

Optimasi Desain Ban Tanpa Udara (*Non Pneumatic Tire*) Dengan Struktur *Hexagonal Honeycombs* Menggunakan *Response Surface Method (RSM)*

Design Optimization of Non Pneumatic Tire With Hexagonal Honeycombs Structure Using Response Surface Method (RSM)

Farit Hendro Wibowo^{1*}, Moch. Agus Choiron², Anindito Purnowidodo³
^{1,2,3}Mechanical Engineering Department, Universitas Brawijaya

ARTICLE INFO

Article history:

DOI:
[10.30595/pspfs.v1i.141](https://doi.org/10.30595/pspfs.v1i.141)

Submitted:
 June 28, 2021

Accepted:
 July 14, 2021

Published:
 Oct 31, 2021

Keywords:

Airless Tire, Hexagonal Honeycombs Spokes, Military Tactical Vehicle, Non-pneumatic tires

ABSTRACT

Non-Pneumatic Tires (NPT) are tires that do not use compressed air like other tires. In this paper, the optimal design obtained is based on the static and explicit dynamic behavior of the NPT construction, which has hexagonal honeycomb spokes. The hexagonal honeycomb type NPT component consists of the hub wheel, outer ring, spokes, and tread. The honeycomb model is made differently based on tread thickness (20 mm, 25 mm, 30 mm), outer ring thickness (0.25 mm, 0.5 mm, 0.75 mm), spokes thickness (3 mm, 5 mm, 7 mm), and the number of spokes holes (12, 13, 14). Based on the simulation results of Ansys and Minitab, the recommended optimal design is 20 mm tread thickness, 3.2 mm spokes thickness, 0.25 mm outer thickness, and the number of holes 12 pieces.

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



Corresponding Author:

Farit Hendro Wibowo
 Mechanical Engineering Department, Universitas Brawijaya
 Jl. Veteran, Ketawanggede, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65145
 Email: semnaslppmump2017@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Ban tanpa udara (*Non Pneumatic Tire*) merupakan ban yang tidak menggunakan bantuan udara bertekanan seperti ban pada umumnya. Ban ini biasanya digunakan pada kendaraan-kendaraan yang ringan seperti kendaraan pemotong rumput, kendaraan golf, serta juga biasa digunakan pada kendaraan alat berat seperti pada excavator, wheel loader, bulldoser dan lain sebagainya dimana kendaraan alat berat tersebut beroperasi pada medan-medan yang berat dengan resiko kerusakan pada ban yang sangat tinggi.

Ban tanpa udara (*Non Pneumatic Tire*) bisa digunakan sebagai alternatif pengganti ban pneumatik karena mempunyai keunggulan seperti tidak menggunakan run-flat, tidak memerlukan tekanan udara dan mempunyai tahanan gelinding yang rendah dibandingkan dengan ban pneumatik konvensional [1-2]. Tipikal dari NPT biasanya terdiri dari hub, jari-jari fleksibel, cincin geser dan tapak. Tapak biasanya terbuat dari karet sintetis dan cincin geser adalah struktur komposit yang terdiri dari pita geser dengan dua tulangan melingkar. Jari-jari NPT membutuhkan kombinasi kekakuan dan ketahanan di bawah beban kompresi tegangan yang berulang sehingga pemilihan material dan desain struktural sangat menentukan [3-4]. Tipe jari-jari fleksibel pada NPT biasanya

berbentuk sarang lebah (hexagonal honeycombs), dimana struktur sel sarang lebah dapat dimodifikasi dengan menyesuaikan sudut sel, ketebalan dan panjang dinding untuk menghasilkan kekakuan dan kekuatan material yang dipakai[5-6].

Beberapa penelitian tentang NPT juga pernah dilakukan, bertujuan untuk mendapatkan desain struktural dan optimalisasi pada NPT. Ju dkk. [8] meneliti model elemen hingga pada NPT dengan struktur sarang lebah sebagai unit geser untuk mengetahui berapa besar tekanan kontak ban dalam satu dimensi. Penambahan hexagonal honeycomb shear band yang dilengkapi dengan sudut sel yang lebih tinggi bertujuan untuk memberikan tekanan kontak yang lebih rendah di sepanjang bidang kontak. Kim dkk. [9] mempelajari tentang besar tekanan yang terjadi pada NPT dengan tipe hexagonal honeycomb akibat beban impact vertical dengan kontak statis. Didapatkan bahwa tekanan impact NPT lebih rendah daripada ban pneumatik konvensional karena kekakuan lateral yang tinggi dari konstruksi spokes NPT. Ju dkk. [10] membandingkan dua jenis NPT dengan tipe hexagonal honeycomb. Dapat dilihat bahwa hexagonal honeycomb memiliki tekanan dan bobot lokal yang rendah.

Jaehyung Ju dkk. [11] konstruksi sarang lebah (honeycombs) merupakan konstruksi yang banyak digunakan dalam berbagai macam aplikasi, dikarenakan konstruksi sarang lebah (honeycombs) memiliki rasio kekuatan yang tinggi dalam menerima beban berat dan cenderung mempunyai sifat struktur yang dominan lentur. Jin dkk. [12] untuk meningkatkan efektifitas bidang, kekuatan luluh, dan kekuatan tekuk pada konstruksi sarang lebah (honeycombs) telah diteliti dalam beberapa jenis tipe bentuk konstruksi sarang lebah (honeycombs) yang berbeda, yaitu tipe bentuk persegi, heksagonal, segitiga, campuran antara segitiga dan kotak, dan diamond. Untuk tipe segitiga dan diamond bagus digunakan untuk desain struktur yang mempunyai modulus tinggi, sedangkan untuk tipe hexagonal dan persegi diketahui mempunyai struktur yang lentur sehingga bagus digunakan untuk desain struktur yang fleksibel dan mampu untuk menerima beban aksial maupun beban geser.

Konstruksi honeycomb spokes pada ban tanpa udara harus mempunyai sifat kaku dan tahan terhadap tekanan, dimana secara umum kekakuan dan ketahanan suatu material merupakan persyaratan yang saling bertolak belakang apabila suatu material tersebut mempunyai tingkat modulus bahan yang tinggi, sehingga tingkat regangan elastisitasnya rendah, demikian juga sebaliknya apabila modulus bahannya rendah maka tingkat regangan elastisitasnya akan tinggi. Sehingga harus diperhitungkan bagaimana cara merancang suatu material yang memiliki kekakuan dan ketahanan yang tinggi. Itu semua tidak mudah dikarenakan sangat sulit mendapatkan suatu material yang memenuhi sifat seperti yang dijelaskan diatas, solusinya adalah harus mengoptimalkan desain ban tanpa udara dengan material yang digunakan sehingga sifat dari ban tanpa udara yang diinginkan dapat tercapai.

Berdasarkan permasalahan yang ada pada ban tanpa udara, kami sebagai peneliti tertarik untuk meneliti tentang optimasi desain ban tanpa udara (Non Pneumatic Tire) sehingga akan mendapatkan suatu ban tanpa udara yang mampu untuk digunakan pada kendaraan yang mempunyai kemampuan minimal sama dengan ban yang menggunakan udara bertekanan, oleh karena itu kami akan mengangkat judul penelitian tesis yaitu "Optimasi Design Ban Tanpa Udara (non pneumatic tire) dengan Struktur Hexagonal Honeycombs menggunakan Response Surface Method (RSM)". Dalam penelitian ini kami fokus pada tipe jari-jari fleksibel berbentuk hexagonal honeycomb, dimana dalam proses analisisnya kita akan menggunakan simulasi Ansys Workbench dan minitab.

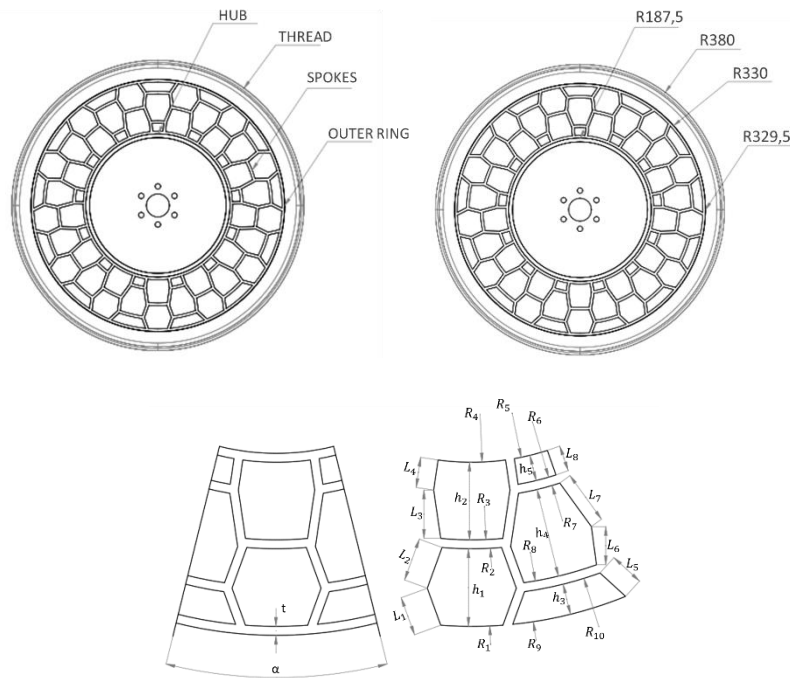
2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, dilakukan menggunakan metode simulasi menggunakan aplikasi minitab untuk mencari data statistiknya kemudian untuk simulasi static dan explicit dynamic menggunakan aplikasi Ansys Workbench, kemudian untuk hasil yang didapatkan akan dianalisa secara manual. adapun spesifikasi model NPT ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Desain NPT

No	t (mm)	α (°)	h (mm)		L (mm)				R (mm)			
1	3	27,69	h1	66,75	L1	35,19	L6	34,49	R1	327,00	R6	216,82
			h2	66,75	L2	36,04	L7	42,23	R2	260,25	R7	219,82
			h3	30,29	L3	40,53	L8	26,33	R3	257,25	R8	293,71
			h4	73,89	L4	27,84			R4	190,50	R9	296,71
			h5	26,32	L5	33,68			R5	190,50	R10	327,00
2	5	27,69	h1	63,75	L1	33,00	L6	32,28	R1	325,00	R6	215,82
			h2	63,75	L2	35,00	L7	42,19	R2	261,25	R7	220,82
			h3	27,29	L3	39,37	L8	23,32	R3	256,25	R8	292,71
			h4	71,89	L4	28,83			R4	192,50	R9	297,71

			h5	23,32	L5	30,46		R5	192,50	R10	325,00	
			h1	60,00	L1	30,00	L6	30,00	R1	330,00	R6	210,00
			h2	60,00	L2	30,00	L7	45,00	R2	255,00	R7	225,00
3	7	27,69	h3	30,00	L3	45,00	L8	15,00	R3	255,00	R8	285,00
			h4	75,00	L4	30,00			R4	195,00	R9	300,00
			h5	15,00	L5	30,00			R5	195,00	R10	330,00



Gambar 1. Model Geometri

Gambar 1 menunjukkan ban tanpa udara dengan tipe sarang lebah heksagonal yang terdiri dari roda hub, lingkaran luar, jari-jari, dan tapak. Hub roda terbuat dari Aluminium Alloy (7075-T6) dengan densitas = 2800 kg/m³, Modulus Elastisitas (E) = 72 GPa, dan Poisson rasio (ν) = 0,33. Lingkaran luar terbuat dari baja berkekuatan tinggi ANSI 4340 dengan densitas = 7800 kg/m³, E = 210 GPa, dan Poisson rasio = 0,29. Ketebalan cincin luar adalah 0,5 mm. Jari-jari sarang lebah heksagonal terbuat dari bahan Poliuretan dengan densitas = 1200 kg/m³, E = 32 MPa, dan Poisson rasio = 0,49. Ketebalan jari-jari bervariasi dengan 3 mm, 5 mm dan 7 mm. Tapak terbuat dari karet alam dengan densitas = 1043 kg/m³, E = 11,9 MPa, dan Poisson rasio = 0,49. Ketebalan tapak divariasikan dengan 20 mm dan 30 mm. Untuk parameter penelitian terdiri dari empat item yaitu tebal tapak, tebal spokes, tebal outerring dan jumlah lubang spokes, dimana masing-masing parameter akan dibedakan berdasarkan dimensinya seperti terlihat pada table 2, setelah itu akan dibuat data statistic menggunakan minitab seperti pada table 3, kemudian parameter penelitian kita masukkan kedalam data statistic seperti pada table 4, dan dibuat desain ban tanpa udara dengan dimensi seperti pada data statistic, kemudian dilakukan simulasi statis dan explicit dynamic menggunakan Ansys.

Tabel 2. Parameter Penelitian

NO	Parameter	Low Level	Medium	High
		-1	0	1
A	Tebal Tapak [mm]	20	25	30
B	Tebal <i>spokes</i> [mm]	3	5	7
C	Tebal <i>Outer Face</i> [mm]	0,25	0,5	0,75
D	Jumlah Lubang	12	13	14

Tabel 3. Desain Statistik Minitab

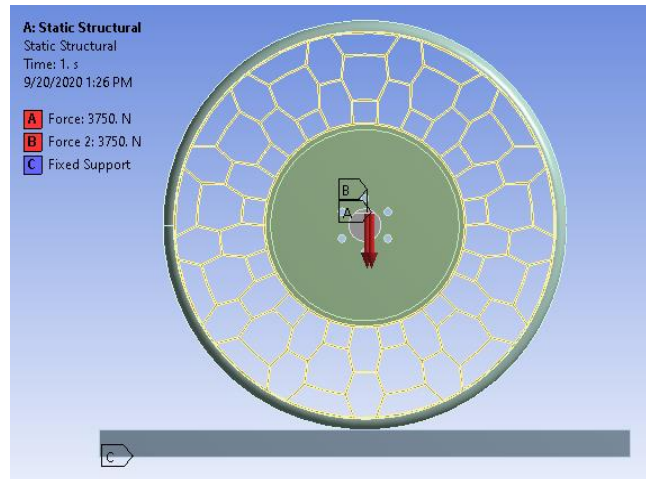
NO	A	B	C	D
1	0	0	0	0
2	-1	0	0	1
3	0	-1	-1	0
4	-1	0	0	-1
5	0	-1	0	1
6	1	0	0	-1
7	0	0	0	0
8	0	1	-1	0
9	-1	0	-1	0
10	1	0	-1	0
11	0	-1	0	-1
12	1	0	1	0
13	0	-1	1	0
14	-1	-1	0	0
15	0	0	-1	1
16	0	1	0	-1
17	1	-1	0	0
18	0	0	1	1
19	-1	1	0	0
20	0	0	0	0
21	1	0	0	1
22	-1	0	1	0
23	0	0	-1	-1
24	0	1	1	0
25	0	0	1	-1
26	0	1	0	1
27	1	1	0	0

Tabel 4. Parameter Desain

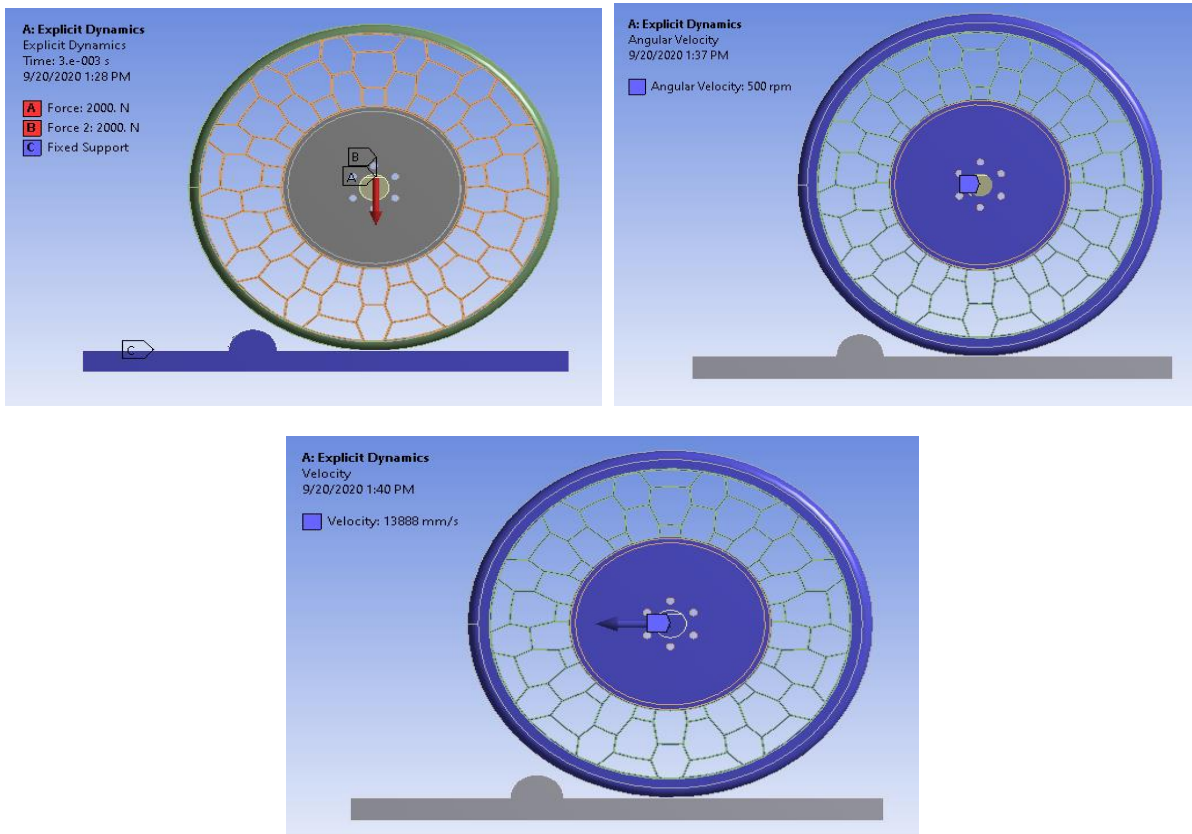
NO	A [mm]	B [mm]	C [mm]	D [Buah]
1	25	5	0,5	13
2	20	5	0,5	14
3	25	3	0,25	13
4	20	5	0,5	12
5	25	3	0,5	14
6	30	5	0,5	12
7	25	5	0,5	13
8	25	7	0,25	13
9	20	5	0,25	13
10	30	5	0,25	13
11	25	3	0,5	12
12	30	5	0,75	13
13	25	3	0,75	13
14	20	3	0,5	13
15	25	5	0,25	14
16	25	7	0,5	12
17	30	3	0,5	13
18	25	5	0,75	14
19	20	7	0,5	13
20	25	5	0,5	13
21	30	5	0,5	14
22	20	5	0,75	13
23	25	5	0,25	12
24	25	7	0,75	13
25	25	5	0,75	14

26	25	7	0,5	14
27	30	7	0,5	13

Meshing dilakukan secara manual dengan ukuran elemen 3 mm, 5 mm, 7 mm yang merupakan ukuran jari-jari heksagonal honeycomb. Jumlah elemen yang didapatkan dengan menggunakan metode segiempat sebanyak 37445 elemen, serta jumlah node 215821. Beban yang dikenakan pada ban tanpa udara yaitu beban maksimum kendaraan sebesar 3000 kg, sehingga setiap roda menerima berat 750 kg atau 7500 N. Gambar 2 dan 3 menunjukkan kondisi batas statis dan dinamis model NPT.



Gambar 2. *Boundary Condition* pada kondisi Statis



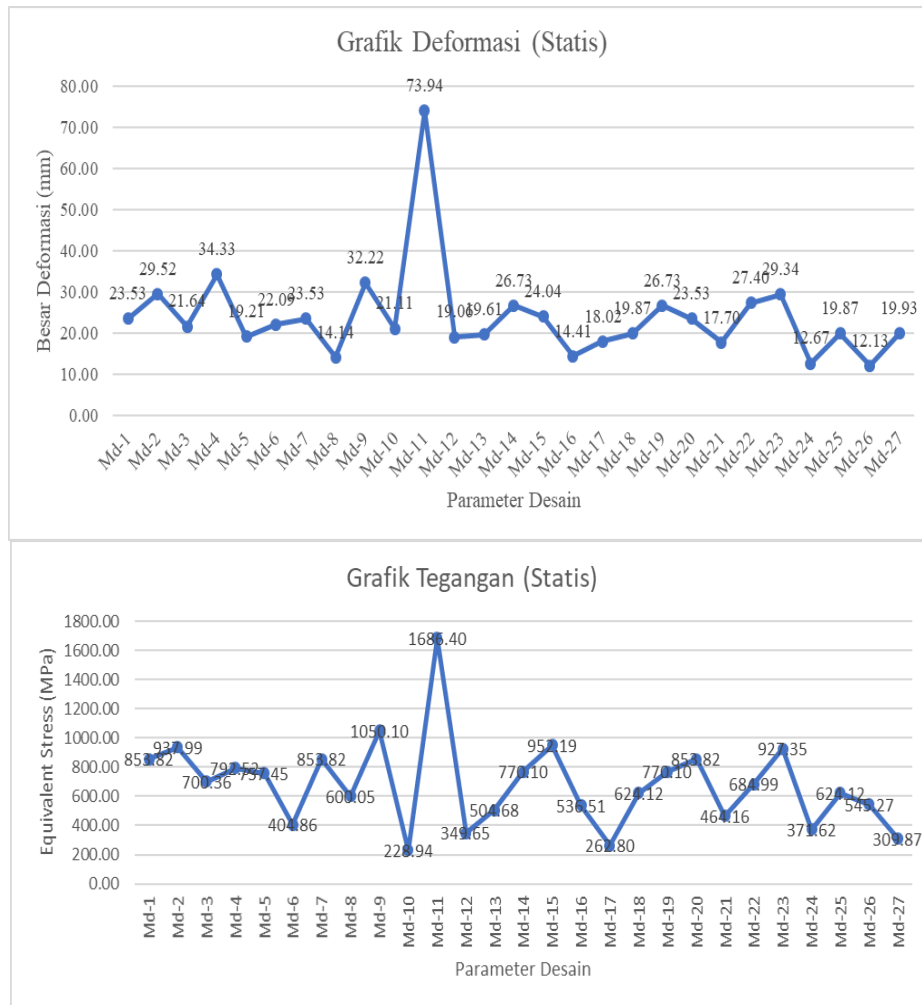
Gambar 3. *Boundary Condition* pada kondisi Dinamik

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

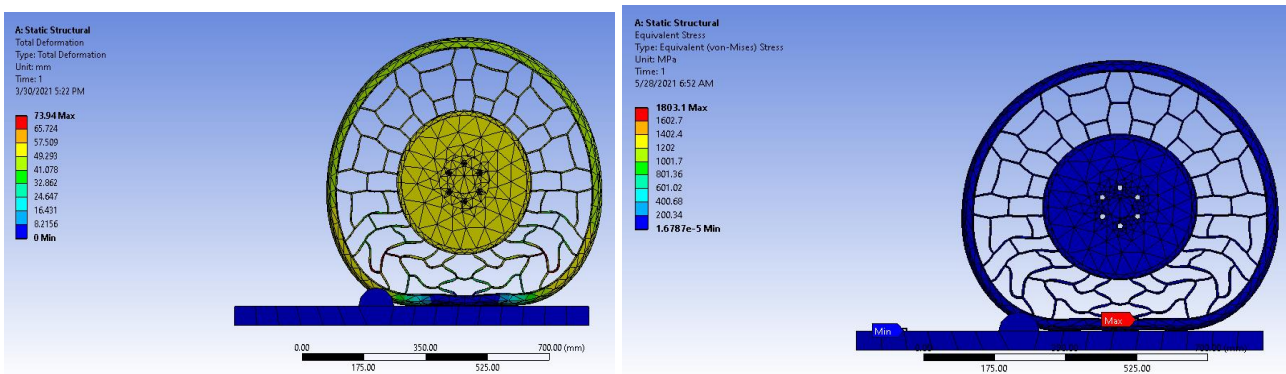
Dari simulasi yang telah dilaksanakan baik simulasi statis maupun dinamik didapatkan hasil berupa respons yaitu besarnya direct deformation dan equivalent stress pada kondisi statis maupun dinamik. Data response yang didapatkan selanjutnya dimasukkan kedalam matriks desain RSM seperti yang ditunjukkan pada table 5.

Tabel 5. Matriks Desain serta Respons Statis dan Dinamik

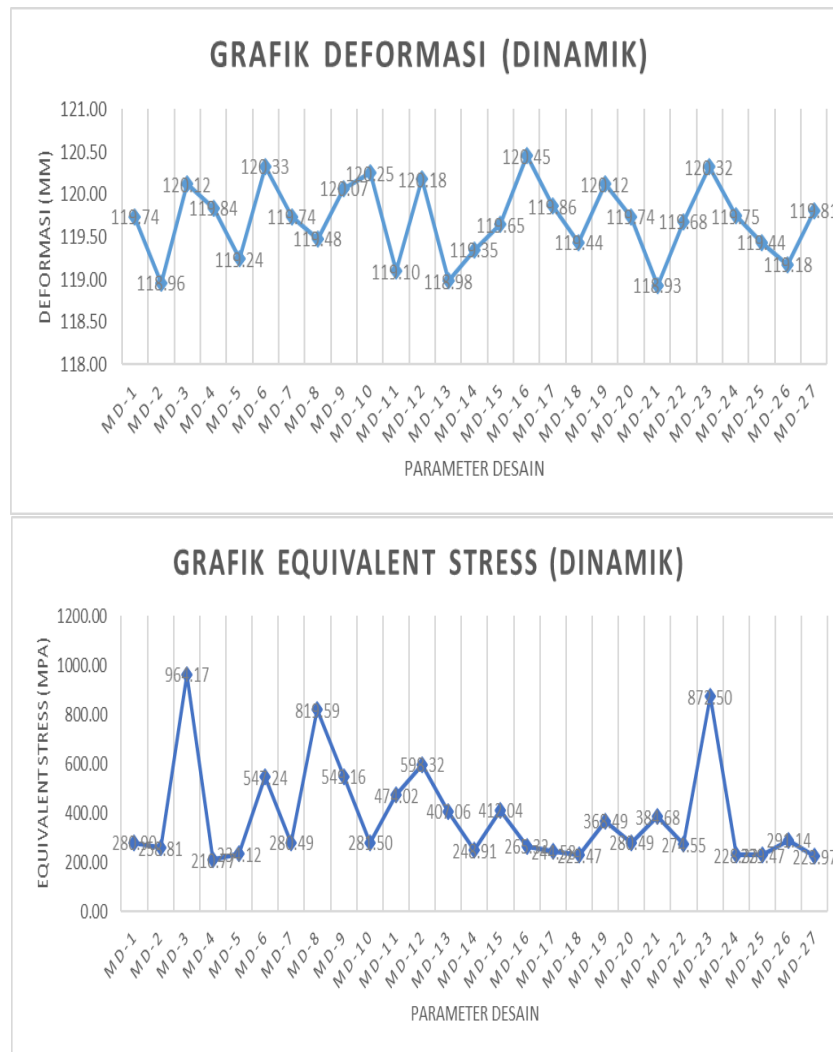
Model Experiment	Tebal Tapak	Tebal Spokes	Tebal Outerface	Jumlah Lubang	Deformasi Statis (mm)	Stress Statis (Mpa)	Deformasi Dinamik (mm)	Stress Dinamik (MPa)
Model 1	0	0	0	0	23.526	853.820	119.740	280.900
Model 2	-1	0	0	1	29.519	937.990	118.960	258.810
Model 3	0	-1	-1	0	21.643	700.360	120.120	964.170
Model 4	-1	0	0	-1	34.329	792.520	119.840	210.770
Model 5	0	-1	0	1	19.205	757.450	119.240	234.120
Model 6	1	0	0	-1	22.090	404.860	120.330	547.240
Model 7	0	0	0	0	23.526	853.820	119.740	280.490
Model 8	0	1	-1	0	14.139	600.050	119.480	819.590
Model 9	-1	0	-1	0	32.219	1.050.100	120.070	549.160
Model 10	1	0	-1	0	21.110	228.940	120.250	281.500
Model 11	0	-1	0	-1	73.940	1.686.400	119.100	474.020
Model 12	1	0	1	0	19.055	349.650	120.180	598.320
Model 13	0	-1	1	0	19.611	504.680	118.980	407.060
Model 14	-1	-1	0	0	26.730	770.100	119.350	248.910
Model 15	0	0	-1	1	24.035	952.190	119.650	412.040
Model 16	0	1	0	-1	14.410	536.510	120.450	265.320
Model 17	1	-1	0	0	18.020	262.800	119.860	244.580
Model 18	0	0	1	1	19.872	624.120	119.440	229.470
Model 19	-1	1	0	0	26.730	770.100	120.120	368.490
Model 20	0	0	0	0	23.526	853.820	119.740	280.490
Model 21	1	0	0	1	17.701	464.160	118.930	384.680
Model 22	-1	0	1	0	27.402	684.990	119.680	274.550
Model 23	0	0	-1	-1	29.344	927.350	120.320	872.500
Model 24	0	1	1	0	12.665	371.620	119.750	228.330
Model 25	0	0	1	-1	19.872	624.120	119.440	229.470
Model 26	0	1	0	1	12.133	545.270	119.180	291.140
Model 27	1	1	0	0	19.932	309.870	119.810	223.970



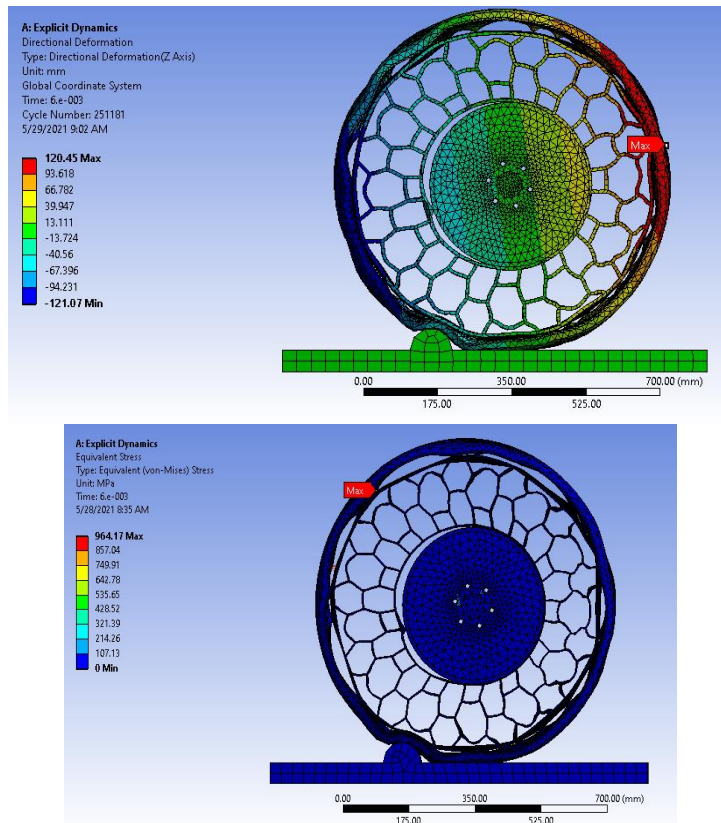
Gambar 4. Grafik Hasil Simulasi Statis



Gambar 5. Pola Deformasi dan Equivalent Stress Terbesar pada Kondisi Statis



Gambar 6. Grafik Hasil Simulasi Dinamis



Gambar 7. Pola Deformasi dan *Equivalent Stress* Terbesar pada Kondisi Dinamis

Optimal	High	Tebal Ta	Tebal Sp	Tebal Ou	Jml Luba
D: 0.7654	Cur	30.0	7.0	0.750	14.0
Predict	Low	[20.0]	[3.2020]	[0.250]	[12.0]
		20.0	3.0	0.250	12.0
Composite Desirability D: 0.7654					
Stress D Maximum y = 965.0316 d = 1.0000					
Def Dina Maximum y = 119.8651 d = 0.61519					
Stress S Maximum y = 1327.0865 d = 0.75347					
Def Stat Maximum y = 57.8900 d = 0.74032					

Gambar 8. Data Hasil Optimasi Desain dengan RSM Minitab

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan Response Surface Minitab didapatkan desain paling optimal pada parameter desain roda tanpa udara adalah tebal tapak 20 mm, tebal spokes 3,2020 mm, tebal outrerring 0,25 mm, dan jumlah lubang spokes 12 buah.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan banyak terimakasih kepada panitia SENATEK 2021 Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Purwokerto yang telah memfasilitasi terselenggaranya seminar nasional ini, semoga ini semua dapat bermanfaat bagi perkembangan teknologi khususnya dibidang Teknik mesin kedepannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Cho JR, Kim KW, Yoo WS, Hong SI. Mesh Generation Considering Detailed Tread Blocks for Reliable 3D Tire Analysis. *Adv Eng Softw* 2004; 35:105–13.
- Rhyne T, Cron SM. Development of a non-pneumatic wheel. *Tire Sci Technology* 2006; 34:150–69.
- Gibson LJ, Ashby MF. *Cellular solids: structure and properties*. Cambridge: Cambridge University Press; 1999.
- Lu GX, Yu TY. *Energy absorption of structures and materials*. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd; 2003.
- Sun YT, Wang B, Pugno N, Wang B, Ding Q. In-plane stiffness of the anisotropic multifunctional hierarchical honeycombs. *Compos Struct* 2015; 131:616–24.
- Li YM, Abbès F, Hoang MP, Abbès B, Guo YQ. Analytical homogenization for in-plane shear, torsion and transverse shear of honeycomb core with skin and thickness effects. *Compos Struct* 2016; 140:453–62.
- Zhang QC, Yang XH, Li P, Huang GY, Feng SS, Shen C, et al. Bioinspired engineering of honeycomb structure – Using nature to inspire human innovation. *Prog Mater Sci* 2015; 74:332–400.
- Ju J, Ananthasayanam B, Summers JD, Joseph P. Design of cellular shear bands of a non-pneumatic tire-investigation of contact pressure. *SAE Int J Pass Cars* 2010; 3:598–606.
- Kim K, Ju J, Kim D. Static contact behaviors of a non-pneumatic tire with hexagonal lattice spokes. *SAE Int J Passeng Cars – Mech Syst* 2013;6(3):1518–27.
- Ju J, Kim DM, Kim K. Flexible cellular solid spokes of a non-pneumatic tire. *Compos Struct* 2012; 94:2285–95.
- Gasmi A, Joseph PF, Rhyne TB, Cron SM. Development of a two-dimensional model of a compliant non-pneumatic tire. *Int J Solids Struct* 2012; 49:1723–40.
- Ma JF, Summers JD, Joseph PF. Numerical investigation of effect of membrane thickness on the performance of cellular shear band based non-pneumatic tire. In: *Proceedings of the ASME 2011 international design engineering technical conferences & computers and information in engineering conference*, Washington, DC, USA; 2011.