

## PERANCANGAN DAN ANALISIS STATIS BAN TANPA UDARA (*AIRLESS TIRE*) UNTUK UKURAN 165/60 R12

**Sandya Gilang Samudra<sup>1</sup>, Mohamad Yamin<sup>2,\*</sup>**

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Gunadarma,  
Jl. Margonda Raya No. 100, Depok, 16424, Indonesia

<sup>2</sup>Program Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Gunadarma,  
Jl. Margonda Raya No. 100, Depok, 16424, Indonesia

\*E-mail: mohay@staff.gunadarma.ac.id

Diterima: 21 Februari 2020

Direvisi: 12 Juni 2020

Disetujui: 07 Juli 2020

### ABSTRAK

Mobil listrik memiliki torsi besar sejak awal dipacu atau beraklarsi. Penggunaan ban konvensional pada mobil listrik dapat mempercepat keausan permukaan ban. *airless tire* dapat diaplikasikan untuk mobil listrik, seperti yang sedang dikembangkan oleh perusahaan ban Bridgestone dan Michelin. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui, memprediksi nilai stress, displacement, strain dan safety factor serta mengevaluasi hasil rancangan melalui simulasi FEA dari model *airless tire*. Kontribusi yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah melakukan rancang ulang untuk memperbaiki stress, displacement, strain dan safety factor model *airless tire* yang pernah diteliti sebelumnya. Pada penelitian ini *airless tire* direncanakan dengan size 165/60 R12 merujuk pada standard ETRTO. Bentuk model *airless tire* divisualisasikan menggunakan software Autocad dan CATIA. Simulasi FEA (Finite Element Analysis) dilakukan dengan SOLIDWORKS. Struktur honeycomb menggunakan poliuretan sebagai komponen utama honeycomb yang sesuai untuk pengganti pneumatic tire. 4 model honeycomb yang direncanakan menunjukkan hasil stress, displacement, strain dan safety factor yang lebih baik dibandingkan model *airless tire* pembandingan yang sebelumnya telah diteliti.

**Kata kunci:** *Airless, tire, honeycomb, design, analysis*

### ABSTRACT

*Electric cars have large torque from the start driven or acceleration. The use of conventional tires on electric cars can accelerate tire surface wear. Airless tires can be applied to electric cars, such as those being developed by the Bridgestone and Michelin tire companies. This research was conducted to determine, predict stress, displacement, strain and safety factor values and evaluate the design results through FEA simulations of the airless tire model. The contribution to be achieved in this research is to redesign to improve the stress, displacement, strain and safety factor of the airless tire model that has been previously studied. In this study, airless tire planned with size 165/60 R12 refers to the ETRTO standard. The airless tire model is visualized using the AutoCAD and CATIA software. The FEA (Finite Element Analysis) simulation is done with SOLIDWORKS. The honeycomb structure uses polyurethane as the main honeycomb component suitable for pneumatic tire replacement. The 4 planned honeycomb models show better stress, displacement, strain and safety factors compared to the comparative airless tire model previously examined.*

**Keywords:** *Airless, tire, honeycomb, design, analysis*

## PENDAHULUAN

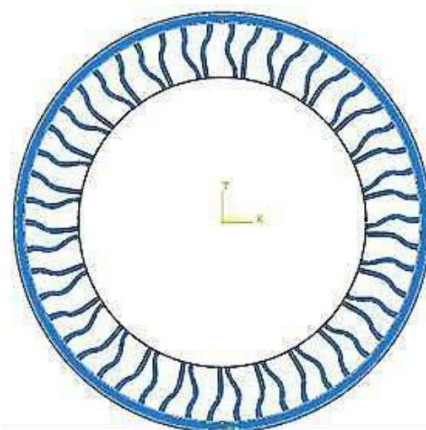
*Airless tire* dikembangkan untuk diterapkan pada mobil listrik, seperti yang sedang dikembangkan oleh perusahaan ban Bridgestone dan Michelline. Model *airless tire* Bridgestone dan Michelline telah dikaji oleh Aboul-Yazid, A.M. et al (2015). Hasil simulasi FEA model ruji tanpa *reinforcement* (case 2) menunjukkan defleksi yang cukup besar, sehingga menyebabkan jarak antara *rim* dan permukaan jalan semakin berdekatan yang memungkinkan terjadinya gesekan antara *rim* dengan permukaan jalan. *Maximum von mises stress* model ruji tanpa *reinforcement* (case 2) Aboul-Yazid, A.M. et al (2015) melebihi *tensile strength polyurethane* yang menyebabkan *safety factor* dari model ruji tersebut berada dibawah nilai *safety factor* yang diijinkan (*static*).

CAD telah banyak digunakan di industri ban dan digunakan untuk meningkatkan akurasi desain serta mempersingkat waktu desain (Yude, D. et al, 2018). Model ban baru selalu dibangun dengan analisis struktural statis. Analisis statis digunakan untuk memeriksa kapasitas beban ban (Karthick, S. et al, 2017). Untuk meningkatkan desain dari ban, perlu untuk memprediksi perilaku mekanik ban di bawah beban yang diterapkan. Distribusi tegangan, regangan dan defleksi yang dikembangkan haruslah dilakukan analisis. FEA adalah metode yang kuat dan ekonomis yang telah digunakan secara luas untuk tujuan desain teknik (Anuj, S. & Rahul, D. 2013). Penggunaan teknik analisis numerik FEM telah menjadi alat yang cukup mudah dan *power full* (Vinoth, R. et al, 2018).

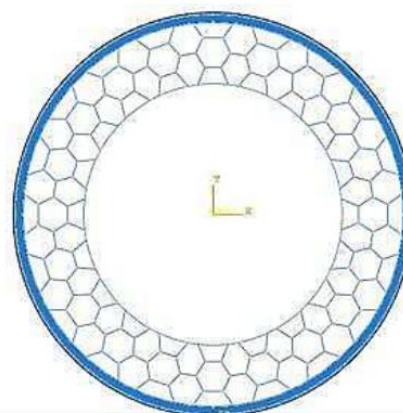
Penelitian ini dibuat dengan maksud mengetahui, memprediksi, mengevaluasi, membandingkan hasil simulasi FEA untuk nilai *von mises stress*, *strain*, *displacement* dan *safety factor* dari *design* ruji *airless tire*. Kontribusi pada penelitian ini adalah memperbaiki nilai dari *stress*, *displacement*, *strain* dan *safety factor* untuk model *honeycomb* yang telah diteliti dengan melakukan rancang ulang model *airless tire*. *Size tire* yang direncanakan pada penelitian ini adalah 165/60 R12, mengacu pada standard *The European Tyre and Rim Technical Organization* (ETRTO).

## METODE PENELITIAN

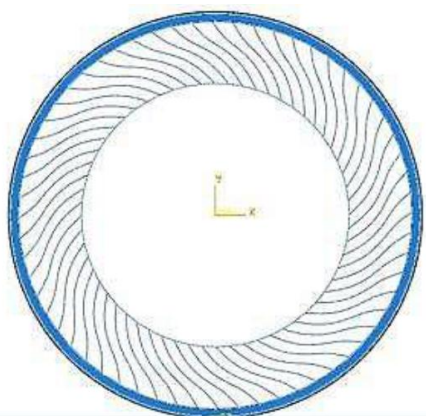
Hasil simulasi FEA (*stress*, *strain*, dan *displacement*) untuk 3 model ruji *airless tire* Aboul-Yazid, A.M. et al (2015) dipilih sebagai data pembandingan dalam penelitian ini, yaitu model ruji *honeycomb*, *new curved spoke* dan *spoke pairs*. Kesamaan *size*, dimensi, *geometry* model, dan *physical properties* (*polyurethane*) pada penelitian Aboul-Yazid, A.M. et al (2015) menjadi dasar penetapan data pembandingan dalam penelitian ini, sehingga analisis perbandingan yang dilakukan dalam penelitian ini menjadiimbang. Perbaikan model *airless tire* hanya dilakukan untuk model ruji *honeycomb*. Hasil simulasi FEA 4 model ruji *honeycomb* yang dikembangkan dalam penelitian ini dibandingkan dengan 3 model *airless tire* Aboul-Yazid, A.M. et al (2015).



**Gambar 1.** *Airless Tire (Spoke Pairs)*  
Sumber : Aboul-Yazid, A.M. et al (2015)

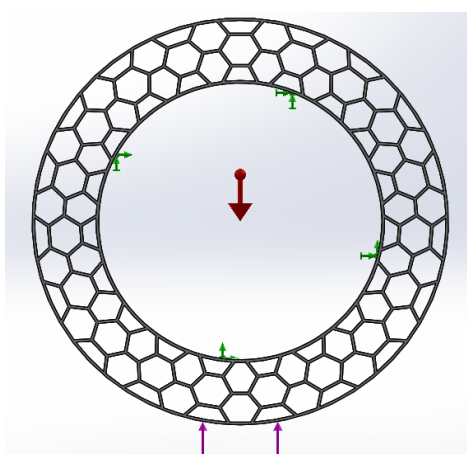


**Gambar 2.** *Airless Tire (Honeycomb)*  
Sumber : Aboul-Yazid, A.M. et al (2015)



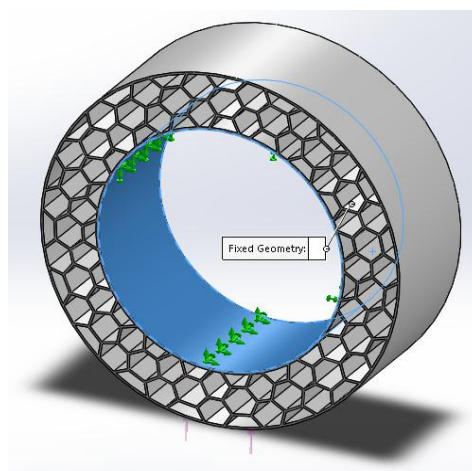
**Gambar 3.** Airless Tire (New Curved Spoke)  
Sumber : Aboul-Yazid, A.M. et al (2015)

Simulasi dengan FEA (*static analysis*) dipilih sebagai metode untuk mengukur dan membandingkan hasil *design airless tire* yang telah di analisa oleh Aboul-Yazid, A.M. et al (2015). Karena penggunaan teknik FEA telah menjadi alat yang cukup mudah dan *power full* dalam teknik mesin untuk desain, maka FEA digunakan untuk pengujian semua model yang dibuat. Dalam penelitian ini, diamati *stress*, *displacement* dan *strain* yang terjadi pada ke empat model *honeycomb* seperti yang dilakukan oleh Aboul-Yazid, A.M. et al (2015) untuk model *airless tire (case 2)* yang telah diteliti. Solidworks digunakan untuk memprediksi perilaku struktural pada keempat *airless tire*. Gaya sebesar 3000 N diterapkan untuk melihat tegangan regangan dan defleksi ke empat model. Besar gaya yang diterapkan sesuai dengan berat dari seperempat mobil yang dikonversi dalam satuan Newton.



**Gambar 4.** Load Force 3000N

Area permukaan *hub* ditentukan sebagai elemen kaku yang tidak terpengaruh terhadap hasil simulasi oleh gaya yang diterapkan karena kondisi batas, ini dimaksudkan untuk membuat tegangan-regangan dan defleksi hanya terjadi pada sel *honeycomb* sehingga memungkinkan gerakan vertikal. gaya diterapkan secara vertikal pada permukaan luar *honeycomb* yang dianggap bersentuhan dengan tanah, Penetapan ini sesuai dengan kondisi aktual untuk *plunger test tire* untuk *pneumatic tire*.



**Gambar 5.** Fix Geometry

### Perancangan Airless Tire

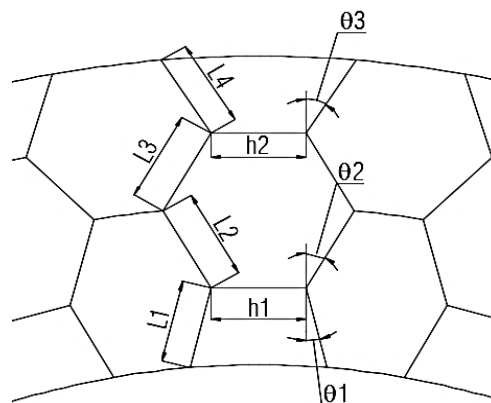
Model *airless tire (contour tire)* mengacu pada struktur geometris ban mobil *pneumatic* (Nibin, J.M. et al, 2017; Periasamy, K. & Vijayan, S. 2014). *Size tire* yang direncanakan pada penelitian ini adalah 165/60 R12, mengacu pada standard *The European Tyre and Rim Technical Organization (ETRTO)*. Desain *contour tire* sebagian besar dibagi menjadi desain *contour tapak* dan desain *contour dinding samping*. *Contour tire* dimodelkan dalam dua dimensi (Dong, W.L. et al, 2011). Berdasarkan referensi penelitian yang dilakukan oleh Dong, W.L. et al (2011) dalam proses desain *contour tire*, dimensi *Outer Diameter*, *Section Width* dan *Rim Width* dapat dianggap sebagai konstanta untuk ukuran ban. langkah pertama dalam proses desain adalah menentukan target teknis terhadap iterasi desain sehingga dapat diukur. itu adalah ciri dari karakteristik teknis untuk menentukan desain baru (Manibaaan, C. et al, 2013)

**Tabel 1.** Perancangan Profil NPT

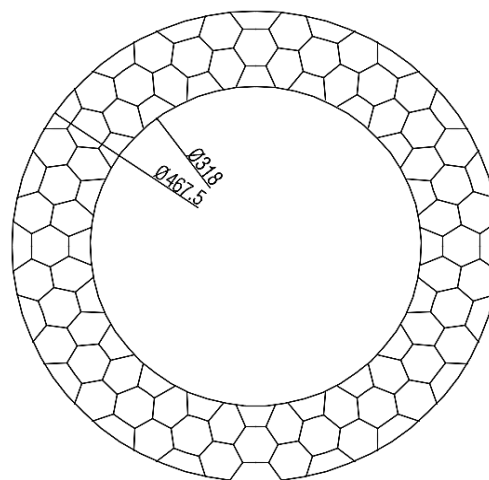
Design	Perhitungan dan Hasil Perancangan (ETRTO Standard)
<i>Theoretical Rim Width</i>	$\alpha_1 = S_N \times R$ $\alpha_1 = 165 \times 0.7$ $\alpha_1 = 115.5 \text{ mm}$
<i>Design Section Width</i>	$S = S_N + k (\alpha - \alpha_1)$ $S = 165 + 0.4 (127 - 115.5)$ $S = 170 \text{ mm}$
<i>Max Section Width</i>	$S_G = S \times F_{SG}$ $S_G = 170 \times 1.04$ $S_G = 177 \text{ mm}$
<i>Design Section Height</i>	$h = S_N \times \alpha_r / 100$ $h = 165 \times 60 / 100$ $h = 99 \text{ mm}$
<i>Overall Diameter Tire</i>	$d = 2h + d_r$ $d = 2 \times 99 + 305$ $d = 503 \text{ mm}$
<i>Min Overall Diameter Tire</i>	$d_{min} = 2(h \times F_{hmin}) + d_r$ $d_{min} = 2(99 \times 0.97) + 305$ $d_{min} = 497 \text{ mm}$
<i>Tread Radius</i>	$R_t = (14.8 - (0.14 \times \alpha_r)) S_G$ $R_t = (14.8 - (0.14 \times 60)) 177$ $R_t = 1132.8$
<i>Reference Tread Width</i>	$C = (1.075 - (0.005 \times \alpha_r)) S^{1.001}$ $C = (1.075 - (0.005 \times 60)) 170^{1.001}$ $C = 132.4 \text{ mm}$

Model ruji *airless tire* dikembangkan dengan 4 model. Parameter geometri ruji *honeycomb* direncanakan berbeda-beda. Struktur *honeycomb* dirancang untuk mendukung beban ditempatkan pada ban. Desain pola sel sisi enam dibuat dalam model *honeycomb* dan model ini merupakan duplikat terbaik untuk mengganti ban *pneumatic* dalam kendaraan. Tujuannya adalah untuk mengurangi variasi dalam kekakuan ban (Pranav, A.R. et al, 2018). Fungsi ruji pada *airless tire* adalah untuk menggantikan fungsi udara pada *pneumatic tire* (Rutik, A.B. et al, 2018). *Honeycomb* heksagonal dinotasikan

dengan ketebalan dinding sel,  $t$ , panjang sel vertikal,  $h$ , panjang sel miring,  $l$ , dan sudut sel,  $\theta$ , (Aboul-Yazid, A.M. et al 2015) seperti yang diilustrasikan dalam Gambar 3. Keterangan dimensi geometri *honeycomb* ditunjukkan pada Tabel 2. Ketebalan dinding sel untuk semua model *honeycomb* ditentukan 3 mm (Aboul-Yazid, A. M. et al 2015).



**Gambar 6.** Parameter Geometri *Airless Tire*



**Gambar 7.** Profil Kontruksi *Honeycomb*

Dari keempat model yang direncanakan, parameter geometri sudut sel,  $\theta$ , untuk masing-masing model ditentukan. Berdasarkan hasil perhitungan dan perencanaan *contour tire* (*airless tire*), dimensi *outer diameter* dan *inner diameter honeycomb* adalah tetap, maka dimensi panjang sel miring,  $l$ , untuk setiap model menyesuaikan terhadap parameter dimensi sudut sel,  $\theta$  yang direncanakan.

**Tabel 2.** Perencanaan Dimensi Geometri *Honeycomb*

<i>Airless tire</i>	<i>Geometric parameter</i>	$l_1$	$l_2$	$l_3$	$l_4$	$h_1$	$h_2$	$\theta_1$	$\theta_2$	$\theta_3$
<i>Honeycomb case 2</i> Aboul-Yazid, et al (2015)	mm (degree)	22.5	20.8	20.5	21.5	20	25	22	32	35
<i>Honeycomb Model 1</i>	mm (degree)	20.89	19.02	18.96	19.86	20	25	32	42	45
<i>Honeycomb Model 2</i>	mm (degree)	21.57	19.8	19.5	20.58	20	25	27	37	40
<i>Honeycomb Model 3</i>	mm (degree)	23.74	22.09	21.32	22.66	20	25	17	27	30
<i>Honeycomb Model 4</i>	mm (degree)	25.39	23.73	22.74	24.12	20	25	12	22	25

**Physical Properties Material****Tabel 3.** *Physical Properties Material*

<i>Item</i>	<i>Material</i>	<i>Density</i> $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	<i>Young Modulus</i> $E$ (Mpa)	<i>Possion's ratio</i> $\nu$	<i>Shear Modulus</i> $G$ (Mpa)
<i>Hub</i>	Aluminium alloy	2800	$72 \times 10^3$	0.33	-
<i>Honeycomb</i>	polyurethane	1200	32	0.49	10.8
<i>Share Layer</i>	ANSI 4340	7800	$210 \times 10^3$	0.29	-
<i>Tread</i>	Rubber	1043	11.9	0.49	4

Sumber : Aboul-Yazid, A.M. et al (2015)

Empat bagian utama dari *non-pneumatic tire* meliputi: *hub*, *polyurethane spokes*, *shear band*, *tread band* (Rutik, A.B. et al, 2018). Struktur *honeycomb* sebagai komponen utama NPT disarankan menggunakan *polyurethane* yang sesuai untuk pengganti *pneumatic tire* berisi udara (Jaehyung, J. et al, 2012). *Tensile strength polyurethane* adalah 67,000,000 N/m<sup>2</sup>. *Outer band* (tapak) NPT merupakan karet dan jari-jari lentur dalam yang terdiri dari poliuretan (Prajwal, C. & Seetharama, K.S, 2017) secara umum ban *polyurethane* akan lebih tahan dari ban karet sekitar empat kali. Diameter *hub* merupakan *magnesium alloy* (Vinoth, R. et al, 2018) *Hub* umumnya terbuat dari Baja atau paduan Aluminium (AL7075-T6). Bahan yang digunakan sebagai *Shear*

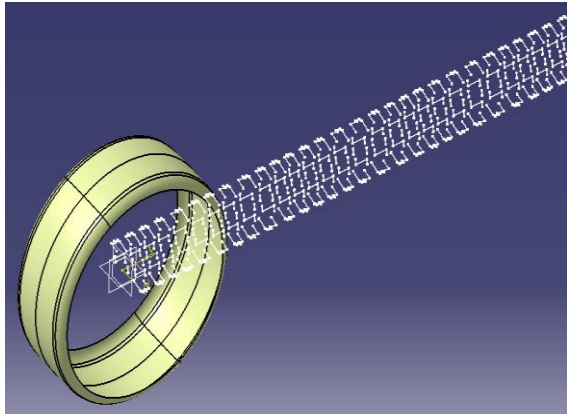
*band* adalah ANSI: 4340 (Rutik, A.B. et al, 2018) Cincin bagian dalam terbuat dari paduan aluminium dan berfungsi sebagai *hub* yang kaku (Aboul-Yazid, A.M. et al, 2015)

**3D Modelling**

3D *modelling* untuk ke empat *airless tire* dimodelkan dengan CATIA. *Sketch contour tire*, pola tapak, *hub*, *honeycomb*, dan *share layer* dibuat pada koordinat kerja 0,0 pada *mode* kerja 2D CATIA. Dalam pemodelan 3D *tire*, *plane xy*, *yz*, dan *zx* perlu diperhatikan. Bagian tapak dan pola tapak dalam 3D *modelling* dalam CATIA dibuat dengan mengkombinasikan fitur kerja *part design (solid modelling)* dan *generative shape design (surface)*. *Surface contour tire* menjadi

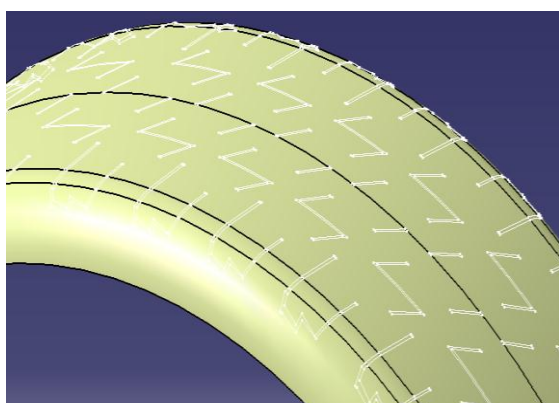


acuan kerja dalam model 3D sebagai acuan proyeksi. Pola garis tapak diproyeksikan pada *surface contour tire*. Split dimanfaatkan untuk memotong *surface* terhadap batas pola tapak.

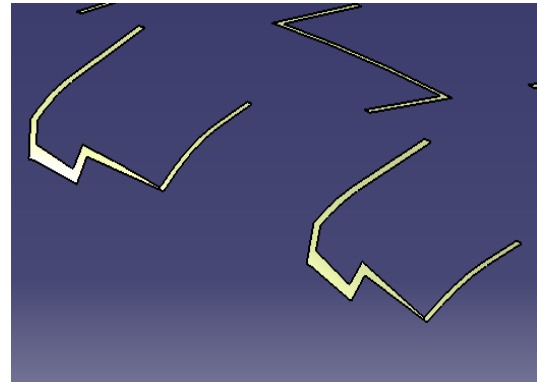


**Gambar 8.** Pra-Proyeksi Pola Tapak

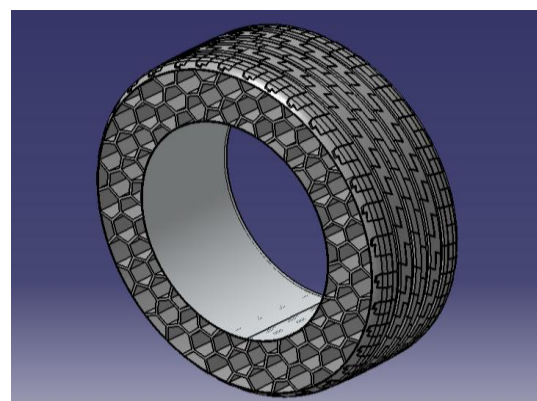
Panjang *pitch pattern* tapak ban dibuat mengikuti keliling luar lingkaran ban. Panjang jenis *pitch* berbeda-beda dan mengikuti aturan tertentu. Pola alur (atau pola tapak) berisi grup alur 3D dalam berbagai ukuran dan bentuk yang berulang di setiap jarak tertentu di sepanjang lingkaran ban. 3D model *Hub*, *honeycomb* dan *share layer* dibuat dalam *solid modelling*. *Surface* pola tapak dibuat berdasarkan referensi *surface contour tire* sebagai media proyeksi dan garis proyeksi pola tapak digunakan sebagai geometri batas *surface*.



**Gambar 9.** Proyeksi Pola Tapak



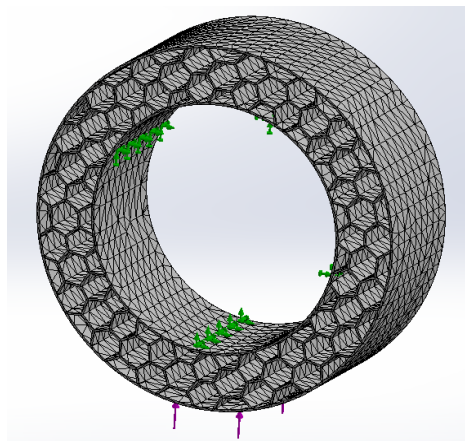
**Gambar 10.** *Surface* Pola Tapak *Airless Tire*



**Gambar 11.** 3D Modelling *airless Tire*

### **Meshing**

Setelah proses *modelling* untuk *airless tire* dan penginputan batasan kondisi pada model selesai, maka dilakukan pengaturan parameter *meshing* pada model *honeycomb*. FEA dilakukan pada *solidworks simulation*. Pada proses ini elemen-elemen dibuat pada seluruh bagian masing-masing model *honeycomb*. Analisis struktural *honeycomb* dilakukan dalam langkah umum statis. Parameter *mesh* diatur menjadi *standard mesh* dengan *mesh factor* untuk *global size* adalah 20 mm dan toleransi *mesh* adalah 1.45 mm, parameter *mesh* ini ditetapkan untuk semua model *honeycomb* yang diuji.



Gambar 12. Meshing

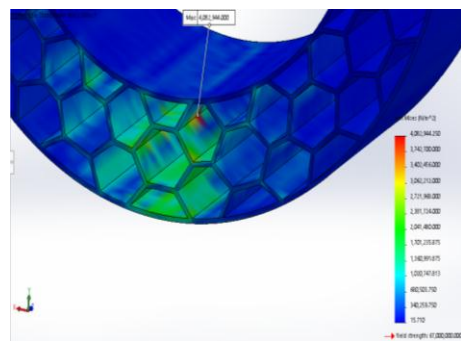
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Von Mises Stress**

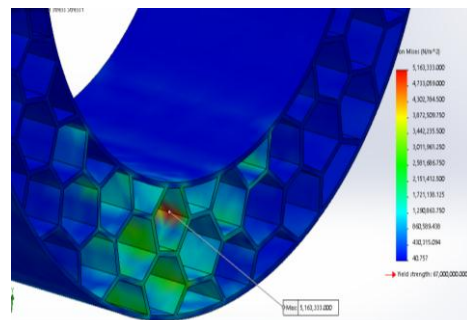
Tabel 4 menunjukkan nilai maksimum *von mises stress* untuk keempat model *honeycomb* dan data pembandingan. Hasil simulasi FEA menunjukkan *von mises stress* yang bervariasi. Untuk *honeycomb* model 1 *von mises stress* diketahui sebesar 4,082,944.250 N/m<sup>2</sup>, untuk *honeycomb* model 2 *von mises stress* diketahui sebesar 5,163,333 N/m<sup>2</sup>, untuk *honeycomb* model 3 *von mises stress* diketahui sebesar 5,107,038.5 N/m<sup>2</sup>, dan untuk *honeycomb* model 4 *von mises stress* diketahui sebesar 4,404,807.5 N/m<sup>2</sup>.

**Tabel 4. Von Mises Stress Airless**

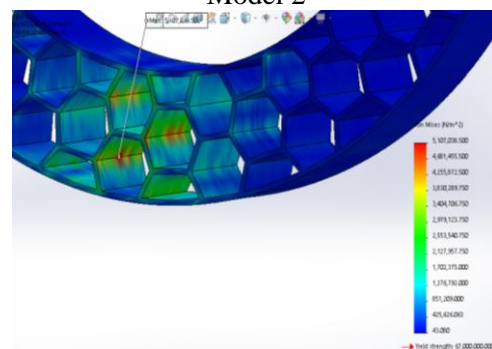
<i>Model Airless tire</i>	<i>Max Von Mises Stress (N/m2)</i>
<i>New Curved spoke case 2 Aboul-Yazid, et al (2015)</i>	496,000,000
<i>Honeycomb case 2 Aboul-Yazid, et al (2015)</i>	463,000,000
<i>Spoke pairs case 2 Aboul-Yazid, et al (2015)</i>	396,000,000
<i>Honeycomb Model 1</i>	4,082,944.250
<i>Honeycomb Model 2</i>	5,163,333
<i>Honeycomb Model 3</i>	5,107,038.5
<i>Honeycomb Model 4</i>	4,404,807.5



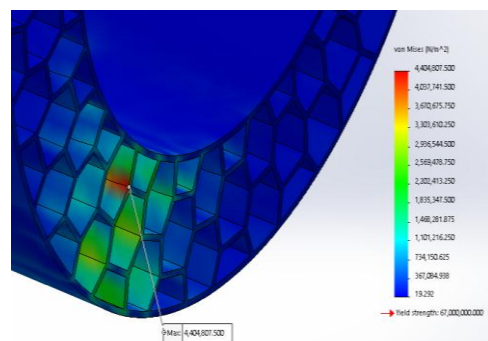
Gambar 13. Von Mises Stress Honeycomb Model 1



Gambar 14. Von Mises Stress Honeycomb Model 2



Gambar 15. Von Mises Stress Honeycomb Model 3



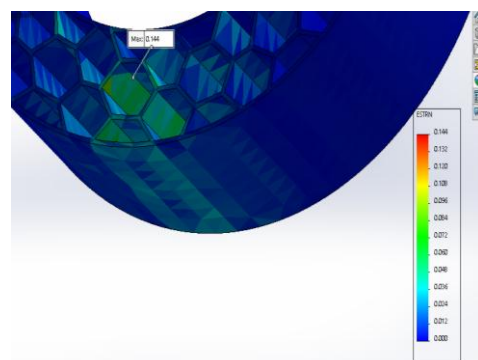
Gambar 16. Von Mises Stress Honeycomb Model 4

Selisih *stress* besar terlihat antara model yang telah diteliti oleh Aboul-Yazid, A.M et al (2015) dengan model yang direncanakan pada penelitian ini. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa nilai *maximum von mises stress* terendah ditunjukkan oleh model *honeycomb* 1. Selisih *maximum von mises stress* yang besar dapat dipengaruhi oleh *physical properties* material. Dimensi *outer* dan *inner* dari semua model yang direncanakan dan model pembanding adalah sama. Perbedaan dimensi dan *geometry* hanya ditekankan pada sudut sel *honeycomb*,  $\theta$ , dan panjang sel *honeycomb*,  $l$ .

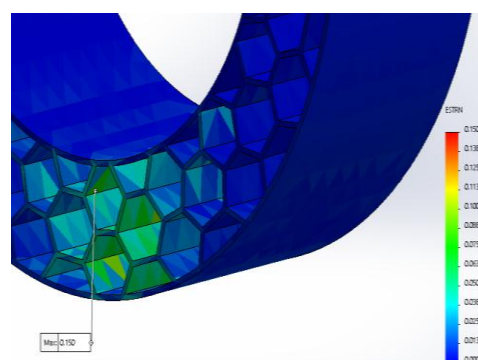
Keempat model *honeycomb* yang direncanakan dalam penelitian ini diketahui dapat menahan kondisi simulasi yang dilakukan untuk dikenakan beban sebesar 3000 N pada model. Titik kritis *maximum stress* pada gambar dipengaruhi luas penampang sel *honeycomb*. Sudut sel menjadi titik kritis *maximum stress* karena pada titik tersebut tegangan tidak terdistribusi secara maksimal karena luas penampang yang kecil. *stress* pada titik kritis sel *honeycomb* dapat diminimalisir dengan pemberian radius *fillet* pada sudut sel *honeycomb*. semakin besar radius *fillet* pada sudut sel *honeycomb* maka nilai *stress* akan semakin berkurang, *stress* akan terdistribusi lebih maksimal karena dipengaruhi luas penampang yang lebih besar pada sudut sel.

### Strain

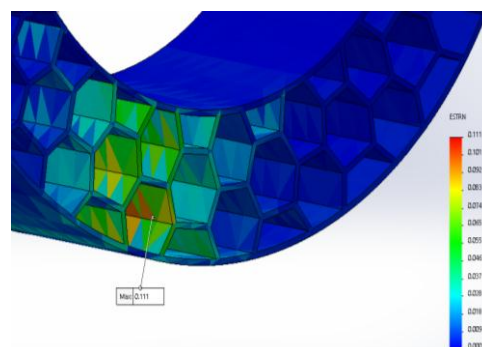
Nilai maksimum *strain* pada keempat model yang diuji adalah 0.144 untuk model 1 *honeycomb*, 0.150 untuk model 2 *honeycomb*, 0.111 untuk model 3 *honeycomb*, dan 0.085 untuk model 4 *honeycomb*. *Honeycomb* model 2 menunjukkan nilai *strain* tertinggi dibandingkan dengan ke tiga model *honeycomb* lainnya yang direncanakan dalam penelitian ini. Ini berbanding lurus dengan nilai tegangan tertinggi yang ditunjukkan oleh model *honeycomb* 2. *Strain* untuk model ruji *airless tire* pada penelitian Aboul-Yazid, A.M et al (2015) menunjukkan bahwa *maximum strain* uni-axial adalah 300% dan bi-axial adalah 250%.



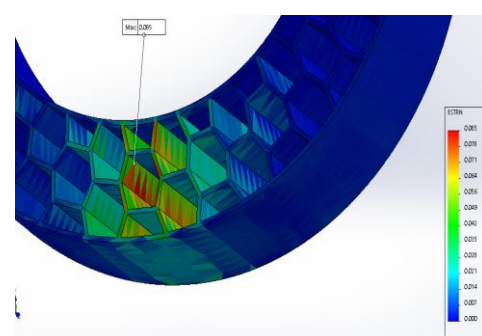
Gambar 17. Strain Honeycomb Model 1



Gambar 18. Strain Honeycomb Model 2



Gambar 19. Strain Honeycomb Model 3



Gambar 20. Strain Honeycomb Model 4

### Displacement

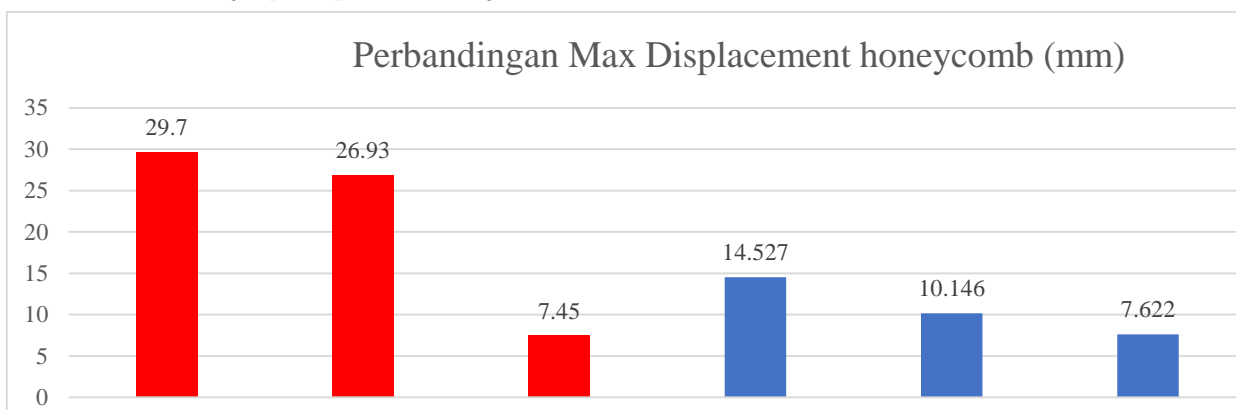
Hasil simulasi *static analysis* dari 4 model yang diuji menunjukkan nilai *maximum displacement* yang bervariasi. Hasil pengujian



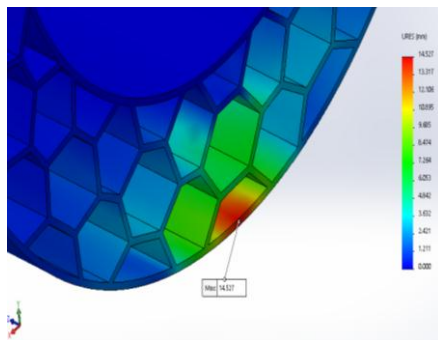
menunjukkan bahwa semakin kecil sudut sel *honeycomb* maka semakin kecil nilai *displacement* yang terjadi dan begitu pula sebaliknya. *Displacement* untuk model 1 adalah sebesar 14.527 mm, Model 2 adalah sebesar 10.146 mm, Model 3 adalah sebesar 7.622 mm dan Model 4 adalah sebesar 6.254. Dalam penelitian ini, *honeycomb* model 4 merupakan model *honeycomb* dengan nilai *displacement* terkecil. Perbandingan nilai *displacement* disajikan pada Gambar 21.

Dalam penelitian Aboul-Yazid, A.M. et al (2015), model ruji *spoke pairs* menunjukkan

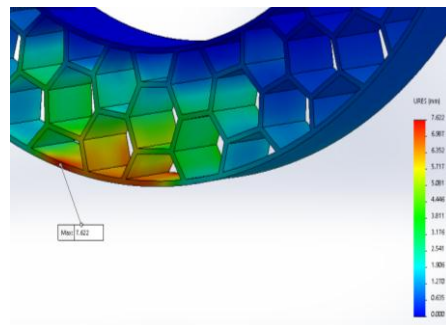
*displacement* terkecil, namun *honeycomb* model 4 yang direncanakan dalam penelitian ini menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan model ruji *spoke pairs* yang telah diteliti oleh A.M Abdoul Yazid, et al (2015). Keempat model *honeycomb* yang direncanakan dapat kembali pada bentuk semula jika beban dihilangkan, ini karena nilai *maximum stress* model *honeycomb* berada dibawah nilai *yiled strength polyurethane*  $S_y = 67,000,000 \text{ N/m}^2$ .



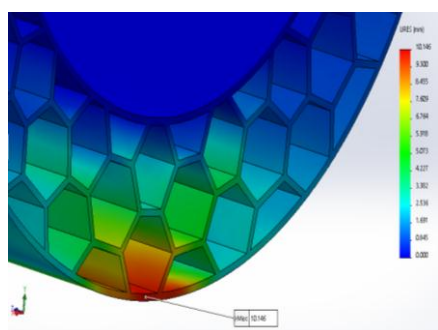
Gambar 21. Perbandingan *Maximum Displacement Honeycomb*



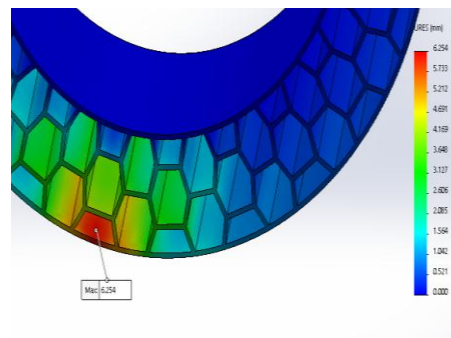
Gambar 22. *Displacement Honeycomb 1*



Gambar 24. *Displacement Honeycomb 3*



Gambar 23. *Displacement Honeycomb 2*



Gambar 25. *Displacement Honeycomb 4*

Representasi warna pada gambar menunjukkan deformasi ban saat beban diterapkan. Untuk menurunkan *displacement* model *honeycomb*, dapat dilakukan dengan memperkecil sudut sel,  $\theta$ . Solusi lainnya dapat dilakukan dengan memperbesar ketebalan dinding sel dan menentukan material yang tepat. Perubahan ketebalan dinding sel dapat memperbesar volume sel dan mempengaruhi berat *tire*, dalam hal ini perubahan ketebalan dinding sel perlu peninjauan kembali. Defleksi tanpa *reinforcement* pada hasil simulasi menunjukkan hasil perbaikan yang positif, *reinforcement* memungkinkan untuk dihilangkan dengan tujuan penghematan material dan mengurangi massa *tire*.

### Safety Factor

Keempat model *honeycomb* pada penelitian ini direncanakan menggunakan material yang sama (*Polyurethane*) dengan *Tensile Strength* adalah 67,000,000 N/m<sup>2</sup>. *Safety Factor* yang diijinkan (*static load*) ditentukan  $X_w = 1.63$  dengan pertimbangan, yaitu untuk bahan yang sudah diketahui, kondisi beban, tegangan dan lingkungan yang tidak pasti seperti pada kondisi *actual* saat *airless tire* bekerja dijalan. *Failure normal stress* ( $\sigma_{fail}$ ) berdasarkan nilai *Tensile strength* adalah  $\sigma_{fail} = 67,000,000$  N/m<sup>2</sup> dan *allowable normal stress* ( $\sigma_{allow}$ ) merujuk berdasarkan *maximum von mises stress* dari masing-masing model *honeycomb*. Hasil simulasi untuk minimum *von mises stress* dianggap sangat

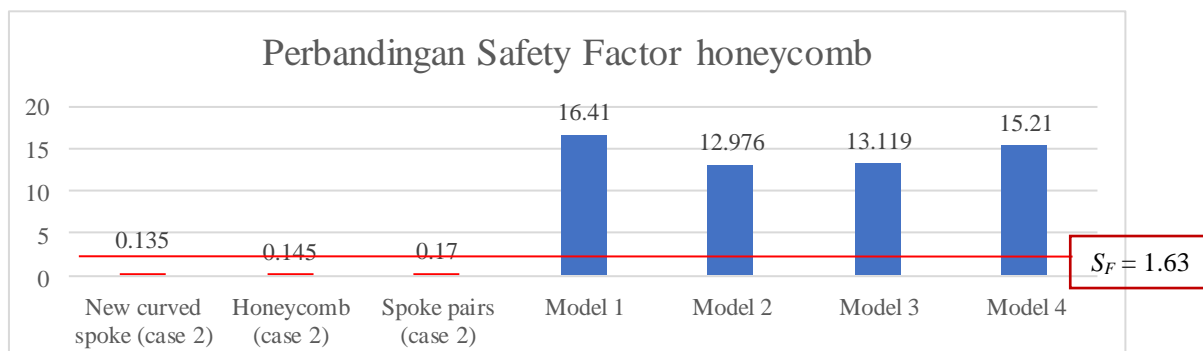
rendah dan aman, maka untuk mencari *safety factor* karena beban yang dikenakan, *maximum von mises stress* digunakan dalam perhitungan. Perhitungan dan perbandingan *safety factor* di sajikan dalam Tabel 5 dan Gambar 26.

*Safety factor* berdasarkan hasil perhitungan dan simulasi pada penelitian ini bervariasi, menandakan bahwa model dengan perbedaan geometri sel *honeycombs* dapat mempengaruhi nilai kemanan yang diijinkan. Nilai *safety factor* pada keempat model yang diuji adalah 16.41 untuk model 1 *honeycomb*, 12.976 untuk model 2 *honeycomb*, 13.119 untuk model 3 *honeycomb*, dan 15.21 untuk model 4 *honeycomb*. Keempat model *honeycomb* yang direncanakan dalam penelitian ini memiliki *safety factor* yang jauh lebih tinggi jika dibandingkan dengan *safety factor* model *honeycomb* Aboul-Yazid, A.M. et al (2015) yang menandakan tujuan perbaikan *design airless tire* pada penelitian ini tercapai. *Safety factor* tertinggi ditunjukan oleh model 1. Pada Gambar 26, yaitu perbandingan *safety factor* model *airless tire* menunjukkan bahwa nilai *safety factor* keempat model yang direncanakan dalam penelitian ini berada diatas nilai *safety factor* yang diijinkan (*static load*), yaitu sebesar  $X_w = 1.63$ , sehingga model *honeycomb* yang direncanakan dapat diterima/aman, sedangkan *safety factor* model ruji-ruji Aboul-Yazid, A.M. et al (2015) berada dibawah *safety factor* yang diijinkan (tidak dapat diterima/tidak aman).

**Tabel 5.** *Safety Factor*

<i>Model Airless tire</i>	Perhitungan $FOS = \sigma_{fail} / \sigma_{allow}$	<i>Safety Factor</i>
<i>New Curved Spoke case 2</i> Abdoul Yazid, et al (2015)	67,000,000 : 496,000,000	0.135
<i>Honeycomb case 2</i> Abdoul Yazid, et al (2015)	67,000,000 : 463,000,000	0.145
<i>Spoke pairs case 2</i> Abdoul Yazid, et al (2015)	67,000,000 : 396,000,000	0.17
<i>Honeycomb Model 1</i>	67,000,000 : 4,082,944.250	16.41
<i>Honeycomb Model 2</i>	67,000,000 : 5,163,333	12.976
<i>Honeycomb Model 3</i>	67,000,000 : 5,107,038.5	13.119

Honeycomb Model 4	67,000,000 : 4,404,807,5	15.21
-------------------	--------------------------	-------



Gambar 26. Perbandingan Safety Factor Honeycomb

## KESIMPULAN

Dari keempat model yang direncanakan, dengan *size* yang sama, yaitu 165/60 R12 menunjukkan tujuan perbaikan yang tercapai, yaitu hasil penelitian menunjukkan bahwa model *honeycomb* yang direncanakan dalam penelitian ini lebih baik dibandingkan dengan model *airless tire* yang telah diteliti oleh Aboul-Yazid, A.M. et al (2015) untuk semua parameter yang dibandingkan, yaitu *Von Mises Stress*, *Displacement* dan *Safety Factor*. Adapun temuan utama adalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Geometry *honeycomb*, besar sudut sel,  $\theta$ , dan Panjang sel miring,  $l$ , merupakan faktor kunci penurunan gaya reaksi, perpindahan (vertikal) dari model *honeycomb* yang direncanakan.
2. Dari ke empat model yang diamati menunjukkan bahwa sudut sel,  $\theta$ , yang semakin besar menghasilkan *displacement* yang semakin besar, begitu pula sebaliknya.
3. *Physical properties* dari material yang digunakan atau ditentukan dalam perencanaan produk menjadi faktor kunci perbaikan produk, khususnya untuk perbaikan nilai *von mises stress*, *strain*, *displacement* dan *safety factor*.
4. *Honeycomb* model 4 menunjukkan maximum *displacement* terkecil dengan nilai 6.254 mm, dan model 1 menunjukkan *safety factor* terbesar dengan nilai 16.41 dengan maximum *von mises stress* terendah yaitu 4,082,944.250 N/m<sup>2</sup>

## DAFTAR PUSTAKA

- Aboul-Yazid, A.M., Emam, M.A.A., Shaaban, S. & El-Nashar, M.A. 2015. *Effect of Spokes Structures On Characteristics Performance of Non-Pneumatic Tires*. IJAME, Vol. 11, ISSN: 2229-8649
- Anuj, S & Rahul, D. 2013. *Static Analysis on Custom Polyurethane Spokes of Airless Tire*. International Journal of Scientific and Research Publications, Vol. 3, ISSN : 2250-3153
- Chih-Hsing, C., Mu-Chi, S., Vincent, C.S.L, 2005. *Computer aided parametric design for 3D tire mold production*. Computers in Industry, 57 : 11–25
- Dong, W.L, Jong, K.K, Sung, R.K & Kwon-Hee, L. 2011. *Shape design of a tire contour based on approximation model*. Journal of Mechanical Science and Technology, 25 : 149 -155
- European Tyre and Rim Technical Organization, 2019, *Engineering Design Information*, Ch. HERALY, Belgium.
- Jaehyung, J., Doo-Man, K., & Kwangwon, K. 2012. *Flexible selular solid spokes of a non-pneumatic tire*. Elsevier. Composite Structures (94) : 2285–2295
- Jerzy, J., Marcin, W. & Marcin, Ż. 2018. *Energy Consumption Estimation of Non-Pneumatic Tire and Pneumatic During Rolling*. Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 1, No. 1
- Karthick, S., Surendhar, R. & Ravin, R.V. 2017. *International Journal for*

- Scientific Research & Development*, Vol. 5, ISSN: 2321-0613
- Libin, R., Shobith, N., Ayyanar, C., Akash, V.S., & Subhash, R. 2019. *Design and Comparative Analysis of Non-Pneumatic Tires for a Tractor*. IJITEE, Vol. 8, ISSN: 2278-3075
- Manibaalan, C., Balamurugan, S., Keshore. & Joshi, C.H. 2013. *Static Analysis of Airless Tyres*, International Journal of Scientific and Research Publications. Vol. 3, ISSN 2250-3153
- Marcin, Ź., Jerzy, J & Zdzisław, H. 2019, *Numerical research of selected features of the non-pneumatic tire*. AIP Conf. Proc. 2078, 020027-1–020027-8
- Nibin, J.M., Dillip, K.S. & Mithun, C.E. 2017. *Design and Static Analysis of Airless Tyre To Reduce Deformation*. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 197. 012042
- Periasamy, K. & Vijayan, S. 2014. *Design And Development of Air-Less Car Tire*. IJAET, Vol. 7, ISSN: 22311963
- Prajwal, C. & Seetharama, K.S. 2017. *Analysis of Airless Tyre for Static Forces*. International Journal of Advance Mechanical and Mechanics Engineering, Vol. 1
- Pranav, A.R., Kumar, R.C. & Ganesh M.B. 2018. *Non Pneumatic Tyre*. IJSRT, ISSN: 2277-9655
- Rutik, A.B., Salim, M.K., Maruf, R.A., Patil, N.U. & Deotale, P.L. 2018. *Non-Pneumatic Tyres (NPT)*. IJAERD, Vol. 5, ISSN: 2348-4470
- Sekhar, G.C., Anjaneyulu, B., Kiran, K.R.K. & Nagamalleswara, R.G. 2016. *Design and Analysis of Four Wheeler Airless Tire*. IJESC, Vol. 6, No. 11
- Vijay, K. M., & Mani Kumar, Ch. 2017. *Design & Structural Analysis of Oppressive Tweel Tyre*. IJARBEST, Vol. 3, ISSN : 2456-5717
- Vinoth, R., Ajith, B., Ajith, K.R., Ajithkumar, T. & Karthick, A.N. *Design and analysis of airless tire for two wheelers using additive manufacturing technology*. IJIAREC, Vol. 6, ISSN:2348-2079
- Yude, D., Fang, S., Genji, S., Yanchao, L. & Fangliang, Z. 2018. *A feature-based method for tire pattern reverse modeling*. Elsevier. *Advances in Engineering Software* (124) : 73–89
- Maciej, S., Ireneusz, M., dan Krzysztof, T. 2016, *Method of determination of safety factor on example of selected structure*. Elsevier. *Procedia Engineering* (136) : 50 – 55