(2025), 3 (6): 1-11 **Scientica** 3021-8209

Jurnal Ilmiah Sain dan Teknologi

PENGARUH PENAMBAHAN SILIKA TERHADAP SIFAT FISIK DAN MEKANIK *PMMA*

Haznul Fitra [1], Ade Indra [2], Nofriady Handra [3], Mastariyanto Perdana [4]

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

[1]2021110020haznul@itp.ac.id

Abstract (English)

This study investigates the effect of silica addition on the physical and mechanical properties of Polymethyl Methacrylate (PMMA), developed as an alternative biomaterial for medical applications, particularly as a sintered body for bone replacement. PMMA was used as the primary matrix and mixed with silica powder as a filler in five different weight ratios (%wt): 95:5, 90:10, 85:15, 80:20, and 75:25. The samples were fabricated using a granule casting method and sintered at 144°C for 2 hours with a heating rate of 5°C/min. Characterization was conducted using a Digital Microscope to observe the microstructure, while density and compressive strength tests were performed to evaluate physical and mechanical properties. The results showed that increasing silica content led to a greater number of pores, negatively impacting both the density and mechanical strength of the material. The highest density was recorded at 0.8974 g/cm³ for the 95:5 composition, while the lowest was 0.4284 g/cm³ at the 75:25 composition. Similarly, compressive strength decreased significantly from 45.8 MPa (95:5) to only 2.4 MPa (75:25). This decline is attributed to silica's inability to bond effectively with PMMA at the sintering temperature, resulting in a porous structure due to the stark difference in sintering temperatures between the two materials.

Article History

Submitted: 29 Agustus 2025

Accepted: 1 September 2025

Published: 2 September 2025

Key Words

PMMA, silica, sintered body, density, compressive strength, biomaterial.

Abstrak (Indonesia)

Penelitian ini membahas pengaruh penambahan silika terhadap sifat fisik dan mekanik *Polymethyl Methacrylate* (*PMMA*) yang dikembangkan sebagai bahan alternatif biomaterial untuk aplikasi medis, khususnya sebagai *sintered body* pengganti tulang. *PMMA* digunakan sebagai matriks utama yang dicampur dengan serbuk silika sebagai pengisi (*filler*) dalam lima variasi komposisi berat (%Wt): 95:5, 90:10, 85:15, 80:20, dan 75:25. Proses pengolahan dilakukan melalui metode *granule casting* dan sintering pada suhu 144°C selama 2 jam dengan laju pemanasan 5°C/menit. Sampel dikarakterisasi menggunakan *Digital Microscope* untuk pengamatan struktur mikro, serta diuji densitas dan kekuatan tekan (*compressive strength*). Hasil pengamatan menunjukkan bahwa peningkatan kandungan silika menyebabkan terbentuknya pori-pori lebih banyak, yang berdampak pada penurunan densitas dan kekuatan mekanik material. Densitas tertinggi diperoleh pada komposisi 95:5 sebesar 0,8974 g/cm³, sedangkan terendah pada komposisi 75:25 sebesar 0,4284 g/cm³. Sementara itu, nilai *compressive strength* menurun drastis dari 45,8 MPa (95:5) menjadi hanya 2,4 MPa (75:25). Penurunan performa ini disebabkan oleh ketidakmampuan silika untuk menyatu sempurna dengan *PMMA* akibat perbedaan temperatur sintering yang signifikan, di mana silika tetap kaku dan tidak tersintering pada suhu 144°C.

Sejarah Artikel

Submitted: 29 Agustus 2025

Accepted: 1 September 2025

Published: 2 September 2025

Kata Kunci

PMMA, silika, *sintered body*, densitas, *compressive strength*, biomaterial

1. Pendahuluan

Material atau bahan telah menjadi kebutuhan penting bagi manusia sejak zaman dahulu hingga saat ini. Ilmu material (*material science*) adalah bidang ilmu yang mempelajari keterkaitan antara struktur material dan sifat-sifatnya. Sementara itu, rekayasa material (*material engineering*) berfokus pada hubungan antara struktur dan sifat bahan, serta

merancang struktur tersebut untuk memperoleh sifat-sifat yang diinginkan. Berdasarkan pengertian tersebut, material teknik dapat diartikan sebagai bahan yang digunakan untuk membentuk suatu objek serta dimanfaatkan dalam proses rekayasa dan perancangan di bidang teknik.

Material teknik di dunia rekayasa (teknik) hanya diterapkan pada bidang teknik mesin, teknik elektro, teknik sipil ataupun untuk desain yang melibatkan bahan. Contoh penggunaan material teknik untuk transmisi rodagigi, body kendaraan, body alat berat, struktur bangunan, dll. Klasifikasi material teknik secara umum dibagi menjadi 4 kelompok yaitu: Logam, Keramik, Polimer, dan Komposit [1].

Saat ini, sektor medis sangat membutuhkan bahan yang dapat menggantikan atau memperbaiki fungsi sistem tubuh manusia yang mengalami kerusakan, khususnya pada tulang yang tidak lagi dapat berfungsi dengan baik. Oleh karena itu, para ilmuwan dan ahli teknologi, terutama di bidang teknik mesin, fokus pada pengembangan material yang bisa menggantikan tulang yang rusak dan memiliki sifat yang diterima oleh tubuh manusia. Dalam hal ini, material polimer menjadi salah satu jenis bahan yang cocok untuk diterapkan, karena sifatnya yang dapat dibentuk dan sesuai untuk tubuh manusia. Sebagai contoh, *polymethyl methacrylate* adalah salah satu material polimer yang termasuk dalam kategori biomaterial [2].

Salah satu contoh polimer yang termasuk biomaterial adalah *Polymethyl Methacrylate* (*PMMA*). *PMMA* merupakan homopolimer hasil dari reaksi polimerisasi adisi metil metakrilat, dan dikenal secara komersial dengan nama flexiglass (kaca fleksibel). Material ini berbentuk plastik transparan yang keras, kuat, namun tetap ringan dan lentur [3] Selain itu, kekuatan mekanik *PMMA* sangat penting dalam rekayasa jaringan tulang, khususnya dalam pembuatan bio-scaffold yang membutuhkan stabilitas struktural jangka panjang serta tingkat biokompatibilitas yang tinggi, aspek yang sangat krusial dalam aplikasi rekayasa jaringan [4]. Dengan semakin meningkatnya penggunaan material dalam bidang medis, permintaan terhadap *PMMA* pun ikut bertambah, baik di tingkat nasional, regional, maupun global. Di Indonesia sendiri, industri alat kesehatan tumbuh pesat, tercatat mengalami peningkatan sebesar 25,3% pada tahun 2018. Namun, dari seluruh produk alat kesehatan yang beredar di pasar, hanya sekitar 6% yang merupakan produk dalam negeri, lebih rendah dibandingkan Malaysia (10%), Vietnam (13%), dan Thailand (33%). Akibatnya, sekitar 94% kebutuhan alat kesehatan di Indonesia harus dipenuhi melalui impor [5].

Silika merupakan salah satu kandidat bahan tambahan untuk *PMMA*. Material ini telah banyak diteliti karena memiliki sifat biokompatibilitas yang tinggi, sehingga dapat diterima oleh tubuh [6]. Silika sendiri adalah material biokompatibel yang berasal dari hasil polimerisasi asam silikat, dengan rumus kimia SiO_2. Ia memiliki karakteristik mekanik yang baik dan secara alami dapat ditemukan dalam berbagai bahan seperti pasir, kuarsa, dan lainnya [7]. Dalam beberapa tahun terakhir, silika bersama dengan kalsium banyak dimanfaatkan sebagai bahan bioaktif, khususnya dalam pembuatan komposit untuk aplikasi perbaikan tulang. Selain itu, silika juga digunakan di berbagai industri seperti produksi pigmen, farmasi, keramik, dan katalis[8].

Pada penelitian sebelumnya, *scaffold* berbahan *PMMA* dibuat menggunakan metode granule casting. Proses ini diawali dengan penggunaan *PMMA* sebagai material utama yang kemudian dihancurkan menggunakan *cold cutting method* (*CCm*) hingga menjadi butiran dengan bentuk memanjang yang tidak beraturan. Setelah itu, butiran *PMMA* dicampurkan dengan aquades. Namun, hasil akhir menunjukkan bahwa kualitas *scaffold* yang dihasilkan hanya berada pada tingkat batas minimum [9]. Maka perlu dilakukan pengembangan metode pembuatan *sintered body* dari *PMMA* yang dipadukan dengan silika, guna meningkatkan kekuatan mekanik material.

pada penelitian ini, material utama pembuatan *sintered body* ialah *PMMA* dengan penambahan silika dengan variasi berat 95:5, 90:10, 85:15, 80:20, 75:25. Penelitian ini

dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan silika pada *PMMA* yang ditinjau dari sifat fisik dan sifat mekanik.

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 (*Hot Cutting method*) merupakan suatu teknik di mana spesimen yang telah dihaluskan tanpa diberikan perlakuan pendinginan. Dimana, pada proses HCm ini dilakukan pada temperatur ruang, dengan metode ini secara simultan menghasilkan potongan sambil menyegel tepi untuk mencegah fraying atau retakan..

2.3 Silika

Silika adalah kumpulan mineral yang terdiri dari satu atom silikon (Si) dan dua atom oksigen (O_2)[10]. Di alam, senyawa asam silikat ini dapat ditemukan dalam berbagai bahan alami seperti pasir, kuarsa, kaca, dan lainnya [7] Silika berperan dalam mendukung proses mineralisasi serta meningkatkan proliferasi sel tulang. Selain itu, silika merupakan unsur penting bagi pertumbuhan tulang yang normal dan telah banyak dimanfaatkan untuk regenerasi jaringan sejak pengembangan bioglass[11].

Silikon dioksida (SiO_2) adalah material yang menonjol karena memiliki sejumlah sifat unggul, antara lain biokompatibilitas, tidak bersifat toksik, serta berperan penting dalam proses pembentukan dan regenerasi tulang. Selain itu, SiO_2 juga dikenal memiliki kekuatan mekanik dan ketahanan yang baik.[12].

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 disintering 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].

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

Keterangan:

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

2.7 pengujian densitas

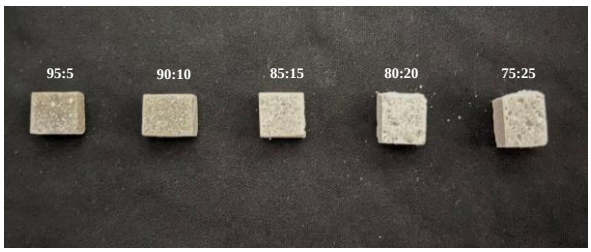
Densitas merupakan parameter penting yang menggambarkan karakteristik suatu material. Dengan mengetahui densitas, kita dapat memahami sifat fisik bahan, membandingkannya dengan material lain, serta menggunakannya di berbagai bidang ilmu dan industri. Densitas, atau massa jenis, adalah sifat fisik yang menunjukkan jumlah massa dalam volume tertentu. Densitas mencerminkan tingkat kerapatan partikel atau molekul dalam suatu bahan. Berdasarkan SI densitas dinyatakan dalam satuan (g/cm^3). Densitas dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\rho = \frac{m}{v} \qquad (2)$$

Dimana : ρ = massa jenis ($g/cm3$)
m = massa (g)
v = volume (cm^3)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Sampel *Sintered body PMMA*



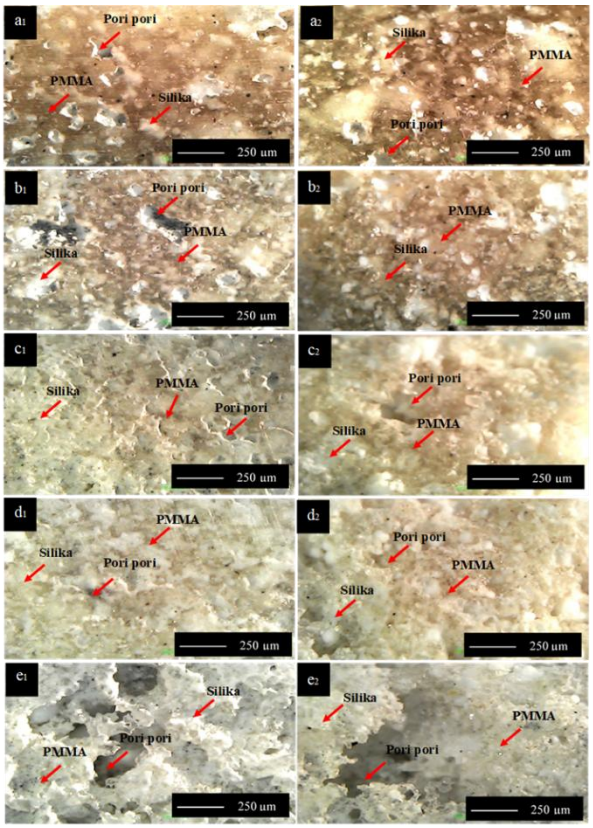
Gambar 1. Sampel *Sintered body PMMA*

Terlihat pada gambar 3.1 adalah gambar *Sintered body PMMA* mesh 270, perbandingan *PMMA* dengan Silika (%berat) yaitu 95:5 90:10 85:15 80:20 75:25 disintering 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 silika 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* (DM). Mesh 270 dengan perbandingan berat *PMMA* dengan silika (%berat) yaitu 95:5 90:10 85:15 80:20 75:25 yang mana *PMMA* sebagai matriks, silika sebagai pengisi (*filler*). Dapat dilihat pada gambar (a_1 sampai d_2) bahwasanya terdapat pori-pori yang belum begitu banyak pada *sintered body PMMA*. Namun pada gambar (e_1 sampai e_2) terjadi peningkatan pori-pori yang sangat signifikan pada *sintered body PMMA.* Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa pada setiap perbandingan memiliki peningkatan pori pori. Pada pengamatan kali ini dapat terlihat sampel yang memiliki pori-pori paling banyak terdapat pada perbandingan 75:25 (%berat), hal ini diduga karena perbedaan temperatur sintering yang sangat jauh berbeda antara *PMMA* dengan Silika yang mengakibatkan silika tidak ikut tersintering dengan *PMMA*. Karena sintering dilakukan pada temperatur 144 ºC sedangkan temperatur sintering silika di angka 1.557 ºC, jadi silika tidak akan tersintering atau berubah bentuk pada temperatur sintering 144 ºC. Sebaliknya silika tetap kaku dan inert sedangkan *PMMA* mulai melunak, inilah salah satu alasan mengapa pori pori bisa terbentuk.



Gambar 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

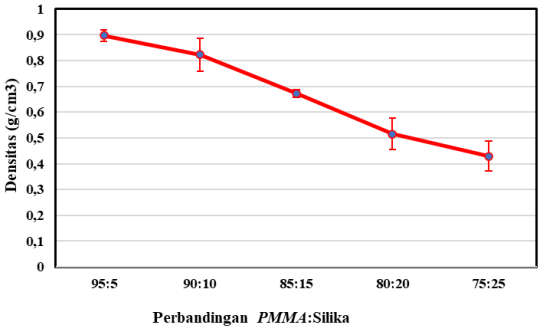
Dapat juga dilihat dari hasil DM pada gambar 4.2 diatas bahwa semakin banyak penambahan silika semakin banyak pori-pori yang dihasilkan. Hal ini berdampak pada densitas dan nilai *compressive strenght* yang menurun, karena banyaknya pori-pori pada *sintered body PMMA*.

3.3 Pengujian Densitas

Densitas merupakan salah satu parameter penting yang menjelaskan sifat suatu material. Melalui nilai densitas, kita bisa mengenali ciri-ciri fisik suatu bahan, melakukan perbandingan dengan material lain, dan mengaplikasikannya di berbagai disiplin ilmu. Densitas sendiri menggambarkan banyaknya massa yang terdapat dalam suatu volume tertentu. Sifat ini menunjukkan tingkat kerapatan partikel atau molekul di dalam suatu material.

Tabel 1. Rata-rata densitas *sintered body PMMA* dan standar deviasi

komposisi	Densitas	Standar deviasi
95:5	0,8974	0,0217
90:10	0,8225	0,0646
85:15	0,6732	0,0145
80:20	0,5157	0,061
75:25	0,4284	0,058



Gambar 2. Grafik uji densitas *sintered body PMMA*

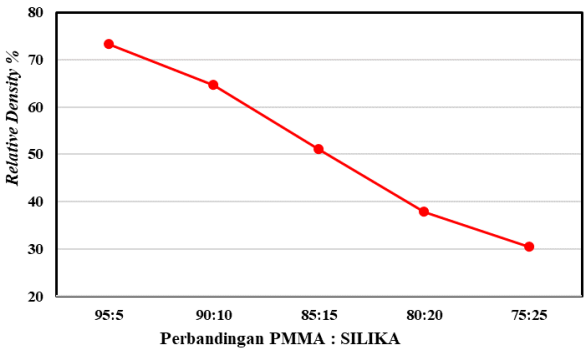
Hasil pengujian densitas pada *sintered body PMMA* dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan Gambar 3.3 diatas. Grafik tersebut menunjukan hubungan antara perbandingan *PMMA* : silika (% berat) terhadap densitas *sintered body PMMA*, dimana terjadi penurunan densitas secara bertahap seiring meningkatnya kandungan silika dalam campuran. Pada perbandingan 95:5 (% berat), densitas tercatat sebesar 0,8974 g/cm³ dan terus menurun hingga 0,4284 g/cm³ pada perbandingan 75:25 (% berat). Meskipun pada perbandingan 95:5 (% berat) nilai densitas masih tinggi, hasil pengamatan struktur mikro menunjukan bahwa pori-pori sudah mulai terbentuk.

Seiring meningkatnya kandungan silika ke perbandingan 90:10 hingga 85:15 (% berat), pori-pori yang terbentuk menjadi lebih banyak dan lebih besar. Ini menyebabkan penurunan densitas dari 0,8225 g/cm³ ke 0,6732 g/cm³. ketika perbandingan mencapai 80:20 dan 75:25 (% berat) silika tidak sepenuhnya menyatu dengan matriks *PMMA* cendrung membentuk pori-pori yang memperbesar volume rongga dalam material. Hal ini menghasilkan penurunan densitas menjadi 0,5157 g/cm³dan 0,4284 g/cm³.

Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa nilai densitas pada masing-masing perbandingan mengalami penurunan. Jadi semakin banyak penambahan silika pada *PMMA* semakin banyak terbentuknya pori-pori yang mengakibatkan penurunan pada densitas *sintered body PMMA*.

Tabel 2. *Relative density sintered body PMMA* dan standar deviasi

komposisi	Relative density	Standar deviasi
95:5	73	0,0217
90:10	65	0,0646
85:15	51	0,0145
80:20	38	0,061
75:25	30	0,058



Gambar 3. Grafik *relative density*

Grafik di atas menunjukkan tren penurunan nilai *relative density* seiring meningkatnya penambahan silika dalam campuran *PMMA*. Komposisi *PMMA*:silika 95:5 (% berat) memiliki nilai *relative density* tertinggi sebesar 73%, yang kemudian terus menurun secara bertahap hingga mencapai 30% pada komposisi 75:25 (% berat). Penurunan ini mengindikasikan bahwa semakin tinggi kandungan silika, semakin rendah kerapatan relatif material yang terbentuk. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh distribusi butir silika yang kurang merata atau tidak sepenuhnya menyatu dengan matriks *PMMA*, sehingga membentuk pori-pori dalam struktur material. Semakin besar kandungan silika, semakin besar pula kemungkinan terbentuknya *pori-pori* yang mengurangi kepadatan *sintered body PMMA*. Selain itu, silika yang tidak mengalami ikatan yang baik dengan *PMMA* dapat menyebabkan penurunan efisiensi pemadatan saat proses sintering atau pencetakan, sehingga menurunkan nilai *relative density* secara keseluruhan.

Dari grafik ini, dapat disimpulkan bahwa penambahan silika dalam jumlah besar berbanding terbalik dengan kerapatan relatif material, dan komposisi *PMMA*:silika 95:5 hingga 90:10 (% berat) merupakan kisaran yang masih mempertahankan struktur yang relatif padat dan minim pori-pori.

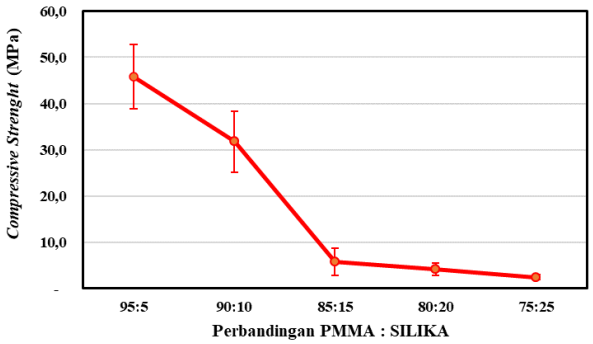
4.4 Pengujian *Compressive Strength*

[16] menyatakan bahwa uji kuat tekan adalah uji kemampuan suatu bahan untuk menahan beban atau tekanan yang diberikan pada saat bahan atau bahan tersebut ditekan. Tujuan dari pengujian *Compressive strength* pada material adalah untuk mengetahui kekuatan atau ketahanan suatu material yang akan digunakan sebagai bahan alternatif.

Dalam pengujian *Compressive strength* kali ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan sampel *Sintered body PMMA* menahan beban tekanan 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. Rata-rata *Compressive strength sintered body PMMA* dan standar deviasi

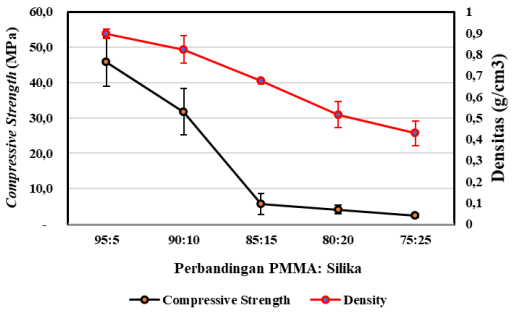
komposisi	Compressive strength	Standar deviasi
95:5	45,8	6,92
90:10	31,7	6,55
85:15	5,7	2,99
80:20	4,1	1,30
75:25	2,4	0,54



Gambar 5.Grafik *Compressive Strenght sintered body PMMA*

Hasil pengujian *compressive strenght* pada *Sintered body PMMA* dapat dilihat pada tabel 3.3 dan gambar 3.5 diatas. Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa nilai *compressive strenght* pada masing-masing perbandingan mengalami penurunan, dimana pada perbandingan 95:5 (% berat) didapat nilai *compressive strenght* 45,8 MPa mengalami penurunan pada perbandingan 90:10 (% berat) dengan nilai *compressive strenght* 31,7 MPa. Lalu terjadi penurunan yang signifikan pada perbandingan 85:15 (% berat) dengan nilai *compressive strenght* 5,7 MPa ke perbandingan 80:20 (% berat) dengan nilai *compressive strenght* 4,1 MPa. Lalu terjadi penurunan yang tidak signifikan dari perbandingan 75:25 (% berat) dengan nilai *compressive strenght* 2,4 MPa.

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa semakin besar jumlah persentase berat silika di *PMMA*, maka nilai *compressive strenght* yang didapat akan semakin kecil, hal ini dikarenakan jumlah pori-pori yang terbentuk pada *sintered body PMMA* semakin banyak, sehingga untuk kekuatan tekan dari *sintered body PMMA* akan berkurang.



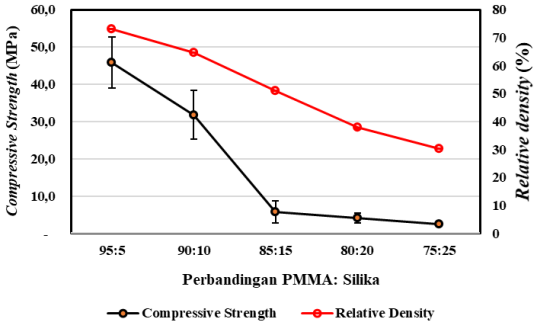
Gambar 4. Grafik Gabungan Densitas dan*Compressive strength sintered body PMMA*

Berdasarkan grafik perbandingan antara *PMMA* dan silika terhadap sifat fisik (densitas) dan mekanik (*compressive strength*), terlihat adanya penurunan signifikan pada kedua sifat tersebut seiring meningkatnya kandungan silika dalam campuran. Nilai *compressive strength* tertinggi tercatat pada komposisi *PMMA*:silika 95:5 (% berat), yaitu sebesar 45,8 MPa, kemudian menurun tajam hingga mencapai 2,4 MPa pada komposisi 75:25 (% berat). Penurunan paling drastis terjadi pada perbandingan 85:15 (% berat), yang hanya mencapai 5,7 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar silika, semakin lemah ikatan antar butir dalam matriks *PMMA*, sehingga kekuatan tekan material menurun signifikan. Silika yang bersifat kaku dan getas cenderung tidak menyatu secara optimal dengan *PMMA*, terutama dalam jumlah besar, sehingga menyebabkan terjadinya cacat struktural dan penurunan kekuatan tekan.

Sementara itu, nilai densitas juga menunjukkan tren penurunan bertahap seiring dengan peningkatan fraksi silika. Densitas tertinggi tercatat sebesar 0,8974 g/cm³ pada komposisi 95:5

(% berat), dan terus menurun hingga mencapai 0,4284 g/cm³ pada komposisi 75:25 (% berat). Penurunan densitas ini mengindikasikan bahwa struktur material menjadi lebih berpori dan kurang padat akibat penambahan silika yang berlebihan.

Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa komposisi *PMMA*:silika 95:5 (% berat) merupakan perbandingan paling optimal, karena masih mampu mempertahankan sifat mekanik dan fisik yang baik. Penambahan silika dalam jumlah lebih dari 10% justru menurunkan performa material secara signifikan.



Gambar 5. Grafik Gabungan *Relative Density* Dan *Compressive Strength Sintered body PMMA*

Grafik ini menunjukan hubungan antara perbandingan *PMMA*:silika terhadap dua parameter penting yaitu *compressive strength* (MPa) dan *relative density* (%) dari *sintered body PMMA*. Terlihat bahwa kedua parameter tersebut mengalami penurunan yang signifikan seiring dengan meningkatnya kandungan silika dalam *PMMA*. Pada perbandingan 95:5 (% berat) kekuatan tekan mencapai 45,8 MPa dengan *relative density* 73%. Namun pada perbandingan 90:10 (% berat) kedua parameter menurun menjadi 31,7 MPa untuk kekuatan tekan dan 65% untuk *relative density*. Penurunan yang sangat signifikan pada perbandingan 85:15 (% berat)dimana kekuatan tekan turun drastis ke 5,7 MPa dan *relative density* menjadi 51%. Pada perbandingan 75:25 (% berat) dimana kekuatan tekan nilai paling rendah sebesar 2,4 MPa dan *relative density* hanya 30%.

Penurunan ini menunjukan adanya korelasi yang kuat antara *relative density* dengan kekuatan tekan. Semakin rendah *relative density* suatu material, semakin rendah pula kekuatan tekannya. Hal ini dapat dijelaskam oleh meningkatnya pori-pori akibat penambahan silika yang menyebabkan struktur material kurang padat sehingga tidak mampu menahan beban secara optimal.

4. Kesimpulan

1. Pada pengamatann struktur mikro pada *sintered body PMMA* menggunakan Digital Mikroskop (DM) dan dapat disimpulkan bahwa semakin banyak presentase penambahan silika pada *PMMA* menghasilkan banyak pori-pori yang mengakibatkan penurunan sifat mekanik pada *sintered body PMMA*.
2. Nilai densitas *sintered body PMMA* yang didapatkan semakin menurun pada masing masing perbandingan, hal ini disebabkan oleh semakin banyak silika ditambahkan pada *PMMA* semakin banyak menghasilkan pori-pori.
3. Nilai *Compressive Strenght* yang didapat semakin menurun pada masing masing perbandingan, hal ini disebabkan karena semakin banyak presentase penambahan silika pada *PMMA* semakin banyak menghasilkan pori-pori karena perbedaan temperatur sintering yang sangat jauh antara *PMMA* dan silika yang mengakibatkan silika tidak ikut tersintering sehingga menghasilkan banyak pori-pori.

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] C. Pramono, "MATERIAL TEKNIK," 2020.
[2] N. K. Zahari, R. B. H. Idrus, and S. R. Chowdhury, "Laminin-coated poly(Methyl methacrylate) (*PMMA*) nanofiber scaffold facilitates the enrichment of skeletal muscle myoblast population," *Int J Mol Sci*, vol. 18, no. 11, 2017, doi: 10.3390/ijms18112242.
[3] A. M Mustika, "Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Metil Metakrilat Dari Bahan Baku Metanol Dan Asam Metakrilat," 2021.
[4] D. Velasco, L. Benito, M. Fernandez-Gutierrez, J. S. Roman, and C. Elvira, "Preparation in supercritical CO 2 of porous poly(methyl methacrylate)–poly(l-lactic acid) (*PMMA*–PLA) scaffolds incorporating ibuprofen," *JMKG*, vol. 4, no. 2, pp. 34–42, 2010.
[5] I. Sukmana, A. Y. Eka Risano, M. Arif Wicaksono, and R. Adi Saputra, "Perkembangan dan Aplikasi Biomaterial dalam Bidang Kedokteran Modern: A Review," *INSOLOGI: Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 1, no. 5, pp. 635–646, Oct. 2022, doi: 10.55123/insologi.v1i5.1037.
[6] S. Oktaviyani and dan Fitri Afriani, "PERANCAH TULANG BERBASIS KOMPOSIT HIDROKSIAPATIT/SILIKA MELALUI METODE 3D-PRINTING: SEBUAH KAJIAN NARATIF," *JoP*, vol. 6, no. 1, pp. 57–66, 2020.
[7] S. Sulastari and Susila Kristianingrum, "adoc.pub_berbagai-macam-senyawa-silika-sintesis-karakterisa," 2010.
[8] S. Silahooy, "Analisis Serbuk Silika Amorf (SiO2) Berbahan Dasar Pasir," *Scie Map J*, vol. 2, no. 2, pp. 75–78, 2020.
[9] A. Indra *et al.*, "The practical process of manufacturing poly(methyl methacrylate)-based scaffolds having high porosity and high strength," 2023. [Online]. Available: https://ssrn.com/abstract=4372929
[10] A. Rahayu, M. Maryudi, F. F. Hanum, J. A. Fajri, W. D. Anggraini, and U. Khasanah, "Review: Pengolahan Limbah cair Industri dengan Menggunakan Silika A Review: Industrial Liquid Waste Treatment Using Silica," *Open Science and Technology*, vol. 02, no. 01, pp. 2776–169, 2021, [Online]. Available: https://opscitech.com/journal
[11] J. A. Garibay-Alvarado, E. B. Herrera-Ríos, C. L. Vargas-Requena, Á. de Jesús Ruíz-Baltazar, and S. Y. Reyes-López, "Cell behavior on silica-hydroxyapatite coaxial composite," *PLoS One*, vol. 16, no. 5 May, May 2021, doi: 10.1371/journal.pone.0246256.
[12] M. A. Taha, R. A. Youness, and M. Ibrahim, "Biocompatibility, physico-chemical and mechanical properties of hydroxyapatite-based silicon dioxide nanocomposites for biomedical applications," *Ceram Int*, vol. 46, no. 15, pp. 23599–23610, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.ceramint.2020.06.132.
[13] W. E. Lee and Rainforth, "Sifat-Sifat Khusus Alumina Dengan Kemurniaan Alumina," 1994.
[14] * Deivandra, G. Bhakti, G. Dwi Haryadi, and Y. Umardani, "ANALISIS STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIS HASIL LAS TITIK DAN BRAZING UNTUK INDUSTRI RUMAHAN," 2013.

[15] M. Ridwan, Zuhrinal, and S Kom, “Sintesis Dan Karakterisasi Hidroksiapatit (HAp) Dari Kulit. Kerang Darah (Anadara Granosa) Dengan Proses. Hidrotermal,” 2014.
[16] C. D. N. Kusumawardani, R. T. Chondro, I. Andrian, and R. P. Sari, “ Pengaruh penambahan hidroksiapatit terhadap porositas dan compressive strength basis resin akrilik heat-cured Effect of hydroxyapatite addition towards porosity level and compressive strength of heat-cured acrylic resin base ,” *Jurnal Kedokteran Gigi Universitas Padjadjaran*, vol. 32, no. 2, p. 91, Aug. 2020, doi: 10.24198/jkg.v32i2.26627.