

LAPORAN AKHIR PENELITIAN

PENGUJIAN PROFIL KEKASARAN BAHAN MENGGUNAKAN TEKNIK IMAGING OPTIK

RINGKASAN

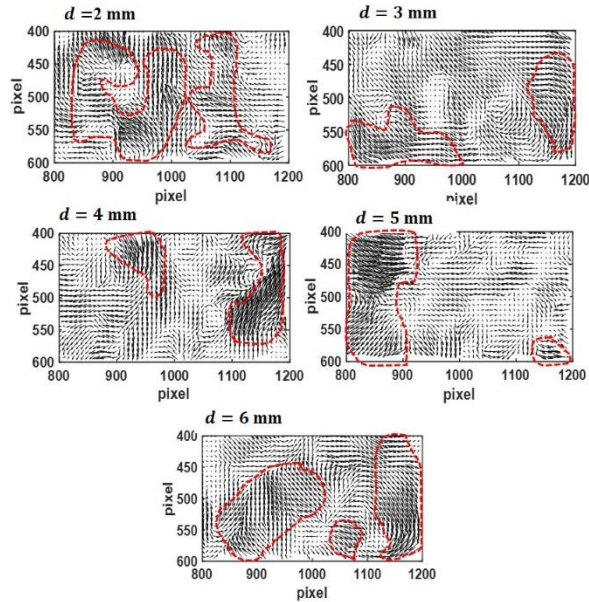
Metode (teknik) handal sangat dibutuhkan dalam penentuan kekasaran permukaan secara akurat. Teknik kontak adalah sangat populer, akan tetapi dapat merusak bahan dan dihindari banyak *noise*. Sementara teknik non-kontak (biasanya metode optik) masih menghadapi kendala kerumitan *setup* dan belum akurat. Penelitian ini merancang-bangun sebuah sistem pencitraan (*imaging*) optik sederhana berdasarkan pada proyeksi pola titik-titik acak (titik-titik spikel) untuk menentukan kekasaran permukaan suatu bahan. Secara teknis, rancang-bangun ini adalah sederhana karena hanya membutuhkan perangkat *Liquids Crystal Display* (LCD) proyektor untuk menyorotkan pola titik-titik acak ke permukaan bahan uji, dan lalu sebuah kamera digital digunakan untuk menangkapnya. Kamera menangkap citra referensi (hanya pola titik-titik acak), dan citra distorsi ketika bahan uji tersorot oleh pola titik-titik acak. Kedua citra diolah secara digital dengan menggunakan algoritma *Digital Image Correlation* (DIC) untuk memperoleh nilai korelasi yang sebanding dengan perubahan pola titik-titik acak akibat permukaan bahan uji. Perubahan ini dinyatakan sebagai citra medan pergeseran pixel yang diestimasi sebanding dengan profil kekasaran permukaan bahan. Berdasarkan profil ini, sebuah indeks kekasaran permukaan dapat diestimasi. Dari hasil uji validasi menunjukkan bahwa rancang-bangun dapat menentukan indeks kekasaran dari permukaan bidang yang ditaburi secara acak dengan diameter bola gabus yang berbeda-beda (terseleksi). Semakin besar diameter bola gabus, semakin besar indeks kekasaran permukaan. Hasil ini adalah rasional dan valid. Rancang-bangun juga terverifikasi mampu menentukan indeks kekasaran dari permukaan amplas komersial dengan berbagai ukuran grit. Semakin besar grit amplas, semakin halus amplas. Hasil verifikasi menunjukkan bahwa rancang-bangun mampu menunjukkan bahwa semakin besar grit, semakin kecil indeks kekasaran amplas. Rancang-bangun ini juga dilengkapi dengan tampilan 3-D dari kekasaran suatu permukaan. Hasil tampilan 3-D juga menunjukkan sebuah perbedaan kekasaran suatu permukaan dengan jelas. Dengan demikian, rancang-bangun pencitraan optik yang dikembangkan ini adalah valid dan berpotensi menjadi basis teknologi yang sederhana, murah, mudah operasionalnya, cepat, dan dengan tampilan 2-D maupun 3-D dalam memperoleh informasi tentang kekasaran permukaan suatu bahan.

Kata kunci: pencitraan, optik, proyeksi, titik-titik acak, kekasaran-permukaan.

HASIL DAN PEMBAHASAN PENELITIAN

Validasi Eksperimen

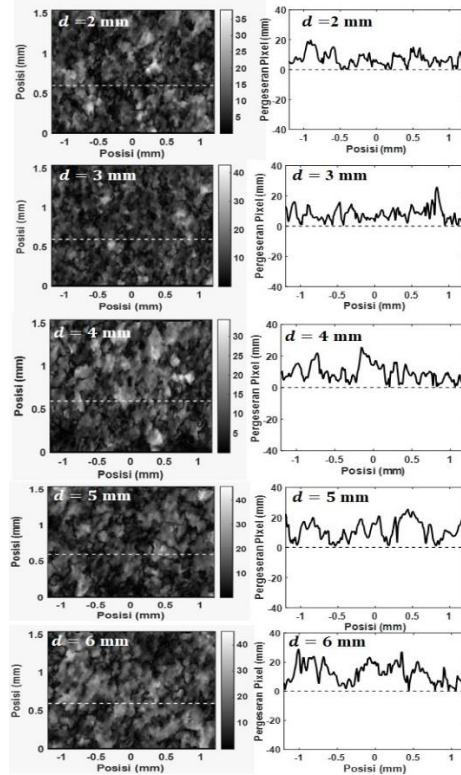
Untuk memvalidasi hasil eksperimen rancang-bangun pencitraan optik (**Gambar 1**), beberapa bahan uji validasi dipersiapkan dengan cara menaburkan secara acak bola gabus dengan diameter tertentu (dalam orde milimeter) di atas kertas berukuran 7 cm × 7 cm. Diameter bola gabus dipilih dari ukuran 2 mm, 3 mm, 4 mm, 5 mm, dan 6 mm. Prosedur validasi dimulai dengan akuisisi citra referensi dan dilanjutkan dengan citra distorsi dengan menggunakan kamera digital (spesifikasi pada **Tabel 1**). Lensa terfokus pada pola titik-titik acak pada bidang referensi selama akuisisi citra berlangsung.



Gambar 4. Citra medan pergeseran pixel dari semua bahan uji validasi dengan berbagai diameter bola gabus (d).

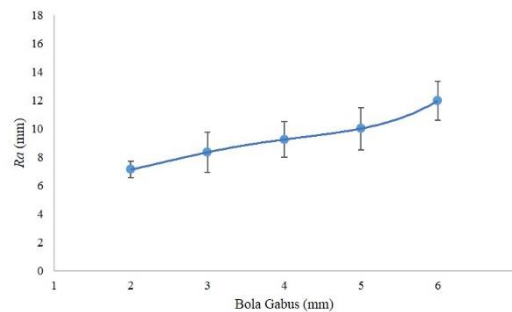
Dengan menggunakan program MATLAB, kedua citra diolah secara digital berdasarkan algoritma DIC. Citra medan pergeseran pixel pada semua bahan uji (untuk validasi) ditunjukkan pada **Gambar 4**. Tampak bahwa pola-pola pergeseran pixel pada setiap bahan uji validasi memiliki arah acak (ditunjukkan dengan anak panah kecil) dan masing-masing memiliki pola-pola berbeda. Beberapa daerah pada bidang citra (kurva merah putus-putus) menunjukkan kerapatan pergeseran pixel yang lebih besar daripada daerah yang lain. Perbedaan ini menunjukkan bahwa distribusi (saat penaburan) bola gabus pada permukaan kertas tidak merata (tidak homogen).

Gambar 5 menunjukkan citra besar pergeseran pixel beserta profil 1-D pada suatu baris tertentu (garis putih putus-putus melintasi citra). Dengan menggunakan konversi 1 pixel = $1,43\mu\text{m}$ (**Tabel 1**), citra medan besar pergeseran pixel (**Gambar 5** kolom kiri) merupakan citra di dalam bidang sensor kamera. Secara visual, citra besar pergeseran pixel pada setiap bahan uji validasi tampak berbeda. Perbedaan ini dikonfirmasi dengan profil plot antara data besar pergeseran pixel terhadap posisi pixel (**Gambar 5** kolom kanan) yang diambil pada suatu baris data tertentu (garis putih putus-putus) pada masing-masing citra **Gambar 5** kolom kiri. Tampak bahwa profil (grafik) 1-D menunjukkan perbedaan secara jelas dari masing-masing bahan uji validasi.



Gambar 5. Citra besar (*magnitude*) medan pergeseran pixel (kolom kiri) dan profil 1-D citra pada baris data citra yang ditunjukkan oleh garis putih putus-putus (kolom kanan) untuk bahan uji validasi (variasi diameter bola gabus).

Berdasarkan profil **Gambar 5** kolom kiri, nilai indeks kekasaran permukaan (R_a) dari setiap bahan uji validasi dapat diestimasi. Plot data antara nilai R_a dengan diameter bola gabus ditunjukkan pada **Gambar 6**. Dapat diamati dari grafik bahwa indeks R_a cenderung meningkat terhadap kenaikan diameter bola gabus. Hasil ini menunjukkan fakta rasional bahwa semakin besar diameter bola gabus, semakin kasar permukaan bahan uji validasi. Dari hasil uji validasi ini menunjukkan bahwa rancang-bangun ini sudah bekerja sesuai yang diharapkan (valid) untuk menentukan profil kekasaran permukaan suatu bahan.

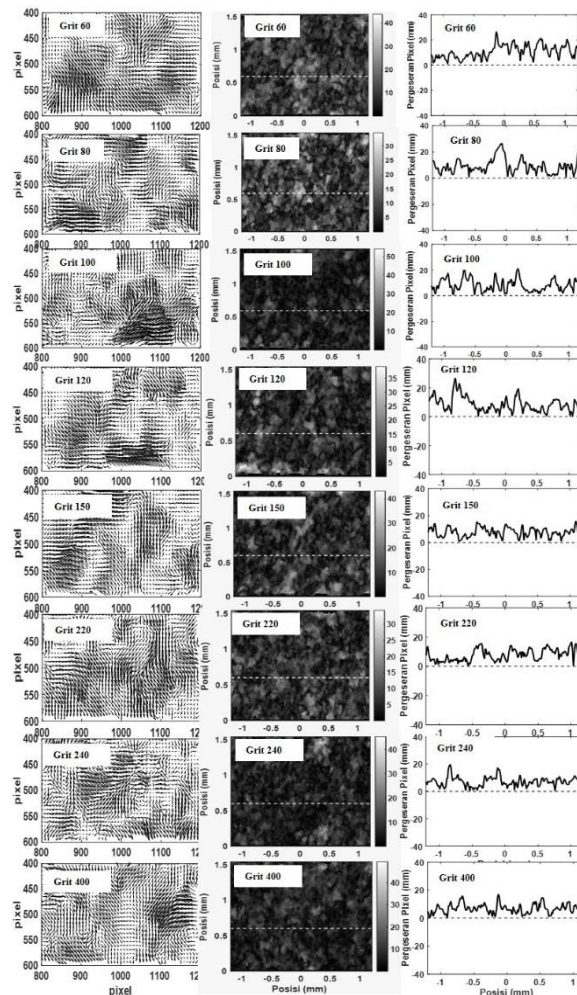


Gambar 6. Plot grafik hasil validasi antara antara nilai indeks kekasaran permukaan R_a dengan diameter bola gabus.

Hasil Uji pada Bahan Amplas

Untuk memverifikasi hasil validasi tersebut, rancang-bangun pencitraan optik diujikan pada permukaan amplas komersial. Bidang amplas ini memiliki spesifikasi tingkat (tekstur) kekasaran berbeda-beda yang dinyatakan dalam ukuran grit. Semakin besar nilai grit, semakin halus tekstur permukaan amplas. Eksperimen ini memilih amplas dengan grit 60, 80, 100, 120, 150, 220, 240 dan 400 sebagai permukaan untuk ditentukan profil kekasarannya.

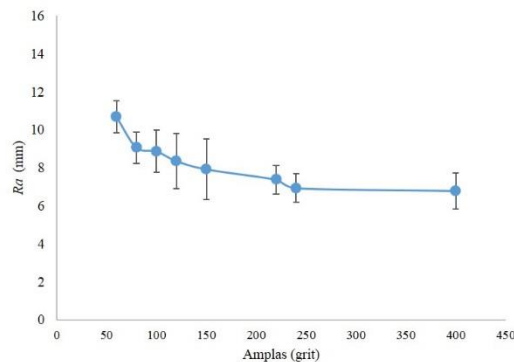
Gambar 7 menunjukkan hasil uji pada seluruh amplas. Kolom paling kiri pada **Gambar 7** menunjukkan hasil citra medan pergeseran pixel pada masing-masing grit amplas. Secara umum, medan pola-pola pergeseran pixel (ditunjukkan dengan anak panah kecil) dari setiap grit amplas menunjukkan arah berbeda-beda dan acak. Namun ada beberapa daerah menunjukkan kerapatan pergeseran yang lebih besar dibandingkan dengan daerah lain pada setiap citra. Ini menunjukkan bahwa amplas komersial memiliki tekstur kekasaran yang tidak merata pada saat dibuat oleh pabrik.



Gambar 7. Citra pergeseran pixel (kolom paling kiri), besar (*magnitude*) medan pergeseran pixel (kolom tengah) dan profil 1-D citra pada baris data citra yang ditunjukkan oleh garis putih putus-putus pada citra kolom tengah (kolom paling kanan) untuk bahan (permukaan) amplas komersial.

Gambar 7 kolom tengah menunjukkan citra besar (*magnitude*) pergeseran pixel pada masing-masing grit amplas. Dari pengamatan secara visual, kontras citra juga nampak berbeda-beda. Di sini intensitas cerah pada citra menyatakan besarnya pergeseran pixel, dan sebanding dengan variasi ketinggian (ketidakrataan) dari permukaan amplas yang diuji. Akan tetapi dapat diamati bahwa pada ukuran grit besar (150, 240 dan 400) intensitas citra cenderung lebih gelap. Ini menunjukkan bahwa permukaan amplas pada grit besar 150, 240 dan 400 memiliki permukaan lebih halus sesuai dengan klaim pabrik pembuatnya.

Profil 1-D besar pergeseran pixel yang melintasi masing-masing citra **Gambar 7** kolom tengah (garis putih putus-putus) menguatkan hasil ini. Sederetan profil 1-D besar pergeseran pixel dari setiap grit amplas ditunjukkan pada **Gambar 7** kolom paling kanan. Nampak bahwa pada puncak-puncak grafik untuk grit 150, 240 dan 400 cenderung rata. Hasil ini memperkuat pengamatan secara visual bahwa untuk citra besar pergeseran pixel amplas dengan grit 150, 240, dan 400 memperlihatkan sebuah kecenderungan lebih gelap.



Gambar 8. Plot grafik hasil uji permukaan amplas antara nilai indeks kekasaran permukaan R_a dengan ukuran grit.

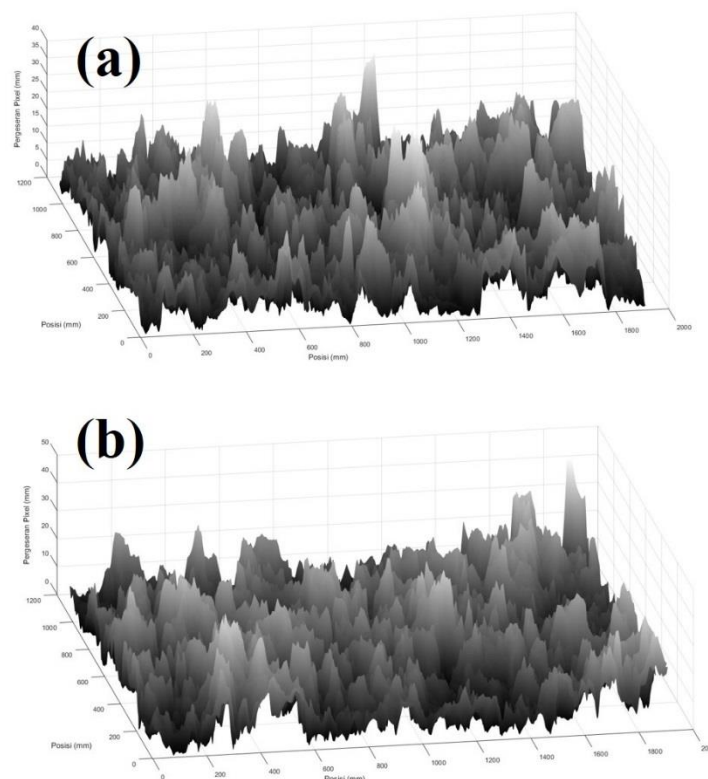
Berdasarkan profil 1-D **Gambar 7** kolom paling kanan, indeks kekasaran permukaan R_a dari amplas komersial dapat diestimasi. **Gambar 8** menunjukkan plot grafik antara R_a dengan ukuran grit amplas komersial. Semakin besar nilai grit amplas nampak grafik cenderung menurun. Ini berarti menunjukkan bahwa semakin besar grit, semakin halus permukaan amplas. Hasil ini memperkuat hasil validasi sebagaimana yang sudah dilakukan sebelumnya.

Tampilan Kekasaran Permukaan 3-D (Tiga-Dimensi)

Salah satu kelebihan dari hasil rancang-bangun ini adalah dilengkapi dengan penampilan profil kekasaran permukaan ke dalam bentuk 3-D. Untuk menyingkat laporan ini, visual 3-D dari hasil uji profil kekasaran permukaan dengan menggunakan rancang-bangun optik ini tidak ditampilkan semuanya. Untuk sampel uji bahan bola gabus dipilih hanya yang memiliki diameter terkecil (2 mm) dan terbesar (6 mm). Demikian juga untuk hasil uji bahan amplas, hanya dipilih amplas dengan nilai (skala) grit 60 dan grit 400, dimana masing-masing mewakili permukaan amplas paling kasar dan yang paling halus. Tujuan pemilihan ini adalah agar diperoleh perbedaan yang mencolok secara visual 3-D.

Tampilan visual 3-D profil kekasaran permukaan pada sampel bola gabus ini dapat dilihat pada **Gambar 9**. Secara umum, visual 3-D menampakkan perbedaan puncak-puncak profil yang menjadi indikator dari kekasaran permukaan yang ditaburi dengan bola gabus. **Gambar**

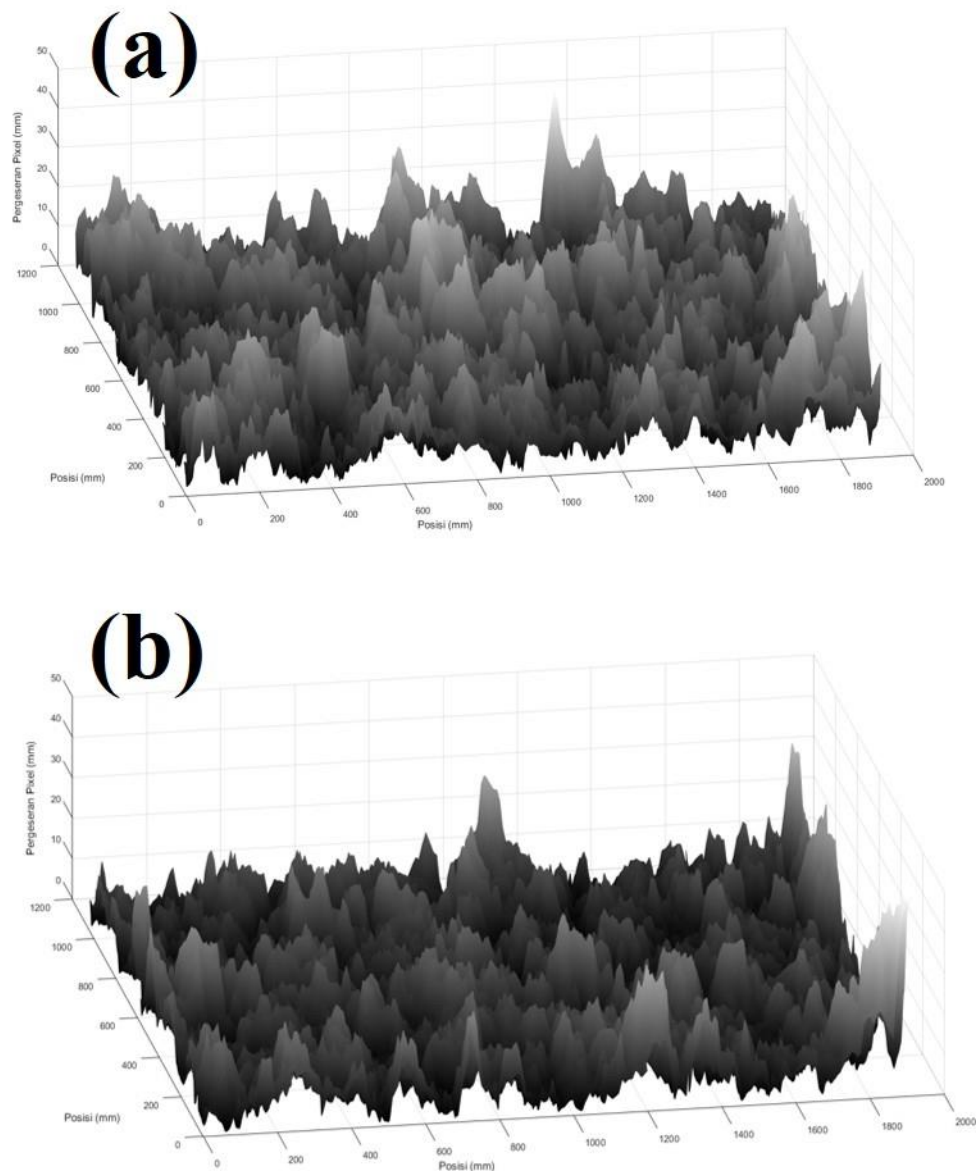
9.a merupakan tampilan diameter bola gabus 2 mm. Sementara **Gambar 9.b** adalah visual 3-D dari sampel bola gabus berdiameter 6 mm. Dari kedua gambar tersebut terlihat secara visual memiliki perbedaan. Puncak-puncak bola gabus dengan diameter 6 mm nampak lebih dominan dan lebih tinggi. Dari sudut pandang tingkat kecerahan, visual 3-D untuk sampel bola gabus diameter 6 mm (**Gambar 9.b**) memiliki puncak-puncak profil dengan tingkat kecerahan lebih tinggi (warna dominan adalah abu-abu muda). Sementara untuk sampel bola gabus diameter 2 mm (**Gambar 9.a**) lebih menunjukkan kecerahan dominan berwarna abu gelap (atau lebih cenderung gelap) dibandingkan dengan **Gambar 9.b** (diameter 6 mm). Tingkat kecerahan pada visual 3-D ini sebanding dengan profil tingkat kekasaran permukaan dari sampel uji. Semakin dominan berwarna cerah pada visual 3-D, semakin menunjukkan puncak-puncak tersebut semakin tinggi dan juga semakin kasar permukaan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil pembacaan secara visual 3-D menunjukkan bahwa diameter bola gabus besar menunjukkan permukaan lebih kasar atau memiliki tingkat kekasaran permukaan lebih besar.



Gambar 9. Tampilan visual 3-D dari profil kekasaran permukaan yang ditaburi dengan bola gabus dengan diameter (a) 2 mm dan (b) 6 mm.

Hasil visual 3-D pada sampel uji amplas dapat dilihat pada **Gambar 10**. Sebagaimana hasil sebelumnya, visual 3-D untuk sampel uji amplas menunjukkan perbedaan puncak-puncak profil sebagai indikator kekasaran permukaan. **Gambar 10.a** merupakan tampilan visual 3-D untuk bahan amplas dengan grit 60. Sementara **Gambar 10.b** merupakan amplas dengan grit 400. Kedua tampilan visual 3-D pada **Gambar 10** (bahan amplas) tampak lebih berbeda secara visual dengan **Gambar 9** (distribusi bola gabus). Puncak-puncak pada **Gambar 10** lebih rapat (lebih banyak) dan dengan ketinggian yang hampir homogen dibandingkan dengan **Gambar 9**,

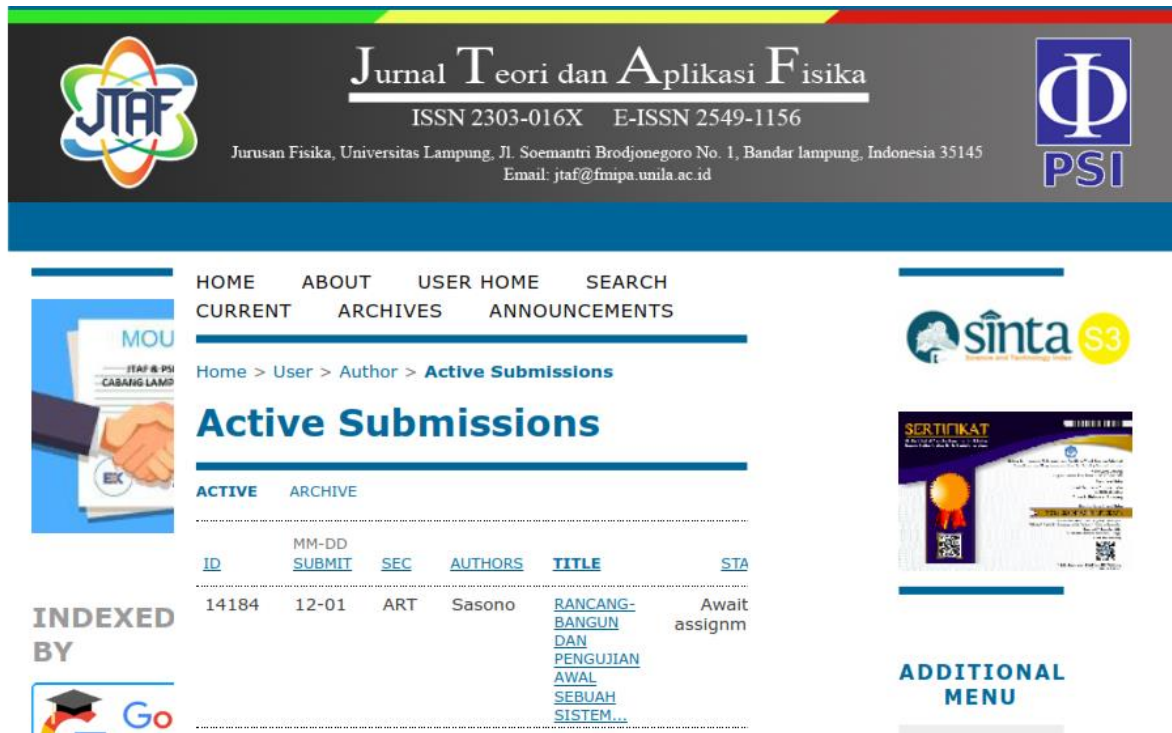
dimana puncaknya lebih jarang. Jika dibandingkan dengan **Gambar 10.b** (amplas grit 400), puncak-puncak visual 3-D untuk sampel amplas dengan grit 60 (**Gambar 10.a**) nampak lebih tinggi dan lebih jarang (kurang rapat). Dari sudut pandang kecerahan, nampak bahwa **Gambar 10.b** (amplas grit 400) lebih cenderung gelap. Hasil ini menunjukkan bahwa visual 3-D dalam rancang-bangun sistem pencitraan optik ini dapat membedakan suatu kekasaran permukaan sampel dengan jelas.



Gambar 10. Tampilan visual 3-D dari profil kekasaran permukaan sampel uji amplas dengan grit (a) 60 mm (paling kasar) dan (b) 400 mm (paling halus).

STATUS LUARAN

Draft paper sudah tersubmit ke jurnal SINTA-3 *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. Bukti sudah submitted ditunjukkan pada **Gambar 11**. Namun sekarang ini belum ada tanggapan dari editor jurnal tersebut.



The screenshot shows the homepage of the journal 'Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika'. The header includes the journal logo (JTAF), ISSN 2303-016X, E-ISSN 2549-1156, and contact information for the Physics Department at Universitas Lampung. The main content area is titled 'Active Submissions' and features a table with the following data:

ID	MM-DD SUBMIT	SEC	AUTHORS	TITLE	STA
14184	12-01	ART	Sasono	RANCANG-BANGUN DAN PENGUJIAN AWAL SEBUAH SISTEM...	Await assignm

Additional elements on the page include navigation links (HOME, ABOUT, USER HOME, SEARCH, CURRENT, ARCHIVES, ANNOUNCEMENTS), a sidebar with 'INDEXED BY' logos (Go, etc.), and a 'SINTA S3' logo.

Gambar 11. Bukti luaran, draft makalah yang sudah terkirim.

PERAN MITRA TIDAK ADA

KENDALA PELAKSANAAN PENELITIAN

- Masih perlu lensa dengan fokus panjang, tetapi harga di pasaran tidak terjangkau oleh dana penelitian ini.
- Untuk meningkatkan sensitivitas dari rancang-bangun ini, diperlukan kamera digital dengan spesifikasi resolusi lebih tinggi dari yang digunakan saat ini. Harga kamera digital spesifikasi ini juga masih mahal (tidak terjangkau dengan dana penelitian ini).
- Untuk lebih memvalidasi keakurasian dari rancang-bangun ini membutuhkan bahan uji standar. Namun, sampai saat ini belum diperoleh bahan uji kekasaran permukaan standar tersebut.

RENCANA TAHAPAN SELANJUTNYA

- Mewujudkan *setup* rancang-bangun ini menjadi sebuah prototipe awal.
- Memperbaiki dan meningkatkan *software* olah data dan otomatisasi ke dalam format GUI (*graphical user interface*).

- Memvalidasi hasil, misalnya dengan membuat komparasi dengan alat standar uji kekasaran permukaan yang ada di pasaran.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. F. Senge, A. H. Astaraee, P. Dłotko, S. Bagherifard, and W. A. Bosbach, "Extending conventional surface roughness ISO parameters using topological data analysis for shot peened surfaces," *Sci. Rep.*, vol. 12, no. 1, pp. 1–12, 2022.
- [2] F. Salazar and A. Barrientos, "Surface roughness measurement on a wing aircraft by speckle correlation," *Sensors (Switzerland)*, vol. 13, no. 9, pp. 11772–11781, 2013.
- [3] G. R. M. Matos, "Surface Roughness of Dental Implant and Osseointegration," *J. Maxillofac. Oral Surg.*, vol. 20, no. 1, pp. 1–4, 2021.
- [4] A. Duparré, J. Ferre-Borrull, S. Gliech, G. Notni, J. Steinert, and J. M. Bennett, "Surface characterization techniques for determining the root-mean-square roughness and power spectral densities of optical components," *Appl. Opt.*, vol. 41, no. 1, p. 154, 2002.
- [5] R. Li, F. Wu, H. Huang, W. Cai, Y. Zhang, and J. Han, "Investigation of Surface Defects in Optical Components Based on Reflection Mueller Matrix Spectroscopy," *Appl. Sci.*, vol. 13, no. 16, 2023.
- [6] H.-G. Rhee, Y.-W. Lee, I.-W. Lee, and T. V. Vorburger, "Roughness Measurement Performance Obtained with Optical Interferometry and Stylus Method," *J. Opt. Soc. Korea*, vol. 10, no. 1, pp. 48–54, 2006.
- [7] N. R.H. and V. R. K., "A Review on Surface Roughness Measurement using Image Processing," *Int. J. Res. Publ. Rev.*, no. November, pp. 1104–1107, 2022.
- [8] T. Importance and S. Characterization, "Atomic Force Microscopy for Advanced Optical Components," no. Figure 2, pp. 2–5, 2020, [Online]. Available: www.covalentmetrology.com.
- [9] A. Sanner, W. G. Nöhring, L. A. Thimons, T. D. B. Jacobs, and L. Pastewka, "Scale-dependent roughness parameters for topography analysis," *Appl. Surf. Sci. Adv.*, vol. 7, no. September 2021, 2022.
- [10] D. R. Patel and M. B. Kiran, "Vision based prediction of surface roughness for end milling," *Mater. Today Proc.*, vol. 44, pp. 792–796, 2021.

**SURAT PERNYATAAN TANGGUNG JAWAB BELANJA**

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Margi Sasono, S.Si, M.Si
Judul Penelitian : Pengujian Profil Kekasaran Bahan Menggunakan Teknik Imaging Optik
Nomor Kontrak : PD-068/SP3/LPPM-UAD/VIII/2023
Dana penelitian : Rp. 11.400.000,00 (*Sebelas Juta Empat Ratus Ribu Rupiah*)

Dengan ini menyatakan bahwa biaya kegiatan penelitian tersebut di atas digunakan untuk pos-pos pembelajaan sebagai berikut.

No	Uraian Pengeluaran	Jumlah (Rp)
1.	Bahan (ATK, material/bahan penelitian, Dll.)	9.000.000
2.	Pengumpulan Data (Penggandaan angket, FGD, transport responden, dll.)	500.000
3.	Analisis Data (Biaya uji lab., biaya analisis data, dll.)	400.000
4.	Pelaporan dan Luaran Penelitian (Penyusunan laporan dan luaran, biaya translate ke bahasa asing, biaya submit, biaya pendaftaran HKI, dll.)	500.000
5.	Lain-lain (HR tim peneliti dan pembantu lapangan)	1.000.000
	Jumlah Pengeluaran (Rp)	11.400.000
	Sisa Anggaran (Rp)	0

Demikian surat pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya.

Yogyakarta, 03 April 2024

Margi Sasono, S.Si, M.Si

