

Rancang Bangun Alat Uji Kekuatan Material Polimer dan Komposit Polimer Berpenguat Serat Alam

Ferry Rippun G Manalu¹, Widodo Widjaja Basuki^{2*}

¹Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Biosains, Teknologi, dan Inovasi,
Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya

²Program Studi Magister Teknik Mesin, Fakultas Biosains, Teknologi, dan Inovasi,
Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya

*E-mail: widodo.basuki@atmajaya.ac.id

ABSTRAK

Teknologi rekayasa saat ini sangat menekankan pada konstruksi yang efisien dan hemat energi. Saat ini, penelitian dan pengembangan material rekayasa lebih diarahkan pada material yang relatif kuat, stabil, dan ringan. Polimer dan komposit polimer yang diperkuat serat alam merupakan salah satu yang dapat memenuhi kebutuhan tersebut dan sedang diteliti. Untuk memperoleh hasil yang optimal, penelitian tersebut harus didukung oleh peralatan uji yang tepat yang dapat mengkarakterisasi material yang dikembangkan dengan baik. Penelitian ini bertujuan untuk merancang suatu alat uji tarik mekanik dan listrik khususnya untuk polimer dan komposit polimer. Penelitian ini menghasilkan prototipe alat uji tarik yang memiliki kapasitas beban maksimum sebesar 20,25 kN. Keberhasilan penelitian ini dibuktikan dengan kekuatan material PMMA yang diuji menggunakan alat tersebut. Hasil pengujian menunjukkan bahwa PMMA memiliki kekuatan tarik sekitar 58,2 dan 60,7 MPa. Nilai tersebut berada dalam kisaran kekuatan PMMA yang diperoleh dari literatur.

Kata kunci :

Akrilik; Alat uji tarik; Komposit polimer; Plexiglas; Polimer

ABSTRACT

Current engineering technology places great emphasis on efficient and energy-saving construction. Nowadays, research and development of engineering materials are more directed at relatively strong, stable and lightweight materials. Polymers and natural fiber reinforced polymer composites are one of those that can meet these needs and are being researched. To achieve optimal results, the research must be supported by appropriate test equipment that can properly characterize the materials being developed. This research aims to design a mechanical and electrical tensile testing device especially for polymers and polymer composites. The research produced a prototype of a tensile testing device that has a maximum load capacity of 20.25 kN. The success of this research is proven by the strength of PMMA, which was tested using this device. The test results showed that PMMA has a tensile strength of about 58.2 and 60.7 MPa. This value is within the range of PMMA strength obtained from the literature.

Keywords :

Acrylic; Composite polymers; Plexiglass; Polymers; Tensile testing machines

1. PENDAHULUAN

Material merupakan bagian penting dalam kehidupan umat manusia dan sangat mendukung perkembangan peradabannya. Sejalan dengan waktu, manusia semakin sadar tentang pentingnya material. Pemanfaatannya yang baik dan optimal menyebabkan umat manusia bertambah makmur dari jaman ke jaman. Sejak jaman

besi (*iron age*) perkembangan material bertambah pesat dan bahkan beberapa puluh tahun terakhir ini terdapat disiplin ilmu yang khusus mempelajari material untuk menciptakan material-material baru yang memiliki performa yang tinggi dan sifat yang khusus (contohnya resisten terhadap lingkungan yang korosif) bahkan pada

temperatur dan tekanan yang relatif tinggi untuk digunakan di berbagai jenis industri.

Perkembangan teknologi kedepannya akan semakin kompetitif dan sangat tergantung kepada performa dari material baru yang dikembangkan saat ini. Pada jaman sekarang ini, optimasi, efisiensi serta ramah lingkungan merupakan kata-kata kunci yang selalu diperhatikan dalam mengembangkan suatu sistem atau proses. Untuk memenuhi hal-hal tersebut, rancangan-rancangan teknik tidak hanya harus memenuhi fungsinya dengan baik akan tetapi juga harus ringan sehingga konsumsi energi dan emisi-emisi polusi yang dihasilkan dapat diminimalisir. Polimer yang terkenal memiliki massa jenis yang rendah, sifat konduksi listrik yang rendah dan sifat resistensi korosi yang baik, merupakan salah satu material yang mendapat perhatian diberbagai bidang industri saat ini, mulai dari industri otomotif, konstruksi, elektronik, kesehatan hingga barang kebutuhan rumah tangga. Untuk aplikasi tertentu khususnya untuk kebutuhan struktural dimana rasio kekuatan dan massa harus tinggi dan harus tangguh, maka komposit polimer dapat menjadi material yang diandalkan.

Komposit polimer merupakan material dengan matriks polimer yang berpenguat serat, seperti serat kaca, serat aramid dan serat karbon, yang memiliki kekuatan yang tinggi. Matriks polimer yang digunakan merupakan kelas termoplastik dan termoset. Untuk kelas termoplastik, matriks yang digunakan adalah dari jenis polipropilen (PP) [1], polietilen [2], dan poli vinil klorida (PVC) [3], sedangkan untuk kelas termoset yang sering digunakan adalah resin fenolik [4], epoksi [5] dan poliester [6].

Dalam beberapa dekade terakhir, para peneliti dan ilmuwan mulai tertarik kepada serat-serat alami sebagai penguat komposit polimer alternatif. Ketertarikan tersebut disebabkan oleh keunggulan serat alam yang dapat diperbaharui, memiliki sifat fisik dan mekanik yang baik serta mudah terdegradasi dan kemampuan menyerap CO₂ yang besar [7-8]. Serat alami yang hingga kini sedang dilakukan penelitian adalah serat rami, sabut kelapa, kapuk, pisang, kenaf, sisal, jute [7].

Hajnalka *et al.* [9] melakukan penelitian menggunakan serat rami dengan matriks polipropilen. Hasil penelitian mereka menunjukkan adanya pengaruh arah serat serta kandungan serat terhadap kekuatan tarik komposit. Komposit polimer dengan arah serat yang paralel dengan arah pembebanan memiliki kekuatan yang lebih tinggi dari yang arah seratnya tegak lurus terhadap arah pembebanan. Kekuatan tarik dari komposit berpenguat serat rami ini juga meningkat dengan bertambahnya kandungan serat dalam matriks, akan tetapi hanya pada kandungan serat sebesar 40 wt%. Di atas kandungan serat 40 wt%, kekuatan tarik komposit polimer tersebut akan menurun. Akan tetapi penelitian ini belum menunjukkan keuntungan menggunakan serat rami sebagai serat komposit. Hal ini terlihat dimana kekuatan tarik dari matriks polipropilen tanpa berpenguat yang sebesar 60 MPa ternyata sedikit lebih tinggi dari kekuatan tarik komposit polipropilen berpenguat rami dengan arah serat paralel terhadap arah pembebanan.

Lee *et al.* [1] juga melakukan penelitian terhadap komposit polipropilen akan tetapi dengan penguat serat kenaf dan jute. Seperti Hajnalka *et al.*, hasil penelitian Lee *et al.* juga memperlihatkan adanya persentase kandungan serat maksimum yang menghasilkan komposit polimer dengan kekuatan tarik maksimum. Nilai ini juga terdapat pada kandungan serat sekitar 40 wt% baik untuk serat kenaf maupun jute. Di penelitian ini terlihat adanya peningkatan kekuatan pada komposit polipropilen berpenguat serat jute jika dibandingkan dengan kekuatan material polipropilen murni tanpa serat. Kekuatan maksimum komposit polipropilen berpenguat serat jute mendekati nilai kekuatan sebesar 40 MPa.

Penelitian pengaruh kandungan serat terhadap kekuatan tarik juga dilakukan oleh Ma *et al.* [10], dimana material yang dikembangkan adalah komposit pati jagung termoplastik dengan penguat serat mikro *winceyette*. Tidak seperti data yang disajikan di atas, pada penelitian mereka, tidak terlihat adanya kekuatan tarik maksimum dengan persentase kandungan serat tertentu, dimana

apabila persentase tersebut terlampaui maka kekuatan tarik komposit tersebut akan menurun. Hal ini mungkin disebabkan karena persentase kandungan serat maksimum pada penelitian ini masih di bawah 40 wt%. Dari penelitian ini terlihat jelas keunggulan penggunaan serat penguat, dimana kekuatan tarik komposit polimer ini dengan kandungan serat sebanyak 20 wt% adalah sebesar 150 MPa atau sekitar 3 kalinya kekuatan tarik dari material matriks polimer tersebut tanpa penguat serat.

Agar penelitian terhadap material polimer dan komposit polimer dengan berbagai kombinasi serat yang digunakan sebagai penguat didalamnya dapat berkembang dengan baik, maka perlu dilakukan karakterisasi, salah satunya adalah uji tarik. Akan tetapi mesin uji tarik yang umumnya ada di laboratorium termasuk di laboratorium karakterisasi dan rekayasa material (KRM) Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya merupakan mesin uji tarik universal yang memiliki kapasitas tarikan beban sebesar 500 kN yang sesuai digunakan untuk mengkarakterisasi berbagai jenis logam. Untuk material polimer dan komposit polimer yang memiliki kekuatan untuk menahan beban tarik maksimum kurang dari 5% dari beban di atas, mesin uji tarik dengan kapasitas tersebut terlalu besar sehingga akan menyebabkan hasil karakterisasi materialnya diluar skop akurasi alat uji. Oleh sebab itu perlu dilakukan penelitian untuk rancang bangun secara mekanik dan elektrik sebuah mesin uji tarik yang sesuai dan dapat digunakan dalam melakukan karakterisasi terhadap material polimer maupun komposit polimer.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Perancangan alat uji kekuatan ini dimulai dengan menentukan beban maksimum yang akan dibebankan kepada alat uji tersebut. Dari hasil studi literatur diketahui bahwa komposit polimer memiliki kekuatan yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan matriks polimernya sendiri. Sebagai contoh adalah komposit pati jagung termoplastik yang diperkuat dengan serat mikro *winceyette*. Dengan kekuatan

tarik sebesar 150 MPa [10], maka dapat disimpulkan bahwa komposit jenis ini memiliki kekuatan tarik minimal 3 kali lebih besar dibandingkan dengan matriks polimernya. Agar alat uji kekuatan ini dapat menguji komposit polimer yang lebih kuat, maka beban perancangan ditetapkan sebesar 270 MPa (80% lebih tinggi dari kekuatan tarik maksimum komposit pati jagung termoplastik yang diperkuat dengan serat *winceyette*). Geometri spesimen yang digunakan pada alat uji ini disesuaikan dengan ASTM D638 [11] dengan luas penampang berbentuk persegi panjang yang memperhitungkan kemudahan geometri *grips* dan kemudahan pemasangannya pada alat uji. ASTM D638 merupakan standar metode pengujian tarik pada polimer. Geometri spesimen ditentukan memiliki luas penampang maksimum sebesar 15 x 5 mm². Dengan demikian maka alat uji ini dirancang memiliki kapasitas pembebanan maksimum sebesar 20,25 kN.

Konsep desain pada perancangan ini adalah menarik spesimen yang dipasang pada *grips* dengan menggunakan motor rotasi dimana gerakan rotasi diubah menjadi gerakan translasi dengan menggunakan transmisi. Disamping itu kecepatan putar motor harus dapat direduksi sehingga dapat menghasilkan kecepatan tarikan sebesar 10 μ m/s. Agar pembebanan pada spesimen dapat sehomogen mungkin dan tidak terdapat momen tekuk, maka sumbu komponen penarik harus segaris dengan sumbu spesimen tersebut. Beban tarikan yang diberikan motor diukur dengan menggunakan sensor beban yang dipasang sedekat mungkin dengan spesimen, sedangkan panjangnya jarak penarikan dapat dihitung melalui putaran batang transmisi.

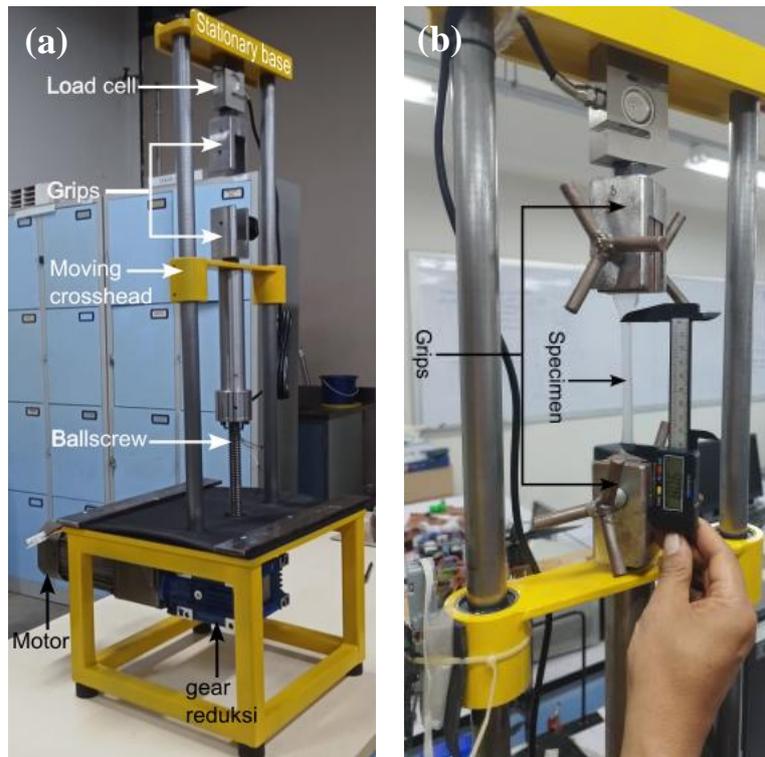
Material untuk pengujian yang digunakan pada penelitian ini adalah polimer PMMA (Polimetil Metakrilat) yang sering juga disebut dengan nama akrilik atau plexiglas. Kekuatan tarik material material ini berkisar antara 48 hingga 76 MPa [12].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan di atas kemudian direalisasikan dalam suatu prototipe mesin

uji tarik seperti yang terlihat pada Gambar 1(a). Gambar 1(b) mengilustrasikan

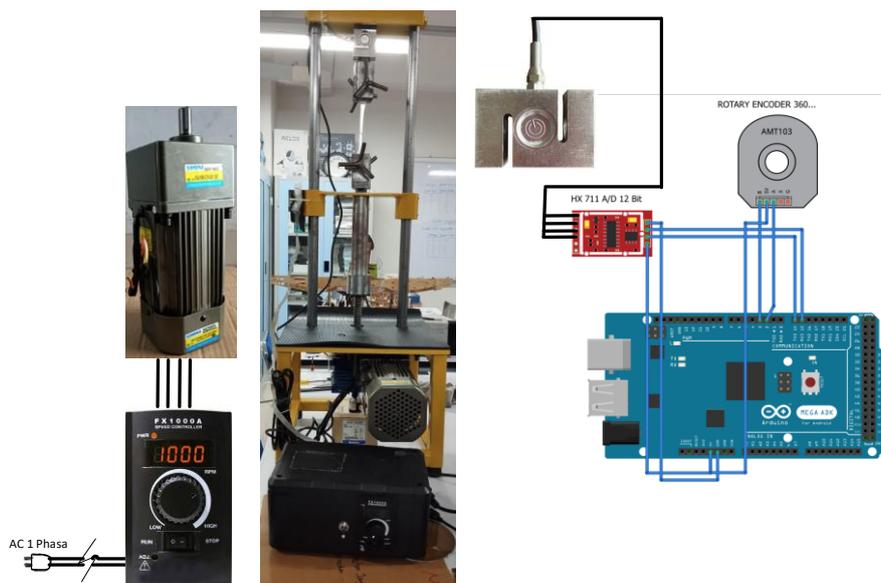
spesimen yang telah dipasang pada *grips* mesin uji tarik yang dirancang.



Gambar 1. (a) Prototipe hasil perancangan seperti yang dirumuskan pada konsep desain, (b) pemasangan spesimen pada *grips*.

Untuk memahami bagaimana mesin uji tarik ini berkerja maka perlu diperhatikan diagram rangkaian sistem pada Gambar 2. Motor AC Houle 300 W yang memiliki torsi sebesar 2,2 Nm dihubungkan dengan *gear*

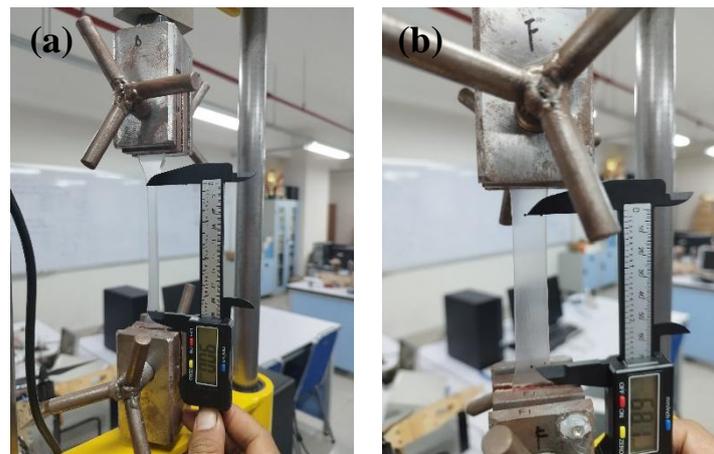
dengan rasio 1:180 dan ditambahkan *gear* reduksi tambahan sebesar 1:50 sehingga total rasio *gear* 1:9000 sehingga torsi *output* motor dapat mencapai 19.800 Nm.



Gambar 2. Diagram rangkaian sistem.

Putaran motor akan menggerakkan *ballscrew* yang memiliki *pitch* ulir sebesar 4 mm yang berarti 1 putaran poros akhir motor akan menyebabkan tarikan translasi terhadap spesimen sebesar 4 mm. Di putaran ulir dipasang sensor *rotary encoder* dengan resolusi 360° , sehingga 1 putaran ulir (360°) sama dengan 4 mm. Sehingga 1 lubang *rotary encoder* menghasilkan pendeteksian perpindahan translasi sebesar $11 \mu\text{m}$.

Saat motor berputar dan menarik spesimen, *load cell* yang dipasang di bawah *stationary base* (Gambar 2) juga akan bereaksi karena adanya gaya tarik. Nilai dari *load cell* diolah dengan parameter-parameter yang sudah didapatkan sebelumnya. Hasilnya di kirimkan ke mikrokontroler. Nilai dari *rotary encoder* dan *load cell* akan direkam setiap 500 ms sampai spesimen mengalami retakan/patah.

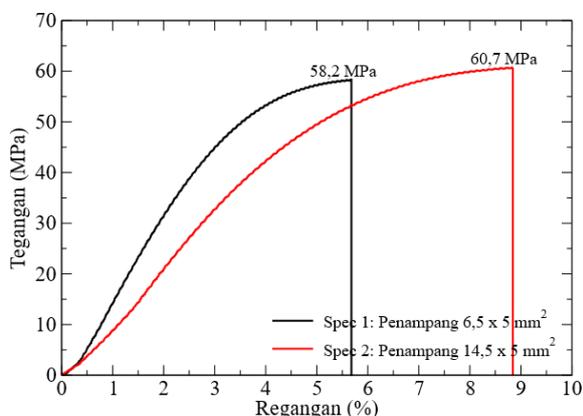


Gambar 3. Spesimen polimer akrilik dengan ketebalan 5 mm yang dipasang pada mesin uji tarik, (a) lebar 6,5 mm, (b) lebar 14,5 mm.

Untuk menguji fungsionalitas dari mesin uji tarik ini maka dilakukan percobaan terhadap material polimer akrilik yang memiliki ketebalan sebesar 5 mm. Dua spesimen digunakan dalam pengujian ini yakni spesimen dengan lebar efektif sebesar 6,5 mm dan 14,5 mm seperti yang terlihat pada Gambar 3.

Spesimen tersebut masing-masing memiliki *gauge length* sebesar 90 mm dan 68,1 mm. Pengujian dilakukan dengan kecepatan tarik terkontrol sebesar $\pm 10 \mu\text{m/s}$.

Hasil pengujian berupa kurva tegangan sebagai fungsi dari regangan terlihat pada Gambar 4 dimana kekuatan maksimum dari akrilik terukur sebesar 58,2 dan 60,7 MPa dengan regangan sebesar 5,6 hingga 8,8%. Kekuatan ini sesuai dengan kekuatan PMMA yang terdapat di literatur yakni bervariasi dari 48 MPa hingga 76 MPa [12].



Gambar 4. Kurva tegangan sebagai fungsi dari regangan.

SIMPULAN

Konstruksi alat uji kekuatan material yang terdiri dari komponen mekanis dan listrik dihasilkan dengan menyesuaikan performanya dengan kekuatan maksimum dari material komposit polimer sehingga alat uji ini tidak hanya dapat menguji polimer akan tetapi dengan kapasitas pembebanan maksimum sebesar 20,25 kN dapat juga

menguji kekuatan dari polimer komposit dengan geometri spesimen yang sesuai dengan standar ASTM D638.

Pada alat uji ini, putaran motor penggerak *ballscrew* yang menyebabkan tarikan translasi sebesar 4 mm/putaran membebani spesimen secara kontinu dengan laju tarikan yang konstan sebesar $\pm 10 \mu\text{m/s}$. Beban yang diberikan kepada spesimen diukur oleh sebuah *load cell* sedangkan panjang tarikan diukur melalui sebuah *rotary encoder*. Kedua data tersebut direkam secara sinkron setiap 500 ms.

Pengetesan terhadap performa alat uji tarik yang dirancang ini dilakukan dengan melakukan pengujian terhadap dua spesimen material PMMA yang kekuatan tariknya telah diketahui dan dapat diperoleh di literatur yang berkisar antara 48 hingga 76 MPa. Hasil pengujian dengan alat uji hasil rancangan ini menunjukkan material PMMA yang digunakan sebagai sampel memiliki kekuatan tarik sebesar 58,2 dan 60,7 MPa, di mana nilai ini sangat sesuai dengan kisaran kekuatan material PMMA yang diperoleh dari literatur.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B.H. Lee, H.J. Kim and W.R. Yu, "Fabrication of long and discontinuous natural fiber reinforced polypropylene biocomposites and their mechanical properties," *Fibers Polym* vol. 10, pp. 83-90, 2009.
- [2] S. Satapathy and R.V.S. Kothapalli, "Mechanical, dynamic mechanical and thermal properties of banana fiber/recycled high density polyethylene biocomposites filled with flyash cenospheres," *J. Polym. Environ.*, vol. 26, pp. 200-213, 2018.
- [3] L. Jiang, J. Fu, L. Liu and P. Du, "Wear and thermal behavior of basalt fiber reinforced rice husk/polyvinyl chloride composites," *J Appl Polym Sci.*, vol. 138, no. 13, 2020.
- [4] M.S. Gupta and E. Jha, "Review on Evaluation of properties of carbon phenolic composite structure using gas chromatography for analysis of thermal performance," in *IOP Conference Series: Mater. Sci. Eng.*, vol.455, 2018.
- [5] K. Sałasinska, M. Kirpluks, P. Cabulis, A. Kovalovs, E. Skukis, P. Kozikowski, M. Celinski, K. Mizera, M. Gałecka, K. Kalnins, et al, "Experimental Investigation of the Mechanical Properties and Fire Behavior of Epoxy Composites Reinforced by Fabrics and Powder Fillers," *Processes*, vol. 9, no. 5, pp. 1-20, 2021.
- [6] G.R. Reddy, M.A. Kumar, N. Karthikeyan and S.M. Basha, "Tamarind fruit fiber and glass fiber reinforced polyester composites," *Mech. Adv. Mater. Struct.* vol. 22, pp. 770-775. 2015.
- [7] O. Suparno, "Potensi dan masa depan serat alam Indonesia sebagai bahan baku aneka industri," *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, vol. 30, no. 2, pp. 221-227, 2020.
- [8] A. Gholampour and T. Ozbakkaloglu, "A review of natural fiber composites: properties, modification and processing techniques, characterization, applications," *J Mater Sci*," vol. 55, pp. 829-892, 2020.
- [9] H. Hajnalka, I. Racz and R.D. Anandjiwala, "Development of HEMP fibre reinforced polypropylene composites," *J Thermoplast Compos Mater*, vol. 21, pp. 165-174, 2008..
- [10] X. Ma, J. Yu and J.F. Kennedy, "Studies on the properties of natural fibres-reinforced thermoplastic starch composites." *Carbohydr Polym*, vol. 62, no. 1, pp. 19-24, 2005.
- [11] D20 Committee, "Test Method for Tensile Properties of Plastics," ASTM International. doi: 10.1520/D0638-14.
- [12] Massachusetts Institute of Technology, "Material: PMMA," <https://www.mit.edu/~6.777/matprops/pm ma.htm>.(diakses 5 april 2025)