(2025), 3 (6): 12-21 **Scientica** 3021-8209

Jurnal Ilmiah Sain dan Teknologi

PENGARUH PENAMBAHAN ALUMINA TERHADAP SIFAT FISIK DAN MEKANIK *PMMA*

Muhammad Luthfy [1], Ade Indra [2], Nofriady Handra [3], Mastariyanto Perdana [4]

[1]Jurusan Teknik Mesin, fakultas Teknik, Institut Teknologi Padang

[1]2021110054.luthfy@itp.ac.id

Abstract (English)

This study aims to determine the effect of alumina (Al_2O_3) powder addition on the physical and mechanical properties of sintered Poly Methyl Methacrylate (PMMA) in the form of a sintered body. PMMA was used as the matrix with alumina added in five weight ratios: 95:5, 90:10, 85:15, 80:20, and 75:25 (%wt). The sintering process was carried out at 144 °C for 120 minutes with a heating rate of 5 °C/min. The samples were examined through microstructural observations using a digital microscope and Compressive Strength testing, while compactness was evaluated using relative density. The results showed that the highest relative density was obtained at the 95:5 composition with 73%, while the lowest was at the 75:25 composition with 56%. The highest Compressive Strength was also recorded at the 95:5 composition with 53.4 MPa, whereas the lowest was observed at 75:25 with 19.1 MPa. The decreasing trend of relative density with increasing alumina content indicates greater porosity formation, which consequently reduces the mechanical properties of the material. It can be concluded that a limited addition of alumina can improve the quality of PMMA sintered bodies, while excessive addition decreases their mechanical performance due to excessive porosity.

Article History

Submitted: 29 Agustus 2025

Accepted: 1 September 2025

Published: 2 September 2025

Key Words

PMMA, alumina, sintering, relative density, Compressive Strength , microstructure.

Abstrak (Indonesia)

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan serbuk alumina (Al_2O_3) terhadap sifat fisik dan mekanik material Poly Methyl Methacrylate (*PMMA*) hasil *sintering* dalam bentuk *sintered body*. *PMMA* digunakan sebagai matriks dengan penambahan alumina dalam lima variasi komposisi berat, yaitu 95:5, 90:10, 85:15, 80:20, dan 75:25 (%wt). Proses *sintering* dilakukan pada temperatur 144 °C selama 120 menit dengan laju pemanasan 5 °C/menit. Sampel diuji melalui pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop digital serta uji kekuatan tekan (*Compressive Strength*), sedangkan tingkat kerapatan dievaluasi menggunakan *relative density*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *relative density* tertinggi diperoleh pada komposisi 95:5 sebesar 73%, sedangkan nilai terendah terdapat pada komposisi 75:25 sebesar 56%. Nilai *Compressive Strength* tertinggi juga tercatat pada komposisi 95:5 yaitu 53,4 MPa, sementara yang terendah pada 75:25 sebesar 19,1 MPa. Tren penurunan *relative density* seiring meningkatnya kandungan alumina mengindikasikan terbentuknya porositas yang lebih besar, sehingga berdampak pada penurunan sifat mekanik material. Dapat disimpulkan bahwa penambahan alumina dalam jumlah terbatas mampu meningkatkan kualitas *sintered body PMMA*, tetapi pada kadar yang tinggi justru menurunkan performa mekaniknya akibat terbentuknya porositas berlebih.

Sejarah Artikel

Submitted: 29 Agustus 2025

Accepted: 1 September 2025

Published: 2 September 2025

Kata Kunci

PMMA, alumina, sintering, relative density, kekuatan tekan, struktur mikro biomaterial

1. Pendahuluan

Material teknik adalah bidang yang berfokus pada penerapan dan peningkatan sifat material melalui berbagai proses dan desain khusus. Hal ini membantu untuk memahami bagaimana struktur suatu material berhubungan dengan sifat-sifatnya. Beberapa material memiliki keunggulan dalam hal keuletan dan ketahanan terhadap korosi, sehingga pemahaman

akan hal ini sangat penting bagi para insinyur dan ilmuwan. Secara umum, material teknik terbagi dalam tiga kategori utama: logam, keramik, dan polimer. Selain itu, ada juga jenis material lain seperti komposit dan semikonduktor (Herdy, 2020). Saat ini teknologi material telah berkembang dengan munculnya berbagai inovasi, seperti nanoteknologi, smart material dan biomaterial.

Saat ini, sektor medis sangat membutuhkan bahan yang dapat menggantikan atau memperbaiki fungsi sistem utama tubuh manusia yang rusak, terutama tulang yang tidak berfungsi lagi. Akibatnya, ilmuwan dan ahli teknologi, terutama di bidang teknik mesin, sedang berkonsentrasi pada pengembangan material yang dapat menggantikan tulang yang rusak dan diterima oleh tubuh. Polimer adalah jenis material yang termasuk cocok untuk digunakan oleh tubuh manusia, dan salah satu contoh biomaterial adalah poly Methyl methacrylate (*PMMA*) (Zahari et al., 2017).

PMMA adalah polimer yang dihasilkan dari monomer metil metakrilat, yang bersifat non-biodegradable. Proses transformasi metil metakrilat menjadi *PMMA*, yang dikenal sebagai polimerisasi, ditemukan pertama kali oleh dua ahli kimia Jerman, Fittig dan Paul, pada tahun 1877. *PMMA* memiliki sifat hidrofobik dan banyak digunakan dalam bidang kedokteran, terutama dalam kedokteran gigi. Banyak penelitian mengenai butiran *PMMA* telah dilakukan dan menunjukkan potensi sebagai bahan perancah (Djustiana et al., 2021).

Salah satu pendekatan yang sangat menjanjikan untuk meningkatkan sifat *PMMA* adalah melalui penambahan serbuk nano atau mikro sebagai penguat komposit. Di antara berbagai jenis penguat yang telah dikembangkan, alumina (Al_2O_3) menarik perhatian yang signifikan karena sifat mekaniknya yang unggul, stabilitas kimia tinggi, dan biokompatibilitas yang baik (Gad et al., 2018).

Penelitian oleh Wang et al. (2020) menunjukkan bahwa *sintered body* memiliki korelasi signifikan antara densitas, porositas, dan sifat mekanik, di mana peningkatan densitas relatif berpengaruh positif terhadap kekuatan dan kekerasan material.

Namun, pada penelitian sebelumnya pembuatan scaffold *PMMA* dengan metode *granule casting*. Dimana bahan utama pembuatan scaffold ialah *PMMA*, kemudian dihaluskan menggunakan *cold cutting method* (CCm) untuk menghasilkan butiran yang berbentuk ireguler memanjang, setelah itu dilakukan pencampuran *PMMA* : Aquades. Tetapi hasil yang didapatkan diambang batas scaffold (Indra et al., 2023). Maka perlu dilakukan pengembangan metode pembuatan scaffold *PMMA* guna untuk meningkatkan nilai porositas.

Penelitian ini berfokus pada pembuatan *sintered body* dengan *PMMA* sebagai material utama yang diperkuat dengan alumina dalam lima variasi komposisi berat (95:5, 90:10, 85:15, 80:20, 75:25).

2. Metode Penelitian

2.1. Polimetil metakrilat (*PMMA*)

Polimetil metakrilat (*PMMA*) merupakan polimer yang terbentuk dari monomer metil metakrilat, yang bersifat tidak dapat terurai secara hayati. Proses pembentukan *PMMA* melalui reaksi polimerisasi pertama kali ditemukan oleh dua ilmuwan asal Jerman, Fittig dan Paul, pada tahun 1877. *PMMA* termasuk jenis polimer amorf dan tergolong sebagai bahan termoplastik yang memiliki karakteristik keras, kaku, dan rapuh pada suhu kamar.

Karakteristik ini menjadikan *PMMA* sebagai material multifungsi yang cocok untuk beragam aplikasi. Dalam dunia industri, *PMMA* dapat dimanfaatkan sebagai material matriks maupun fase minor untuk meningkatkan sifat-sifat dari matriks biodegradable. Sementara itu, di bidang medis, *PMMA* diaplikasikan dalam pembuatan implan sendi, gigi tiruan, lensa kontak, hingga perekat tulang, baik yang mengandung obat maupun yang tidak

2.2. *Hot Cutting methode*

Penghalusan spesimen merupakan proses mekanis yang bertujuan untuk mengecilkan ukuran partikel suatu material. Tujuannya adalah untuk meningkatkan keseragaman serta mempermudah analisis terhadap sifat fisik dan mekanik material tersebut. Salah satu metode yang biasa digunakan dalam proses ini adalah metode pemotongan panas (*Hold Cutting method*) merupakan suatu teknik di mana spesimen yang telah dihaluskan tanpa diberikan perlakuan pendinginan. Dimana, pada proses *HCm* ini dilakukan pada temperatur > 0°C, dengan metode ini secara simultan menghasilkan potongan sambil menyegel tepi untuk mencegah fraying atau retakan..

2.3 Alumina

Alumina (Al_2O_3) merupakan bahan keramik anorganik yang dikenal memiliki sifat mekanik dan termal yang sangat baik, serta digunakan secara luas dalam penguatan material komposit. Dalam bentuk kristalnya, alumina memiliki beberapa fase, tetapi yang paling umum digunakan untuk aplikasi teknik adalah α-alumina dan γ-alumina. Fase α-alumina merupakan bentuk paling stabil secara termal, memiliki struktur kristal heksagonal padat dengan kekerasan tinggi dan ketahanan aus yang baik, sehingga sering dijadikan penguat dalam komposit polimer. Di sisi lain, γ-alumina memiliki luas permukaan yang tinggi dan banyak digunakan dalam bentuk nanoserbuk karena kemampuannya dalam meningkatkan interaksi antar serbuk dan homogenitas dispersi di dalam matriks polimer (Chinigò et al., 2023).

2.4. *sintering*

Sintering merupakan proses pemanasan material hingga suhu tinggi yang memungkinkan partikel-partikel di dalamnya saling menyatu dan membentuk struktur padat. Umumnya, proses ini dilakukan pada suhu di bawah titik leleh dari material utamanya. Faktor lingkungan sangat penting dalam proses *sintering*, karena objek yang di*sintering* bisa terkontaminasi jika tidak dijaga dengan baik. Dimensi objek dapat berubah selama proses *sintering*, baik mengalami pemuaian maupun penyusutan, tergantung pada bentuk, distribusi ukuran partikel, komposisi serbuk, dan prosedur yang digunakan. [13].

2.5. Struktur mikro

Struktur mikro merujuk pada bagian terkecil dari suatu material yang tidak dapat diamati secara langsung dengan mata, melainkan membutuhkan alat bantu khusus seperti mikroskop optik, mikroskop elektron, mikroskop field emission, atau mikroskop sinar-X untuk pengamatannya.

Tujuan dari analisis struktur mikro adalah untuk mengevaluasi karakteristik material, mengidentifikasi penyebab kerusakan atau kegagalan, serta menelusuri

riwayat perlakuan yang telah dialami material tersebut. Secara umum, analisis struktur mikro dibagi menjadi tiga tingkat, yaitu makroskopis, mikroskopis, dan menggunakan mikroskop elektron, di mana masing-masing memiliki fungsi dan tujuan tersendiri [14].

2.6 Pengujian *Compressive Strength*

Compressive Strength adalah kemampuan suatu bahan untuk menahan gaya tekan serta menjaga bentuknya saat diberikan tekanan tertentu. Istilah ini menggambarkan besarnya tekanan maksimum yang bisa diterima bahan sebelum mengalami kerusakan yang menyebabkan bahan tersebut tidak lagi berfungsi sesuai dengan tujuan awalnya. Tekanan tertinggi yang dapat ditahan tanpa menyebabkan kerusakan dinamakan kuat tekan. Banyak bahan, khususnya yang bersifat rapuh seperti beton, kaca, dan keramik, akan rusak ketika tekanan mencapai batas kuat tekan mereka. Sedangkan bahan yang lebih lentur, seperti logam dan plastik, biasanya hanya mengalami perubahan bentuk permanen tanpa pecah. Oleh karena itu, pada bahan rapuh, kuat tekan didefinisikan sebagai tekanan yang menyebabkan bahan tersebut hancur total, sementara pada bahan yang lentur, kuat tekan adalah tekanan saat regangan maksimum yang diperbolehkan tercapai.[15].

$$\sigma c = F/A \quad (1)$$

Keterangan:
- σc : *Compressive Strength* (MPa)
- F : Gaya tekan (N)
- A : Luas penampang (mm^2)

2.7 pengujian densitas

Relative density atau densitas relatif adalah perbandingan antara densitas aktual suatu material dengan densitas teoritisnya. Konsep ini sering digunakan dalam bidang material untuk menilai tingkat kerapatan hasil proses manufaktur, terutama pada material komposit, keramik, maupun logam sinter.

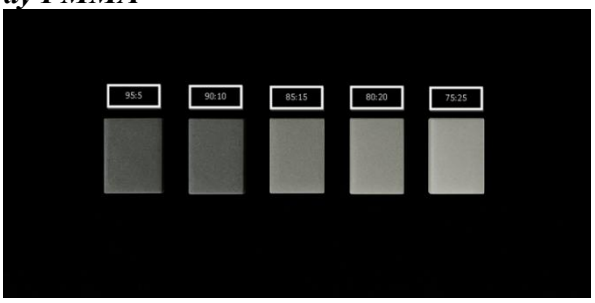
relative density dapat dihitung dengan persamaan:

Type equation here. $$RD = \frac{\rho\ aktual}{\rho\ teoritis} \text{ x } 100\ \% \quad \ldots\ldots (2)$$

Dimana : *RD = Relative density (%)*
ρ aktual = massa jenis (g/m3)
ρ teoritis = massa jenis (g/m3)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Sampel *Sintered body PMMA*



Gambar 3.1 Sampel *Sintered body PMMA*

Terlihat pada gambar 3.1 adalah gambar *Sintered body PMMA* dengan ukuran 1cm x 1cm x 0,5cm, *mesh* 270, perbandingan *PMMA* dengan Alumina (%berat) yaitu 95:5 90:10 85:15 80:20 75:25 di*sintering* pada temperatur 144 ºC, dengan *heating rate* 5 ºC/Menit dan di *holding time* selama 2 jam. Dari gambar 3.1 terlihat perbedaan warna semakin banyak penambahan alumina pada *sintered body PMMA* terjadi perubahan warna dari warna gelap ke warna yang lebih terang pada *sintered body PMMA*.

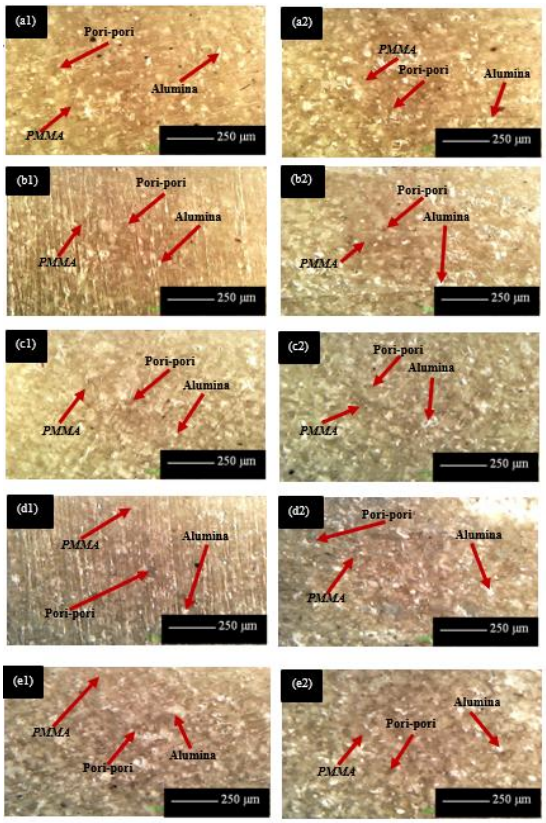
3.2 Pengamatan Strktur Mikro

pada gambar 3.2 merupakan hasil pengamatan struktur mikro *sintered body PMMA* dengan menggunakan Digital Microscope. Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk mengetahui distribusi pori, ikatan butir, serta homogenitas campuran antara *PMMA* dan alumina. Pada penelitian ini, sampel diamati dari dua sisi, yaitu sisi dalam (SD) dan sisi luar (SL).Sisi luar (SL) adalah bagian paling luar dari sampel. Sedangkan sisi dalam (SD) adalah permukaan bagian dalam sampel yang terlihat setelah sampel dipotong. Pada Gambar 4.2 merupakan hasil pengamatan struktur mikro *sintered body PMMA* dengan menggunakan Digital Microscope. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa jumlah pori meningkat seiring dengan peningkatan alumina dalam campuran. Hal ini dapat dijelaskan oleh perbedaan temperatur *sintering* antara *PMMA* dan alumina. *PMMA* melunak pada temperatur 144 °C, sedangkan alumina tetap keras karena titik sinternya jauh lebih tinggi (>1600 °C). Akibatnya, pada alumina tinggi, serbuk-serbuk alumina tidak ter*sintering* dan tidak menyatu dengan matriks *PMMA*,

sehingga membentuk celah atau pori. Peningkatan pori-pori ini secara langsung akan berdampak pada sifat fisik (*relative density*) dan sifat mekanik

(kekuatan tekan) dari material komposit. Dengan demikian, semakin banyak penambahan alumina terhadap matrik *PMMA* maka semakin berpori-pori.

Hal ini juga dibuktikan dengan nilai *Relative* density yang menurun mencapai 56% dan nilai *Compressive Strength* 19,1 MPa.



Gambar 3.2 foto struktur mikro dengan menggunakan DM (a_1) komposisi 95:5 %wt-SL (a_2) komposisi 95:5 %wt-SD (b_1) komposisi 90:10 %wt-SL (b_2) komposisi 90:10 %wt-SD (c_1) komposisi 85:15 %wt-SL (c_2) komposisi 85:15 %wt-SD (d_1) komposisi 80:20 %wt-SD (d_2) komposisi 80:20 %wt-SL (e_1) komposisi 75:25 %wt-SL (e_2) komposisi 75:25 %wt-SD

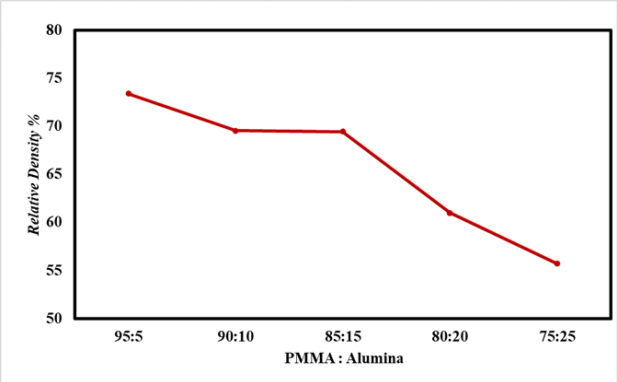
Dapat juga dilihat dari hasil DM pada Gambar 4.2 di atas bahwa semakin banyak penambahan alumina pada range 15-25%wt semakin banyak pori pori yang dihasilkan. Hal ini berdampak pada densitas dan nilai *Compressive Strength* akan menurun, karena banyaknya pori pori pada *sintered body PMMA*.

3.3 Pengujian *Relative density*

Relative density (densitas relatif) adalah perbandingan antara densitas suatu material aktual dengan densitas material teoritis.

Tabel 3.1 *Relative density Sintered body PMMA*

Perbandingan	*P*actual	*Pcomposite*	*Relative density*
95:5	0,9685	1,3195	73
90:10	1,0144	1,459	70
85:15	1,1102	1,5985	69
80:20	1,0598	1,738	61
75:25	1,0461	1,8775	56



Gambar 1.3 Grafik uji *relative density sintered body PMMA*

Hasil pengujian densitas pada *sintered body PMMA* dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan Gambar 3.3 diatas. Grafik tersebut menunjukan bahwa *relative density* cenderung menurun seiring dengan meningkatnya fraksi massa alumina pada komposit *PMMA*. Komposisi 95:5 menunjukkan nilai *relative density* tertinggi yaitu sekitar 73,4%, sementara komposisi 75:25 memiliki nilai *relative density* terendah sebesar 55,7%. Penurunan nilai *relative density* ini mengindikasikan bahwa semakin banyak kandungan alumina yang ditambahkan, semakin besar pula jumlah pori yang terbentuk dalam material. Hal tersebut terjadi karena pada suhu *sintering* yang digunakan, yaitu 144 °C, *PMMA* sudah melunak dan mampu mengalami peleburan antarpartikel, sedangkan alumina tetap bersifat stabil dan tidak ikut menyatu. Akibatnya, partikel alumina cenderung menjadi titik-titik ketidakteraturan yang meningkatkan porositas material. Meskipun densitas aktual tertinggi diperoleh pada komposisi 85:15 dengan nilai 1,1102 g/cm³, namun *relative density* pada komposisi tersebut hanya mencapai sekitar 69,5% karena nilai densitas teoritisnya juga meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan alumina memang dapat meningkatkan densitas aktual hingga titik tertentu, tetapi menurunkan tingkat kerapatan relatif terhadap densitas ideal. Kecenderungan ini berimplikasi langsung pada sifat mekanik material, di mana penurunan *relative density* sejalan dengan meningkatnya porositas sehingga mengurangi kekuatan tekan. Dengan demikian, *relative density* menjadi parameter penting untuk menilai seberapa efektif proses *sintering* dalam menghasilkan material komposit yang padat dan homogen, sekaligus menjelaskan mengapa penambahan alumina berlebih justru menyebabkan penurunan sifat mekanik *PMMA* komposit.

4.4 Pengujian *Compressive Strength*

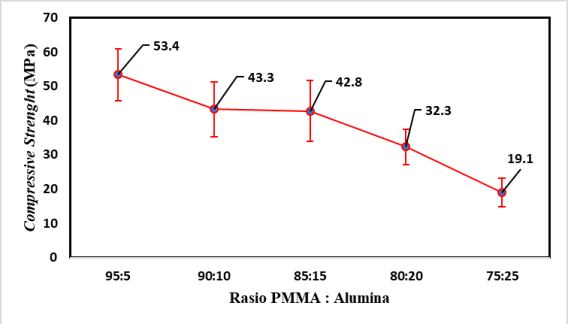
Compressive Strength mengacu pada kemampuan suatu material untuk menahan beban tekan dan mempertahankan integritasnya di bawah beban tekan tertentu. Ini mengindikasikan seberapa besar beban tekan yang dapat ditanggung oleh material tersebut sebelum mengalami kerusakan sehingga tidak dapat lagi digunakan sesuai dengan tujuan awalnya. Beban tekan

maksimum yang dapat diterima oleh suatu material sebelum mengalami kehancuran disebut sebagai *Compressive Strength* dari material tersebut.

Dalam pengujian *Compressive Strength* kali ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan sampel *sintered body PMMA* menahan beban tekan yang diberikan sampai sampel tersebut hancur untuk melihat sifat mekanik dari sampel *sintered body PMMA*. Dapat dilihat pada tabel dibawah ini hasil pengujian *Compressive Strength sintered body PMMA*.

Tabel 3.2 Rata-rata *Compressive Strength sintered body PMMA* dan standar deviasi

komposisi	*Compressive Strength*	Standar deviasi
95:5	53,4	7,54
90:10	43,3	8,06
85:15	42,8	8,95
80:20	32,3	5,11
75:25	19,1	4,18



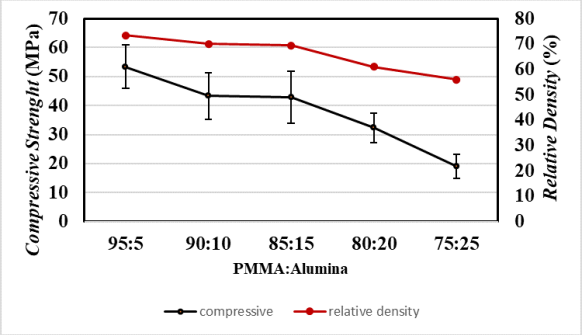
Gambar 3.4 Grafik *Compressive Strenght sintered body PMMA*

Hasil uji *Compressive Strength* menunjukkan bahwa nilai kekuatan tekan tertinggi diperoleh pada komposisi *PMMA*:Alumina sebesar 95:5, dengan nilai mencapai 53,4 MPa. Seiring bertambahnya berat alumina, nilai kekuatan tekan mengalami penurunan secara bertahap, hingga mencapai nilai terendah sebesar 19,1 MPa pada perbandingan 75:25. Penurunan ini terlihat jelas pada grafik Gambar 4.5 dan menjadi indikasi bahwa penambahan alumina dalam jumlah berlebih justru dapat menurunkan daya tahan material terhadap beban tekan.

Salah satu penyebab utama penurunan kekuatan tekan tersebut adalah terbentuknya pori-pori dalam struktur material. Hal ini terjadi akibat perbedaan temperatur *sintering* antara *PMMA* dan alumina. Pada temperatur *sintering* 144 °C, *PMMA* mulai melunak dan menyatu, sementara alumina tetap keras dan tidak mengalami perubahan bentuk karena titik sinternya berada jauh lebih tinggi, yaitu di atas 1600 °C. Akibatnya, serbuk alumina tidak dapat menyatu secara efektif dengan matriks *PMMA*, melainkan hanya tersebar secara pasif dan menciptakan pori-pori kecil yang mengganggu kekompakan struktur. Selain itu, peningkatan jumlah alumina juga cenderung menyebabkan penyebaran serbuk yang tidak merata, di mana serbuk-serbuk alumina dapat menumpuk di satu bagian dan tidak *relative density* terispersi sempurna. Kondisi ini memicu ketidakhomogenan material serta menciptakan titik lemah yang mempermudah terjadinya retak saat dikenai beban tekan.

Korelasi antara kekuatan tekan dan *relative density* juga terlihat cukup jelas. Saat nilai *relative density* menurun akibat meningkatnya pori-pori, kemampuan material dalam menahan beban juga ikut melemah. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa penurunan *Compressive Strength* pada perbandingan tinggi disebabkan oleh meningkatnya pori-pori dan lemahnya ikatan antar serbuk akibat ketidaksesuaian temperatur *sintering* antara *PMMA* dan alumina.

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa semakin besar jumlah presentase alumina di banding *PMMA*, maka nilai *Compressive Strength* yang didapat akan semakin kecil, hal ini dikarenakan jumlah pori-pori yang terbentuk pada *sintered body PMMA* semakin banyak, sehingga untuk kekuatan dari *sintered body PMMA* akan berkurang.



Gambar 3.5 Grafik Gabungan *relative density* dan *Compressive Strength Sintered body PMMA*

Gambar 3.5 dapat dilihat pada grafik gabungan antara *Relative density* (%) dan *Compressive Strength* (MPa), Gambar grafik di atas menunjukkan hubungan antara variasi komposisi *PMMA*:Alumina (%Wt) terhadap nilai *Compressive Strength* (MPa) dan *Relative density* (%). Secara umum, terlihat bahwa peningkatan kandungan alumina menyebabkan penurunan pada kedua parameter tersebut. Nilai *Compressive Strength* tertinggi terdapat pada perbandingan 95:5 dengan kekuatan tekan sekitar 53 MPa, dan terus menurun hingga mencapai titik terendah pada perbandingan 75:25 sebesar 19 MPa. Sementara itu, *Relative density* juga menunjukkan tren penurunan yang searah.

4. Kesimpulan

1. Pada pengamatann struktur mikro pada *sintered body PMMA* menggunakan Digital Mikroskope (DM) dan dapat disimpulkan bahwa penambahan alumina menyebabkan peningkatan jumlah pori yang signifikan. Hal ini disebabkan oleh perbedaan temperatur *sintering PMMA* dan alumina, sehingga serbuk alumina tidak menyatu sempurna dan menciptakan celah di dalam struktur.
2. *Relative density* menunjukkan tren penurunan dari 73% (95:5) menjadi 56% (75:25). Penurunan ini sejalan dengan meningkatnya pori-pori akibat ketidakhomogenan serbuk dan kurang optimalnya ikatan antar butir pada temperatur *sintering* yang digunakan.
3. Nilai *Compressive Strength* tertinggi diperoleh pada komposisi 95:5 sebesar 53,4 MPa, dan terus menurun seiring peningkatan kandungan alumina hingga mencapai nilai terendah 19,1 MPa pada komposisi 75:25. Penurunan ini disebabkan oleh terbentuknya pori-pori akibat ketidakterikatan antara *PMMA* yang melunak dan alumina yang tetap keras selama proses *sintering*.

Ucapan Terimakasih

Penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Institut Teknologi Padang, khususnya jurusan teknik mesin sarjana atas dukungan fasilitas, bimbingan, serta kesempatan yang diberikan sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan dengan baik. Ucapan terima kasih juga disampaikan pada pihak yang telah memberikan konstribusi, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam proses penyusunan artikel ilmiah ini. Penulis menyadari penelitian ini masih memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan untuk penyempurnaan penelitian di masa mendatang

Daftar Rujukan

[1] Aufan, M. R., Daulay, A. H., Indriani, D., Nuruddin, A., & Purwasasmita, B. S. (2012). Sintesis *sintered body* alginat-kitosan-karbonat apatit sebagai bone graft menggunakan metode freeze drying. *Jurnal Biofisika*, 8(1).

[2] Brien, F. J. O. (2011). Biomaterials & *sintered body*s: Every day thousands of surgical procedures are performed to replace. *Materials Today*, 14(3), 88–95. https://doi.org/10.1016/S1369-7021(11)70058-X

[3] Chiara, G., Letizia, F., Lorenzo, F., Edoardo, S., & Diego, S. (2012). Nanostructured biomaterials for tissue engineered bone tissue reconstruction. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(1), 737–757. https://doi.org/10.3390/ijms13010737

[4] Deivandra, B., Bhakti, G., Dwi Haryadi, G., & Umardani, Y. (2013). Analisis struktur mikro dan sifat mekanis hasil las titik dan brazing untuk industri rumahan. *Jurnal Teknik Mesin S-1*, 1(2), 1–8.

[5] da Silva, L. F., et al. (2017). Effect of ceramic particles on surface appearance of polymer-based materials. *Polymer Testing*, 60, 111–117. https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2017.04.018

[6] Dhandayuthapani, B., Yoshida, Y., Maekawa, T., & Kumar, D. S. (2011). Polymeric *sintered body*s in tissue engineering application: A review. *Journal of Nanomaterials*, 2011, Article 290602. https://doi.org/10.1155/2011/290602

[7] Djustiana, N., Faza, Y., & Hardiyansyah, A. (2021). Uji sitotoksisitas mikrofiber *PMMA* dan *PMMA*-alumina wetspinning pada kultur sel primer L-929 sebagai aplikasi penguat jembatan gigi. *Padjadjaran Journal of Dentistry Research & Students*, 4(1), 164–168. https://doi.org/10.24198/pjdrs.v4i1.36304

[8] Esen, Z., & Bor, Ş. (2007). Processing of titanium foams using magnesium spacer particles. *Scripta Materialia*, 56(5),341–344. https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2006.11.010

[9] Herda, E., & Puspitasari, D. (2016). Tinjauan peran dan sifat material yang digunakan sebagai *sintered body* dalam rekayasa jaringan. *Jurnal Material Kedokteran Gigi*, 1(5), 56–63.

[10] Herdy, P. (2020). *Material teknik (Logam, keramik, polimer, dan komposit)*. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23703.60320

[11] Indra, A., Hadi, F., Mulyadi, I. H., Affi, J., & Gunawarman. (2021). A novel fabrication procedure for producing high strength hydroxyapatite ceramic *sintered body*s with high porosity. *Ceramics International*, 47(19), 26991–27001. https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.06.112

[12] Indra, A., Putra, A. B., Handra, N., Fahmi, H., Nurzal, Asfarizal, Perdana, M., Anrinal, Subardi, A., Affi, J., & Gunawarman. (2022). Behavior of *sintered body* properties of hydroxyapatite ceramics: Effect of uniaxial pressure on green body fabrication. *Materials Today Sustainability*, 17, 100100. https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2021.100100

[13] Jha, N., Mondal, D. P., Dutta Majumdar, J., Badkul, A., Jha, A. K., & Khare, A. K. (2013). Highly porous open cell Ti-foam using NaCl as temporary space holder through powder metallurgy route. *Materials & Design*, 47, 810–819. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.01.005

[14] Karande, T. S., & Agrawal, C. M. (2008). Functions and requirements of synthetic *sintered body*s in tissue engineering. In *Tissue Engineering for Artificial Organs* (pp. 53–86).

[15] Laptev, A., Bram, M., Buchkremer, H. P., & Stöver, D. (2004). Study of production route for titanium parts combining very high porosity and complex shape. *Powder Metallurgy*, 47(1), 85–92. https://doi.org/10.1179/003258904225015536

[16] Lee, W. E., & Rainforth, W. E. (1994). Sifat-sifat khusus alumina dengan kemurniaan alumina (pp. 3–19).
[17] Mboi, N. (2013). *Riset kesehatan dasar*. Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan.
[18] Oh, I. H., Nomura, N., Masahashi, N., & Hanada, S. (2003). Mechanical properties of porous titanium compacts prepared by powder *sintering*. *Scripta Materialia*, 49(12), 1197–1202. https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2003.08.018
[19] Pramanik, S., & Pingguan-Murphy, B. (2012). Progress of key strategies in development of electrospun *sintered body*s for bone tissue. *Science and Technology of Advanced Materials*, 13(4), 043002. https://doi.org/10.1088/1468-6996/13/4/043002
[20] Ridwan, M., Nawawi, Z. M., & Kom, S. (2014). Sintesis dan karakterisasi hidroksiapatit (HAp) dari kulit kerang darah (Anadara granosa) dengan proses hidrotermal. *Prosiding Seminar Nasional Material* (pp. 418).
[21] Pramanik, S., & Pingguan-Murphy, B. (2012). Progress of key strategies in development of electrospun *sintered body*s for bone tissue. *Science and Technology of Advanced Materials*, 13(4), 043002. https://doi.org/10.1088/1468-6996/13/4/043002
[22] Ridwan, M., Nawawi, Z. M., & Kom, S. (2014). Sintesis dan karakterisasi hidroksiapatit (HAp) dari kulit kerang darah (Anadara granosa) dengan proses hidrotermal. *Prosiding Seminar Nasional Material* (pp. 418).
[23] Seyedraoufi, Z. S., & Mirdamadi, Sh. (2013). Synthesis, microstructure and mechanical properties of porous Mg-Zn *sintered body*s. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 21, 1–8. https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2013.01.023
[24] Subali, D. B., Yulianti, I., & Alvian. (2018). Implementasi model pelatihan pembelajaran IPA berbasis Digital Image Creator for Optical Microscope (DIGICOM) pada guru fisika kabupaten. *Unnes Physics Education Journal*, 7(3), 3–8.
[25] Velasco, D., Elvira, C., Fraile, J., & Gómez-Morales, J. (2010). Preparation in supercritical CO2 of porous *PMMA*–PLA *sintered body*s. *The Journal of Supercritical Fluids*, 55(2), 300–307. https://doi.org/10.1016/j.supflu.2010.05.012
[26] Wahab, N., & Ramli, I. (2020). Salt purification analysis using batch and continuous hydroextraction methods in Jeneponto District. *Jurnal Ilmiah Techno Entrepreneur Acta*, 5(1).
[27] Zahari, N. K., Idrus, H., & Chowdhury, S. R. (2017). Laminin-coated poly(methyl methacrylate) (*PMMA*) nanofiber *sintered body* facilitates the enrichment of skeletal muscle myoblast population. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(11), 2242. https://doi.org/10.3390/ijms18112242
[28] Ellakwa, A. E., Shortall, A. C., & Marquis, P. M. (2008). Influence of filler distribution on properties of alumina-filled resin composites. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 19(6), 2375–2381. https://doi.org/10.1007/s10856-007-3341-5
[29] Jasim, A. A., & Ismail, I. J. (2014). Physical and mechanical properties of *PMMA*/alumina nanocomposite. *International Journal of Basic and Applied Sciences*, 3(4), 374–378.
[30] Vojdani, M., Giti, R., & Zareeian, M. (2012). The effect of alumina nanoparticles on the flexural strength of *PMMA* resin. *Journal of Dental Research, Dental Clinics, Dental Prospects*, 6(4), 132–136. https://doi.org/10.5681/joddd.2012.028
[31] Yousef, S., et al. (2019). Influence of ceramic fillers on optical properties of polymer composites. *Journal of Materials Research*, 34(5), 677–690.