



Pengamatan Cacat Material Aluminium 6061 Proses Pemotongan Laser Menggunakan ESP32CAM

Rizki Aulia Nanda^{1*}, Karyadi², Tukino³, Ade Suhara⁴, Muhammad Nuzan Rizki⁵, Muhammad Faiz Ramadhan⁶, Khafid Khaulsar Akmal⁷

^{1,2,6,7}Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Buana Perjuangan Karawang

³Prodi Sistem Informasi, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Buana Perjuangan Karawang

⁴Prodi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Buana Perjuangan Karawang

⁵Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh

rizki.auliananda@ubpkarawang.ac.id

Abstract

Using high-pressure and high-temperature laser light emission techniques, laser cutting works to cut materials in such a way that components at the laser cutting point produce cutting results. However, the current problem is that laser cutting often produces material defects including protruding parts, burnt surfaces, and pores on the laser-cut parts. Given this problem, the purpose of this study is to develop a camera capable of identifying material defects caused by laser cutting. The research method is the preparation of 6061 aluminum material, the preparation of the ESP32CAM camera, and the preparation of laser cutting parameter settings. In order to run the ESP32CAM program, C and OpenCV programming languages are needed to identify items with material defects, color images, histograms, and FPS are needed. The results of the study showed that detecting defects at the highest FPS reading of 15.57 and a histogram value of 250 at the x coordinate and 950000 at the y coordinate. Eight defects in the material were found using Open CV detection on the ESP32CAM camera sample 3. From this technique it can be concluded that ESP32CAM is capable of identifying material defects caused by laser cutting.

Keywords: ESP32CAM, laser cutting, openCV, color segmentation

Abstrak

Menggunakan teknik cahaya laser bertekanan tinggi dan bersuhu tinggi, pemotongan laser bekerja untuk memotong material sedemikian rupa sehingga komponen pada titik pemotongan laser menghasilkan hasil pemotongan. Namun, masalah saat ini adalah pemotongan laser sering kali menghasilkan cacat material termasuk bagian yang menonjol, permukaan yang terbakar, dan pori-pori pada bagian yang dipotong laser. Mengingat masalah ini, tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan kamera yang mampu mengidentifikasi cacat material yang disebabkan oleh pemotongan laser. Metode penelitian persiapan material aluminium 6061, persiapan kamera ESP32CAM, dan persiapan pengaturan parameter pemotongan laser. Supaya dapat menjalankan program ESP32CAM maka dibutuhkan pemrograman bahasa C dan OpenCV bertujuan mengidentifikasi item dengan cacat material, citra warna, histogram, dan FPS diperlukan. Hasil penelitian menunjukkan mendeteksi cacat pada pembacaan FPS tertinggi sebesar 15,57 dan nilai histogram sebesar 250 pada koordinat x dan 950000 pada koordinat y. Delapan cacat pada material ditemukan menggunakan deteksi Open CV pada 3 sampel kamera ESP32CAM. Dari teknik ini dapat disimpulkan bahwa ESP32CAM mampu mengidentifikasi cacat material yang disebabkan oleh pemotongan laser.

Kata kunci: ESP32CAM, pemotongan laser, openCV, segmentasi warna.

1. Pendahuluan

Laser *cutting* menggunakan sinar laser yang dihubungkan dengan program komputer, dapat memotong material tertentu dan material yang bersifat keras dan tahan lama. Pemotongan material dapat bersifat logam maupun material non logam. Contoh material logam adalah aluminium, baja, baja tahan karat dan sebagainya. Sementara itu, material non

logam meliputi marmer, kulit sintetis, akrilik, karet, dan plastik. Pemotongan menggunakan sinar laser akan menghasilkan potongan yang lebih bersih dan presisi dibandingkan dengan pemotongan dengan secara manual. Material yang terkena sinar laser akan terbelah dan terpotong hingga meleleh dan terbakar karena energi tinggi yang dihasilkan laser pada jarak sekitar 3/4 inci dari permukaan material[1]. Tingkat

presisi yang tinggi membuat pemotongan menggunakan mesin laser *cutting* menjadi solusi utama dalam proses manufaktur. Sebelum dilakukan proses pemotongan pada mesin laser *cutting* maka material yang akan dipotong harus dilakukan proses desain dengan format “dwg”, format dwg di peroleh dari desain menggunakan aplikasi software CAD. Tujuan penggunaan dwg agar desain yang sudah dirancang dapat di baca oleh sistem monitoring mesin laser *cutting* secara 2D dan dapat memotong sesuai desain dari format dwg. Setelah melalui proses perancangan maka tahap berikutnya adalah dengan menentukan parameter potong dari mesin laser *cutting*, tetapi menjadi faktor kesalahan utama apabila parameter diinput tidak sesuai dengan kekuatan material maka akan menimbulkan hasil pemotongan pada material menjadi hangus[2,3,4]. Dengan permasalahan tersebut maka penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan kamera ESP32 CAM untuk mendeteksi cacat hangus dan cacat tidak rata pada material yang dipotong dengan menggunakan pemrograman bahasa C dan Open CV. Material yang digunakan yaitu Aluminium 6061 dengan setting parameter yang tetap. Pengamatan cacat material ini sudah banyak yang dikembangkan menggunakan kamera yang lain atau ESP32CAM. Beberapa penelitian yang lainnya dikutip untuk mengembangkan penelitian ini, penelitian yang terkait seperti penggunaan kamera ESP32CAM untuk mendeteksi cacat material dan penggunaan kamera yang lain tetapi implementasi yang sama seperti pengolahan citra warna dan pendeteksi cacat material menggunakan Open CV. Seperti penelitian Usamentiaga dan teman-teman menjelaskan “bahwa penggunaan kamera untuk mendeteksi cacat akibat proses pembubutan dengan pendekatan persamaan pengolahan citra warna untuk melihat seberapa besar cacat yang timbul”[5]. Untuk mendapatkan pemrograman citra warna di setiap sisi gambar koordinat maka perlu adanya persamaan matriks untuk mendapatkan tingkatan skala warna dan pendeteksi, untuk persamaan menggunakan persamaan 1[6].

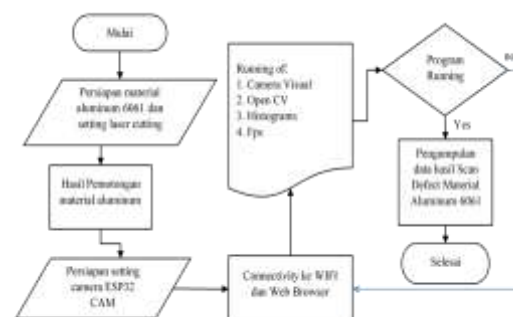
$$D(i,j) = \begin{cases} true, & |(i,j) - B(i,j)| > p \\ false, & otherwise \end{cases} \quad 1$$

Persamaan 1 merupakan persamaan dasar menunjukkan true dan false yang memungkinkan gambar dapat menerima tingkatan citra warna dengan I dan J tingkatan cahaya dan B koordinat yang dibutuhkan. P merupakan nilai batas sebuah kontras. Dengan persamaan 1 dapat menjadikan acuan dalam meningkatkan histogram dan citra warna dalam sebuah gambar. Penelitian Daniel Bacioiu dan teman-teman menjelaskan “penggunaan kamera HDR yang di implementasikan dalam pendeteksi cacat material akibat hasil dari pengelasan. Metode kamera yang digunakan yaitu kamera dihubungkan ke PC dan

dikombinasikan dengan pemrograman untuk menghasilkan pendeteksian gambar yang baik. Pendeteksian tersebut menjadikan acuan petingnya titik koordinat dalam mengatur posisi gambar yang menimbulkan cacat”[7]. Dengan adanya pengembangan titik koordinat dalam pengambilan citra warna maka kamera dapat diimplementasikan dalam melihat tingkat kerataan dari sebuah material hasil pemotongan[8]. Penelitian Andi dan teman-teman “menggunakan Kamera ESP32CAM dan dikombinasikan dengan Open CV agar dapat mendeteksi sebuah gerak yang diperoleh dari sebuah citra warna pada hasil perekaman pada kamera tersebut”[9]. Tujuan dari pengolahan citra warna tersebut adalah untuk memberikan hasil efek yang berbeda, hasil perbedaan yang terdeteksi tersebut akan diberikan sebagai acuan bahwa perbedaan warna merupakan cacat yang timbul dari sebuah geometri[10]. Penelitian Xin Zhang dan teman-teman menjelaskan bahwa penelitian ini “menggunakan kamera standar untuk diimplementasikan pada saat pendeteksi cacat secara langsung atau *real time* pada saat proses manufaktur dengan metode pengolahan citra warna yang dapat mengubah warna tersebut menjadi berbeda saat perbahan struktur material yang terjadi”[11]. Penelitian Sredha Vinod dan teman-teman menjelaskan bahwa “penggunaan kamera ESP32CAM dalam mendeteksi cacat material suatu rangka jembatan dan kontrol kualitas komponen jembatan dibantu oleh pemrograman OpenCV dan IOT melalui pemrograman bahasa C, dengan memanfaatkan segmentasi warna dan perubahan warna dalam pengambilan gambar maka perbedaan warna pada gambar tersebut menghasilkan pendeteksi cacat dan komponen pada rangka”[12]. Pembaruan penelitian ini dari penelitian sebelumnya adalah terletak pada implementasi pengolahan citra warna yang difokuskan pada pendeteksi hangus, pendeteksi material yang tidak rata dan mendeteksi robekan.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini membahas bagaimana tahapan dalam menjalankan kamera ESP32CAM dan menerima data dalam mendeteksi cacat timbul pada material hasil pemotongan menggunakan mesin laser *cutting*. Gambar 1 alur penelitian ini.



Gambar 1. Alur Penelitian

Sesuai dengan alur penelitian pada Gambar 1 menjelaskan bahwa semua tahapan agar menghasilkan proses pengamatan cacat material menggunakan kamera ESP32CAM. Metode yang dikembangkan dalam penelitian ini merujuk pada penelitian Yulong Zong dan teman-teman[3] membahas “kamera yang dapat mendeteksi cacat akibat pemotongan menggunakan kamera dalam pengolahan citra warna yaitu metode segmentasi warna, perubahan citra warna dan pendeteksi cacat akibat perubahan segmentasi warna menggunakan pemrograman Open CV”.

2.1. Persiapan Material dan Laser *Cutting*

Material utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah material Aluminium 6061 yang dapat dilihat spesifikasinya pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Material Aluminium 6061

Name	Specification
Product Name	Aluminum 6061
Standard	GB, ASTM, JIS, EN, DIN, GB/T3880-2006, GB/T3190-2008
Thickness	0.2-500mm
Tensile Strength (σ _b)	170~305MPa
Elastic Modulus (E)	69.3~70.7Gpa

Dengan spesifikasi yang ada pada Tabel 1 kita dapat mengetahui bahwa tingkat kekuatan dan elastisitas yang baik harus diatur setting parameter yang sesuai maka pada Gambar 2 menunjukkan bagian yang diatur untuk setting parameter.



Gambar 2. Setting parameter laser *cutting*

Setting parameter yang dilakukan yaitu kecepatan potong 25 mm/s, tekanan gas 10 bar dan daya laser 500W, maka dari itu parameter tersebut menjadi parameter tetap untuk memperoleh hasil dan kualitas pemotongan laser *cutting*. Perhatikan Gambar 3 yang menunjukkan hasil pemotongan sampel laser *cutting*.

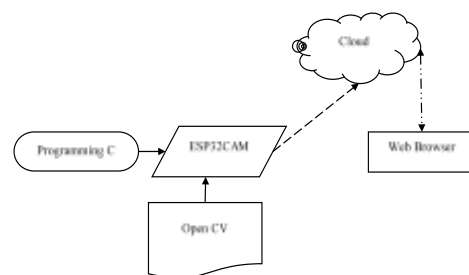


Gambar 3. Hasil pemotongan menggunakan laser *cutting*

Hasil pemotongan menggunakan laser *cutting* memberikan bentuk potongan yang sangat baik sesuai dengan dimensi yang direncanakan. Akan tetapi efek dari laser *cutting* dapat memberikan cacat yang perlu diamati, maka dari itu perlu adanya persiapan pengamatan cacat material dengan menggunakan kamera ESP32CAM.

2.2. Persiapan Kamera ESP32CAM

Persiapan kamera ESP32CAM untuk mengambil data berupa pengolahan-pengolahan citra warna, histogram dan FPS agar mendapatkan kualitas gambar dalam mendeteksi cacat material hasil pemotongan menggunakan mesin laser *cutting*. Perhatikan Gambar 4 yang menunjukkan proses kinerja dari kamera ESP32CAM.



Gambar 4. Konektivitas kamera ESP32CAM

Langkah pertama dalam menyiapkan kamera adalah pemrograman bahasa C untuk mengeluarkan perintah untuk mengambil foto atau gambar dan mengatur waktu kecepatan transfer data dari kamera ke sistem cloud. Aplikasi Arduino IDE digunakan untuk pemrograman dalam bahasa C. Langkah berikutnya adalah menggunakan bahasa pemrograman Python untuk menjalankan Open CV, yang dapat digunakan untuk melihat gambar visual pada kamera ESP32CAM dan mengenali warna hitam dan putih serta menginterpretasikan grafik histogram. Prosedur perekaman dilakukan melalui IP dari kamera dan terhubung ke jaringan *cloud* yang dapat diakses menggunakan browser web (IoT, sistem) setelah pemrograman C dan Open CV. Selanjutnya perhatikan Gambar 5 peletakkan kamera ESP32CAM terhadap pengamatan material hasil pemotongan menggunakan laser *cutting*.



Gambar 5. Peletakkan Kamera ESP32CAM

Posisi pengaturan ketinggian kamera diatur sekitar 10 cm, yang menunjukkan bahwa visualisasi kamera dapat melacak seluruh lingkaran hasil pemotongan laser. Jika ditentukan bahwa kamera dapat menangkap gambar objek, pengujian pengumpulan data dilakukan menggunakan FPS, rekomendasi warna, gambar visual, dan histogram.



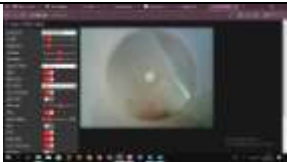

3. Hasil dan Pembahasan

Pada bagian ini akan menjelaskan hasil dari metode yang telah ditentukan dengan menerapkan metode yang telah dijelaskan sebelumnya. Karena data yang dikumpulkan berupa empat sampel hasil pemotongan laser, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3, maka hasil visualisasi akan dijelaskan pada subbab Visual Image.

3.1. Visual Image

Keempat sampel ditampilkan dalam visualisasi gambar, masing-masing dengan hasil yang berbeda. Ada empat sampel dalam uji pengambilan gambar visual yang dijalankan pada masing-masing sampel ini secara individual. Tabel 2 menunjukkan setiap sampel hasil perekaman gambar kamera ESP32CAM.

Tabel 2. Hasil Visual Image

Sample	Result
1	
2	
3	
4	







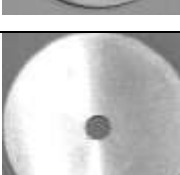

Karena pengambilan gambar secara *Internet of Things* (IoT) sistem maka gambar akan ditampilkan pada web browser menggunakan IP. Semakin jelas gambar yang diterima maka semakin besar kecepatan transfer yang disebut dengan FPS (*frame per second*). Maka dari itu

data utama dalam kecepatan transfer adalah FPS dengan kualitas dapat dilihat pada Tabel 2. Setelah mengetahui kualitas transfer data kualitas gambar maka hasil perekaman diubah menjadi citra warna dan histogram.

3.2. Citra Warna

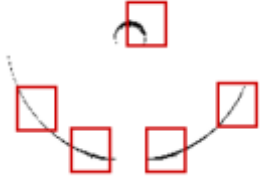
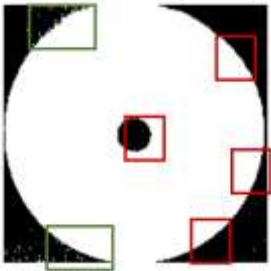
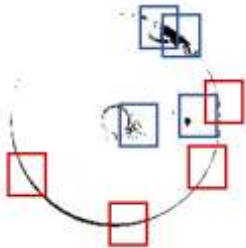
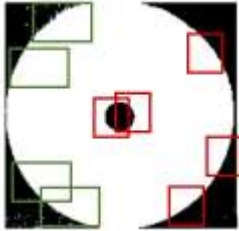
Perlu adanya perubahan warna untuk menunjukkan titik cacat material hasil laser *cutting*. Hasil perubahan warna dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil perubahan citra warna

Sample	Gray	Black and White
1		
2		
3		
4		

Tujuan dari perubahan citra warna menjadi *Gray* dan *black and white* yaitu agar dapat melihat titik-titik cacat dari sebuah material Aluminium 6061 hasil pemotongan menggunakan laser *cutting*. Dari Tabel 3 dapat dilihat sample yang berwarna putih dapat dijadikan acuan dalam pendeteksi cacat pada material. Pada sampel 1 kelihatan cacat timbul pada bagian sisi yang bawah, pada sampel 2 kerataan yang tidak presisi, sampel 3 bagian yang hangus dan sampel 4 bagian yang tidak rata. Dari hasil perubahan citra warna tersebut maka selanjutnya pemrograman open CV dapat mendeteksi jenis cacat material. Hasil dari pendeteksi dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Pendeteksi cacat

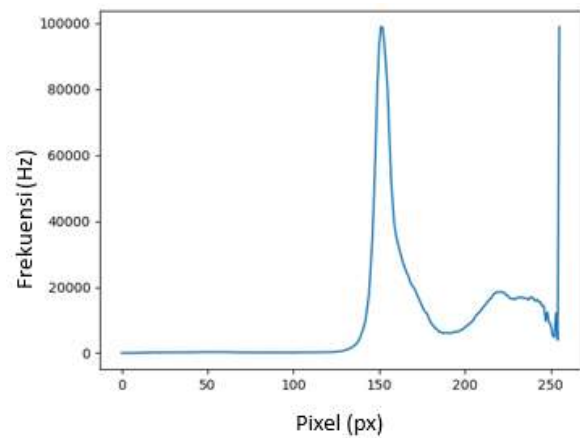
Sample	Result
1	
2	
3	
4	

Setelah mengubah citra warna maka pemrograman Open CV dapat mendeteksi perubahan bentuk dan warna agar dapat mendefinisikan cacat yang terjadi pada material tersebut. Maka dari itu pada Tabel 4 menjelaskan beberapa bagian dan jenis cacat yang muncul akibat pemotongan mesin laser *cutting* pada material Aluminium 6061. Pada sampel 1 mendeteksi cacat yang tidak rata sebanyak 4 bagian. Sampel 2 mendeteksi cacat tidak rata ada 4 dan warna hijau menunjukkan bagian yang kasar sebanyak 2, sampel 3 menunjukkan kotak warna biru bagian yang halus sebanyak 4 bagian dan bagian yang tidak rata sebanyak 4, sampel nomor 4 ada 5 bagian yang bagian yang kasar ada 4 dan bagian yang tidak rata ada 5 yang terdeteksi, dengan demikian maka perubahan segemntasi warna dapat memberikan deteksi yang baik dengan pengolahan pemrograman menggunakan kamera ESP32CAM dan Open CV. Selanjutnya untuk

mendapatkan citra warna yang sempurna maka dibutuhkan nilai histogram dan FPS yang sudah direkam agar menjadi acuan nilai untuk mendeteksi cacat timbul pada material Aluminium 6061 akibat pemotongan menggunakan mesin laser *cutting*.

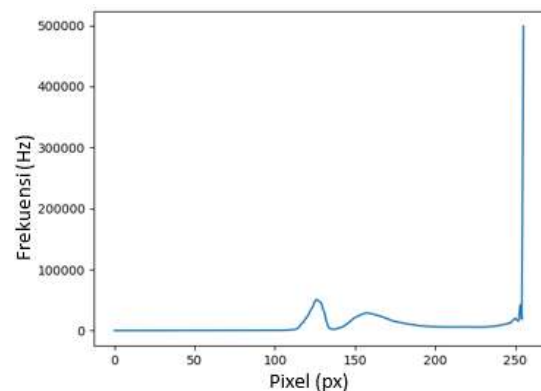
3.3. Histogram and Fps

Histogram adalah sebaran frekuensi cahaya pada pengambilan citra warna pada saat mendeteksi cacat material aluminium 6061 maka dengan sebaran tersebut menjadi nilai acuan untuk pembacaan yang sempurna dalam pengolahan gambar, grafik histogram pada sumbu X menunjukkan satuan "px" atau pixel, sumbu Y menunjukkan frekuensi cahaya atau "Hz" Perhatikan Gambar 6 histogram pada sampel 1.



Gambar 6. Histogram sampel 1

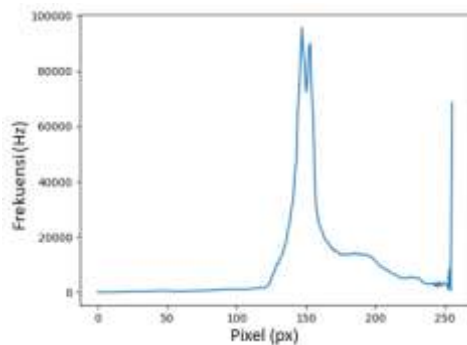
Histogram sampel pertama dari kamera ESP32CAM terbaca dengan baik karena menunjukkan bahwa tingkat kecerahan memiliki nilai yang layak pada koordinat y pada tingkat kecerahan 100000 Hz dan posisi x pada 250 px. Pada Gambar 7 menunjukkan histogram sampel ke 2.



Gambar 7. Histogram sampel 2

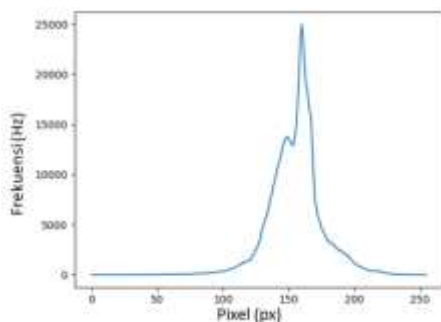
Tingkat kecerahan gambar yang diperoleh dari kamera ESP32CM sangat baik untuk perekaman, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7, di mana grafik histogram menunjukkan koordinat Y memiliki

nilai 500000 Hz eksposur dan posisi X adalah 250 px. Pada Gambar 8 menunjukkan histogram sampel ke 3.



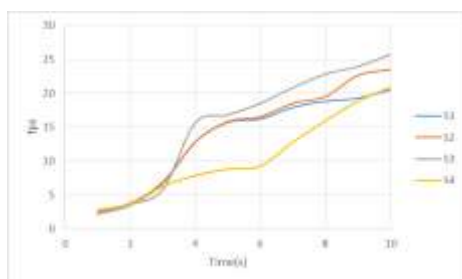
Gambar 8. Histogram sampel 3

Histogram sampel ketiga, yang ditampilkan pada Gambar 8, menunjukkan bahwa tingkat kecerahan di lokasi Y berada pada koordinat dan tingkat kecerahan 950000 Hz. X menunjukkan bahwa 253 px tingkat kecerahan merupakan tingkat optimal, yang menunjukkan bahwa kamera ESP32CAM juga mampu menginterpretasikan sampel ketiga secara akurat. Dan yang terakhir pada sampel ke 4 yaitu pada Gambar 9.



Gambar 9. Histogram sampel 4

Sampel histogram 4 adalah yang terkecil di antara sampel lainnya, tetapi masih memiliki tingkat kecerahan yang cukup baik, seperti yang dapat dilihat dari histogram Gambar 9, yang menampilkan tingkat kecerahan posisi koordinat Y sebesar 250000 Hz dan tingkat kecerahan posisi X sebesar 250 px. Selanjutnya perhatikan Gambar 10 grafik perbandingan fps terhadap waktu transfer data dari kamera ke webbrowser.



Gambar 10. FPS terhadap waktu

Pada saat kamera ESP32CAM mengirimkan data ke webbrowser maka kecepatan sinyal terhadap waktu selalu meningkat dan pada di detik awal FPS nya sebesar 2 pada detik ke 3 dan FPS tertinggi berada pada detik ke 10 dengan nilai FPS sebesar 26 dan detik ke 11 hingga seterusnya menjadi stabil. Dari Gambar 10 dapat dijabarkan sampel 4 menjadi nilai transfer FPS paling rendah dan sampel 3 menjadi FPS tertinggi. Makin besar nilai FPS maka semakin baik kualitas gambar yang dikirim ke webbrowser. Nilai FPS ini dapat menjadi acuan sebagai peneliti untuk mendapatkan kualitas gambar yang baik pada saat pengambilan gambar hasil pemotongan aluminium 6061 menggunakan mesin laser *cutting* dalam mendeteksi cacat yang timbul. nilai FPS tersebut jika dilakukan rata-rata maka sampel ketiga memiliki lebih banyak cacat material dari pada yang lain, seperti yang ditunjukkan pendeteksi kamera ESP32CAM terhadap cacat tersebut. Akibatnya, tingkat histogram memengaruhi transmisi data dari sistem IoT dan cacat material. Angka FPS tertinggi sebesar 15,57 FPS terlihat pada sampel ketiga, sedangkan sampel kedua menampilkan 14,24 FPS. 13,355 FPS terekam pada sampel pertama, dan 10,6 FPS terekam pada sampel keempat. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa kamera ESP32CAM mendeteksi tingkat histogram dan FPS yang lebih tinggi semakin jelas tingkat cacat pada suatu material. Tingkat cacat hangus pada suatu material juga memengaruhi FPS dan histogram kamera.

4. Kesimpulan

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan pembuatan kamera yang dapat mengidentifikasi cacat pada material yang telah dipotong menggunakan mesin pemotong laser, masalah tersebut disebabkan oleh cacat material yang tersisa dari pemotongan laser yang tidak terlihat oleh mata telanjang. Hasil temuan penelitian ini menggunakan OpenCV, kamera ESP32CAM untuk transmisi data IoT, dan teknik pemrosesan gambar berwarna untuk mengidentifikasi berbagai jenis cacat material yang disebabkan oleh pemotongan laser. Untuk menemukan cacat selama pengenalan objek, penelitian ini menggunakan material aluminium 6061 yang dipotong menjadi bentuk melingkar. Setelah proses pemotongan, data dipasok melalui *Internet of Things* (IoT), dan visualisasi kamera dilakukan. Area yang terbakar, serat material berpori atau kasar dan struktur material yang muncul. Lima sampel kerusakan terdeteksi pada sampel 1, enam sampel kerusakan terdeteksi pada sampel 2, delapan sampel kerusakan terdeteksi pada sampel 3, dan tujuh sampel kerusakan ditampilkan pada sampel 4. Histogram dan frame rate (FPS) kamera memberikan informasi yang tepat tentang kualitas gambar saat Open CV memperkenalkan cacat material, pada sampel ketiga menjelaskan rata-rata histogram dan FPS tertinggi. Hal ini terjadi sebagai

akibat dari tingkat kerusakan material yang lebih besar pada sampel 3, jadi dapat dikatakan bahwa penelitian ini mampu mengidentifikasi cacat pada material aluminium 6061 yang merupakan konsekuensi dari pemotongan laser yang sangat baik. Harapan penelitian berikutnya adalah tingkat lebih tinggi akurasi citra warna dan histogram dapat mendeteksi lebih banyak jenis cacat akibat pemotongan menggunakan laser *cutting* pada jenis material yang lain.

Ucapan Terimakasih

Terimakasih kepada penulis yang telah berkontribusi dalam penelitian ini untuk mengembangkan pendeteksi untuk mengetahui cacat material yang terjadi, terimakasih kepada LPPM UBP Karawang yang telah memberikan pendanaan dalam proses jalannya penelitian ini.

Daftar Rujukan

- [1] S. Marimuthu, J. Dunleavey, Y. Liu, M. Antar, and B. Smith., 2019. Laser *cutting* of aluminium-alumina metal matrix composite. *Opt. Laser Technol.*, 117 (4), pp.251–259.
- [2] H. Cha *et al.*, 2017. An Efficient, ‘Burn in’ Free Organic Solar Cell Employing a Nonfullerene Electron Acceptor. *Adv. Mate*, 29, (33), pp.1–8.
- [3] Y. Zong *et al.*, 2021. An intelligent and automated 3D surface defect detection system for quantitative 3D estimation and feature classification of material surface defects. *Opt. Lasers Eng*, 144, (11), pp.106633.
- [4] P. Promopatum and S. C. Yao., 2019. Analytical evaluation of defect generation for selective laser melting of metals. *Int. J. Adv. Manuf. Technol*, 103 (1–4), pp.1185–1198.
- [5] R. Usamentiaga and D. F. Garcia., Multi-camera calibration for accurate geometric measurements in industrial environments. *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, 134 (3), pp.345–358.
- [6] Y. V. Chiryshev, A. V. Kruglov, A. S. Atamanova, and S. G. Zavada., 2017. Detection and dimension of moving objects using single camera applied to the round timber measurement. *Proc. 2017 Fed. Conf. Comput. Sci. Inf. Syst. FedCSIS*, 11, pp.49–56.
- [7] D. Bacioiu, G. Melton, M. Papaalias, and R. Shaw., 2019. Automated defect classification of Aluminium 5083 TIG welding using HDR camera and neural network. *J. Manuf. Process*, 45 (7), pp.603–613.
- [8] A. M. Grillet, A. C. B. Bogaerds, G. W. M. Peters, F. P. T. Baaijens, and M. Bulters., 2002. Numerical analysis of flow mark surface defects in injection molding flow. *J. Rheol. (N. Y. N. Y)*, 46 (3), pp.651–669.
- [9] A. Setiawan and A. Irma Purnamasari., 2019. Pengembangan Passive Infrared Sensor (PIR) HC-SR501 dengan Microcontrollers ESP32-CAM Berbasis Internet of Things (IoT) dan Smart Home sebagai Deteksi Gerak untuk Keamanan Perumahan. *Prosiding Semin. Nas. SISFOTEK (Sistem Inf. dan Teknol. Informasi)*, 3 (1), pp.148–154.
- [10] M. Jaimez, C. Kerl, J. Gonzalez-Jimenez, and D. Cremers., 2017. Fast odometry and scene flow from RGB-D cameras based on geometric clustering. *Proc. - IEEE Int. Conf. Robot. Autom*, pp. 3992–3999.
- [11] X. Zhang, J. Saniie, and A. Heifetz., 2020. Detection of Defects in Additively Manufactured Stainless Steel 316L with Compact Infrared Camera and Machine Learning Algorithms. *Jom*, 72 (12), pp.4244–4253.
- [12] S. Vinod, P. Shakor, F. Sartipi, and M. Karakouzian., 2023. Object Detection Using ESP32 Cameras for Quality Control of Steel Components in Manufacturing Structures. *Arab. J. Sci. Eng*, 48 (10), pp.12741–12758.