

PENGARUH TEMPERATUR SINTERING PADA PRODUK PADAT (*SINTERED BODY*) PMMA DITINJAU DARI SIFAT FISIK DAN MEKANIK

Abdul Munap¹, Ade Indra², Nofriady Handra³, Mastariyanto Perdana⁴

¹ Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Institut Teknologi Padang

¹ 2021110010.abdul@itp.ac.id

Abstract (English)

This study aims to determine the effect of sintering temperature variations on the physical and mechanical properties of the solid product (sintered body) of PMMA made from Poly Methyl Methacrylate (PMMA) material. PMMA is one of the biomaterials with potential use as a bone substitute due to its good biocompatibility. The sintering process was carried out at temperature variations of 112°C, 120°C, 128°C, 136°C, and 144°C, using a heating method with a heating rate of 5°C/min, a holding time of 120 minutes, and cooling inside the furnace. Tests were conducted on the microstructure using a Digital Microscope, density, and compressive strength. The results of the study show that increasing the sintering temperature significantly affects the microstructure, density, relative density, and compressive strength of the PMMA sintered body. At 144°C, PMMA exhibits the best properties with a density of 0.9274 g/cm³, a relative density of 79%, and a compressive strength of 106.50 MPa. This indicates that the grain bonds formed are denser and stronger. Thus, a high sintering temperature plays an important role in enhancing the physical and mechanical properties of PMMA sintered bodies as bone substitute biomaterials.

Article History

Submitted: 24 Agustus 2025

Accepted: 27 Agustus 2025

Published: 28 Agustus 2025

Key Words

PMMA, sintering, temperature, density, compressive strength, biomaterial.

Abstrak (Indonesia)

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur sintering terhadap sifat fisik dan mekanik produk padat (*sintered body*) PMMA dari material Poly Methyl Methacrylate (PMMA). PMMA merupakan salah satu biomaterial yang berpotensi digunakan sebagai pengganti tulang karena memiliki biokompatibilitas yang baik. Proses sintering dilakukan dengan variasi temperatur 112°C, 120°C, 128°C, 136°C, dan 144°C, menggunakan metode pemanasan dengan heating rate 5°C/menit, holding time 120 menit, serta pendinginan di dalam furnace. Pengujian dilakukan terhadap struktur mikro menggunakan *Digital Microscope*, densitas, dan *compressive strength*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan temperatur sintering memberikan pengaruh signifikan terhadap struktur mikro, nilai densitas, nilai *relative density* dan *compressive strength sintered body* PMMA. Pada temperatur 144°C, PMMA menunjukkan sifat terbaik dengan densitas sebesar 0,9274 g/cm³, *relative density* 79%, dan *compressive strength* sebesar 106,50 MPa. Hal ini menandakan bahwa ikatan butir yang terbentuk lebih padat dan kuat. Dengan demikian, temperatur sintering yang tinggi berperan penting dalam meningkatkan performa sifat fisik dan mekanik *sintered body* PMMA sebagai biomaterial pengganti tulang.

Sejarah Artikel

Submitted: 24 Agustus 2025

Accepted: 27 Agustus 2025

Published: 28 Agustus 2025

Kata Kunci

PMMA, sintering, temperatur, densitas, *compressive strength*, biomaterial.

Pendahuluan

Material teknik merujuk pada penerapan dan peningkatan sifat bahan melalui proses, desain, dan pembentukan tertentu. Bidang ini berfokus pada pemahaman hubungan dasar antara struktur dan sifat-sifat bahan. Beberapa jenis material unggul dalam hal ketahanan terhadap korosi dan keuletan. Karena itu, pemahaman material teknik sangat penting bagi insinyur dan ilmuwan. Secara umum, ada tiga kategori utama material teknik, yakni logam, keramik, dan polimer, dengan tambahan material seperti komposit dan semikonduktor [1]. Seiring waktu, teknologi material berkembang pesat, dengan munculnya teknologi-teknologi baru seperti nanoteknologi, smart materials, dan biomaterial.

Di era modern, sektor medis sangat membutuhkan material yang dapat menggantikan atau memperbaiki fungsi sistem tubuh manusia yang rusak, terutama pada tulang yang tidak lagi berfungsi. Oleh karena itu, para ilmuwan dan ahli teknologi, terutama di bidang teknik mesin, fokus pada pengembangan material yang dapat menggantikan tulang rusak dan dapat diterima oleh tubuh manusia. Dalam konteks klasifikasi material, polimer merupakan jenis bahan yang mendekati sifat yang diperlukan untuk aplikasi medis. Salah satu contoh polimer yang termasuk dalam kategori biomaterial adalah *poly Methyl methacrylate (PMMA)* [2].

PMMA adalah polimer yang dibuat dari monomer metil metakrilat, yang bersifat non-biodegradable. Proses polimerisasi metil metakrilat menjadi *PMMA* pertama kali ditemukan pada tahun 1877 oleh dua ahli kimia Jerman, Fittig dan Paul. *PMMA* memiliki sifat hidrofobik dan banyak digunakan dalam bidang medis, khususnya dalam kedokteran gigi [3]. *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 [4].

Secara mekanik, *PMMA* memiliki kekakuan dan kekuatan tarik yang baik, namun bersifat rapuh karena kurang tahan terhadap benturan keras. Dari segi sifat termal, *PMMA* mulai melunak pada suhu sekitar 100°C hingga 120°C dan memiliki titik leleh sekitar 160°C, sehingga tidak cocok untuk aplikasi yang melibatkan suhu tinggi secara terus-menerus. Selain itu, *PMMA* merupakan isolator panas yang baik. Secara kimia, material ini tahan terhadap berbagai bahan kimia seperti asam lemah, alkali, dan alkohol, namun rentan terhadap pelarut kuat seperti aseton dan hidrokarbon aromatik. Dalam bidang kesehatan, khususnya dalam aplikasi ortopedi dan kedokteran gigi, *PMMA (Poly methyl Methacrylate)* memiliki peran penting karena sifat biokompatibilitasnya yang baik. Salah satu penggunaan utamanya adalah sebagai sement tulang (*bone cement*) dalam prosedur arthroplasty, seperti operasi penggantian sendi pinggul atau lutut.

Namun, hingga saat ini masih dibutuhkan pemahaman lebih mendalam mengenai bagaimana proses sintering dengan variasi temperatur dapat mempengaruhi sifat fisik dan mekanik dari *PMMA*, khususnya dalam bentuk padat (*sintered body*). Pada penelitian ini, *PMMA* sebagai material utama pembuat sintered body menggunakan proses sintering dengan variasi temperatur 112; 120; 128; 136; dan 144 (°C) dengan heating rate 5 °C /menit. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh temperatur sintering terhadap produk padat *PMMA* yang di tinjau dari sifat fisik dan mekanik.

Metode Penelitian

2.1. *Poly Methyl Methacrylate (PMMA)*

Poly methyl methacrylate (PMMA) merupakan sejenis polimer yang berasal dari monomer metil metakrilat, sebuah monomer yang bersifat non-biodegradable. Proses konversi metil metakrilat menjadi *PMMA*, yang dikenal sebagai polimerisasi, pertama kali ditemukan pada tahun 1877 oleh dua ahli kimia Jerman, yaitu Fittig dan Paul. *PMMA* juga dikenal dengan nama *poli metil 2-metilpropenoat* menurut *IUPAC* dan memiliki beberapa nama dagang seperti *lucite*, *perspex*, *oroglas*, *goldglas*, *altuglas*, atau *plexiglas*. Sebagai suatu polimer amorf, *PMMA* termoplastik bersifat keras, kaku, dan rapuh pada suhu ruang. Meskipun bersifat sedikit hidrofobik, *PMMA* dapat menjadi lebih hidrofilik setelah bereaksi dengan air, terlihat dari penurunan sudut kontak dan histeresisnya.

PMMA, yang tergolong dalam kelompok poliakrilat, seringkali dijadikan alternatif untuk *Polikarbonat (PC)* karena kemudahan penanganannya dan biaya yang relatif rendah. Dibandingkan dengan material gelas lainnya, *PMMA* lebih transparan dan sedikit rapuh, serta lebih mudah dibentuk dalam berbagai bentuk. Oleh karena itu, *PMMA* merupakan bahan serbaguna yang dapat diterapkan dalam berbagai bidang. *PMMA* banyak digunakan dalam industri dan sektor kesehatan. Dalam industri, *PMMA* dapat berperan sebagai material *matriks*

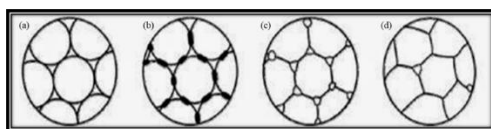
atau *fase minor* untuk meningkatkan karakteristik *matriks biodegradable*. Contohnya dapat ditemukan dalam berbagai aplikasi seperti otomotif, monitor, filing listrik, lensa, pelapis pesawat terbang, dan inkubator bayi. Di bidang kesehatan, *PMMA* digunakan untuk pembuatan sendi buatan, prostesis gigi, implan, lensa kontak, dan perekat tulang, baik yang menggunakan obat maupun 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 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 $> 0^{\circ}\text{C}$, dengan metode ini secara simultan menghasilkan potongan sambil menyegel tepi untuk mencegah fraying atau retakan.

2.3. Sintering

Sintering merupakan proses pemanasan atau pembakaran suatu slip hingga mencapai suhu tinggi, mengubahnya menjadi padatan, dan menyebabkan partikel-partikel di dalamnya bergabung. Suhu sintering biasanya terjadi di bawah titik lebur unsur utama.



Gambar 1. Proses Sintering

Gambar di atas menunjukkan beberapa tahapan dalam proses sintering, yaitu (a) tahap awal model sintering di mana butiran-butiran bersentuhan secara tangensial, (b) akhir tahap awal di mana butiran-butiran mulai bersatu, (c) tahap menengah di mana butiran-butiran sudah menyatu dengan porositas relatif tinggi, dan (d) tahap akhir di mana porositas semakin berkurang. Melalui proses sintering ini, batas-batas antar butir terbentuk, yang merupakan langkah awal dari rekristalisasi. Temperatur sintering pada serbuk alumina adalah 1600°C dan dilakukan selama 2 jam. Pentingnya faktor lingkungan sangat diperhatikan dalam melaksanakan proses sintering, karena objek yang akan disintering dapat terkontaminasi jika tidak dijaga dengan baik. Dimensi dapat mengalami perubahan selama proses sintering, baik itu pemuaian maupun penyusutan, tergantung pada bentuk dan distribusi ukuran partikel, komposisi serbuk, dan prosedur sintering [5].

2.4. Struktur mikro

Struktur mikro merujuk pada komponen terkecil dalam suatu bahan yang tidak dapat dilihat secara langsung dengan mata telanjang, memerlukan alat pengamat struktur mikro seperti mikroskop cahaya, mikroskop elektron, mikroskop field emission, dan mikroskop sinar-X. Struktur mikro mencakup distribusi fasa-fasa, distribusi inklusi, segregasi, efek pengerjaan (dekarburasi, pengerjaan panas, pengerjaan dingin), serta ukuran dan bentuk butir. Analisis struktur mikro dilakukan untuk mengevaluasi sifat-sifat material, menganalisis kegagalan, dan memeriksa proses-proses yang dialami oleh suatu material. Dalam menganalisis struktur mikro, pengetahuan tentang klasifikasi material logam sangat penting. Proses analisis struktur mikro terbagi menjadi tiga tingkatan, yaitu makro, mikro, dan elektron, masing-masing memiliki tujuan dan fungsi tertentu [6].

2.5. Digital Microscope

Mikroskop adalah alat yang biasanya digunakan untuk memeriksa objek kecil pada skala mikro dengan memperbesar tampilan objek melalui lensa [7].

Di sisi lain, Digital Microscope adalah versi modern dari mikroskop optik tradisional yang dilengkapi dengan kamera digital. Dengan menggunakan kamera, mikroskop digital dapat menghasilkan output berupa gambar digital yang dapat dihubungkan dengan perangkat multimedia [8].

2.6 Pengujian Densitas

Densitas adalah parameter penting yang menggambarkan sifat suatu bahan. Dengan mengetahui densitas, kita dapat memahami karakteristik fisik bahan, membandingkan satu bahan dengan lainnya, serta menerapkannya dalam berbagai bidang ilmu dan industri. Densitas (juga dikenal sebagai massa jenis) adalah sifat fisik suatu bahan yang menunjukkan seberapa banyak massa yang terkandung dalam volume tertentu. Densitas menggambarkan tingkat kerapatan partikel atau molekul dalam suatu bahan.

Berdasarkan SI densitas dinyatakan dalam satuan (g/cm^3). Densitas dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (1)$$

Dimana : ρ = massa jenis (g/cm^3)

m = massa (g)

v = volume (cm^3)

2.7. Pengujian *Compressive Strength*

Compressive strength mengacu pada kemampuan suatu material untuk menahan tekanan dan mempertahankan integritasnya di bawah tekanan tertentu. Ini mengindikasikan seberapa besar tekanan yang dapat ditanggung oleh material tersebut sebelum mengalami kerusakan sehingga tidak dapat lagi digunakan sesuai dengan tujuan awalnya. Tekanan maksimum yang dapat diterima oleh suatu material sebelum mengalami kehancuran disebut sebagai *compressive strength* dari material tersebut. Sebagian besar material, khususnya yang bersifat rapuh seperti beton, kaca, keramik, dan lainnya, akan mengalami kerusakan ketika terkena tekanan yang mencapai batas *compressive strength*. Namun, ada juga material yang hanya mengalami perubahan bentuk permanen tanpa hancur, terutama yang memiliki sifat kenyal seperti logam dan plastik. Oleh karena itu, untuk material yang bersifat rapuh, *compressive strength* dapat didefinisikan sebagai nilai tekanan di mana material tersebut akan mengalami kehancuran total. Sementara itu, untuk material yang kenyal, *compressive strength* didefinisikan sebagai nilai tekanan di mana nilai regangan yang diizinkan telah tercapai [9].

Uji *compressive strength* merupakan suatu metode yang digunakan untuk mengevaluasi kekuatan suatu bahan atau material dengan memberikan beban gaya sepanjang sumbu tertentu. Hasil dari pengujian tekan memiliki signifikansi besar dalam rekayasa teknik dan desain produk karena memberikan data yang relevan mengenai kekuatan material tersebut. Uji tekan seringkali dilakukan untuk menyediakan informasi tambahan mengenai kekuatan dasar suatu bahan dan untuk memberikan data pendukung spesifikasi material. Kurva uji tekan memberikan gambaran tentang nilai kekuatan dan elastisitas material uji. Kekuatan tekan mencerminkan kapasitas suatu bahan atau struktur dalam menahan beban yang dapat mengakibatkan penyusutan ukurannya. Proses perekaman kekuatan tekan melibatkan pembuatan kurva tegangan-regangan berdasarkan data yang dihasilkan oleh mesin uji. Beberapa material dapat mengalami patah pada batas tekan, sementara yang lain mengalami deformasi yang bersifat irreversible (tidak dapat dikembalikan). *Compressive strength* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

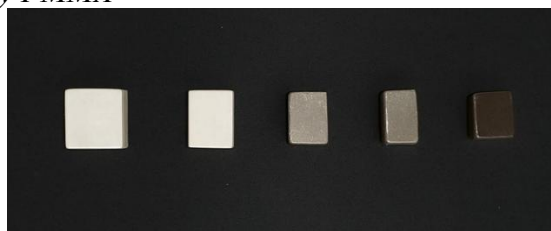
$$\sigma_c = F/A \quad (2)$$

Keterangan:

σ_c : *Compressive strength* (MPa)

F : Gaya tekan (N)

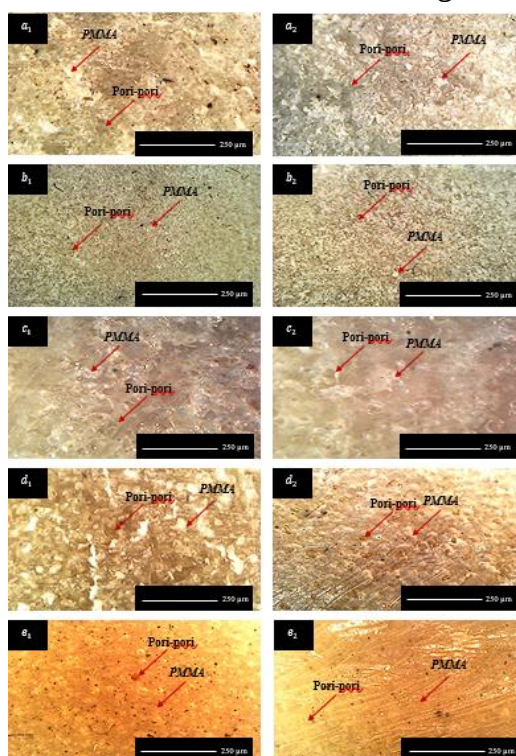
A : Luas penampang

Hasil dan Pembahasan**3.1 Sampel *Sintered Body PMMA***Gambar 2. Sampel *Sintered Body PMMA*

Terlihat pada Gambar 2 adalah gambar *sintered body* PMMA dengan ukuran 1 cm x 1 cm x 0,5 cm, mesh 270, variasi *temperatur* sintering *sintered body PMMA* 112°C, 120°C, 128°C, 136°C dan 144°C, dengan heating rate 5 °C/Menit dan di *holding time* selama 120 menit. Dari Gambar 2 terlihat perbedaan warna, semakin tinggi temperatur sintering maka terlihat pada sampel *sintered body PMMA* terjadi perubahan warna dari terang ke warna yang lebih gelap. Perubahan warna dari terang ke warna yang lebih gelap pada *sintered body PMMA* dikarenakan saat disintering ke temperatur yang lebih tinggi menyebabkan pemecahan rantai molekul *PMMA* (degradasi termal). Pemecahan ini menghasilkan zat-zat baru berwarna gelap. Selain itu, reaksi dengan oksigen (oksidasi) dan pembentukan partikel reaktif (radikal bebas) semakin memperparah perubahan warna tersebut. Jadi, panas tinggi dari sintering merusak struktur kimia dari *sintered body* PMMA sehingga warnanya berubah dari bening atau putih menjadi lebih gelap.

3.2 Pengamatan Struktur Mikro

Pada Gambar 3 merupakan hasil pengamatan struktur mikro *sintered body PMMA* menggunakan *Digital Microscope*, Mesh 270 dengan temperatur sintering 112, 120, 128, 136, dan 144 (°C). Pada gambar 3 (a_1 & a_2) terlihat bahwa *sintered body PMMA* yang disintering dengan temperatur 112°C belum terjadi ikatan butir yang baik, dibuktikan tampaknya butiran besar yang belum terikat dengan baik pada sampel *sintered body PMMA* dikarenakan sangat jauh dari titik leleh *PMMA* yaitu di 160°C. Pada Gambar 3 (b_1 & b_2) terlihat bahwa *sintered body PMMA* yang disintering dengan temperatur 120°C masih sama hal nya pada Gambar 3 (a_1 & a_2). Pada Gambar 3 (c_1 & c_2) terlihat bahwa *sintered body PMMA* yang disintering dengan temperatur 128°C mulai terjadi ikatan butir namun terdapat pori dengan bentuk pori yang besar. Pada Gambar 3 (d_1 & d_2) terlihat bahwa *sintered body* yang disintering dengan temperatur 136°C telah terjadi ikatan butir yang baik dan mulai rapat, yang juga dibuktikan dengan telah naiknya nilai *compressive strength*. Pada Gambar 3 (e_1 & e_2) terlihat bahwa *sintered body PMMA* yang disintering dengan temperatur 144°C telah terjadi ikatan butir yang baik, dan struktur yang rapat, terdapat penyusutan pori-pori yang semakin mengecil. Hal ini juga dibuktikan dengan nilai *relative density* yang meningkat mencapai 79% dan nilai *compressive strength* 105,5 MPa.



Gambar 3. Foto struktur mikro dengan menggunakan DM (a_1) Tempetatur 112°C -SL, (a_2) Tempetatur 112°C -SD, (b_1) Tempetatur 120°C, -SL, (b_2) Tempetatur 120°C -SD, (c_1) Tempetatur 128°C -SL, (c_2) Tempetatur 128°C -SD, (d_1) Tempetatur 136°C -SD, (d_2) Tempetatur 136°C -SL, (e_1) Tempetatur 144°C -SL, (e_2) Tempetatur 144°C -SD

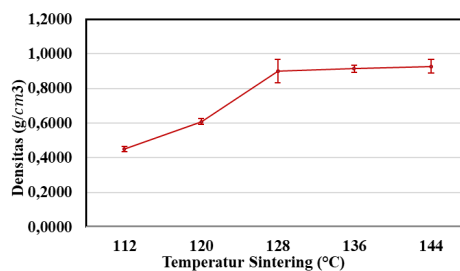
Pada Gambar 3 adalah hasil pengamatan Struktur Mikro Dari SL (Sisi Luar), SD (Sisi Dalam) pada sampel *sintered body* PMMA. Dapat juga dilihat dari hasil DM pada Gambar 3 diatas bahwa semakin naik temperatur sintering maka semakin meningkat ikatan butir dan pori-pori yang semakin mengecil pada *sintered body* PMMA yang dihasilkan. Hal ini akan berpengaruh pada nilai *relative density* dan nilai *compressive strength* pada *sintered body* PMMA.

3.3 Pengujian Densitas

Densitas adalah parameter penting yang menggambarkan sifat suatu material. Dengan mengetahui densitas, kita dapat memahami karakteristik fisik bahan, membandingkannya dengan bahan lain, serta menerapkannya dalam berbagai bidang ilmu. Densitas, adalah sifat fisik bahan yang menunjukkan jumlah massa yang terkandung dalam volume tertentu. Densitas mencerminkan seberapa padat partikel atau molekul yang terdapat dalam suatu material.

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

Sampel (<i>Sintered</i>		
Body PMMA Mesh 270)	Rerata Densitas	Standar Deviasi
Variasi temperatur	(g/cm^3)	
PMMA ($^{\circ}C$)		
112	0,4506	0,0158
120	0,6085	0,0175
128	0,8996	0,0665
136	0,9136	0,0218
144	0,9274	0,0392

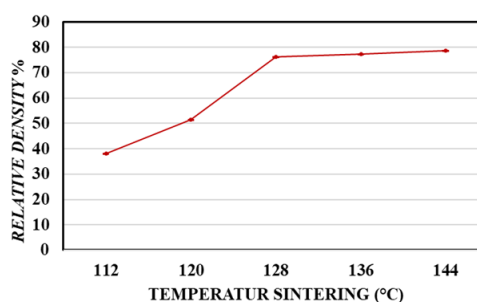
Gambar 4. Grafik uji densitas *sintered body* PMMA

Pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa pada temperatur sintering 112°C sampai dengantemperatur sintering 144°C pada pengujian densitas ini mengalami kenaikan nilai densitas yang signifikan dengan rentang nilai 0,4506 g/cm³ - 0,9274 g/cm³.

Pada gambar 4 dapat diamati bahwa nilai densitas *sintered body* meningkat secara signifikan, densitas *sintered body* ini meningkat secara linier, dikarenakan semakin tinggi variasi temperatur sintering *sintered body* PMMA. Dimana pada temperatur sintering *sintered body* PMMA 112°C didapatkan nilai densitas sebesar 0,4506 g/cm³ dengan nilai standar deviasi sebesar 0,0158. Pada temperatur sintering *sintered body* PMMA 120°C didapatkan nilai densitas sebesar 0,6085 g/cm³ dengan nilai standar deviasi sebesar 0,0175. Pada temperatur sintering *sintered body* PMMA 128°C didapatkan nilai densitas sebesar 0,8996 g/cm³ dengan nilai standar deviasi sebesar 0,0665. Pada temperatur sintering *sintered body* PMMA 136°C didapatkan nilai densitas sebesar 0,9136 g/cm³ dengan nilai standar deviasi sebesar 0,0218 dan pada temperatur sintering *sintered body* PMMA 144°C didapatkan nilai densitas sebesar 0,9274 g/cm³ dengan nilai standar deviasi sebesar 0,0392. Pada pengujian densitas ini didapatkan nilai densitas pada *sintered body* yang terendah pada temperatur 112°C dengan nilai 0,4506 g/cm³ dan nilai densitas tertinggi terdapat pada temperatur 144°C dengan nilai 0,9274 g/cm³, jadi dari pembahasan diatas dapat disimpulkan bahwa pengaruh temperatur sintering sangat mempengaruhi densitas dari *sintered body* PMMA. Pernyataan ini didukung dengan penelitian lainnya dimana peningkatan temperatur sintering menyebabkan peningkatan densitas *sintered body* [10].

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

Sampel (<i>Sintered Body</i> PMMA Mesh 270)	Relative Density (%)	Standar Deviasi
Variasi temperatur PMMA (°C)		
112	38	0,0158
120	52	0,0175
128	76	0,0665
136	77	0,0218
144	79	0,0392

Gambar 5. Grafik *relative density sintered body* PMMA

Pada Tabel 2 dan Gambar 5 dapat diamati bahwa pada tabel dan gambar tersebut menunjukkan hubungan antara temperatur sintering dengan *relative density* dari *sintered body PMMA*. Berdasarkan data yang ditampilkan, terlihat bahwa peningkatan temperatur sintering berdampak langsung terhadap peningkatan *relative density*. Pada temperatur sintering 112°C, *relative density* hanya sebesar 38%. Kemudian meningkat menjadi 52% pada temperatur 120°C. Peningkatan yang paling signifikan terjadi pada temperatur 128°C, di mana *relative density* melonjak menjadi 76%. Setelah temperatur 128°C, peningkatan *relative density* cenderung melambat, yakni menjadi 77% pada 136°C dan 79% pada 144°C. Perlambatan ini menunjukkan bahwa material telah mendekati densitas maksimalnya. Hasil ini menegaskan keberhasilan proses sintering dalam menghasilkan struktur material yang lebih padat dengan ikatan butir pada *sintered body PMMA* yang menyatu lebih sempurna sehingga pori-pori berkurang.

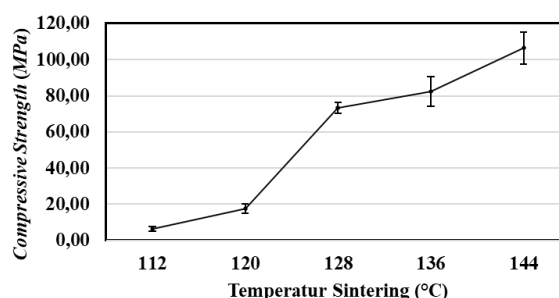
3.4 Pengujian *Compressive Strength*

Compressive strength mengacu pada kemampuan suatu material untuk menahan beban tekan dan mempertahankan bentuknya di bawah beban tekan tertentu. Ini mengindikasikan seberapa besar beban tekan yang dapat ditahan 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. Rata-rata *Compressive strength sintered body PMMA* dan standar deviasi

Sampel (<i>Sintered Body PMMA</i> Mesh 270)	Rerata	
Variasi temperatur <i>PMMA</i> (°C)	<i>Compressive strength</i> (MPa)	Standar Deviasi
112	6,30	1,4
120	17,70	2,65
128	73,20	3,02
136	82,40	8,42
144	106,50	8,77



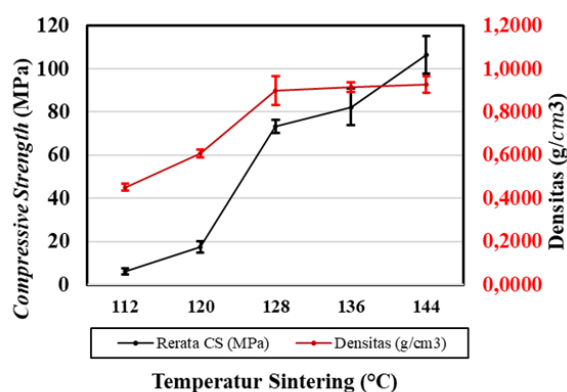
Gambar 6. Grafik *Compressive Strenght sintered body PMMA*

Hasil pengujian *compressive strength* pada *sintered body PMMA* dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 6 diatas. Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa nilai *compressive strength* semakin meningkat seiring naiknya temperatur sintering, dimana pada temperatur 112°C didapati nilai 6,30 MPa. Lalu terjadi kenaikan yang signifikan pada temperatur 120°C

dengan nilai 17,70 MPa ke temperatur 128°C dengan nilai 73,20 MPa. Pada temperatur 136°C dengan nilai 82,40 MPa dan pada temperatur 144°C dengan nilai 106,50 MPa.

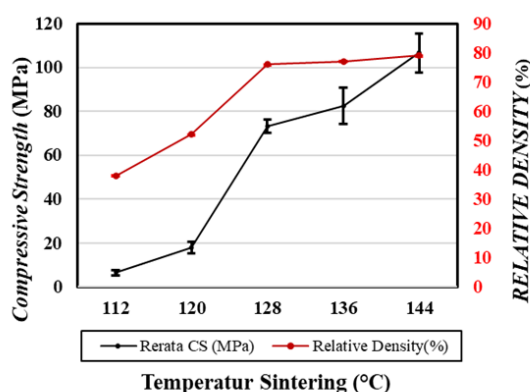
Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur sintering *PMMA*, maka nilai *compressive strength* yang didapat akan semakin besar, hal ini disebabkan oleh peningkatan ikatan butir yang semakin baik pada temperatur sintering yang lebih tinggi, menghasilkan struktur yang lebih padat, dan menghasilkan kekuatan tekan yang tinggi.

3.5 Grafik Gabungan Densitas dan *Compressive Strength*



Gambar 7. Grafik Gabungan Densitas dan *Compressive strength sintered body PMMA*

Pada Gambar 4.6 dapat dilihat pada grafik gabungan antara densitas (g/cm^3) dan *compressive strength* (MPa), bahwa terlihat hubungan linier pada grafik densitas (g/cm^3) dengan grafik *compressive strength* (MPa). Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur sintering, maka densitasnya semakin tinggi, dan semakin tinggi temperatur sinteringnya maka nilai *compressive strength* (MPa) nya juga akan semakin tinggi. Pada Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa pada temperatur 144°C memiliki nilai densitas dan *compressive strength* yang tinggi. Hasil ini menegaskan keberhasilan proses sintering dalam menghasilkan material padat dengan kekuatan mekanik yang tinggi.



Gambar 8. Grafik Gabungan *Relative Density Dan Compressive Strength Sintered Body PMMA*

Pada Gambar 8 dapat dilihat pada grafik gabungan antara *relative density* (%) dan *compressive strength* (MPa), bahwa terlihat hubungan linier pada grafik *relative density* (%) dengan grafik *compressive strength* (MPa). Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur sintering, maka *relative density* akan semakin tinggi, dan semakin tinggi temperatur

sinteringnya maka nilai *compressive strength* (MPa) nya juga akan semakin tinggi. Pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa pada temperatur 144°C memiliki nilai *relative density* dan *compressive strength* yang tinggi. Hasil ini menegaskan keberhasilan proses sintering dalam menghasilkan struktur material yang lebih padat dengan ikatan butir pada *sintered body PMMA* yang menyatu lebih sempurna sehingga pori-pori berkurang dan menghasilkan kekuatan mekanik yang tinggi.

Kesimpulan

1. Pada pengamatann struktur mikro pada *sintered body PMMA* menggunakan *Digital Mikroskope (DM)* dan dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur sintering pada *PMMA* menghasilkan ikatan butir yang semakin baik, menghasilkan struktur yang lebih rapat dan pori-pori semakin mengecil pada *sintered body PMMA*.
2. Nilai densitas *sintered body PMMA* yang didapatkan semakin meningkat seiring naiknya temperatur sintering. Pada pengujian densitas ini didapatkan nilai densitas pada *sintered body* yang terendah pada temperatur 112°C dengan nilai 0,4506 g/cm³ dan nilai densitas tertinggi terdapat pada temperatur 144°C dengan nilai 0,9274 g/cm³. Pada *Relative Density sintered body PMMA* didapatkan nilai yang terendah pada temperatur 112°C dengan nilai 38% dan nilai *Relative Density* yang tertinggi terdapat pada temperatur 144°C dengan nilai 79%. Hal ini disebabkan oleh semakin meningkatnya temperatur sintering *sintered body PMMA* maka menghasilkan struktur material yang lebih padat dengan pori-pori semakin mengecil.
3. Nilai *Compressive Strength* yang didapat semakin meningkat seiring naiknya temperatur sintering. Pada pengujian *Compressive Strength* ini didapatkan nilai pada *sintered body* yang terendah pada temperatur 112°C dengan nilai 6,30 MPa dan nilai tertinggi terdapat pada temperatur 144°C dengan nilai 106,50 Mpa. Hal ini disebabkan bahwa semakin tinggi temperatur sintering *PMMA*, maka nilai *compressive strength* yang didapat akan semakin besar, hal ini disebabkan oleh peningkatan ikatan butir yang lebih baik pada temperatur sintering yang lebih tinggi, menghasilkan struktur yang lebih padat, dan menghasilkan kekuatan tekan yang tinggi.
4. Berdasarkan data pengujian densitas, *relative density* dan *compressive strength*, yang memenuhi syarat kualitas dan karakteristik sebagai *sintered body PMMA* adalah pada temperatur 144°C dengan nilai densitas, *relative density* dan *compressive strength* dengan masing-masing nilainya adalah 0,9274 g/cm³, 79%, dan 106,50 MPa.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan rasa hormat dan terima kasih yang mendalam kepada Institut Teknologi Padang, khususnya Program Studi Teknik Mesin Sarjana, atas dukungan fasilitas, serta kesempatan yang diberikan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik. Apresiasi juga ditujukan kepada semua pihak yang telah memberikan kontribusi, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam penyusunan artikel ilmiah ini. Penulis menyadari bahwa penelitian ini masih memiliki keterbatasan, sehingga masukan berupa kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi penyempurnaan penelitian di masa mendatang.

Daftar Rujukan

- [1] Putu Herdy, "Material Teknik (Logam, Keramik, Polimer, danKomposit).<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23703.60320>," 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] N. Djustiana, Y. Faza, M. Hardhiyuna, and A. Hardiansyah, "Uji sitotoksisitas mikrofiber PMMA dan PMMA-silika wet spinning pada kultur sel primer L-929 sebagai aplikasi

- penguat (Djustiana dkk.) Uji sitotoksitas mikrofiber PMMA dan PMMA-silika wetspinning pada kultur sel primer L-929 sebagai aplikasi penguat jembatan gigi direk Pusat Riset Fisika, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Indonesia,” 2021, doi: 10.24198/pjdrs.v4i1.36304.
- [4] M Mustika, A. (2021). Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Metil Metakrilat Dari Bahan Baku Metanol Dan Asam Metakrilat.
- [5] Lee, W. E., and W. E. Rainforth. 1994. “Sifat-Sifat Khusus Alumina Dengan Kemurniaan Alumina,” 3–19.
- [6] Deivandra, G. Bhakti, G. Dwi Haryadi, and Y. Umardani, “Analisis Struktur Mikro Dan Sifat Mekanis Hasil Las Titik Dan Brazing Untuk Industri Rumahan,” 2013.
- [7] Muqoddam, M., Kartika, W., & Wibowo, S. A. (2020). Modul Digitalisasi Mikroskop. Medika Teknika : Jurnal Teknik Elektromedik Indonesia, 2(1). <https://doi.org/10.18196/mt.020113>.
- [8] Subali, Demak Bambang, Ian Yulianti, Alvian Jurusan Fisika, Fakultas Matematika, Dan Ilmu, and Pengetahuan Alam. 2018. “Unnes Physics Education Journal Implementasi Model Pelatihan Pembelajaran IPA Berbasis Digital Image Creator For Optical Microscope (DIGICOM) Pada Guru Fisika Kabupaten.” Upej 7 (3): 3–8.
- [9] Ridwan, M, Zuhri M Nawawi, and S Kom. 2014. “Sintesis Dan Karakterisasi Hidroksiapatit (HAp) Dari Kulit. Kerang Darah (Anadara Granosa) Dengan Proses. Hidrotermal,” 418.
- [10] A. Wahi, N. Muhamad, A. B. Sulong, and R. N. Ahmad, “Effect of Sintering Temperature on Density, Hardness and Strength of MIM Co30Cr6Mo Biomedical Alloy,” 2016.