

Pemodelan dan Fabrikasi Komposit Bermatriks Logam dengan Penguat Kalsit (CaCO_3) dari Kulit Kerang untuk Sprocket Motor Komersial

Ferdiansyah Iqbal Rafandi^{1,*}, Muhammad Bahtiyar Firdaus¹, Rizqi Ilmal Yaqin¹, Budi Agung Kurniawan¹, Mas Irfan P. Hidayat¹

¹ Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

* E-mail : iqbal.mamet@gmail.com

Abstrak. Sprocket merupakan salah satu elemen mesin yang penting dalam sebuah kendaraan bermotor karena dari fungsinya untuk menghubungkan mata rantai dengan roda belakang motor sehingga motor dapat bergerak. Peningkatan kualitas dan sifat suatu sprocket selalu dilaksanakan guna untuk mengurangi kerusakan ketika elemen tersebut bekerja. Pada penelitian ini, sprocket terbuat dari komposit yang memanfaatkan bahan bekas berupa matriks dari geram baja AISI 1045 dan kulit kerang darah (*Anadara granosa*) yang difabrikasi melalui proses powder metalurgi. Sebelum dilakukan proses fabrikasi, sprocket disimulasikan terlebih dahulu secara structural dan thermal dengan gaya tangensial sebesar 6385,86 N dengan variasi penambahan kalsit (serbuk kulit kerang) 5 %; 7.5 %; 10% dan 15 % dan didapatkan sprocket dengan penambahan 15 % yang kemudian difabrikasi dengan pressure dan tempratur sintering 1100° C dan didinginkan bersamaan dengan furnace sehingga pada akhir didapatkan sebuah sprocket motor dengan penambahan 15 % kalsit.

Kata Kunci: AISI 1045, Kalsit, Komposit, Pemodelan, Sprocket

1. Pendahuluan

Sprocket merupakan elemen penting dalam sistem kendaraan bermotor, sehingga banyak industri manufaktur di Indonesia yang memproduksi dalam jumlah massal. Proses produksi sprocket di Indonesia masih menggunakan metode pengecoran, padahal hasil proses pengecoran menimbulkan banyak kerugian seperti dimensi produk kurang presisi dan terdapat banyak porositas yang dapat menyebabkan awal timbulnya suatu retakan [1]. Powder Metallurgy merupakan metode lain yang dapat digunakan untuk memproduksi berbagai elemen mesin dengan dimensi yang presisi dan jumlah porositas yang hampir tidak ada [2]. Proses powder metallurgy ini diawali dengan atomisasi bahan baku, yakni mendapatkan serbuk dari material yang akan digunakan, dengan ukuran butir yang harus sama. Karena apabila ukuran butir tidak homogen, maka porositas akan muncul pada akhir proses kompresi. Ketika sudah didapatkan ukuran serbuk yang homogen, maka serbuk dikompresi dengan tekanan tertentu pada suatu cetakan tertentu. Dan proses akhir dari proses powder metallurgy sintering ini yakni proses sintering yang bertujuan mengeratkan ikatan antar partikel sehingga sifat fragile ditiadakan [3]. Powder metallurgy lebih menguntungkan di sisi produk dibandingkan dengan proses casting, karena produk yang dihasilkan memiliki kemurnian tinggi dan cocok untuk proses fabrikasi komposit dengan matriks logam [4]. Sehingga pada penelitian ini, dipilihlah metode powder metallurgy untuk menghasilkan sprocket komposit yang terbuat dari geram baja AISI 1045 dan kulit kerang darah (*Anadara granosa*). Kedua material ini dipilih karena diharapkan supaya menjadi salah satu metode manufaktur yang ramah lingkungan.

2. Eksperimental

2.1 Material

Geram baja AISI 1045 didapatkan dari hasil praktikum di Laboratorium Metalurgi, Teknik Material dan Metalurgi ITS. Sedangkan kulit kerang darah (*Anadara granosa*) didapatkan di daerah perkampungan nelayan sekitar pesisir Pantai Kenjeran, Surabaya dengan komposisi kimia kulit kerang sebagai berikut :

Tabel 1. Komposisi Kimia Kulit Kerang Darah (*Anadara granosa*) [5] [6]

Unsur	Ca	C	Na	Mg	Si	Moisture	S	Sr
Presentase	53.6 %	42.5 %	0.33 %	0.32 %	0.17 %	0.59 %	0.18 %	0.11 %

Pada hasil akhir simulasi, produk terbaik difabrikasi melalui metode powder metallurgy. Proses atomisasi geram baja menggunakan las oxyacetylene sedangkan proses atomisasi kulit kerang menggunakan planetary ball mill selama 4 jam dengan kecepatan 120 rpm. Masing – masing serbuk yang didapatkan kemudian disaring menggunakan Fritsch Analysette shiever hingga berukuran 100 μm .

2.2 Metode Analitis

Geometri dari sprocket digambar menggunakan software Solidwork 2014 seperti yang ditunjukkan Gambar 2 dan untuk simulasi dan pemodelan dari sprocket menggunakan software ANSYS 15.0. Gaya tangensial yang diaplikasikan pada sprocket sebesar 6385,86 Newton dengan property dari masing – masing material seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 2 . Dari hasil simulasi, produk yang terbaik kemudian difabrikasi menggunakan hydraulic pressure machine dengan tekanan 3 ton yang kemudian disintering pada muffle furnace hingga temperatur sekitar 1100° C. Lalu produk kemudian diberi pengujain kekerasan dengan menggunakan metode Vickers di Laboratorium Metalurgi, Teknik Material dan Metalurgi ITS.

Tabel 2. Daftar property material

Property	Material	
	AISI 1045	Kulit Kerang
Modulus Elastisitas	200 GPa [7]	97.8 GPa [8]
Densitas	7.87 gr/cm ³ [7]	1.7 gr/cm ³ [9]
Poisson Ratio	0.3 [10]	0.322 [11]



Gambar 2. Desain Sprocket

3. Hasil dan Pembahasan

Tegangan pada sprocket atau gear dapat dibedakan menjadi dua jenis yakni tegangan bending pada bagian gigi (tooth) dan bagian permukaan. Tegangan ini sangat penting untuk diketahui supaya ke depannya kegagalan dapat dicegah.

Pada suatu kontak yang diberikan, tegangan kontak memiliki nilai yang maksimum terhadap permukaan gigi (tooth) yang diberi pembebanan dan nilainya hampir mendekati nol pada bagian tengah gigi sprocket [12]. Nilai maksimum akan berubah terhadap posisi kontak, sehingga selama sprocket mengalami rotasi, tiap titik kontak akan mengalami tegangan kontak maksimum satu kali saja, dan nilai tegangan kontak maksimum dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\sigma_c = \frac{1}{b} \frac{W_i}{W} W_0 \quad (1)$$

Dimana $\frac{W_i}{W}$ adalah faktor distribusi pembebanan selama pemakaian yang juga dirumuskan sebagai :

$$\frac{W_i}{W} = \frac{W_i}{W} \bigg|_0 \cos \left(\frac{\pi}{2} \frac{S/P_n}{S_2^*/P_n} \right) \quad (2)$$

$$\frac{W_i}{W} \bigg|_0 = 0.48 E_2^{0.28} (W_0 P \cos \theta)^{-0.22} Z_2^{-0.4} \left(\frac{Z_2}{Z_1} \right)^{0.1} \quad (3)$$

Dan dari Teori Hetzian, lebar setengah kontak dapat dinyatakan sebagai :

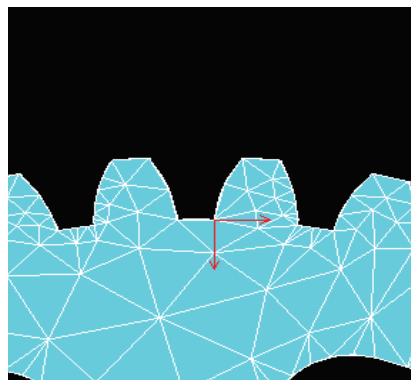
$$b = \left[\frac{4W_0}{\pi} \left[\frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} \right] \left[\frac{1 - \nu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \nu_2^2}{E_2} \right] \right] \quad (4)$$

Dengan persamaan dari kontak radius sesaat sebagai :

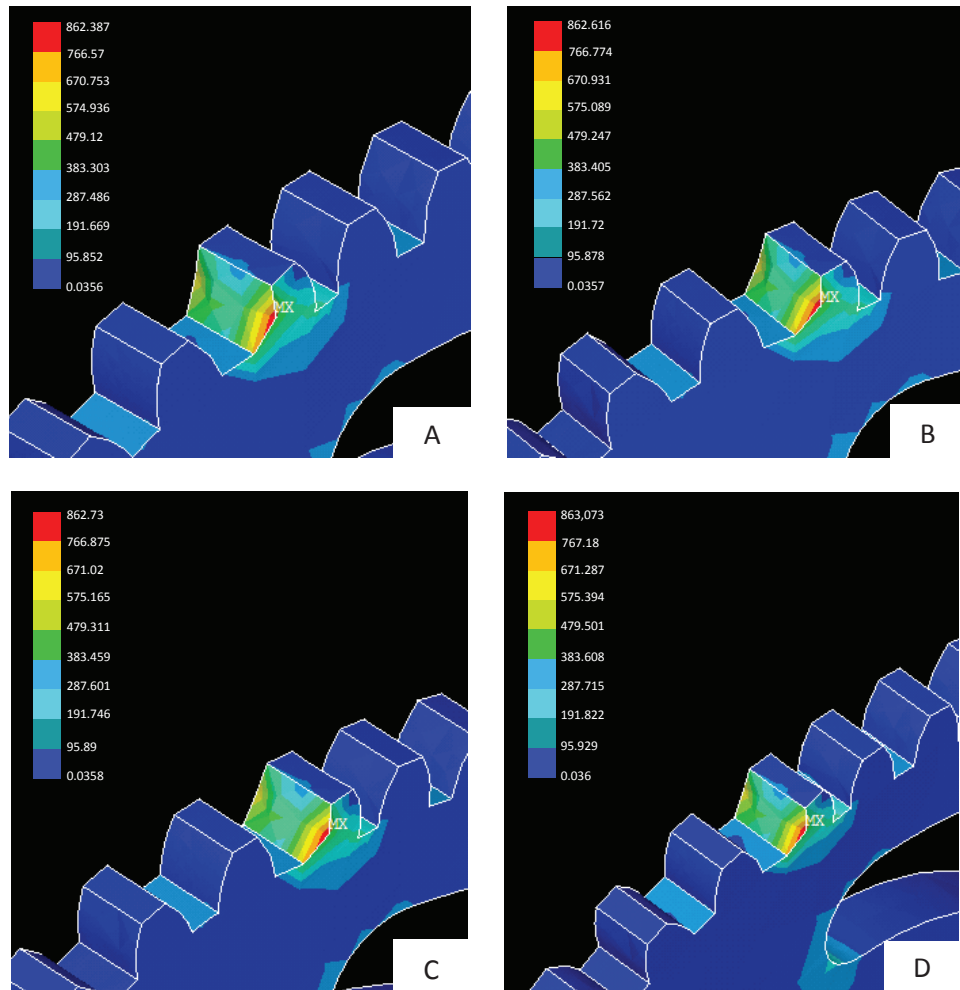
$$r_1 = R_{b1} \tan \theta + S \quad (5)$$

$$r_2 = R_{b2} \tan \theta - S \quad (6)$$

Pada beberapa penelitian yang dilakukan [13][14], pemodelan tegangan disederhanakan dengan menganggap sebuah gaya tangensial yang bekerja secara kontak pada sisi sebuah gigi sprocket (tooth). Namun bagaimanapun, sebenarnya selama sprocket bekerja, besar dan posisi gaya akan berubah selama gear berotasi. Hasil pemodelan dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4

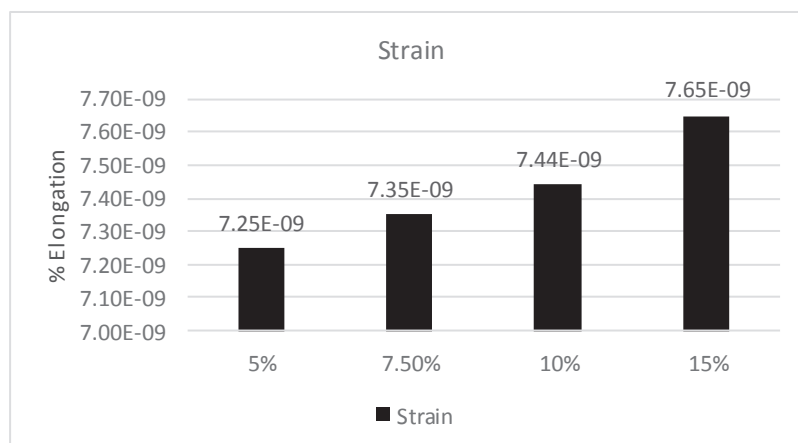


Gambar 3. Gaya tangensial yang dibebankan pada sprocket



Gambar 4. Analisa tegangan pada sprocket (a) 5 % kalsit (b) 7.5 % kalsit (c) 10 % kalsit (d) 15 % kalsit

Gambar 3 menunjukkan hasil meshing FEA dari desain sprocket yang diberi beban tangensial dengan resultan sebesar 6385.86 Newton. Dan gambar 4 menunjukkan distribusi tegangan pada sprocket yang terbuat dari komposit dengan masing – masing jumlah persentase kalsit. Dari hasil simulasi ini juga didapatkan nilai keuletan masing – masing komposit yang kemudian ditabulasikan sebagai berikut.



Gambar 5. Grafik batang keuletan komposit dari hasil simulasi

Dari hasil simulasi menggunakan software ANSYS 15.0, didapatkan hasil bahwa ternyata komposit dengan penguat 15 % kalsit memiliki nilai keuletan yang paling tinggi dibandingkan komposit dengan jumlah persentase kalsit yang lain. Dari grafik di atas, dapat dilihat juga bahwa semakin banyak penambahan kalsit pada baja AISI 1045 sebagai komposit maka akan meningkatkan nilai keuletan dari komposit yang terbentuk hingga paling maksimum pada penambahan 15 % kalsit. Karena komposisi ini memiliki hasil terbaik sehingga komposit dengan 15 % kalsit ini difabrikasi dan kemudian dilakukan pengujian makro Vickers hardness.

Pengujian kekerasan dilakukan dengan standar makro Vickers, yaitu menggunakan indentor intan dengan sudut puncak 136° dengan beban sebesar 30 kgf serta 4 sampel titik poin.

Tabel 3. Hasil Pengujian Kekerasan Sprocket 15 % Kalsit

Titik Point	Kekerasan (HVN)
1	560,6
2	551,8
3	554,6
4	556,1



Gambar 6. Sprocket hasil powder metallurgy

Dari hasil pengujian kekerasan didapatkan kekerasan rata – rata sprocket 15 % kalsit sebesar 555.8 HVN. Angka kekerasan ini cukuplah besar bagi kekerasan baja 1045, yakni hampir sama dengan kekerasan baja 1045 yang telah diquenching. Keadaan ini sangatlah cocok untuk sebuah sprocket karena sprocket juga membutuhkan sifat tahan aus yang tinggi [15].

Kekerasan ini dapat terjadi karena pada saat proses sintering, terjadi beberapa mekanisme reaksi kimia terutama terhadap kalsit yang ditambahkan. Akibat dipanaskan pada proses sintering, kalsit akan terdekomposisi menjadi kalsium dioksida dan karbon dioksida [16].



Kemudian pada temperature yang sangat tinggi, kalsium dioksida hasil reaksi dekomposisi kalsit ini akan mudah sekali mengalami reaksi dengan karbon [17], terutama karbon yang ada di dalam baja AISI 1045 dan menghasilkan produk baru berupa kalsium karbida sesuai dengan reaksi berikut.



Kalsium karbida merupakan suatu senyawa yang memiliki kekerasan yang sangat tinggi [18]. Terbentuknya senyawa ini menyebabkan kekerasan pada komposit yang terbentuk semakin tinggi. Semakin banyak kalsit yang ditambahkan maka akan semakin banyak kalsium karbida yang akan dihasilkan sehingga kekerasan komposit juga akan semakin keras juga.

4. Kesimpulan

- Powder Metallurgy dapat dijadikan sebagai salah satu alternatif dalam proses fabrikasi sprocket motor
- Dari hasil simulasi, didapatkan bahwa semakin banyak jumlah kalsit yang ditambahkan maka akan menaikkan pula nilai keuletan dari suatu produk komposit bermatriks logam dari AISI 1045

- Semakin banyak kalsit yang ditambahkan maka akan semakin besar nilai kekerasan yang didapat dari sebuah komposit. Hal ini disebabkan karena terbentuknya kalsium karbida selama proses sintering.
- Melalui proses simulasi dan proses eksperimental dalam fabrikasi sprocket dari komposit matrik logam dengan penguat kalsit, akan menghasilkan desain yang komprehensif.

5. Daftar Referensi

- [1] Flinn, Richard Aloysius, *Fundamentals of Metal Casting*, Addison-Wesley Publisher, 1968.
- [2] Delavari, M., Slarvand, A., Rahi, A., Shahri, F., *The Effect of Powder Metallurgy Process Parameters on Mechanical Properties of Micro and Nano-Iron Powder*, International Journal of Engineering, Science and Technology, Vol. 3, No. 9, pp. 86-94, 2011.
- [3] Raja, R., Rajkumar, M., *A Short Note on Manufacturing Process of Metal Powders*, International Journal of Research in Computer Application and Robotics Vol. 3, Issue 7, pp. 120 – 128, 2015.
- [4] Venkatesh, B., Harish B., *Mechanical Properties of Metal Matrix Composites (Al/SiC_p) Particles Produced by Powder Metallurgy*, International Journal of Engineering Research and General Science Volume 3, Issue 1, pp. 1277 – 1284, 2015.
- [5] Ituen, Etim U. U., *Mechanical and Chemical Properties of Selected Mollusc Shells in Nigeria*, International Journal of Agricultural Policy and Research Vol.3 (1), pp. 53-59, 2015.
- [6] Buasri, Achanai, Chaiyut, Nattawut, Loryeunyong, Vorrada, *Calcium Oxide Derived from Waste Shells of Mussel, Cockle, and Scallop as the Heterogeneous Catalyst for Biodiesel Production*, The Scientific World Journal, Volume 2013, 2013.
- [7] Darmawan, Budi, *Studi Eksperimen Umur Lelah Baja Poros AISI 1045 Hasil Quenching-Tempering Variasi Temperatur dan Waktu Temper pada Uji Rotating Bending*, ITS : Tugas Akhir, 2010.
- [8] Özel, Tuğrul, Zeren, Erol, -, *Finite Element Method Simulation of Machining of AISI 1045 Steel with A Round Edge Cutting Tool*, New Jersey.
- [9] Villarreal, Julian Enrique, *Mapping of Elastic Modulus and Hardness in Trochus niloticus Seashell Nacre by Nanoindentation*, Massachusetts Institute of Technology, 2007.
- [10] Manohara, V. dkk, *Evaluation of Tensile Behavior of Sea Shell-Jute Fabric Reinforced Composite*, International Journal of Advanced Research in Mechanical and Production Engineering and Development Vol. 1, Page 141 – 147, 2014.
- [11] Lin, Chung-Chern, *Elasticity of Calcite: Thermal Evolution*, Phys Chem Minerals, Springer, 2012
- [12] H. Yelle, 1977, *Design of Thermoplastic Gears with an Involute Tooth Profile*, Thesis (Ph. D.) University of Waterloo.
- [13] S. Pehan, T.K. Hellen, J. Flaker, S. Glodež, *Numerical Methods for Determining Stress Intensity Factors vs Crack Depth in Gear Tooth Roots*, Int. J. Fatigue 19, 677–685, 1997.
- [14] S. Glodež, M. Šraml, J. Kramberger, *A Computational Model for Determination of Service Life of Gears*, Int. J. Fatigue 24, 1013–1020, 2002.
- [15] Bravo, Alencar, Koffi, Demagna, Toubal Lotfi, Erchiqui, Fouad, *Life and Damage Mode Modeling Applied to Plastic Gears*, Engineering Failure Analysis 58, pp. 113–133, 2015.
- [16] Barker, Ronald, *The Reversibility of the Reaction $\text{CaCO}_3 \rightleftharpoons \text{CaO} + \text{CO}_2$* , Journal of Applied Chemistry and Biotechnology, Volume 23, Issue 10, pages 733–742, 1973.
- [17] Sanskriti, Krishni, *Advances in Applied Physical and Chemical Sciences –A Sustainable Approach*, Excellent Publisher – New Delhi, 2014.
- [18] Madheswaran, K., Sugumar S., Elamvazhudi, B., *Mechanical Characterization of Aluminium – Boron Carbide Composites with Influence of Calcium Carbide Particles*, International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Volume 5, Issue 7, pp. 492 – 496, 2015.