

# Pengaruh Metode Penyayatan dan Kedalaman Penyayatan terhadap Dimensi dan Kekasaran Permukaan Kayu Olahan

**Bahtiar Rahmat<sup>1\*</sup>, Agung Ari Purwanto<sup>2</sup>, Muhammad Fahrudin<sup>3</sup>, Wahyu Widiyanto<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3,4</sup>Program Studi Teknik Produksi Furnitur, Politeknik Industri Furnitur dan Pengolahan Kayu

<sup>1,2,3,4</sup>Jln. Wanamarta Raya No. 20, Kawasan Industri Kendal, Kabupaten Kendal, 51351, Indonesia

**E-mail: bahtiar.rahmat@poltek-furnitur.ac.id<sup>1\*</sup>, agung.ari@poltek-furnitur.ac.id<sup>2</sup>, muhammad.fahrudin@poltek-furnitur.ac.id<sup>3</sup>, wahyu.widiyanto@poltek-furnitur.ac.id<sup>4</sup>**

---

## **Info Naskah:**

Naskah masuk: 22 November 2024

Direvisi: 15 Desember 2024

Diterima: 27 Desember 2024

---

## **Abstrak**

Aplikasi dari teknologi CNC di industri furnitur sudah menjadi hal yang biasa, selain penggunaannya pada industri logam maupun plastik. Penggunaan panel HMR (*High Moisture Resistant*) yang lebih baik secara ketahanan terhadap kelembaban dibandingkan dengan MDF (*Medium Density Fiberboard*) juga mulai berkembang, namun masih sedikit studi yang mempelajari efek dari variasi parameter permesinan terhadap kualitas hasil potong papan HMR. Studi ini bertujuan untuk menguji efek dari parameter permesinan (metode penyayatan dan kedalaman penyayatan) terhadap dimensi dan kekasaran akhir permukaan benda kerja. Empat skema pengaturan parameter permesinan yakni dengan metode konvensional dan *climb* dengan masing-masing kedalaman penyayatan 2 mm dan 4 mm telah dilakukan masing-masing tiga kali repetisi. Setelah pengujian diperoleh hasil jika, metode sayat, kedalaman penyayatan serta interaksi antara metode sayat dan kedalaman sayat tidak berpengaruh signifikan terhadap dimensi panjang dan lebar spesimen, namun metode sayat berpengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan akhir spesimen. Metode penyayatan konvensional dengan kedalaman sayat 2 mm menghasilkan kekasaran permukaan paling baik yakni sebesar 26,47 $\mu$ m.

---

## **Keywords:**

cutting method;

depth of cut;

HMR;

dimension;

surface roughness.

---

## **Abstract**

The application of CNC technology in the furniture industry has already become familiar, in addition to its use in the metal and plastic industries. HMR (High Moisture Resistant) panels, which had better moisture resistance than MDF (Medium Density Fiberboard), had also started to develop. However, few studies have investigated the effects of variations in machining parameters on the cutting quality of HMR boards. This study aimed to test the effects of machining parameters (cutting method and cutting depth) on the dimensions and surface roughness of the workpiece. Four schemes of machining parameter settings, namely conventional and climb methods with cutting depths of 2 mm and 4 mm, respectively, were performed with three repetitions each. After testing, it was found that the cutting method, cutting depth, and the interaction between the cutting method and cutting depth had not significantly affected the length and width dimensions of the specimen. However, the cutting method significantly influenced the final surface roughness of the specimen. The conventional cutting method with a cutting depth of 2 mm produced the best surface roughness, measuring 26.47  $\mu$ m.

---

## **\*Penulis korespondensi:**

**Bahtiar Rahmat**

E-mail: bahtiar.rahmat@poltek-furnitur.ac.id

## 1. Pendahuluan

Proses permesinan mekanis untuk pembuatan produk sudah dikembangkan sejak waktu yang sangat lampau. mulai dari proses dengan mesin tradisional, hingga pengembangan terkini yang sudah menggunakan kontrol dengan komputer (CNC) [1]. Pada era saat ini, dimana sudah memasuki fase revolusi industri 4.0, semua orang berlomba untuk membuat produk yang presisi, namun tetap bisa diproduksi secara cepat dan akurat [2].

Berawal dari proses permesinan tradisional seperti bubut, frais, gerinda, ketam, hingga mesin pembuat lubang (bor) untuk pembuatan produk, saat ini kita hampir bisa menemukan kontrol numerik untuk mengoperasikan proses pada mesin-mesin tersebut. Hal ini tidak lepas dari tujuan utama, yakni untuk mendapatkan produk yang berkualitas dan presisi [3].

Penggunaan CNC sangat luas, selain untuk pengerjaan logam, kaca dan plastik, beberapa dekade ini banyak peneliti yang berfokus pada proses permesinan kayu maupun kayu olahan seperti MDF, *Plywood* maupun HMR [4]. Penggunaan kayu sebagai material utama sangat luas, diantaranya untuk industri furnitur, struktur bangunan, instrumen musik, peralatan dapur dan lain sebagainya [5]. Pada sektor industri furnitur, penggunaan dari papan kayu olahan seperti MDF dan HMR sangat besar.

HMR (*High Moisture Resistant*) panel merupakan material yang dibuat dari kayu olahan serta komposisi resin tertentu untuk memberikan ketahanan yang ekstra serta kepadatan material yang lebih tinggi. Beberapa material dari HMR yaitu *chipboard*, *engineered woods*, serta multipleks. Namun, material HMR yang paling banyak digunakan yaitu *chipboard*. Kelebihan material tersebut terletak pada kepadatan dan ketahanannya yang tinggi, yakni hampir sama dengan *solid wood*. Berbeda dengan material lain seperti MDF yang cenderung mudah rusak, panel HMR justru dapat digunakan dalam jangka panjang [6].

Beberapa kelebihan HMR dibandingkan dengan produk kayu olahan lain yakni; memiliki densitas yang lebih tinggi, tahan kelembaban tinggi, kemudahan untuk diolah dan dibentuk serta tersedia di pasaran dengan berbagai ragam ukuran [7]. Pengaturan dan penyesuaian dari *toolpath* sangat berpengaruh terhadap kekasaran permukaan kayu olahan yang dilakukan proses permesinan dengan CNC [7].

Proses permesinan tradisional selain memerlukan usaha yang lebih untuk mengoperasikan, juga kurang cocok digunakan untuk membuat pekerjaan dengan skala besar dan presisi yang tinggi, karena keseluruhan prosesnya masih sangat tergantung pada keahlian operator mesin. Hal ini yang membuat mesin-mesin CNC selangkah lebih maju, dimana mesin-mesin CNC dibuat untuk kecepatan tinggi dan kontrol yang presisi, sehingga dapat digunakan untuk membuat produk dengan geometri yang kompleks [8].

Kualitas dari kekasaran permukaan, presisi dan akurasi dari dimensi hasil pemrosesan, serta waktu permesinan bisa digunakan sebagai acuan untuk meningkatkan kualitas produk yang dihasilkan dari beberapa rekayasa pada pengaturan parameter proses CNC [9]. Beberapa penelitian telah dilakukan di bidang proses permesinan CNC kayu. Operasi *milling* CNC bertujuan untuk meningkatkan kualitas permukaan produk dengan mengurangi kekasaran

permukaan. Ohuchi dan Murase menemukan jika, proses *milling* kayu olahan yang dikontrol dengan *CNC arc IV* menunjukkan hasil jika sangat dimungkinkan untuk mengukur karakter dari hasil potongan tepi spesimen tanpa harus menghentikan prosesnya [10]. Pengaruh dari parameter proses telah dilakukan oleh Jiang dkk, dimana gaya potong mempengaruhi kualitas permukaan dari kayu *Walnut* [11].

Studi lain yang telah dilakukan oleh Labidi dkk juga memperoleh hasil jika perlakuan permukaan spesimen kayu saat proses permesinan akan menghasilkan kekasaran permukaan yang lebih baik, serta mampu meningkatkan kekuatan produk saat diberikan uji impak [12]. Penelitian lain yang melibatkan variasi kedalaman pemotongan, jumlah mata potong serta jenis kayu juga telah dilakukan, dimana hasilnya adalah kualitas kekasaran permukaan benda kerja sangat dipengaruhi oleh jumlah mata potong dan *grit abrasive* yang dipakai [13].

Kecepatan pemotongan, laju pengumpanan, kadar air serta densitas dari kayu olahan juga berpengaruh terhadap kekasaran permukaan akhir dari spesimen yang dikerjakan dengan proses CNC [14]. Kekasaran permukaan dari spesimen mengalami penurunan sejalan dengan peningkatan kecepatan *spindle* dan pengurangan laju pengumpanan [15]. Hazir dkk menentukan parameter pemessinan optimal seperti kecepatan spindle, laju pengumpanan, kedalaman pemotongan, radius pahat, dan arah pemotongan. Kekasaran permukaan minimum kayu *Abies* diukur setelah diproses dengan *milling* CNC. Telah diketahui bahwa kepadatan dan kadar air kayu *solid* atau papan berbasis kayu mempengaruhi sifat fisik dan mekanik [16].

Studi lain yang dilakukan oleh Koc dkk, juga memperoleh hasil yang sama, dimana mereka mempelajari efek dari kecepatan pemotongan, laju pengumpanan, dan kedalaman pemotongan terhadap kekasaran permukaan dari papan MDF. Mereka menemukan jika kekasaran permukaan yang lebih rendah diperoleh dengan cara meningkatkan kecepatan *spindle* dan menurunkan kedalaman pemotongan [17]. Deus dkk juga melakukan percobaan variasi parameter permesinan CNC dengan empat kecepatan pemotongan dan tiga variasi kedalaman pemotongan yang berbeda. Deus dkk melaporkan hasil jika kekasaran permukaan semakin menurun seiring dengan peningkatan kecepatan pemotongan dan pengurangan kedalaman pemotongan [18].

Berdasarkan uraian tersebut, berbagai studi telah dilakukan untuk mengeksplorasi variasi parameter permesinan, seperti laju pengumpanan, kecepatan pemakanan, kedalaman penyayat, dan jumlah mata potong, pada kayu solid maupun papan olahan seperti MDF. Namun, penelitian yang membahas variasi parameter CNC pada papan olahan HMR masih sangat terbatas. Oleh karena itu, penulis bertujuan melakukan pengujian variasi metode penyayat dan kedalaman penyayat dalam proses *CNC milling* pada papan HMR untuk menganalisis pengaruh parameter tersebut terhadap dimensi hasil potongan dan kekasaran permukaan.

## 2. Metode

### 2.1. Persiapan Material

Spesimen dengan ukuran panjang 50 mm dengan lebar 35 mm dibuat menggunakan papan HMR dengan ketebalan seragam 18 mm. Seluruh spesimen dibentuk dengan menggunakan mesin *CNC Nesting Felder Format 4 Profit H008*. Saat proses penyayatan, pada bagian bawah papan HMR diberikan *spoilboard* HMR yang berfungsi sebagai alas, karena proses penyayatan dilakukan hingga benda kerja terpotong sepenuhnya. *Tool* yang digunakan adalah *Endmill 3 flute* dengan ukuran  $\varnothing 6$  mm. Gambar 1 merupakan foto dari mesin *CNC Nesting* yang digunakan untuk membuat seluruh spesimen.



Gambar 1. *CNC Nesting* untuk pembuatan spesimen

Material yang telah disiapkan, kemudian dilakukan *cutting* dengan pengaturan parameter; *feed rate* konstan pada kecepatan 66 mm/s dan *spindle speed* 15000 Rpm. Variasi parameter skema pertama yakni: metode penyayatan konvensional, dengan kedalaman sayat 2 mm, skema kedua: metode penyayatan *climb*, dengan kedalaman sayat 2 mm, skema ketiga: metode penyayatan konvensional, dengan kedalaman sayat 4 mm serta skema terakhir: metode penyayatan *climb*, dengan kedalaman sayat 4 mm. Untuk masing-masing skema pengaturan parameter dibuat sejumlah 3 spesimen. Tabel 1 menunjukkan skema pengujian yang dilakukan pada studi ini.

Tabel 1. Skema pengujian *cutting* dengan mesin CNC

|         | Metode penyayatan | Kedalaman sayat |
|---------|-------------------|-----------------|
| Skema 1 | Konvensional      | 2 mm            |
| Skema 2 | <i>Climb</i>      | 2 mm            |
| Skema 3 | Konvensional      | 4 mm            |
| Skema 4 | <i>Climb</i>      | 4 mm            |

### 2.2. Pengujian Material

Pengujian material dilakukan dengan menguji dimensi panjang dan lebar dari spesimen setelah *cutting*. Hal ini dilakukan untuk melihat seberapa besar simpangan ukuran yang terjadi akibat perlakuan variasi dari parameter permesinan. Alat yang digunakan untuk pengukuran dimensi spesimen adalah *Vernier caliper digital* dari Mitutoyo dengan resolusi pembacaan dimensi hingga 0,01 mm. Jangka sorong digital dipilih karena akurasi dan hasil pembacaan yang lebih presisi.

Pengujian selanjutnya adalah uji kekasaran permukaan. Pengujian ini dilakukan untuk melihat pengaruh variasi dari metode penyayatan dan kedalaman penyayatan terhadap kekasaran permukaan benda kerja. Kekasaran permukaan menjadi parameter penting karena selain memperoleh dimensi produk yang akurat, kekasaran permukaan yang rendah juga bisa mengurangi pasca pekerjaan permukaan ketika produk akan dilakukan tahap selanjutnya [7]. Gambar 2 menunjukkan foto dari jangka sorong *digital* yang dipakai untuk mengukur dimensi spesimen setelah *cutting*.



Gambar 2. *Digital Vernier Caliper*

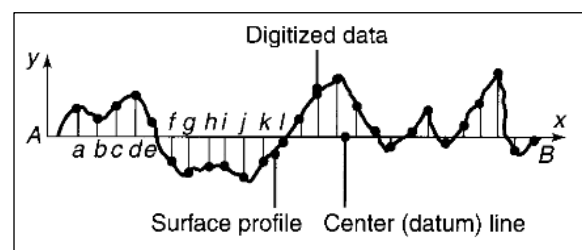
Kekasaran permukaan spesimen diuji menggunakan Alat *Surfcorder Flower SE 1700*, dengan pengaturan *cut-off*  $\lambda_c$ : 2,5 mm, *stylus tip*: 2 nm, *drive unit speed*: 0,75 mm/s, *x measurement range*: 10 mm. Data yang diperoleh dari Alat ini antara lain; *Arithmetic mean value* ( $R_a$ ), *Root mean square* ( $R_q$ ), tinggi 10 titik profil ( $R_z$ ) serta tinggi maksimal ( $R_y$ ). Persamaan (1) menunjukkan perhitungan untuk kekasaran rata-rata permukaan ( $R_a$ ). Gambar 5 memperlihatkan foto dari *Surfcorder Flower SE 1700* yakni alat yang digunakan untuk membaca kekasaran permukaan.

$$R_a = \frac{a+b+c+d+e+\dots}{n} \quad (1)$$

Persamaan (2) menunjukkan perhitungan untuk rata-rata akar kuadrat dari kekasaran ( $R_q$ ).

$$R_q = \sqrt{\frac{a^2+b^2+c^2+d^2+e^2+\dots}{n}} \quad (2)$$

Gambar 3 secara jelas menunjukkan skema pembacaan data serta jalur yang dilalui oleh *stylus tip* hingga mampu memperoleh data dari kekasaran permukaan spesimen [19].



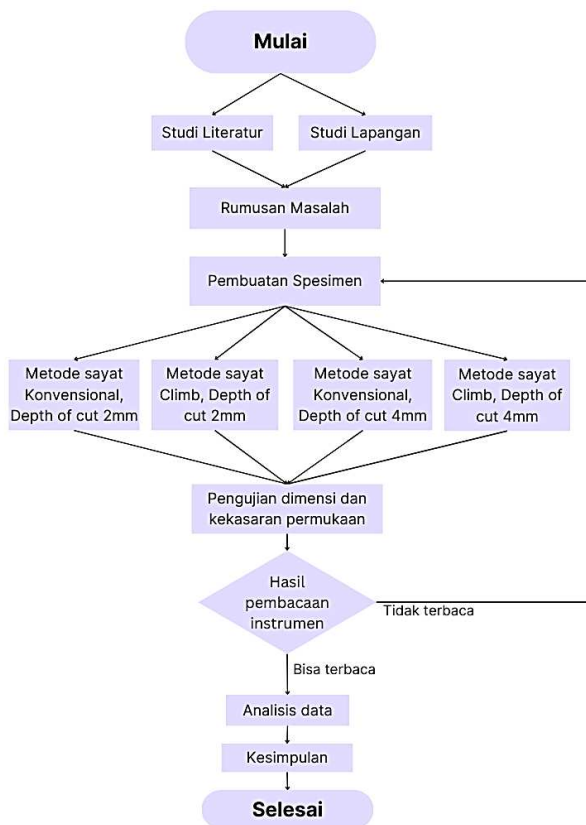
Gambar 3. Koordinat yang digunakan alat untuk menghitung kekasaran permukaan berdasarkan persamaan (1) dan (2).

### 2.3. Diagram Alir Penelitian

Desain eksperimen penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4. Studi dimulai dengan melakukan studi lapangan dan studi literatur. Studi literatur dilakukan untuk mencari celah riset dan menetapkan metodologi penelitian, selanjutnya studi lapangan dilakukan untuk membuat perbandingan secara nyata antara studi literatur dan kondisi nyata. Rumusan masalah ditentukan berdasarkan dari data yang telah dikumpulkan, serta langkah selanjutnya adalah membuat spesimen sesuai dengan kriteria yang telah ditentukan. Dimana 4 skema variasi untuk pengaturan parameter pemrosesan ditetapkan. Spesimen yang telah disiapkan, kemudian akan dilakukan pengukuran pada uji dimensi panjang dan lebar serta kekasaran permukaan.

Setiap skema pengaturan masing-masing dibuat sebanyak 3 spesimen. Setiap spesimen akan diuji dimensi panjang, lebar, serta diuji kekasaran permukaan. Pada alat uji kekasaran permukaan memiliki batas pembacaan pada kekasaran tertentu, sehingga jika spesimen yang gagal dibaca kekasaran permukaannya, maka perlu dibuat ulang agar kekasaran hasil dari penyayatan bisa dibaca oleh instrumen alat uji.

Data yang telah diperoleh kemudian akan dianalisis menggunakan rancangan acak lengkap (RAL). Data yang diperoleh dari analisis uji statistik akan dibuat pembahasan beserta dengan hasil data dari studi lain sebagai data pendukung untuk memperkuat hasil pengujian yang dilakukan. Hingga pada tahap akhir akan ditarik kesimpulan dari serangkaian pengujian yang telah dilakukan.



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

### 2.4. Data Analisis

Hasil dari pengujian dimensi panjang, lebar serta kekasaran permukaan dianalisis menggunakan rancangan percobaan berupa rancangan cak lengkap (RAL) sederhana faktor tunggal dengan ulangan sebanyak 3 kali pada masing-masing skema pengaturan parameter pemrosesan. Data yang didapatkan kemudian dianalisis dengan sidik ragam (ANOVA) dan uji *Duncan* akan dilakukan apabila terdapat perbedaan nyata.

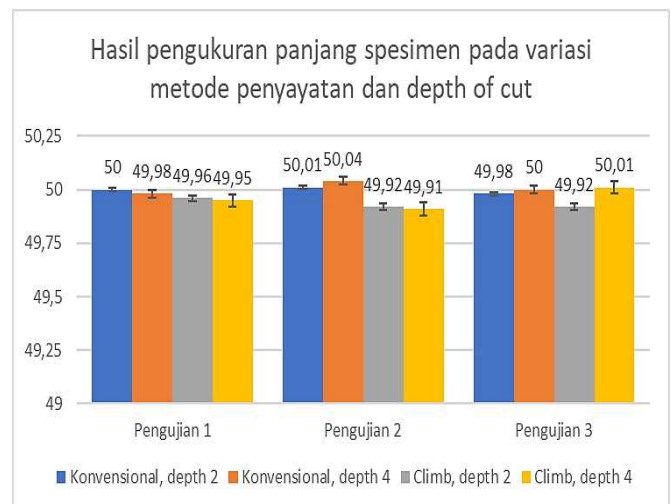


Gambar 5. Alat uji kekasaran permukaan

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Hasil Pengujian Dimensi Panjang Spesimen

Dimensi panjang diukur setelah semua spesimen dipotong dengan parameter yang telah ditentukan. Panjang spesimen yang diharapkan adalah 50 mm, sesuai dengan panjang yang telah ditentukan pada desain yang dibuat dengan *software* CAD seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7. Hipotesa awal adalah tidak ada perbedaan dari dimensi panjang dari seluruh spesimen. Setelah pengujian diperoleh ukuran panjang rata-rata spesimen antara 49,95-50 mm. Gambar 6 menunjukkan data hasil pengukuran dimensi panjang spesimen secara jelas dalam bentuk grafik.



Gambar 6. Hasil pengukuran dimensi panjang spesimen

Hasil analisis statistik menunjukkan jika nilai dari dimensi panjang spesimen tidak berbeda nyata dengan seluruh panjang spesimen dengan *p value* sebesar 0,171 untuk pengaruh dari metode penyayatan, *p value* sebesar 0,279 untuk pengaruh dari kedalaman sayat dan *p value* sebesar 0,689 untuk interaksi antara metode penyayatan dan

kedalaman sayat. Tabel 2 secara jelas menunjukkan hasil uji statistik dimensi panjang spesimen HMR.

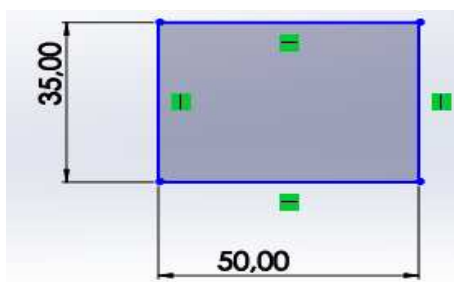
Nilai dari  $p$  value yang besar ( $>0,05$ ) mengindikasikan jika metode penyayatan, kedalaman sayat serta interaksi antara metode penyayatan dan kedalaman sayat tidak berpengaruh signifikan terhadap dimensi panjang spesimen. Hal ini disebabkan oleh penggunaan mesin CNC yang sudah terintegrasi dari pembuatan desain, konversi kode CAM, sampai pemrosesan material dengan mesin CNC sehingga menghasilkan produk yang akurat dan presisi [2].

Tabel 2. Hasil uji statistik dimensi panjang HMR (ANOVA)

| Source of variation | SS     | df | MS    | F     | P-value | F crit |
|---------------------|--------|----|-------|-------|---------|--------|
| Metode sayat        | 0,0032 | 1  | 0,003 | 2,783 | 0,171   | 7,709  |
| Depth of cut        | 0,0018 | 1  | 0,002 | 1,565 | 0,279   | 7,709  |
| Interaction         | 0,0002 | 1  | 0,000 | 0,174 | 0,698   | 7,709  |
| Within              | 0,0046 | 4  | 0,001 |       |         |        |
| Total               | 0,0098 | 7  |       |       |         |        |

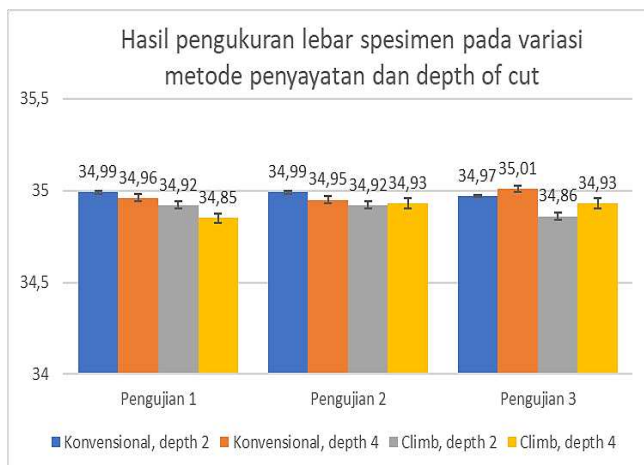
### 3.2. Hasil Pengujian Dimensi Lebar Spesimen

Dimensi lebar semua spesimen diukur setelah dipotong dengan parameter yang telah ditentukan. Lebar spesimen yang diharapkan adalah 35 mm, sesuai dengan lebar yang telah ditentukan pada desain yang dibuat dengan *software* CAD seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Ukuran awal desain spesimen

Hipotesa awal adalah tidak ada perbedaan dari dimensi lebar dari seluruh spesimen. Setelah pengujian diperoleh ukuran lebar rata-rata spesimen antara 34,90 mm-34,95 mm. Gambar 8 menunjukkan data hasil pengukuran dimensi lebar spesimen dalam bentuk grafik.



Gambar 8. Hasil pengukuran dimensi lebar spesimen

Berdasarkan grafik yang ditampilkan pada Gambar 8, terlihat jika lebar spesimen setelah proses pemotongan dengan variasi parameter permesinan belum mencapai ukuran yang diharapkan yakni 35 mm. Penyimpangan ukuran sebesar 0,1 mm atau sebanyak 0,2% terjadi pada dimensi lebar spesimen. Meskipun terjadi penyimpangan, hal ini masih masuk dalam toleransi, dimana nilai kesalahan yang terjadi kurang dari 2% [20].

Berdasarkan data dari Tabel 3, terlihat hasil analisis statistik nilai dari dimensi lebar spesimen tidak berbeda nyata dengan seluruh lebar spesimen dengan  $p$  value sebesar 0,405 untuk pengaruh dari metode penyayatan,  $p$  value sebesar 0,392 untuk pengaruh dari kedalaman sayat dan  $p$  value sebesar 0,380 untuk interaksi antara metode penyayatan dan kedalaman sayat. Nilai dari  $p$  value yang besar ( $>0,05$ ) mengindikasikan jika metode penyayatan, kedalaman sayat serta interaksi antara metode penyayatan dan kedalaman sayat tidak berpengaruh signifikan terhadap dimensi lebar spesimen. Otomatisasi pencekaman benda kerja, pemasangan peralatan pendukung serta penggunaan *tools* yang tepat selain meningkatkan efisiensi proses permesinan, juga akan menghasilkan dimensi dari produk yang akurat [21].

Tabel 3. Hasil uji statistik dimensi lebar HMR (ANOVA)

| Source of variation | SS      | df | MS    | F     | P-value | F crit |
|---------------------|---------|----|-------|-------|---------|--------|
| Metode sayat        | 2,79661 | 1  | 2,797 | 0,867 | 0,405   | 7,709  |
| Depth of cut        | 2,96461 | 1  | 2,965 | 0,919 | 0,392   | 7,709  |
| Interaction         | 3,13751 | 1  | 3,138 | 0,973 | 0,380   | 7,709  |
| Within              | 12,9033 | 4  | 3,226 |       |         |        |
| Total               | 21,802  | 7  |       |       |         |        |

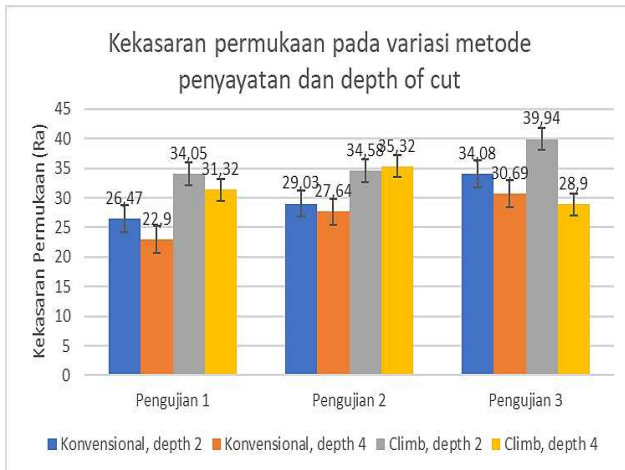
### 3.3. Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan Spesimen

Kekasaran permukaan merupakan salah satu parameter penting dari hasil pengaturan proses permesinan. Pada kondisi tertentu, kekasaran permukaan yang tidak terlalu halus memang diperlukan, namun secara prinsip, pengaturan parameter permesinan yang tepat, akan menghasilkan kekasaran permukaan yang semakin rendah [19]. Pada percobaan kali ini, grafik dari kekasaran permukaan spesimen setelah dilakukan proses *cutting* ditunjukkan oleh Gambar 9.

Grafik yang ditunjukkan pada Gambar 9 sekilas menunjukkan hasil jika pengujian dengan skema ketiga, yakni (metode sayat *climb*, kedalaman sayat 2 mm) menunjukkan hasil kekasaran permukaan yang paling tinggi. Nilai puncak kekasaran permukaan rata-rata ( $R_a$ ) sebesar  $39,94 \mu\text{m}$ , sedangkan kekasaran permukaan rata-rata dengan nilai paling rendah yakni sebesar  $26,47 \mu\text{m}$  diperoleh dengan pengaturan parameter permesinan dengan metode sayat konvensional dengan penyayatan yang rendah yakni sebesar 2 mm. Semakin rendah kedalaman penyayatan, maka semakin kecil *material removal rate* (MRR), sehingga akan menghasilkan produk dengan kekasaran permukaan yang lebih minimal [22].

Pengaturan parameter permesinan skema 2 (metode sayat konvensional, kedalaman sayat 4 mm) dan skema 4 (metode sayat *climb*, kedalaman sayat 4 mm) menghasilkan kekasaran permukaan rata-rata ( $R_a$ ) sebesar  $30,69 \mu\text{m}$  dan  $35,32 \mu\text{m}$  secara berurutan. Meskipun nilai ini lebih rendah

dari nilai kekasaran permukaan maksimal, namun nilai tidak masih tergolong lebih kasar dibandingkan dengan nilai kekasaran permukaan yang dihasilkan melalui skema pengaturan parameter permesinan 1. Hal ini disebabkan oleh arah penyayatan benda kerja, serta kedalaman penyayatan (*depth of cut*) yang semakin tinggi, sehingga *material removal rate* (MRR) semakin tinggi, sehingga menyebabkan kekasaran permukaan akhir (Ra) yang lebih tinggi pula [17].



Gambar 9. Hasil pengukuran kekasaran permukaan spesimen dalam satuan mikrometer (*micron*).

Berdasarkan data yang ditampilkan dalam Tabel 4, dimana telah dilakukan uji statistik terhadap kekasaran permukaan spesimen, mengindikasikan jika metode sayat secara signifikan mempengaruhi hasil dari kekasaran permukaan rata-rata (Ra). Hal ini tercermin dari nilai dari *p-value* sebesar 0,007 yang bermakna jika, metode sayat mempengaruhi kekasaran permukaan spesimen berbeda nyata terhadap seluruh spesimen. Sedangkan kedalaman penyayatan (*depth of cut*) serta interaksi dari metode sayat dan kedalaman penyayatan tidak berpengaruh secara signifikan terhadap kekasaran permukaan yang dihasilkan. Nilai dari *p-value* sebesar 0,668 dan 0,730 mengindikasikan jika keduanya tidak berpengaruh secara signifikan (*p-value* > 0,05).

Tabel 4. Hasil uji statistik kekasaran permukaan HMR (ANOVA)

| Source of variation | SS      | df | MS    | F      | P-value | F crit |
|---------------------|---------|----|-------|--------|---------|--------|
| Metode sayat        | 74,97   | 1  | 74,97 | 26,266 | 0,007   | 7,709  |
| Depth of cut        | 0,61051 | 1  | 0,611 | 0,214  | 0,668   | 7,709  |
| Interaction         | 0,39161 | 1  | 0,392 | 0,137  | 0,730   | 7,709  |
| Within              | 11,4173 | 4  | 2,854 |        |         |        |
| Total               | 87,8394 | 7  |       |        |         |        |

Kekasaran permukaan yang lebih besar diperoleh dari metode penyayatan *climb*, hal ini dikarenakan arah dari penyayatan yang searah dengan pergerakan dari *spindle*, sehingga ada kemungkinan material yang tersayat karena gaya tekan yang besar dari *tool* (pisau sayat), sehingga berpotensi menghasilkan kekasaran permukaan yang semakin besar [23].

#### 4. Kesimpulan

Serangkaian pengujian pemotongan spesimen menggunakan mesin CNC *milling* dengan empat skema telah dilakukan, dengan variasi dari parameter yakni; metode penyayatan dan kedalaman penyayatan. Dari pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan jika variasi dari metode sayat, kedalaman penyayatan maupun interaksi dari keduanya tidak berpengaruh secara signifikan terhadap dimensi panjang dan dimensi lebar dari spesimen yang dihasilkan, sedangkan kekasaran permukaan akhir spesimen sangat dipengaruhi oleh metode penyayatan, namun tidak dipengaruhi secara signifikan oleh kedalaman penyayatan maupun interaksi antara kedalaman penyayatan dan metode penyayatan. Nilai kekasaran permukaan paling rendah dan dimensi hasil potong yang ideal diperoleh dengan menerapkan pengaturan metode penyayatan konvensional, dengan kedalaman sayat yang kecil yakni 2 mm.

#### Ucapan Terimakasih

Terimakasih kepada Politeknik Industri Furnitur dan Pengolahan Kayu yang telah memberikan dukungan untuk riset melalui skema penelitian hibah, serta Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada Laboratorium Material Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada yang telah berkontribusi dalam proses pengujian material.

#### Daftar Pustaka

- [1] S. Yaghoubi and F. Rabiei, "A profound evaluation of different strategies to improve surface roughness of manufactured part in wood-CNC machining process," *J. Eng. Res.*, no. June, 2024, doi: 10.1016/j.jer.2024.05.033.
- [2] K. C. Yao, D. C. Chen, C. H. Pan, and C. L. Lin, "The Development Trends of Computer Numerical Control (CNC) Machine Tool Technology," *Mathematics*, vol. 12, no. 13, 2024, doi: 10.3390/math12131923.
- [3] P. Zheng *et al.*, "Smart manufacturing systems for Industry 4.0: Conceptual framework, scenarios, and future perspectives," *Front. Mech. Eng.*, vol. 13, pp. 137–150, 2018, [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:115792435>
- [4] P. Koch, *Wood machining processes*. New York: Ronald Press Co., 1964.
- [5] E. Csanády and E. Magoss, "Mechanics of Wood Machining," 2013, pp. 1–30. doi: 10.1007/978-3-642-29955-1\_1.
- [6] F. O. Mumpuni and I. Mulyawati, "Development of Smart Board Media on the Ability To Count Addition and Subtraction Materials in Grade Ii Elementary School Students," *Prima J. Pendidik. Mat.*, vol. 8, no. 2, p. 424, 2024, doi: 10.31000/prima.v8i2.11322.
- [7] B. C. Bal and Z. Gündeş, "Surface roughness of medium-density fiberboard processed with CNC machine," *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 153, pp. 1–5, 2020, doi: 10.1016/j.measurement.2019.107421.
- [8] A. malkoçoğlu, "Machining properties and surface roughness of various wood species planed in different conditions," *Build. Environ. - BLDG Env.*, vol. 42, pp. 2562–2567, Jul. 2007, doi: 10.1016/j.buildenv.2006.08.028.
- [9] N. Fountas, J. Kechagias, and N. Vaxevanidis, "Statistical Modeling and Optimization of Surface Roughness for PLA and PLA/Wood FDM Fabricated Items," *J. Mater. Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 38–44, 2023, doi: 10.61552/jme.2023.01.005.
- [10] T. Ohuchi and Y. Murase, "Milling of wood and wood-based materials with a computerized numerically controlled router

- IV: Development of automatic measurement system for cutting edge profile of throw-away type straight bit,” *J. Wood Sci.*, vol. 51, no. 3, pp. 278–281, 2005, doi: 10.1007/s10086-004-0663-x.
- [11] S. Jiang *et al.*, “Cutting Force and Surface Roughness during Straight-Tooth Milling of Walnut Wood,” *Forests*, vol. 13, no. 12, 2022, doi: 10.3390/f13122126.
- [12] C. Labidi, R. Collet, C. Nouveau, P. Beer, and S. Nicosia, “Surface treatments of tools used in industrial wood machining,” *Surf. Coatings Technol. - SURF COAT TECH*, vol. 200, pp. 118–122, Oct. 2005, doi: 10.1016/j.surfcoat.2005.02.098.
- [13] S. Tiryaki, A. malkoçoğlu, and S. Ozsahin, “Using artificial neural networks for modeling surface roughness of wood in machining process,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 66, pp. 329–335, Sep. 2014, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.05.098.
- [14] E. M. Davis, “Machining and related characteristics of united states hardwoods,” *Tech. Bull. No. 1267*, no. 1267, p. pp68, 1962, [Online]. Available: [http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=s8cF38FFw6IC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Machining+and+Related+Characteristics+of+United+States+Hardwoods&ots=IBOsDVeZ3X&sig=fN30elK3lgeYnbk\\_6CfZg8pt9ko%0Ahttp://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=s8cF38FFw6IC&oi=fnd&pg=PA](http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=s8cF38FFw6IC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Machining+and+Related+Characteristics+of+United+States+Hardwoods&ots=IBOsDVeZ3X&sig=fN30elK3lgeYnbk_6CfZg8pt9ko%0Ahttp://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=s8cF38FFw6IC&oi=fnd&pg=PA)
- [15] J. P. Davim, V. C. Clemente, and S. Silva, “Surface roughness aspects in milling MDF (medium density fibreboard),” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 40, no. 1, pp. 49–55, 2009, doi: 10.1007/s00170-007-1318-z.
- [16] E. Hazir, E. Erdinler, and K. Koc, “Optimization of CNC cutting parameters using design of experiment (DOE) and desirability function,” *J. For. Res.*, Dec. 2017, doi: 10.1007/s11676-017-0555-8.
- [17] K. Koc, E. Erdinler, E. Hazir, and E. Öztürk, *Effect of CNC Application Parameters on Wooden Surface Quality*. 2015.
- [18] P. Deus, M. Alves, F. Vieira, and L. Bilesky, “Analysis of the Cutting Parameters in Front Milling for Medium Density Fiberboard,” *BioResources*, vol. 13, Mar. 2018, doi: 10.15376/biores.13.2.3404-3410.
- [19] S. Kalpakjian and S. R. Schmid, “Manufacturing Engineering and Technology Forth Edition,” p. 1148, 2000.
- [20] J. Fan, B. Xie, Q. Zhao, and J. Wang, *Research on the Optimal Allocation of Tolerances of CNC Machine Tools Based on Small Deformation of Grinding Wheel*. 2021. doi: 10.21203/rs.3.rs-903136/v1.
- [21] Y. Wu, N. Yue, and K. Qian, “Performance Optimization of CNC Machine Tool System Based on Sensor Data,” *Sci. Program.*, vol. 2022, no. 1, p. 5663824, 2022, doi: <https://doi.org/10.1155/2022/5663824>.
- [22] Ü. K. İşleyen and M. Karamanoğlu, “Roughness of MDF,” *BioResources*, vol. 14, no. 2, pp. 3266–3277, 2019.
- [23] E. Indrawan, Y. A. R. Rifelino, and R. F. U. A. Herianto, “Surface Quality Comparison of Down and Up cut Technique on CNC Milling Machine toward ST-37 Steel Material,” *Motiv. J. Mech. Electr. Ind. Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 11–20, 2020, doi: 10.46574/motivaction.v2i1.65.