Hasil simulasi *Linear static* Pada kasus pembebanan *road bump front wheel*, *road bump rear wheel*, *static start up*, *steady state Pedalling* tegangan Von Mises maksimal tidak melewati *yield strength* material yaitu 430 MPa.
2. Pada simulasi Impact dengan simulasi *Linear static* beban ekuivalen menggunakan Altair Optistruct didapat Max Von Mises 562 Mpa, tegangan yang melewati batas *yield strength* ada di *bottom bracket* sekitar sambungan dengan *seat tube*, *chain stays* dan *down tube*. Pada simulasi *Impact Dinamic Explicit* menggunakan Altair Radioss 2018 didapat Max Von Mises 630.4 Mpa pada waktu 0.4 ms, tegangan yang melewati *yield strength* ada di *rear end*, bagian bawah *head tube* dan *bottom bracket* yaitu di sambungan ke *seat tube*, *chain stays* dan *down tube*.
3. Pada simulasi *Impact Dynamic Explicit*, *energy kinetic* dari *impactor* yang memiliki massa 0.263 Kg dengan kecepatan  $v = 74,557 \text{ m/s}$  diserap oleh rangka menjadi *strain energy* dalam 4 ms.

#### 5. Daftar Pustaka

- [1] Gilang Anarkhi Paksi, J., Aditya Cristian, I., Indriansyah, R., Studi Teknik Mesin ITI, P., Raya Puspipstek Serpong, J., & Selatan-Banten, T. (2021). *Perancangan Struktur Road Bike Frame Menggunakan Aluminium 6063 Melalui Proses Optimalisasi Perlakuan Panas*. 5(2).
- [2] Koellner, A., Cameron, C. J., & Battley, M. A. (2014). Structural responses on a bmx racing bicycle. *Procedia Engineering*, 72, 618–623. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.06.104>.
- [3] Arola, D., Reinhall, P.G., Jenkins, M.G. *et al.* An experimental analysis of a hybrid bicycle frame. *Exp Tech* 23, 21–24 (1999). <https://doi.org/10.1111/j.1747-1567.1999.tb01565.x>
- [4] ZULETA, A., VALENCIA-ESCOBAR, A. AND RODRÍGUEZ, C. Mechanical, microstructural characterization and redesign of a BMX bicycle frame
- [5] Grigg, J., Haakonssen, E., Rathbone, E., & Keogh, W. L. ORCID Icon The validity and intra-tester reliability of markerless motion capture to analyse kinematics of the BMX Supercross gate start
- [6] Devaiah, B. B., Purohit, R., Rana, R. S., & Parashar, V. (2018). Stress analysis of a bicycle frame. *Materials Today: Proceedings*, 5(9), 18920–18926. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.06.241>
- [7] Autorzy Cichański A., Tomaszewski T. Numerical verification of quasi-static strength of the horizontal bicycle welded frame.
- [8] Erhunmwun, I. D., & Ikponmwosa, U. B. (2017). Review on finite element method. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 21(5), 999. <https://doi.org/10.4314/jasem.v21i5.30>
- [9] JUVINALL, R. C. (2011). Fundamentals of Machine Component Design. In *History of Mechanism and Machine Science* (Fifth, Vol. 18). JOHN WILEY & SONS, INC. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-1156-3\\_8](https://doi.org/10.1007/978-94-007-1156-3_8)
- [10] Meriam, J. L. and Kraige, L. G. (2013) *Engineering Mechanics Dynamics. Seventh Edition*. John Wiley & Sons, inc. Singapore.