

## PENGARUH KOMPOSISI DAN UKURAN PARTIKEL SERBUK KAYU TERHADAP KEKASARAN BOKOMPOSIT LASER CO<sub>2</sub>

**Muhammad Khoirur Roziqin**

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: [muhammadroziqin.22051@mhs.unesa.ac.id](mailto:muhammadroziqin.22051@mhs.unesa.ac.id)

**Ahmad Saepuddin**

Prodi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: [ahmadsaepuddin@unesa.ac.id](mailto:ahmadsaepuddin@unesa.ac.id)

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh komposisi serbuk kayu pinus dan ukuran partikel terhadap kekasaran permukaan biokomposit hasil pemotongan CNC Laser CO<sub>2</sub>. Metode yang digunakan adalah eksperimen dengan variasi komposisi serbuk kayu: PVA yaitu 70:30, 60:40, dan 50:50 serta ukuran partikel mesh 60, 140, dan 200. Spesimen dibuat melalui pencampuran manual tanpa pemberian tekanan saat pencetakan dan diuji menggunakan surface roughness tester dengan lima titik pengukuran pada setiap variasi. Data dianalisis menggunakan ANOVA dua arah untuk mengetahui pengaruh masing-masing variabel dan interaksinya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi dan ukuran partikel berpengaruh terhadap nilai kekasaran permukaan. Variasi terbaik diperoleh pada spesimen B3 (60:40, mesh 200) dengan nilai Ra terendah sebesar 8,0566 µm, sedangkan nilai tertinggi diperoleh pada spesimen C3 (50:50, mesh 200) sebesar 16,780 µm. Selain itu, ditemukan cacat berupa burning, void, dan incomplete cut yang turut memengaruhi kualitas permukaan. Disimpulkan bahwa kombinasi komposisi dan ukuran partikel yang tepat dapat meningkatkan kualitas hasil pemotongan biokomposit.

**Kata Kunci:** biokomposit, serbuk kayu, PVA, kekasaran permukaan, laser CO<sub>2</sub>

### Abstract

*This study aims to analyze the effect of pine wood powder composition and particle size on the surface roughness of biocomposites produced by CNC CO<sub>2</sub> laser cutting. The research method employed was an experimental design with variations in wood powder: PVA composition of 70:30, 60:40, and 50:50, and particle sizes of mesh 60, 140, and 200. The specimens were fabricated through manual mixing without the application of pressure during molding and were tested using a surface roughness tester with five measurement points for each variation. The data were analyzed using two-way ANOVA to determine the effects of each variable and their interaction. The results showed that both composition and particle size affected the surface roughness values. The best result was obtained for specimen B3 (60:40, mesh 200) with the lowest Ra value of 8.0566 µm, while the highest value was found in specimen C3 (50:50, mesh 200) at 16.780 µm. In addition, defects such as burning, void, and incomplete cut were identified and contributed to the overall surface quality. It can be concluded that the proper combination of material composition and particle size can improve the cutting quality of biocomposite materials.*

**Keywords:** biocomposite, wood powder, PVA, surface roughness, CO<sub>2</sub> laser

## PENDAHULUAN

Pemanfaatan limbah biomassa kayu, khususnya serbuk kayu pinus, memiliki potensi besar dalam pengembangan material ramah lingkungan. Serbuk kayu sebagai limbah industri perikanan sering kali belum dimanfaatkan secara optimal dan berpotensi menimbulkan permasalahan lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik (Zhou et al., 2025). Salah satu upaya pemanfaatannya adalah dengan mengolahnya menjadi biokomposit menggunakan matriks polimer yang ramah lingkungan, seperti polyvinyl alcohol (PVA). PVA banyak digunakan karena memiliki kemampuan membentuk film yang baik, mudah larut dalam air, serta memiliki kompatibilitas yang cukup baik dengan serat alami (Park et al., 2023; Žigon et al., 2025).

Karakteristik biokomposit yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, di antaranya komposisi material dan ukuran partikel serbuk kayu. Komposisi yang tidak tepat dapat menyebabkan distribusi

partikel yang tidak merata dan terbentuknya rongga dalam material, sehingga menurunkan kualitas struktur dan permukaan (Budiyantoro & Yudhanto, 2024; Cherradi et al., 2025). Selain itu, ukuran partikel juga berperan penting dalam menentukan kerapatan material, di mana partikel yang lebih halus cenderung menghasilkan struktur yang lebih homogen dan kompak (Cabral et al., 2022).

Selain komposisi material, karakteristik matriks dan filler juga menentukan kualitas ikatan antarmuka yang terbentuk dalam biokomposit. PVA memiliki kemampuan membentuk lapisan film yang baik serta mampu berinteraksi dengan material berbasis lignoselulosa melalui ikatan hidrogen, sehingga dapat meningkatkan homogenitas struktur material (Park et al., 2023; Žigon et al., 2025). Namun demikian, peningkatan fraksi filler yang terlalu tinggi dapat mengurangi kemampuan matriks dalam melapisi seluruh permukaan partikel serbuk kayu. Kondisi tersebut berpotensi menyebabkan terbentuknya porositas atau rongga internal yang dapat menurunkan kualitas

mekanik maupun kualitas permukaan material (Cherradi et al., 2025). Oleh karena itu, pemilihan komposisi yang tepat menjadi faktor penting dalam memperoleh karakteristik biokomposit yang optimal.

Ukuran partikel serbuk kayu juga berpengaruh terhadap kerapatan dan homogenitas struktur biokomposit. Partikel yang lebih halus memiliki luas permukaan yang lebih besar sehingga memungkinkan kontak yang lebih baik antara filler dan matriks. Selain itu, partikel halus cenderung mampu mengisi ruang antarpartikel secara lebih efektif sehingga menghasilkan struktur yang lebih rapat dan mengurangi kemungkinan terbentuknya void di dalam material (Cabral et al., 2022). Sebaliknya, partikel yang lebih kasar dapat menyebabkan distribusi material menjadi kurang seragam dan meningkatkan ketidakteraturan struktur internal. Perbedaan karakteristik tersebut diperkirakan akan memengaruhi respons material terhadap energi termal yang diberikan selama proses pemotongan laser.

Meskipun berbagai penelitian telah membahas karakteristik material berbasis kayu dan proses pemotongan menggunakan laser CO<sub>2</sub>, sebagian besar penelitian masih berfokus pada wood-plastic composites (WPC) atau material komposit komersial lainnya (Ahmad Sobri et al., 2025; Mushtaq et al., 2020). Penelitian mengenai biokomposit berbasis serbuk kayu pinus dan PVA yang dipotong menggunakan CNC Laser CO<sub>2</sub> masih relatif terbatas, khususnya yang mengkaji pengaruh kombinasi komposisi material dan ukuran partikel terhadap kualitas permukaan hasil pemotongan. Selain itu, hubungan antara karakteristik cacat pemotongan seperti burning, void, dan incomplete cut dengan nilai kekasaran permukaan masih belum banyak dilaporkan secara spesifik pada material biokomposit berbasis serbuk kayu.

Dalam proses manufaktur lanjutan, seperti pemotongan menggunakan CNC Laser CO<sub>2</sub>, sifat material menjadi faktor yang sangat menentukan kualitas hasil potongan. Parameter material seperti ukuran partikel dan komposisi memengaruhi interaksi antara energi laser dengan material, termasuk distribusi panas dan pembentukan zona terpengaruh panas (heat-affected zone) (Ahmad Sobri et al., 2025; Mushtaq et al., 2020; Steen & Mazumder, 2010). Hal ini berdampak langsung pada kualitas permukaan hasil potongan yang dapat dievaluasi melalui parameter kekasaran permukaan (surface roughness, Ra).

Kekasaran permukaan merupakan salah satu indikator penting dalam menilai kualitas hasil pemotongan, terutama untuk aplikasi produk seperti mainan edukasi yang membutuhkan permukaan yang aman dan nyaman digunakan (Cetin Dag, 2020). Permukaan yang kasar tidak hanya menurunkan nilai estetika, tetapi juga berpotensi menimbulkan risiko bagi pengguna (Obilnade et al., 2021). Selain itu, proses pemotongan laser juga dapat menimbulkan cacat seperti burning, void, dan incomplete cut yang turut memengaruhi kualitas permukaan hasil potongan (Ahmad Sobri et al., 2025).

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi komposisi serbuk kayu pinus dan ukuran partikel terhadap kekasaran permukaan biokomposit hasil pemotongan menggunakan CNC Laser CO<sub>2</sub>, serta mengidentifikasi karakteristik cacat yang muncul sebagai indikator kualitas hasil potongan.

## METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk menganalisis pengaruh komposisi serbuk kayu pinus dan ukuran partikel terhadap kekasaran permukaan biokomposit hasil pemotongan CNC Laser CO<sub>2</sub>. Penelitian dilaksanakan di laboratorium manufaktur dengan menggunakan mesin CNC Laser CO<sub>2</sub> tipe 4060 dengan sistem kontrol M2.

Objek penelitian berupa biokomposit yang terbuat dari serbuk kayu pinus sebagai filler dan polyvinyl alcohol (PVA) sebagai matriks. Variasi komposisi yang digunakan adalah 70:30 (A), 60:40 (B), dan 50:50 (C) (serbuk kayu:PVA), sedangkan ukuran partikel serbuk kayu divariasikan pada mesh 60 (1), 140 (2), dan 200 (3). Proses pembuatan spesimen dilakukan melalui pencampuran manual hingga homogen, kemudian dicetak tanpa pemberian tekanan dan dikeringkan melalui proses pengovenan. Perhitungan komposisi menggunakan nilai bulk density serbuk kayu sehingga masih mencakup rongga antar partikel.

Proses pemotongan spesimen dilakukan menggunakan mesin CNC Laser CO<sub>2</sub> 40W (Controller M2). Parameter yang ditetapkan dalam proses ini adalah daya sebesar 40% dengan kecepatan potong 5 mm/s. yang dijaga konstan untuk seluruh variasi. Setelah proses pemotongan, dilakukan pengujian kekasaran permukaan menggunakan surface roughness tester. Pengukuran dilakukan pada lima titik berbeda untuk setiap variasi spesimen, kemudian dihitung nilai rata-ratanya sebagai representasi kekasaran permukaan (Ra). Selain itu, dilakukan pengamatan visual terhadap cacat hasil pemotongan yang meliputi burning, void, dan incomplete cut.

Penilaian tingkat cacat dilakukan menggunakan metode skoring ordinal berbasis pengamatan visual dengan rentang skor 0–3, yaitu 0 menunjukkan tidak terdapat cacat, 1 menunjukkan cacat ringan, 2 menunjukkan cacat sedang, dan 3 menunjukkan cacat parah. Penentuan skor mengacu pada dominasi area cacat pada sisi potong, di mana skor 1 diberikan apabila area cacat kurang dari 50% panjang sisi potong, skor 2 untuk area cacat sekitar 50–75%, dan skor 3 apabila melebihi 75%. Pendekatan ini diadaptasi dari prinsip visual defect quality standards untuk menjaga konsistensi penilaian antarspesimen (Solutions, 2011).

Data hasil pengujian dianalisis menggunakan metode analisis varians dua arah (two-way ANOVA) untuk mengetahui pengaruh masing-masing variabel, yaitu komposisi dan ukuran partikel, serta interaksinya terhadap nilai kekasaran permukaan. Urutan analisis dimulai dari

pengaruh komposisi, pengaruh ukuran partikel, hingga interaksi keduanya, yang selanjutnya disajikan pada bagian hasil dan pembahasan.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini meliputi pengujian kekasaran permukaan (Ra) biokomposit berdasarkan variasi komposisi serbuk kayu pinus dan ukuran partikel, serta analisis statistik menggunakan ANOVA dua arah. Selain itu, dilakukan pengamatan terhadap cacat hasil pemotongan sebagai indikator kualitas permukaan.

Hasil pengukuran kekasaran permukaan (Ra) untuk setiap variasi komposisi dan ukuran partikel disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil uji kekasaran permukaan

Variasi	(µm)					Rata Rata
	T1	T2	T3	T4	T5	
A1	15,26	10,98	13,91	13,72	11,38	13,05
A2	13	16,71	12,65	14,85	11,66	13,774
A3	10,54	8,72	11,75	12,67	14,71	11,678
B1	16,87	17,17	15,67	15,07	12,99	15,554
B2	12,55	14,45	10,94	14,22	11,28	12,688
B3	9,724	9,668	7,557	6,889	6,445	8,0566
C1	15,44	16,68	14,89	16,69	12,02	15,144
C2	17,89	12,67	15,67	10,83	9,245	13,261
C3	16,55	15,9	18,68	17,27	15,5	16,78

Berdasarkan Tabel 1, terlihat bahwa nilai kekasaran permukaan bervariasi pada setiap kombinasi komposisi dan ukuran partikel. Secara umum, komposisi dengan kandungan PVA yang lebih tinggi cenderung menghasilkan nilai Ra yang lebih rendah. Hal ini menunjukkan bahwa PVA sebagai matriks berperan dalam mengikat partikel serbuk kayu secara lebih homogen sehingga mengurangi ketidakteraturan permukaan hasil pemotongan. Sebaliknya, peningkatan proporsi serbuk kayu menyebabkan permukaan menjadi lebih kasar akibat distribusi partikel yang kurang merata dan meningkatnya kemungkinan terbentuknya rongga.

Pengaruh komposisi terhadap nilai kekasaran permukaan berkaitan erat dengan kemampuan matriks PVA dalam membentuk ikatan dan mempertahankan integritas struktur biokomposit. PVA memiliki sifat adhesi yang baik sehingga mampu melapisi permukaan partikel serbuk kayu dan mengurangi ruang kosong antarpartikel. Ketika jumlah matriks mencukupi, distribusi partikel menjadi lebih homogen dan struktur material yang terbentuk cenderung lebih rapat. Kondisi tersebut menghasilkan jalur pemotongan yang lebih stabil ketika terkena energi laser sehingga permukaan hasil potongan menjadi lebih halus. Temuan ini sejalan dengan penelitian Park et al. (2023) yang menyatakan bahwa PVA memiliki kemampuan membentuk struktur film yang seragam serta meningkatkan homogenitas material berbasis lignoselulosa.

Sebaliknya, peningkatan proporsi serbuk kayu tanpa diimbangi jumlah matriks yang memadai dapat menyebabkan sebagian partikel tidak terikat secara

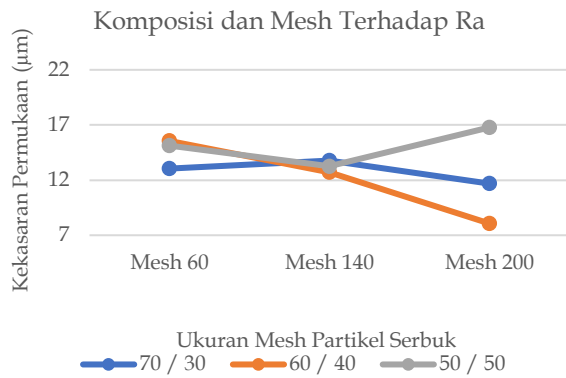
sempurna. Kondisi tersebut meningkatkan kemungkinan terbentuknya rongga lokal dan ketidakteraturan struktur internal material. Ketika proses pemotongan berlangsung, area yang memiliki kepadatan berbeda akan merespons energi laser secara tidak seragam sehingga menghasilkan profil permukaan yang lebih kasar. Fenomena ini mendukung pernyataan Cherradi et al. (2025) bahwa peningkatan kandungan filler dapat memengaruhi homogenitas material apabila jumlah matriks tidak cukup untuk mengikat seluruh partikel penguat secara optimal.

Selain komposisi, ukuran partikel juga menunjukkan pengaruh yang jelas terhadap kekasaran permukaan. Partikel dengan ukuran lebih halus (mesh lebih tinggi) menghasilkan nilai Ra yang lebih rendah dibandingkan partikel kasar. Hal ini disebabkan oleh kemampuan partikel halus dalam mengisi rongga antar partikel secara lebih efektif, sehingga menghasilkan struktur material yang lebih rapat dan permukaan potongan yang lebih halus.

Ukuran partikel serbuk kayu merupakan salah satu faktor yang menentukan tingkat kerapatan material. Partikel yang lebih halus memiliki luas permukaan yang lebih besar sehingga kontak antara filler dan matriks menjadi lebih luas. Selain itu, partikel halus mampu mengisi celah antarpartikel secara lebih efektif sehingga mengurangi jumlah rongga yang terbentuk selama proses pencampuran dan pengeringan. Struktur yang lebih rapat tersebut menghasilkan distribusi panas yang lebih seragam selama proses pemotongan laser dan pada akhirnya menghasilkan kualitas permukaan yang lebih baik.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan mesh 200 cenderung menghasilkan nilai kekasaran yang lebih rendah dibandingkan mesh 60 dan mesh 140. Temuan ini menunjukkan bahwa peningkatan kehalusan partikel memberikan kontribusi positif terhadap kualitas sisi potong biokomposit. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian Cabral et al. (2022) yang menjelaskan bahwa peningkatan kerapatan material melalui pengurangan rongga internal dapat meningkatkan homogenitas struktur. Selain itu, Budiyanoro & Yudhanto (2024) menjelaskan bahwa karakteristik fisik serbuk kayu sangat dipengaruhi oleh ukuran partikelnya, yang selanjutnya berpengaruh terhadap perilaku material ketika digunakan sebagai filler pada komposit.

Untuk memperjelas hubungan antara komposisi dan ukuran partikel terhadap kekasaran permukaan, hasil penelitian disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Pengaruh Komposisi dan Mesh Terhadap Ra

Berdasarkan Gambar 1, terlihat tren penurunan nilai kekasaran permukaan seiring dengan peningkatan kandungan PVA dan penggunaan ukuran partikel yang lebih halus. Kombinasi komposisi dengan PVA lebih tinggi dan ukuran partikel halus menunjukkan nilai kekasaran paling rendah. Hal ini mengindikasikan bahwa interaksi antara matriks dan filler menjadi lebih optimal, sehingga meningkatkan kualitas permukaan hasil pemotongan. Sebaliknya, kombinasi serbuk kayu tinggi dan partikel kasar cenderung menghasilkan permukaan yang lebih kasar. Namun demikian, pada beberapa variasi ditemukan pola yang tidak sepenuhnya linier, di mana nilai Ra sempat meningkat pada mesh tertentu sebelum kembali menurun. Kondisi ini diduga disebabkan oleh distribusi matriks dan partikel yang belum homogen serta kemungkinan terbentuknya void lokal selama proses pencampuran dan pengeringan.

Hasil analisis menunjukkan bahwa pengaruh komposisi dan ukuran partikel tidak bekerja secara terpisah, melainkan saling berinteraksi dalam menentukan kualitas permukaan hasil pemotongan. Hal ini terlihat dari adanya perbedaan nilai kekasaran yang cukup besar pada setiap kombinasi perlakuan. Kombinasi komposisi 60:40 dengan ukuran partikel mesh 200 menghasilkan nilai kekasaran terendah, sedangkan beberapa kombinasi lain menunjukkan nilai yang relatif lebih tinggi meskipun menggunakan ukuran partikel yang sama.

Interaksi tersebut menunjukkan bahwa ukuran partikel yang halus belum tentu menghasilkan permukaan terbaik apabila jumlah matriks yang tersedia tidak cukup untuk mengikat seluruh partikel secara merata. Sebaliknya, keberadaan matriks yang memadai akan memberikan hasil yang lebih optimal apabila didukung oleh ukuran partikel yang lebih kecil sehingga distribusi material menjadi lebih homogen. Dengan kata lain, kualitas permukaan yang baik diperoleh melalui kombinasi yang seimbang antara jumlah matriks dan karakteristik filler. Hasil ini mendukung konsep bahwa performa material komposit ditentukan oleh sinergi antara matriks dan penguat, bukan hanya oleh salah satu komponen penyusunnya.

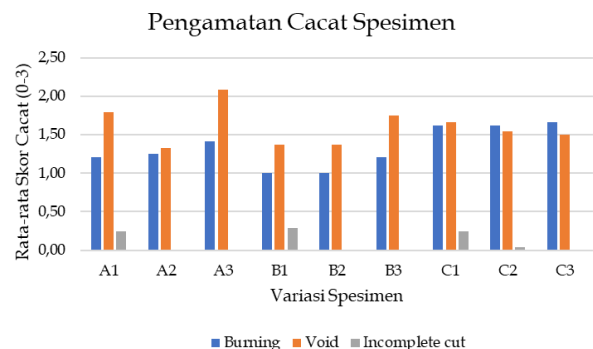
Hasil analisis statistik menggunakan ANOVA dua arah disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Anova

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable: Ra					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	256.773 <sup>a</sup>	8	32.097	7.639	.000
Intercept	7998.400	1	7998.400	1903.499	.000
Komposisi	71.381	2	35.690	8.494	.001
Mesh	43.770	2	21.885	5.208	.010
Komposisi * Mesh	141.623	4	35.406	8.426	.000
Error	151.270	36	4.202		
Total	8406.443	45			
Corrected Total	408.043	44			

Berdasarkan hasil ANOVA, diketahui bahwa variabel komposisi dan ukuran partikel memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekasaran permukaan, ditunjukkan oleh nilai p-value yang lebih kecil dari 0,05. Selain itu, interaksi antara kedua variabel juga menunjukkan pengaruh terhadap nilai kekasaran permukaan. Hal ini menegaskan bahwa kualitas permukaan tidak hanya dipengaruhi oleh masing-masing variabel secara terpisah, tetapi juga oleh kombinasi keduanya.

Selain parameter kekasaran permukaan, hasil pengamatan visual menunjukkan adanya cacat pada hasil pemotongan, yaitu burning, void, dan incomplete cut, yang disajikan pada Gambar 2. Penilaian terhadap tingkat keparahan cacat dilakukan secara kualitatif menggunakan skala, yaitu 0 menunjukkan tidak adanya cacat, 1 menunjukkan cacat ringan, 2 menunjukkan cacat sedang, dan 3 menunjukkan cacat parah.



Gambar 2. Diagram Pengamatan Cacat

Berdasarkan grafik temuan cacat spesimen, terlihat bahwa cacat yang muncul pada hasil pemotongan meliputi burning, void, dan incomplete cut dengan tingkat keparahan yang bervariasi pada setiap variasi spesimen. Cacat burning ditunjukkan oleh perubahan warna menjadi lebih gelap pada area sisi potong akibat paparan panas laser. Cacat void tampak sebagai rongga pada struktur material yang diduga dipengaruhi oleh distribusi partikel yang kurang merata serta penggunaan bulk density dalam perhitungan komposisi, sehingga masih memungkinkan adanya ruang antarpartikel. Sementara itu, incomplete cut terjadi ketika energi laser tidak mampu memotong material

secara sempurna, yang dapat dipengaruhi oleh ketebalan aktual spesimen dan kepadatan struktur biokomposit. Keberadaan ketiga cacat tersebut menunjukkan bahwa kualitas hasil potongan tidak hanya dipengaruhi oleh parameter laser, tetapi juga oleh homogenitas material dan proses pembentukan spesimen.

Keberadaan cacat burning, void, dan incomplete cut diduga turut berkontribusi terhadap variasi nilai kekasaran permukaan yang diperoleh pada setiap spesimen. Burning menyebabkan perubahan karakteristik permukaan akibat paparan panas berlebih pada area sisi potong. Lapisan material yang mengalami karbonisasi dapat membentuk profil permukaan yang tidak seragam sehingga meningkatkan nilai kekasaran. Fenomena ini umum ditemukan pada proses pemotongan material berbasis lignoselulosa menggunakan laser CO<sub>2</sub> karena sebagian komponen kayu mengalami degradasi termal akibat temperatur yang tinggi.

Sementara itu, cacat void berpotensi memberikan pengaruh yang lebih besar terhadap hasil pengukuran kekasaran. Keberadaan rongga pada permukaan menyebabkan stylus surface roughness tester melewati daerah dengan perbedaan elevasi yang cukup besar sehingga meningkatkan nilai Ra yang terbaca. Semakin banyak rongga yang terdapat pada area pengukuran, semakin besar kemungkinan terjadinya fluktuasi profil permukaan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kualitas struktur internal material memiliki hubungan langsung dengan kualitas permukaan hasil pemotongan.

Cacat incomplete cut juga dapat meningkatkan ketidakrataan permukaan karena sebagian material tidak terpotong secara sempurna. Material yang masih tersisa pada jalur potong membentuk tonjolan atau bagian yang tidak rata sehingga memperbesar deviasi profil permukaan terhadap garis rata-rata. Oleh karena itu, keberadaan cacat hasil pemotongan perlu diperhatikan sebagai faktor yang turut memengaruhi kualitas permukaan selain parameter kekasaran yang diukur secara kuantitatif.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi komposisi dan ukuran partikel memiliki peran penting dalam menentukan kualitas permukaan biokomposit hasil pemotongan CNC Laser CO<sub>2</sub>. Penggunaan komposisi dengan kandungan PVA yang lebih tinggi dan ukuran partikel yang lebih halus cenderung menghasilkan permukaan yang lebih halus dan kualitas potongan yang lebih baik.

### Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, variasi komposisi serbuk kayu pinus-PVA dan ukuran partikel memberikan pengaruh terhadap nilai kekasaran permukaan (Ra) biokomposit hasil pemotongan menggunakan CNC Laser CO<sub>2</sub>. Nilai Ra cenderung menurun pada variasi dengan proporsi PVA yang lebih tinggi dan ukuran partikel yang lebih halus, sedangkan proporsi serbuk kayu yang lebih

tinggi serta ukuran partikel yang lebih kasar menunjukkan nilai Ra yang lebih tinggi. Variasi terbaik diperoleh pada spesimen B3 (komposisi 60:40, mesh 200) dengan nilai Ra terendah sebesar 8,0566 µm, sementara nilai tertinggi diperoleh pada spesimen C3 (komposisi 50:50, mesh 200) sebesar 16,780 µm. Selain itu, temuan cacat berupa burning, void, dan incomplete cut pada beberapa spesimen turut berkontribusi terhadap peningkatan kekasaran permukaan. Hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi komposisi material dan ukuran partikel berperan penting dalam menentukan kualitas permukaan biokomposit hasil pemotongan.

### DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad Sobri, S., Ping Chow, T., Koon Tatt, T., Nordin, M. H., Hermawan, A., & Norizan, M. N. (2025). Experimental investigation and predictive modelling of CO<sub>2</sub> laser processing of wood-plastic composites (WPCs). *Results in Engineering*, 27(August), 106708. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.106708>
- Budiyantoro, C., & Yudhanto, F. (2024). Comparative Analysis of Cellulose, Hemicellulose and Lignin on The Physical and Thermal Properties of Wood Sawdust for Bio-Composite Material Fillers. *Revue Des Composites et Des Materiaux Avances*, 34(1), 109–116. <https://doi.org/10.18280/rcma.340114>
- Cabral, J. P., Kafle, B., Subhani, M., Reiner, J., & Ashraf, M. (2022). Densification of timber: a review on the process, material properties, and application. *Journal of Wood Science*, 68(1). <https://doi.org/10.1186/s10086-022-02028-3>
- Cetin Dag, N. (2020). Children's Only Profession: Playing with Toys. *Northern Clinics of Istanbul*, 8(4), 414–420. <https://doi.org/10.14744/nci.2020.48243>
- Cherradi, Y., Cerbu, C., Rosca, I. C., Seman, A., El Qarnia, H., Dimokrati, A., & Benyoucef, M. (2025). Acoustic, Mechanical, and Thermal Characterization of Polyvinyl Acetate (PVA)-Based Wood Composites Reinforced with Beech and Oak Wood Fibers. *Polymers*, 17(2). <https://doi.org/10.3390/polym17020142>
- Mushtaq, R. T., Wang, Y., Rehman, M., Khan, A. M., & Mia, M. (2020). State-of-the-art and trends in CO<sub>2</sub> laser cutting of polymeric materials-A review. *Materials*, 13(17). <https://doi.org/10.3390/ma13173839>
- Obilanade, D., Dordlofva, C., & Törlind, P. (2021). Surface roughness considerations in design for additive manufacturing - A literature review. *Proceedings of the Design Society*, 1(August), 2841–2850. <https://doi.org/10.1017/pds.2021.545>
- Park, N., Friest, M. A., & Liu, L. (2023). Enhancing the Properties of Polyvinyl Alcohol Films by Blending

- with Corn Stover-Derived Cellulose Nanocrystals and Beeswax. *Polymers*, 15(21). <https://doi.org/10.3390/polym15214321>
- Solutions, T.-S. (2011). *Visual Defects Quality Standards* (Issue September 2011).
- Steen, W. M., & Mazumder, J. (2010). Laser material processing: Fourth edition. In *Laser Material Processing: Fourth Edition*. <https://doi.org/10.1007/978-1-84996-062-5>
- Zhou, Z., Zeng, C., Wei, H., & Ding, Y. (2025). Preparation and property study of geopolymer composite fireproof coating with PVA fiber and manganese slag. *Cleaner Materials*, 15(October 2024), 100289. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2024.100289>
- Žigon, J., Poljanšek, I., Oven, P., Petrič, M., & Osolnik, U. (2025). Application and characterization of poly(vinyl alcohol) reinforced with cellulose nanofibrils as a coating for wood. *Cellulose*, 32(10), 6229–6252. <https://doi.org/10.1007/s10570-025-06606-8>
- Ahmad Sobri, S., Ping Chow, T., Koon Tatt, T., Nordin, M. H., Hermawan, A., & Norizan, M. N. (2025). Experimental investigation and predictive modelling of CO2 laser processing of wood-plastic composites (WPCs). *Results in Engineering*, 27(August), 106708. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.106708>
- Budiyantoro, C., & Yudhanto, F. (2024). Comparative Analysis of Cellulose, Hemicellulose and Lignin on The Physical and Thermal Properties of Wood Sawdust for Bio-Composite Material Fillers. *Revue Des Composites et Des Materiaux Avances*, 34(1), 109–116. <https://doi.org/10.18280/rcma.340114>
- Cabral, J. P., Kafle, B., Subhani, M., Reiner, J., & Ashraf, M. (2022). Densification of timber: a review on the process, material properties, and application. *Journal of Wood Science*, 68(1). <https://doi.org/10.1186/s10086-022-02028-3>
- Cetin Dag, N. (2020). Children's Only Profession: Playing with Toys. *Northern Clinics of Istanbul*, 8(4), 414–420. <https://doi.org/10.14744/nci.2020.48243>
- Cherradi, Y., Cerbu, C., Rosca, I. C., Seman, A., El Qarnia, H., Dimokrati, A., & Benyoucef, M. (2025). Acoustic, Mechanical, and Thermal Characterization of Polyvinyl Acetate (PVA)-Based Wood Composites Reinforced with Beech and Oak Wood Fibers. *Polymers*, 17(2). <https://doi.org/10.3390/polym17020142>
- Mushtaq, R. T., Wang, Y., Rehman, M., Khan, A. M., & Mia, M. (2020). State-of-the-art and trends in CO2 laser cutting of polymeric materials-A review. *Materials*, 13(17). <https://doi.org/10.3390/ma13173839>
- Obilanade, D., Dordlofva, C., & Törlind, P. (2021). Surface roughness considerations in design for additive manufacturing - A literature review. *Proceedings of the Design Society*, 1(August), 2841–2850. <https://doi.org/10.1017/pds.2021.545>
- Park, N., Friest, M. A., & Liu, L. (2023). Enhancing the Properties of Polyvinyl Alcohol Films by Blending with Corn Stover-Derived Cellulose Nanocrystals and Beeswax. *Polymers*, 15(21). <https://doi.org/10.3390/polym15214321>
- Solutions, T.-S. (2011). *Visual Defects Quality Standards* (Issue September 2011).
- Steen, W. M., & Mazumder, J. (2010). Laser material processing: Fourth edition. In *Laser Material Processing: Fourth Edition*. <https://doi.org/10.1007/978-1-84996-062-5>
- Zhou, Z., Zeng, C., Wei, H., & Ding, Y. (2025). Preparation and property study of geopolymer composite fireproof coating with PVA fiber and manganese slag. *Cleaner Materials*, 15(October 2024), 100289. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2024.100289>
- Žigon, J., Poljanšek, I., Oven, P., Petrič, M., & Osolnik, U. (2025). Application and characterization of poly(vinyl alcohol) reinforced with cellulose nanofibrils as a coating for wood. *Cellulose*, 32(10), 6229–6252. <https://doi.org/10.1007/s10570-025-06606-8>