

PEMANFAATAN METALURGI SERBUK UNTUK PRODUKSI INDUSTRI OTOMOTIF
"UTILIZATION OF POWDER METALLURGY FOR AUTOMOTIVE INDUSTRY
PRODUCTION"

Aries Rifaldi¹, Muhammad Akbar Vijay Maulana², Atha Bahar Saputra³, Septian Nur Roja⁴

^{1,2,3,4} Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Wahid Hasyim
Jl. Raya Gunungpati No.KM.15, Nongkosawit, Gunungpati, Semarang 50224.
*Email : tiannr83@gmail.com

Abstrak

Perkembangan teknologi material dalam industri otomotif menuntut hadirnya metode manufaktur yang mampu menghasilkan komponen dengan kekuatan tinggi, bobot ringan, dan ramah lingkungan. Salah satu metode yang banyak dikembangkan adalah metalurgi serbuk (powder metallurgy). Proses ini melibatkan pencampuran serbuk logam dan bahan penguat, kompaksi, serta sintering pada suhu di bawah titik lebur logam. Artikel ini mengulas penerapan metalurgi serbuk pada industri otomotif berdasarkan hasil Review dari 15 jurnal ilmiah, yang meliputi pembuatan komposit logam, kampas rem non-asbes, hingga paduan titanium-aluminium tahan korosi.

Kata kunci: metalurgi serbuk, komposit logam, otomotif, kampas rem, sintering

1. PENDAHULUAN

Industri otomotif modern menuntut inovasi material yang mampu meningkatkan efisiensi kendaraan, salah satunya melalui penggantian bahan berbasis asbes pada sistem rem dan kopling. Bahan asbes terbukti memiliki efek karsinogenik terhadap manusia sehingga perlu dikembangkan material alternatif berbasis komposit logam dan resin non-asbes yang ramah lingkungan (*Devrin Dwiki Saputra, 2025*).

Salah satu pendekatan yang terbukti efektif adalah teknologi metalurgi serbuk, karena mampu menghasilkan material dengan sifat mekanik unggul, efisiensi energi tinggi, serta minim limbah produksi (*Agus Pramono, 2011*). Dalam konteks industri otomotif, teknik ini banyak diterapkan untuk pembuatan kampas rem, piston, bantalan (bearing), dan komponen mesin lainnya (*Sulistioso G.S. dkk., 2007*).

2. STUDI LITERATUR

Kajian literatur ini menyajikan sintesis dari berbagai temuan penelitian terkait industri otomotif merupakan salah satu sektor yang memerlukan inovasi berkelanjutan dalam bidang material. Kebutuhan terhadap bahan dengan sifat ringan, tahan panas, dan kuat secara mekanik mendorong pengembangan metode produksi berbasis material maju. Salah satu pendekatan yang berkembang adalah metalurgi serbuk (powder metallurgy), yaitu teknik pembuatan komponen padat dari serbuk logam melalui proses pencampuran, penekanan (kompaksi), dan sintering (*Agus Pramono, 2011*). I. Urgensi Inovasi Material Rem: Kinerja dan Lingkungan Tuntutan terhadap material rem modern didorong oleh dua faktor utama: keselamatan dan keberlanjutan.

2.1. Konsep Dasar Metalurgi Serbuk

Metalurgi serbuk adalah proses pembentukan benda padat melalui tahapan: pencampuran (mixing), kompaksi (compaction), dan sintering (pemanasan di bawah titik lebur). Proses ini memungkinkan terciptanya ikatan antarpartikel logam tanpa melalui proses peleburan total (*Agus Pramono, 2011*).

2.2. Proses Metalurgi Serbuk

2.2.1. Pencampuran (Mixing)

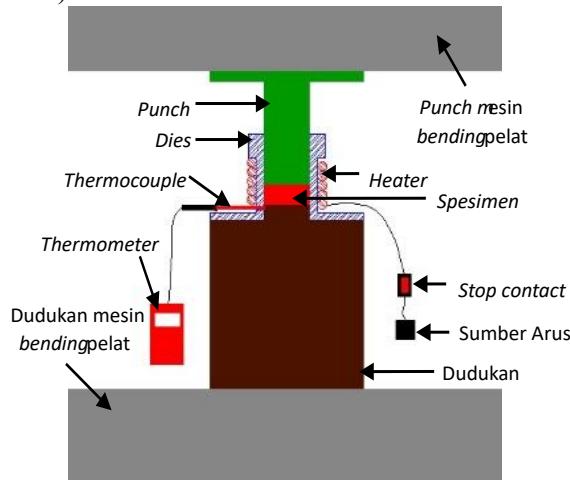
Pada tahap ini, serbuk logam dan bahan penguat dicampur menggunakan mesin ball mill selama 4–6 jam dengan rasio Ball Powder Ratio (BPR) 10:1 untuk memperoleh homogenitas yang baik (Devrin Dwiki Saputra, 2025).



Gambar 1. Proses mixing

2.2.2. Kompaksi (Compaction)

Serbuk campuran dikompaksi menggunakan cetakan logam pada tekanan tinggi (5000–6400 Psi). Semakin tinggi tekanan yang diberikan, semakin tinggi pula kerapatan dan kekerasan material yang dihasilkan (Sulis Febriany, 2024).



Gambar 2. Proses Kompaksi

2.2.3. Sintering (Pemanasan)

Proses sintering dilakukan pada suhu 100°C hingga 1200°C tergantung jenis logam yang digunakan. Tujuannya adalah memperkuat ikatan antarpartikel melalui difusi atomik tanpa melelehkan logam secara keseluruhan (M. Ghazi Al Ghifari, 2023; Sulistioso G.S. dkk., 2007).



Gambar 3. Proses Sintering

2.3. Aplikasi Metalurgi Serbuk pada Industri Otomotif

2.3.1. Kampas Rem Non-Asbes

Penelitian (*Gilang Gunawan, 2016*) menunjukkan bahwa limbah kaca dan piston bekas dapat digunakan sebagai bahan penguat kampas rem. Nilai kekerasan yang diperoleh mencapai 40,549 HVN dengan laju keausan $8,826 \times 10^{-12}$ m³/m, menunjukkan performa yang baik dibanding bahan konvensional.

Selanjutnya, (*Akhmad Hasyim Fikri, 2024*) memanfaatkan Boiler Fly Ash (BFA) dan pasir silika dalam matriks aluminium dengan metode kompaksi panas. Hasilnya, kekerasan mencapai 56 HB dan densitas 2,256 g/cm³ pada tekanan 6000 Psi. Pada penelitian (*Devrin Dwiki Saputra 2025*), komposit berbasis resin fenolik dengan campuran serbuk logam dan abu boiler menghasilkan kekerasan maksimum 147 HB dan densitas 1,505 g/cm³ setelah sintering pada suhu 100°C.

Hasil-hasil tersebut membuktikan bahwa penggantian asbes dengan komposit logam berbasis limbah industri dapat menghasilkan kampas rem yang kuat, stabil, dan ramah lingkungan.

2.4. Komposit Aluminium untuk Komponen Mesin

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa aluminium matrix composites (AMC) berpotensi besar dalam pembuatan komponen mesin seperti piston dan rotor.

- (*Afendy Syah Genta, 2024*) mengembangkan komposit matriks aluminium berpenguat silikon karbida (SiC), abu sekam padi (RHA), dan alumina (Al₂O₃). Peningkatan tekanan kompaksi berbanding lurus dengan kenaikan nilai kekerasan dan densitas.
- (*Sulis Febriany, 2024*) menemukan bahwa tekanan 6400 Psi menghasilkan kekerasan 39,33 HB dan densitas 1,69 g/cm³.
- (*M. Ghazi Al Ghifari, 2023*) melaporkan bahwa suhu sintering 600°C menghasilkan kekerasan 47,2 HB pada komposit aluminium yang diperkuat alumina dan bagasse ash.

2.5. Paduan Titanium-Aluminium (TiAl)

Penelitian (*Sulistioso G.S., Wagiyo H., dan Ari Handayani, 2007*) menunjukkan bahwa paduan Ti-Al hasil metalurgi serbuk memiliki densitas rendah (3,7–3,9 g/cm³) dan tahan terhadap korosi suhu tinggi karena terbentuknya lapisan pelindung TiO₂. Paduan ini sangat sesuai untuk komponen otomotif beroperasi pada suhu ekstrem seperti katup dan piston.

2.6. Komposit Aluminium-Grafit

Menurut (*Agus Pramono, 2011*), penggunaan grafit sebagai penguat dalam matriks aluminium menghasilkan sifat *self-lubricating*. Setelah proses sintering selama 60 menit, densitas material mencapai 2,48 g/cm³ dan porositas menurun menjadi 17,2%, menjadikannya cocok untuk bantalan poros (bearing) kendaraan bermotor.

2.7. Pemanfaatan Limbah Industri

Sejumlah penelitian juga menyoroti penggunaan limbah sebagai bahan penguat, di antaranya:

- Limbah kaca dan piston bekas sebagai bahan komposit (*Gilang Gunawan, 2016*).
- Bagasse ash (abu ampas tebu) untuk meningkatkan ketahanan aus komposit aluminium (*Muhammad Fadhil, 2025*).
- Pasir silika tailing timah dari Bangka Belitung sebagai pengganti bahan impor (*Muhammad Asep, 2023*).

Pendekatan ini mendukung penerapan konsep manufaktur hijau (green manufacturing) yang berkelanjutan di industri otomotif Indonesia.

2.8. Penentuan Komposisi

Penentuan komposisi berdasarkan fraksi volume. Produk spesimen kanvas yang akan dibuat berbentuk silinder berdiameter 30 mm dan tebal 7 mm. variasi dilakukan terhadap komposisi dalam 100% campuran. variasi pada penelitian ini adalah dengan mengubah persentase serbuk kaca dan serbuk

piston, sementara persentase resin phenolic tetap 40%. Variasi komposisi kanvas rem dapat dilihat pada tabel 1

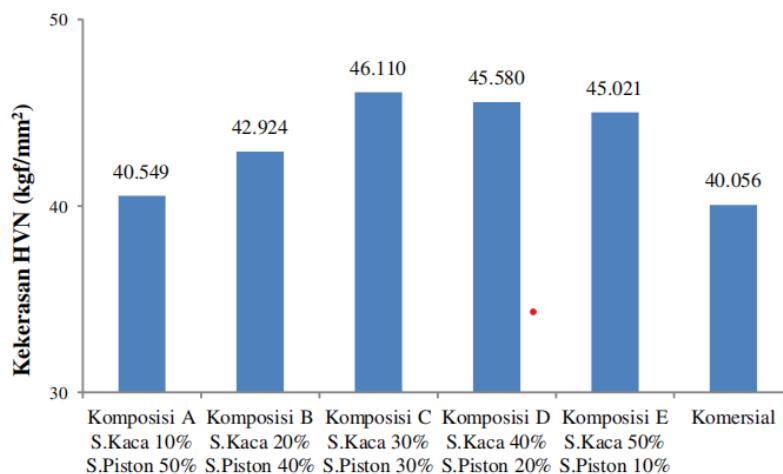
Tabel 1. Variasi komposisi kanvas rem

komposisi	Resin phenolic	Serbuk kaca	Serbuk piston
A		10%	50%
B		20%	40%
C	40%	30%	30%
D		40%	20%
E		50%	10%

Serbuk kaca, serbuk piston dan serbuk resin phenolic yang telah dipersiapkan dan telah ditentukan massa masing-masing komposisinya selanjutnya dilakukan proses penimbangan. Penimbangan dilakukan dengan menggunakan timbangan digital dengan ketelitian 0.001 g.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Grafik data pengujian kekerasan terhadap masing masing komposisis produk dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Data Pengujian Kekerasan Terhadap Komposisi Produk Kanvas Rem

Penambahan persentase SiO₂ secara teoritis akan meningkatkan nilai kekerasan komposit. Gambar 9 menunjukkan komposisi A, B dan C mengalami kenaikan nilai kekerasan. Komposisi C merupakan komposisi dengan nilai kekerasan paling besar, dapat dikatakan bahwa persentase maksimal serbuk kaca untuk menghasilkan kekerasan maksimum produk kanvas rem berada pada komposisi C dengan persentase serbuk kaca 30%. Penambahan lebih lanjut persentase serbuk kaca dari komposisi C mengakibatkan nilai kekerasan menurun. Hal ini terjadi pada komposisi D dan E. Keadaan seperti ini dapat terjadi karena jumlah serbuk kaca yang terlalu banyak akan menyebabkan kontak antar permukaan serbuk kaca dengan matriks tidak terjadi sempurna, sehingga ikatan permukaan antara serbuk kaca dan matriks akan berkurang yang menyebabkan menurunnya nilai kekerasan. Komposit dengan jumlah penguat melebihi batas maksimal menyebabkan kontak permukaan antara penguat dan matriks tidak terjadi sempurna sehingga ikatan permukaan antara penguat dan matriks menyebabkan kekuatan tarik menurun. Kekuatan tarik berbanding lurus dengan kekerasan.

Penggunaan serbuk piston dalam komposisi kanvas rem pada penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan daya tahan terhadap korosi, abrasi/tahan aus, ringan, koefisien muai rendah, dan juga untuk meningkatkan kekuatan kanvas rem karena terdapat unsur Si didalamnya, namun sedikit pengaruhnya terhadap nilai kekerasan. Gambar 4 dilihat dari komposisi serbuk kaca dan serbuk piston, komposisi A (serbuk kaca 10%, serbuk piston 50%), B (serbuk kaca 20%, serbuk piston 40%), C (serbuk

kaca 30%, serbuk piston 30%), D (serbuk kaca 40%, serbuk piston 20%), E (serbuk kaca 50%, serbuk piston 10%). Produk komposisi A, B dan C mengalami peningkatan kekerasan. Komposisi A, B dan C memiliki persentase serbuk pistol lebih besar dan sama dengan persentase serbuk kaca. Ukuran serbuk piston yang lebih kecil memiliki luas permukaan kontak yang lebih luas dibandingkan dengan ukuran serbuk kaca, sehingga mampu mengisi rongga-rongga kosong (pori) yang terbentuk antar serbuk kaca dan matriks sehingga transfer tegangan antara penguat dan matriks terjadi lebih baik yang menyebabkan sifat mekanik komposit meningkat. Komposisi D dan E, persentase pengisi lebih sedikit dibandingkan persentase penguat, sehingga rongga-rongga yang terbentuk antar penguat maupun antara penguat dan matriks lebih banyak dibandingkan jumlah pengisi. Hal ini menyebabkan transfer tegangan antara pengikat dan matriks semakin rendah sehingga terjadi penurunan sifat mekanik. Ukuran partikel yang lebih kecil akan memiliki luas permukaan kontak yang besar sehingga dapat terdispersi lebih baik ke dalam matriks.

Nilai kekerasan produk komersial sebesar 40.056 HVN, nilai ini merupakan nilai kekerasan paling rendah dari seluruh spesimen uji. Komposisi A merupakan nilai kekerasan paling mendekati nilai kekerasan produk komersial dengan selisih sebesar 0.493HVN dari produk komersial. Nilai kekerasan komposisi A masih diatas nilai kekerasan produk komersial, sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk memperoleh nilai kekerasan yang lebih optimal mendekati nilai kekerasan produk komersial. Penelitian dapat dilakukan dengan memvariasikan persentase serbuk kaca dibawah 10%, dapat juga dengan memvariasikan parameter lainnya seperti tekanan kompaksi serta waktu mixing.

Karakteristik Umum Metalurgi Serbuk pada Material Otomotif

Secara umum, hasil studi terhadap 15 jurnal menunjukkan bahwa penerapan metode metalurgi serbuk mampu menghasilkan material dengan kekerasan tinggi, densitas padat, dan ketahanan aus yang baik, serta berpotensi menggantikan bahan asbes pada komponen otomotif. Proses ini melibatkan tahapan *mixing*, *compaction*, dan *sintering* yang diatur secara presisi untuk menghasilkan struktur mikro yang homogen (*Agus Pramono, 2011*).

Tekanan kompaksi dan suhu sintering terbukti berpengaruh besar terhadap hasil akhir material. Semakin tinggi tekanan dan suhu yang digunakan, semakin kuat ikatan antarpartikel logam, yang berdampak pada peningkatan nilai kekerasan (*Sulis Febriany, 2024*).

Selain itu, efisiensi proses ini juga tinggi karena hampir seluruh serbuk logam termanfaatkan tanpa menghasilkan limbah berarti (*M. Ghazi Al Ghifari, 2023*). Dengan demikian, metode metalurgi serbuk dinilai sangat cocok untuk diterapkan dalam proses produksi komponen otomotif modern yang menuntut efisiensi dan keberlanjutan.

Pengaruh Tekanan Kompaksi dan Suhu Sintering terhadap Kekerasan dan Densitas

Hampir seluruh penelitian menunjukkan hubungan positif antara peningkatan tekanan kompaksi dan suhu sintering terhadap kekerasan dan densitas komposit logam.

Menurut (*Sulis Febriany, 2024*), komposit matriks aluminium diperkuat silikon karbida (SiC) dan abu sekam padi (RHA) yang dikompaksi pada tekanan 6400 Psi memiliki kekerasan tertinggi 39,33 HB dan densitas 1,69 g/cm³.

Temuan ini diperkuat oleh (*M. Ghazi Al Ghifari, 2023*), yang menemukan bahwa tekanan serupa pada suhu 600°C meningkatkan kekerasan hingga 47,2 HB pada komposit aluminium dengan penguat alumina dan bagasse ash.

Sementara itu, (*Akhmad Hasyim Fikri, 2024*) melaporkan bahwa variasi tekanan 5200–6000 Psi pada matriks aluminium yang dipadukan dengan Boiler Fly Ash (BFA) dan pasir silika menghasilkan kekerasan maksimum 56 HB serta densitas 2,256 g/cm³. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan tekanan kompaksi menghasilkan material yang lebih padat karena berkurangnya porositas internal selama proses sintering.

Penelitian (*Devrin Dwiki Saputra, 2025*) juga mendukung temuan ini. Pada komposit resin fenolik dengan penguat serbuk logam dan abu boiler, tekanan 5300 Psi dan suhu 100°C menghasilkan

kekerasan 147 HB serta densitas 1,505g/cm³. Nilai ini jauh melebihi kampas rem komersial berbasis asbes, yang rata-rata memiliki kekerasan di bawah 100 HB.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengkajian terhadap 15 jurnal, dapat disimpulkan bahwa:

1. Metalurgi serbuk merupakan teknologi efektif dan efisien dalam pembuatan komponen otomotif berkualitas tinggi.
2. Penggunaan limbah industri sebagai bahan penguat logam (seperti Boiler Fly Ash, pasir silika, dan bagasse ash) meningkatkan nilai ekonomi dan ramah lingkungan.
3. Peningkatan tekanan kompaksi dan suhu sintering secara signifikan meningkatkan kekerasan dan densitas material.
4. Teknologi ini berpotensi besar diterapkan untuk produksi kampas rem, piston, bantalan, dan komponen mesin otomotif masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhir, L., Dibuat, I., Diajukan, D., Memenuhi, U., Satu, S., Sarjana, K., Politeknik, T., Negeri, M., & Belitung, B. (n.d.). *PENYELIDIKAN KOMPOSIT MatriK ALUMINIUM TAHUN 2024*.
- Akhir, P. (2024). *REKAYASA KOMPOSIT MatriK ALUMINIUM*.
- Akhir, P. (2025). *PEMBUATAN KOMPOSIT MatriK RESIN FENOLIK DIPERKUAT SERBUK LOGAM DAN RHA HYBRID BANGKA BELITUNG*.
- Anggria, F., Nawangsari, P., Masnur, D., Group, S. T., Bahan, L. P., Mesin, J. T., Teknik, F., & Riau, U. (2016). *Analisis pengaruh ukuran serbuk kaca pada pembuatan kanvas rem sepeda motor dengan pengisi serbuk piston bekas*. 3(2), 1–5.
- Ash, B., Terhadap, A., Dan, K., & Sintering, S. (2024). *PEMBUATAN KOMPOSIT AMC DI PERKUAT HYBRID BANGKA BELITUNG TAHUN 2024*.
- Fadhil, M. (2026). *PROSES PEMBUATAN KOMPOSIT MatriK PHENOLIC BANGKA BELITUNG*.
- Febriany, S., Manufaktur, P., & Bangka, N. (2024). *Pengaruh Tekanan Kompaksi Terhadap Densitas Dan Kekerasan AMC Diperkuat SiC Dan RHA Metode Metalurgi Serbuk*. 02(2).
- Gunawan, G., Nawangsari, P., Masnur, D., Group, S. T., Bahan, L. P., Mesin, J. T., Teknik, F., & Riau, U. (2016). *MATERIAL ALTERNATIF KANVAS REM SEPEDA MOTOR DENGAN*. 3(2), 1–6.
- Ii, B. A. B. (n.d.). *Bab ii tinjauan pustaka 2.1*. 5–21.
- Mesin, J. T., Sultan, U., & Tirtayasa, A. (n.d.). *Prosiding*.
- Metode, M., & Serbuk, M. (2026). *KARAKTERISTIK KOMPOSIT MatriK PHENOLIC RESIN DIPERKUAT SERBUK LOGAM DAN BOILER FLY-ASH*.
- Proses, A. H., & Serbuk, M. (2011). *69 KARAKTERISTIK PHISIK DAN STRUKTUR MIKRO KOMPOSIT LOGAM ALUMINIUM-GRAFIT HASIL PROSES METALURGI SERBUK Agus Pramono 1 , Salahuddin Junus 2. 4*.
- Sulistioso, G. S., Wagijo, H., & Handayani, A. (2007). *ANALISIS FASA DAN KOROSI SUHU TINGGI PADUAN TiAl HASIL METALURGI SERBUK*. 8(2), 246–249.
- Terapan, S., Manufaktur, P., & Bangka, N. (n.d.). *PEMBUATAN KOMPOSIT MatriK ALUMINIUM DIPERKUAT PASIR SILIKA TAILING TIMAH*.
- Terapan, S., Manufaktur, P., & Bangka, N. (2024). *PADA KAMPAS REM SEPEDA MOTOR BERPENGUAT SILIKON CARBIDA HIBRID (SIC / BA / RHA) DENGAN BANGKA BELITUNG TAHUN 2024*.