

ANALISIS KEAUSAN PAHAT *ENDMILL HSS FLUTE 4* PADA PROSES MILLING HANDLE SEPEDA MOTOR

ANALYSIS OF WEAR OF *HSS FLUTE 4 ENDMILL TOOLS* IN THE MOTORCYCLE HANDLE MILLING PROCESS

Fikri Taufik Rohman^{1,*}, Haris Abizar²

^{1,2} Pendidikan Vokasional Teknik Mesin, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jl. Ciwaru raya, No. 25, Serang, Banten, 42117, Indonesia

*Email corresponding: 2284190021@untirta.ac.id

²Pendidikan Vokasional Teknik Mesin, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Email: harisabizar@untirta.ac.id

Cara Sitasi : Fikri Taufik Rohman and Haris Abizar, "Analisis Keausan Pahat *Endmill Hss Flute 4* pada Proses Milling Handle Sepeda Motor," *Kurvatek*, vol. 8, no. 2, pp. 187-198, 2023. doi: [10.33579/krvtk.v8i2.4054](https://doi.org/10.33579/krvtk.v8i2.4054) [Online].

Abstrak — Industri manufaktur semakin pesat dan berkembang pada era globalisasi maka inovasi sangat diperlukan dan menunjang serta mendukung proses manufaktur. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai keausan pahat *End mill Flute 4* pada proses *CNC Milling* pada benda kerja handle sepeda motor. Metode yang digunakan dalam penelitian kali ini ialah eksperimen, desain yang digunakan kajian ini dengan menggunakan eksperimen percobaan yang diberi perlakuan. Pengambilan data nilai keausan umur pahat pada proses *CNC Milling Tipe VPS 850* dengan variasi 10 kali proses percobaan pada benda kerja jenis Handle RH/LH. Hasil dari penelitian ini ialah bahwa pada pengujian berat *end mill* mempunyai selisih berat dengan rata-rata *end mill cutter* sebesar 0,08 gram, serta pada pengujian suhu *end mill* mempunyai jumlah selisih suhu dengan rata-rata *end mill cutter* sebesar 2,29 derajat C. Kenaikan suhu mempengaruhi keausan pahat dengan berkurangnya berat pahat, yang disebabkan pada proses penyayatan atau pemotongan yang tinggi menimbulkan panas dan naiknya suhu akibat gesekan pahat dan benda kerja. Semakin banyaknya percobaan *end mill*, menimbulkan gesekan yang signifikan. Pada pahat terlihat terjadi keausan dengan perubahan bentuk dari *end mill* ini menunjukkan pada keausan kawah pahat dan keausan pahat tepi pahat yang mempengaruhi pada daya sayat pahat.

Kata kunci: Keausan, *End mill flute 4*, Handle

Abstract — The manufacturing industry is increasingly rapid and developing in the era of globalization, so innovation is very necessary and supports and supports the manufacturing process. This research aims to determine the wear value of the *End mill Flute 4* tool in the *CNC Milling process* on motorbike handle workpieces. The method used in this research is experimental, the design used in this study uses experimental trials that are treated. Retrieval of data on tool wear values in the *VPS 850 Type CNC Milling process* with variations of 10 experimental processes on *RH/LH Handle type workpieces*. The results of this research are that in the *end mill weight test*, the weight difference with the average *end mill cutter* is 0.08 grams, and in the *end mill temperature test* the temperature difference with the average *end mill cutter* is 2.29 degrees C. Increased temperature affects tool wear by reducing the weight of the tool, which is caused by high cutting or cutting processes that generate heat and increase the temperature due to friction between the tool and the workpiece. The more *end-mill* experiments, the more friction there is. On the tool, wear can be seen with a change in the shape of the *end mill*, this shows tool crater wear and tool edge wear which affects the cutting power of the tool.

Keywords: Wear, *End mill flute 4*, Handle

I. PENDAHULUAN

Perkembangan manufaktur terus mengalami transformasi yang signifikan seiring dengan kemajuan teknologi dan dinamika global. Revolusi Industri 4.0, dengan penerapan teknologi seperti *Internet of Things (IoT)*, *Big Data Analytics*, kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*), dan otomasi cerdas, telah mengubah cara produksi, meningkatkan efisiensi, fleksibilitas, dan kualitas produk. Manufaktur juga semakin berfokus pada keberlanjutan lingkungan dengan mengadopsi praktik ramah lingkungan dan mengurangi dampak negatif terhadap alam [1]. Selain itu, inovasi dalam proses dan material seperti manufaktur berbasis pemodelan (*additive manufacturing*), robotika, dan otomasi terus diperkenalkan untuk mengoptimalkan

produksi dan meningkatkan daya saing industri manufaktur secara global. Perkembangan ini membawa harapan untuk pertumbuhan ekonomi, peningkatan kualitas hidup, dan penciptaan lapangan kerja di berbagai sektor industri manufaktur di seluruh dunia. Pada perkembangan teknologi manufaktur sekarang semakin maju, terutama dalam segala pekerjaan logam [2]. Tentunya pada saat ini diperlukan suatu proses pengerjaan logam dengan tingkat keakuratan dan kepresisian yang baik dan tinggi. Dengan canggihnya teknologi sekarang adanya beberapa dari industri skala besar sudah menggunakan mesin berbasis computer, seperti industri manufaktur menggunakan mesin CNC yang bisa dijalankan dengan kode serta berjalan secara otomatis. Beberapa mesin di industri seperti mesin bubut dan *milling* [3].

Mesin manufaktur saat ini telah mengalami kemajuan yang signifikan, didukung oleh teknologi canggih dan otomatisasi yang terus berkembang. Mesin-mesin modern ini dilengkapi dengan sensor-sensor pintar, sistem kontrol yang canggih, dan kecerdasan buatan yang memungkinkan mereka untuk bekerja secara efisien dan akurat dalam berbagai proses produksi. Mereka dapat melakukan tugas-tugas yang kompleks dengan kecepatan tinggi, mengoptimalkan penggunaan sumber daya, dan menghasilkan produk dengan kualitas yang konsisten. Dengan kemampuan fleksibilitas yang meningkat, mesin-mesin manufaktur saat ini dapat dengan mudah diatur ulang untuk memenuhi permintaan pasar yang berubah-ubah, memungkinkan produsen untuk menjadi lebih responsif dan kompetitif dalam lingkungan bisnis yang dinamis.[4]. Sistem otomasi adalah suatu sistem yang dirancang untuk menggantikan atau memperluas kemampuan manusia dalam melaksanakan tugas-tugas tertentu secara otomatis. Sistem ini menggunakan kombinasi perangkat keras dan perangkat lunak untuk mengontrol dan mengendalikan proses atau aktivitas yang terjadi di lingkungan tertentu. Sistem otomasi dapat digunakan dalam berbagai bidang, seperti industri manufaktur, pertanian, transportasi, dan rumah tangga. Tujuan utama dari sistem otomasi adalah untuk meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan keamanan, dengan mengurangi keterlibatan manusia dalam tugas-tugas rutin dan berulang. Dengan adanya sistem otomasi, banyak proses dapat dilakukan secara cepat, akurat, dan konsisten, mengurangi risiko kesalahan dan membebaskan tenaga kerja manusia untuk fokus pada tugas-tugas yang memerlukan kreativitas dan keputusan yang kompleks [5]. Dalam industri manufaktur, teknologi dan otomasi semakin mendominasi untuk meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan kualitas produk. Perkembangan manufaktur juga akan meningkatkan produktivitas inovasi dan banyaknya terciptanya lapangan pekerjaan di berbagai sektor industri, baik itu otomotif, elektronik, makanan dan minuman, tekstil, atau industri kimia [6].

Mesin *Milling* merupakan mesin yang memiliki tingkat kepresisian yang bagus dengan menggunakan sistem komputer serta tingkat efisien yang tinggi. Dibandingkan dengan mesin *milling* konvensional atau manual memiliki tingkat kepresisian dan keakuratan yang kurang tergantung proses dan keahlian operator. Industri diminta memproduksi produk secara massal dengan waktu yang singkat dan biaya yang efisien, fenomena disebabkan permintaan konsumen yang tinggi terhadap produk ini manufaktur yang menjadi kebutuhan di sektor otomotif serta bidang lainnya [7]. Pisau jari *end mill* adalah jenis alat potong yang sering digunakan dalam proses pemesinan untuk pembuatan lubang atau kantong dengan bentuk geometri kompleks. Pisau jari *end mill* memiliki desain khusus dengan ujung berbentuk bulat atau setengah lingkaran yang dihiasi dengan gigi-gigi pemotong di sekitarnya. Selain itu, mesin CNC *Milling* juga memiliki kemampuan untuk memotong berbagai jenis bahan, termasuk logam, plastik, kayu, dan bahan lainnya, dan memudahkan dan dapat digunakan di berbagai aplikasi industri manufaktur. Mesin ini juga dapat dioperasikan dengan mudah oleh operator yang terlatih, yang dapat memaksimalkan efisiensi dan produktivitasnya [8].

Computer Numerical Control (CNC) adalah teknologi yang mengotomatiskan kontrol peralatan mesin dan peralatan manufaktur lainnya melalui penggunaan komputer. Ini melibatkan penggunaan program perangkat lunak untuk mengontrol dan mengoperasikan mesin, seperti mesin bubut, pabrik, router, dan penggiling [9]. Mesin CNC dilengkapi dengan motor dan aktuator yang dikendalikan oleh komputer. Komputer membaca instruksi dari program bagian, biasanya ditulis dalam bahasa yang disebut kode-G, dan menerjemahkan instruksi tersebut menjadi gerakan dan operasi mesin yang tepat. Manfaat menggunakan teknologi CNC di bidang manufaktur termasuk peningkatan presisi, pengulangan, dan efisiensi. Mesin CNC dapat menghasilkan komponen kompleks dengan akurasi dan konsistensi tinggi, yang sangat berharga dalam industri seperti manufaktur kedirgantaraan, otomotif, dan perangkat medis [10]. Pemrograman CNC melibatkan pembuatan program bagian yang menentukan urutan operasi dan pergerakan alat yang diperlukan untuk membuat bagian tertentu. Program ini mencakup perintah untuk penggantian pahat, kecepatan potong, laju umpan, dan parameter lainnya. Program tersebut kemudian dimuat ke dalam mesin CNC, yang menjalankan instruksi untuk menghasilkan bagian yang diinginkan [11].

Mesin CNC juga merupakan mesin otomatis bahasa pemrograman yang perintah gerakan menggunakan huruf dan angka, digunakan oleh komputer untuk mengendalikan mesin CNC, yang juga merupakan mesin berbasis komputer. Mesin CNC ini melakukan tugas yang sama dengan mesin

penggilingan standar, kecuali mesin ini memiliki gerakan mesin yang dapat diprogram komputer. Suatu bentuk mesin penggilingan CNC tiga sumbu, mesin router CNC berisi tiga motor *stepper* [12]. Keausan pahat CNC *milling* terjadi ketika alat potong yang digunakan dalam proses pemesinan dengan mesin CNC mengalami erosi atau kehilangan material akibat gesekan, tekanan, dan panas yang dihasilkan selama pemotongan material. Keausan pahat dapat terjadi pada berbagai area seperti tepi potong, permukaan, atau sudut geometri alat potong. Faktor-faktor yang mempengaruhi keausan pahat meliputi kekerasan material yang dipotong, kecepatan pemotongan, umpan pemotongan, pendinginan, dan kondisi alat potong itu sendiri [12]. Keausan pahat terjadi karena pahat mengalami gaya gesek dengan benda kerja ini yang mengakibatkan pahat akan terjadi keausan. Keausan pahat ini semakin membesar dan meluas sampai batas tertentu pahat mengalami kerusakan dan tidak dapat digunakan lagi dikarenakan temperatur tinggi, permukaan aktif dari pahat akan mengalami keausan [13]. Kekuatan pahat tergantung dari jenis material bahan pada benda kerja, mempengaruhi fluida berfungsi sebagai pendingin serta menentukan geometri pahat [14].

Pahat *end mill* adalah salah satu jenis alat pemotong yang sangat penting dalam proses frais. Alat ini memiliki ujung silinder dengan potongan gigi yang terletak di sekelilingnya. Desain gigi yang bervariasi memungkinkan *end mill* untuk melakukan pemotongan dengan presisi tinggi, baik itu untuk membentuk lubang, alur, atau tepi pada berbagai jenis material seperti logam, plastik, dan kayu. Kualitas permukaan yang dihasilkan oleh pahat *end mill* biasanya sangat halus, sehingga ideal digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan tingkat kepresisian yang tinggi. Pahat *end mill* tersedia dalam berbagai ukuran dan bahan, seperti karbida dan HSS (*High Speed Steel*), yang dapat dipilih sesuai dengan jenis material yang akan dipotong dan kondisi pemotongan yang diinginkan. Selain itu, kemajuan teknologi juga telah membawa inovasi dalam desain dan material *end mill*, seperti *end mill* berlapis atau berpola khusus, yang meningkatkan kekuatan dan umur pahat, serta mengurangi gesekan dan keausan saat pemotongan. Dalam industri manufaktur, pahat *end mill* menjadi alat yang tak tergantikan untuk mencapai hasil yang presisi dan berkualitas tinggi. Penggunaan *end mill* yang tepat, termasuk pemilihan parameter pemotongan yang sesuai dan perawatan yang baik, dapat memastikan kinerja optimal dan umur panjang pahat, sehingga meningkatkan efisiensi produksi dan mengurangi biaya operasional dalam proses frais.

Keausan pada pahat *end mill* HSS dapat terjadi karena friksi yang tinggi dan gesekan dengan bahan kerja yang keras. Hal ini dapat mengakibatkan berkurangnya performa pemotongan, penurunan akurasi dimensi, dan meningkatnya risiko kerusakan pada alat potong. Oleh karena itu, penting untuk melakukan pemeliharaan dan penggantian yang tepat waktu terhadap pahat *end mill* HSS agar tetap menjaga kinerjanya yang optimal dan memastikan hasil pemesinan yang berkualitas. Tingkat keausan pahat *end mill* ditentukan pada beberapa kondisi pahat pada saat proses *milling*, seperti jenis bahan kerja yang dipotong, kondisi pemotongan, kecepatan pemakanan, dan kualitas pahat *end mill* itu sendiri. Secara umum, keausan pada pahat *end mill* terjadi seiring waktu penggunaan dan tergantung pada tingkat pemakaian yang diberikan [15]. Pemotongan material yang keras atau abrasif cenderung menyebabkan keausan yang lebih cepat pada pahat *end mill*. Juga, kecepatan pemotongan yang tinggi atau pemasukan yang tidak tepat dapat meningkatkan keausan pada pahat *end mill*. Adapun faktor kualitas pahat *end mill*, pahat yang lebih tahan aus dan terbuat dari bahan berkualitas tinggi cenderung memiliki umur pakai yang lebih panjang. Oleh karena itu, pemeliharaan yang baik, seperti pendinginan yang memadai, pemilihan kecepatan dan pemasukan yang tepat, serta penggantian pahat *end mill* yang aus, diperlukan untuk memperpanjang umur pakai dan menjaga kinerja optimal dari pahat *end mill*.

Penelitian ini adalah menganalisis keausan pahat *end mill* flute 4 pada proses pemesinan CNC *milling* dengan produk handle RH/LH. Dengan melakukan metode eksperimen akan diketahui nilai keausan dari segi berat dan suhu dan menjadi parameter analisis data. Penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pemahaman dan pengembangan pengetahuan tentang umur pahat dalam proses pemesinan. Harapan penelitian termasuk identifikasi dan karakterisasi material pahat yang lebih tahan lama, pengembangan teknologi pemantauan yang lebih canggih untuk mendeteksi keausan pahat secara real-time, pengembangan model prediktif yang lebih akurat untuk memperkirakan umur pahat, serta pengembangan metode dan strategi yang efektif dalam memperpanjang umur pahat dan meningkatkan efisiensi pemotongan. Dengan pemahaman yang lebih baik tentang umur pahat, penelitian diharapkan dapat membantu industri manufaktur dalam mengurangi biaya penggantian pahat, meningkatkan produktivitas, dan mencapai kualitas produk baik.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan spesimen bahan jadi yang berbentuk handle yang digunakan pada motor, dengan pengujian pada proses CNC *milling* dengan objek yang diteliti ialah tingkat keausan pada pahat *End mill*. Prosedur penelitian diawali dengan studi literatur dengan baik supaya memperoleh informasi terkait penelitian terdahulu. Dilanjutkan dengan pengujian spesimen *handle* yang di uji langsung dalam proses CNC *Milling* dengan beberapa percobaan pengujian serta pengambilan data suhu dan berat pahat *end mill* dengan teliti dan benar.

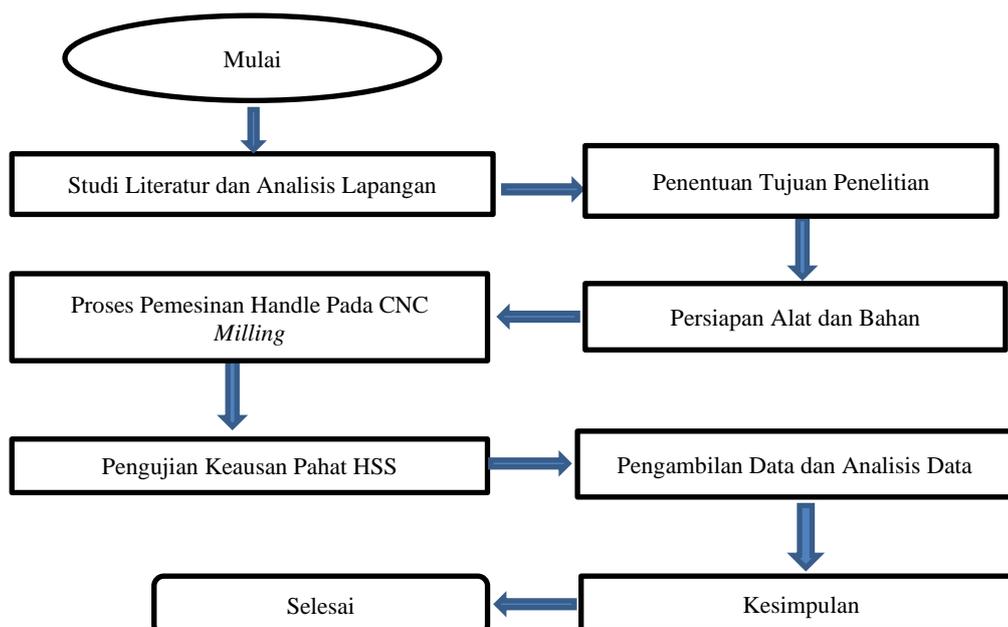
Penelitian ini diawali dengan melakukan pencarian informasi tentang keausan pahat *end mill*, dengan cara melakukan studi literatur dari berbagai penelitian terdahulu. Tentunya kegiatan ini memiliki tujuan penelitian yaitu menganalisis keausan pahat *end mill* pada proses *milling* handle sepeda motor. Pada tahap awal mempersiapkan alat dan bahan, tools *end mill*, pengecekan kondisi mesin CNC, selanjutnya melakukan pemograman pergantian tools, setting nol pada mesin, dan pemograman proses *milling* handle.

Pemrograman pergantian alat pada mesin CNC *milling* melibatkan penulisan kode G (*G-code*) yang memungkinkan mesin CNC untuk secara otomatis mengganti alat pemotong. Ini dimulai dengan menentukan kode untuk setiap alat, yang kemudian dimasukkan dalam program *G-code* Anda dengan perintah pergantian alat, seperti "T01" untuk mengganti ke alat pertama. Pastikan mesin berada dalam posisi yang aman untuk pergantian alat, atur posisi pemotong, lakukan pergantian alat fisik, dan sesuaikan parameter alat sesuai kebutuhan. Setelah semua langkah ini selesai, Anda dapat melanjutkan program *G-code* Anda dari titik terakhir sebelum pergantian alat. Pastikan untuk merencanakan dengan cermat dan mengikuti panduan mesin CNC serta perangkat lunak yang digunakan untuk menjaga keamanan dan akurasi selama operasi.

Setelah pemograman dilakukan pengecekan kembali dan pengukuran pada *end mill* serta pengambilan data. Dalam proses pengujian dilakukan 10 kali percobaan dan diambil data dari berat *end mill* dan suhu *end mill*. Setelah semua dilakukan maka akan ditentukan hasil maka kita menentukan kesimpulan berdasarkan pengujian yang telah dilakukan,

A. Diagram Alir

Penelitian ini dilakukan selama periode dua bulan, mulai dari Januari hingga Februari 2023, di Perusahaan Manufaktur di bagian machining. Laboratorium ini dilengkapi dengan peralatan dan fasilitas yang diperlukan untuk melakukan analisis dan pengujian material. Selain itu, penelitian ini juga melibatkan kerjasama dengan industri manufaktur di sekitar kawasan industri Jatiuwung Tangerang, yang merupakan tempat pengumpulan data dan sampel bahan yang digunakan dalam penelitian. Data penelitian ini dikumpulkan melalui observasi, pengujian eksperimental, dan analisis data di PT. Intermedindo Forging Prima serta melibatkan wawancara dengan para ahli dan pemangku kepentingan terkait (Gambar 1).



Gambar 1. Diagram Alir

Penelitian deskriptif kuantitatif merupakan suatu metode penelitian yang bertujuan untuk mendeskripsikan fenomena atau karakteristik suatu populasi atau sampel dengan menggunakan angka dan statistik. Dalam penelitian ini, data dikumpulkan, penggunaan instrumen pengukuran yang valid dan reliabel. Penelitian ini mendasarkan analisisnya pada data numerik yang dikumpulkan, seperti skala pengukuran, persentase, mean, dan standar deviasi. Tujuan utama penelitian deskriptif kuantitatif adalah untuk memberikan gambaran yang obyektif tentang fenomena yang diteliti dan mengidentifikasi pola atau tren yang ada. Dengan menggunakan metode ini, peneliti dapat menyajikan data dengan jelas dan memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang populasi atau sampel yang sedang diteliti.

Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen, digunakan karena akan memberikan data yang valid dan dapat dipertanggung jawabkan dalam penelitian ini. Peneliti akan melakukan eksperimen tingkat keausan *end mill* pada proses pemessinan CNC *Milling* pada benda kerja Handle, kecepatan pemakanan rata-rata 70 mm/menit dan rata-rata kedalaman pemakanan 0,6 mm.

Metode analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif kuantitatif. Analisis data dilakukan dengan cara menelaah data yang diperoleh dari eksperimen, dimana hasilnya berupa data kuantitatif. Data yang dianalisis adalah hasil pengujian suhu dan berat *end mill cutter* HSS terhadap keausan pahat *end mill* yang masing masing pengujian dilakukan 10 kali percobaan proses *milling*, serta yang nantinya akan diambil nilai rata-rata dari setiap perubahan suhu, berat serta bentuk permukaan pahat. Langkah selanjutnya adalah mendeskripsikan data yang didapat dalam kalimat-kalimat yang mudah dibaca, dipahami dan dimaknai, sehingga pada dasarnya merupakan upaya untuk memberikan jawaban atas permasalahan yang diteliti [16].

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Proses CNC *Milling*

Pada mesin CNC, tenaga kerja (operator) yang terampil tidak begitu perlu, karena semua pergerakan, seperti eretan mesin (pergerakan eretan/meja mesin), kecepatan spindel dikendalikan melalui *Machine Control Unit* (MCU) dengan sejumlah gabungan huruf dan angka [17]. Sehingga waktu produksi lebih singkat, akurasi pengerjaan terjamin (dapat diganti). Menggunakan mesin pemessinan CNC *Milling* melibatkan beberapa langkah dasar. Berikut adalah panduan umum tentang bagaimana mengoperasikan mesin CNC *milling*:

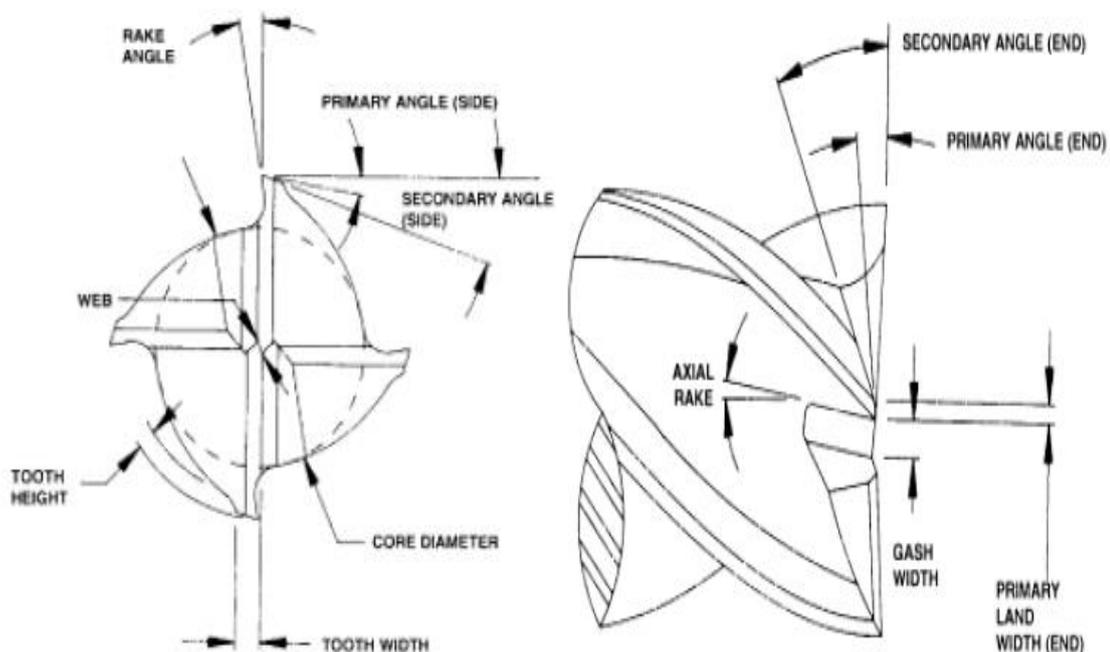
1. Persiapan Bahan Kerja:
 - a. Pastikan bahan kerja yang akan di *milling* sudah diposisikan dengan benar di meja mesin CNC. Gunakan penjepit atau sistem penahan yang sesuai untuk memastikan bahan tetap stabil selama proses pemessinan.
 - b. Periksa juga ketersediaan dan kecocokan perkakas pemotong yang akan digunakan dalam proses *milling*.
2. Pemrograman CNC:
 - a. Buat program CNC menggunakan perangkat lunak pemrograman CNC yang sesuai. Program ini akan menentukan jalur pergerakan alat pemotong dan parameter lainnya.
 - b. Program CNC terdiri dari serangkaian perintah *G-code* dan *M-code* yang menginstruksikan mesin tentang gerakan dan fungsi yang diinginkan.
3. Persiapan Mesin:
 - a. Nyalakan mesin CNC dan komputer pengendali.
 - b. Masukkan program CNC yang telah dibuat ke dalam komputer pengendali mesin.
 - c. Secara manual, tentukan titik nol atau "*home position*" untuk setiap sumbu mesin. Ini dapat dilakukan dengan menggerakkan sumbu secara manual menggunakan tombol atau tuas yang ada pada mesin.
 - d. Lakukan kalibrasi mesin jika diperlukan. Ini termasuk memeriksa keakuratan dan kesejajaran sumbu mesin.
4. Uji Jalankan Program:
 - a. Sebelum mulai pemotongan pada bahan kerja yang sebenarnya, lakukan uji jalankan program dengan menggunakan bahan kerja yang tidak berharga atau bahan simulasi yang serupa. Hal ini untuk memastikan program berjalan dengan benar dan menghasilkan hasil yang diinginkan.
5. Mulai Pemotongan:
 - a. Setelah uji jalankan program berhasil, pasang bahan kerja yang akan di *milling* di meja mesin dan pastikan penjepit atau sistem penahan yang digunakan kokoh.

- b. Jalankan program CNC pada mesin. Mesin akan mengikuti perintah *G-code* dan *M-code* untuk melakukan pemotongan yang diinginkan pada bahan kerja.
 - c. Awasi proses pemotongan secara terus-menerus dan periksa hasilnya secara berkala untuk memastikan kualitas dan keakuratan.
6. Selesai dan Evaluasi:
- a. Setelah pemotongan selesai, matikan mesin CNC dan lakukan evaluasi terhadap hasil pemesinan. Periksa apakah dimensi, kehalusan permukaan, dan kualitas umum benda kerja sesuai dengan yang diinginkan.
 - b. Jika diperlukan, lakukan penyelesaian tambahan seperti pemotongan atau pengeboran berikutnya atau langkah penggilingan lebih lanjut untuk mendapatkan hasil akhir yang diinginkan.

Penting untuk dicatat bahwa panduan ini adalah pengantar umum dan prosedur pengoperasian mesin CNC *milling* dapat bervariasi tergantung pada jenis dan model mesin yang digunakan. Selalu mengacu pada manual pengguna yang disediakan oleh produsen mesin dan ikuti langkah-langkah keselamatan yang dianjurkan saat menggunakan mes [18].

B. Pahat HSS

High Speed Steel (HSS) merupakan rekomendasi pahat yang bagus untuk proses machining dalam skala industri. Material pahat yang lebih unggul daripada material benda kerja. Unsur-unsur dasar dari pahat HSS adalah Besi (Fe) dan Karbon (C) [19]. Beberapa paduan lainnya pahat HSS terdiri W, Cr, V, Mo dan Co dari paduan ini menguatkan pahat pada temperatur tinggi (*hot hardness*), serta meningkatkan sifat kekerasan pahat. Pahat *end mill flute 4* (mata potong atau alur 4, keausan mata pahat diukur disetiap besarnya keausan tepi pada flute pahat *end mill*, jadi pengukuran keausan mata pahat diukur 4 titik pengukuran. Dapat dilihat pada gambar 1 sebagai berikut [20].



Gambar 2. Geometri Sisi Potong Pahat *End mill*

C. Jenis Handle

Pipe comp steering handle digunakan untuk mengontrol pergerakan roda depan pada kendaraan, seperti mobil atau sepeda motor. Komponen ini merupakan bagian dari sistem kemudi yang menghubungkan stir dengan mekanisme roda depan. Dengan menggunakan pipe comp steering handle, pengemudi dapat mengubah arah kendaraan dengan memutar handle tersebut [21]. Putaran handle akan menggerakkan komponen lain dalam sistem kemudi, seperti roda gigi, batang koneksi, dan lengan kemudi, yang akhirnya mengubah posisi roda depan. Pipe comp steering handle sering kali terhubung dengan roda kemudi melalui sebuah poros atau mekanisme lainnya. Dalam mobil, pipe comp steering handle biasanya

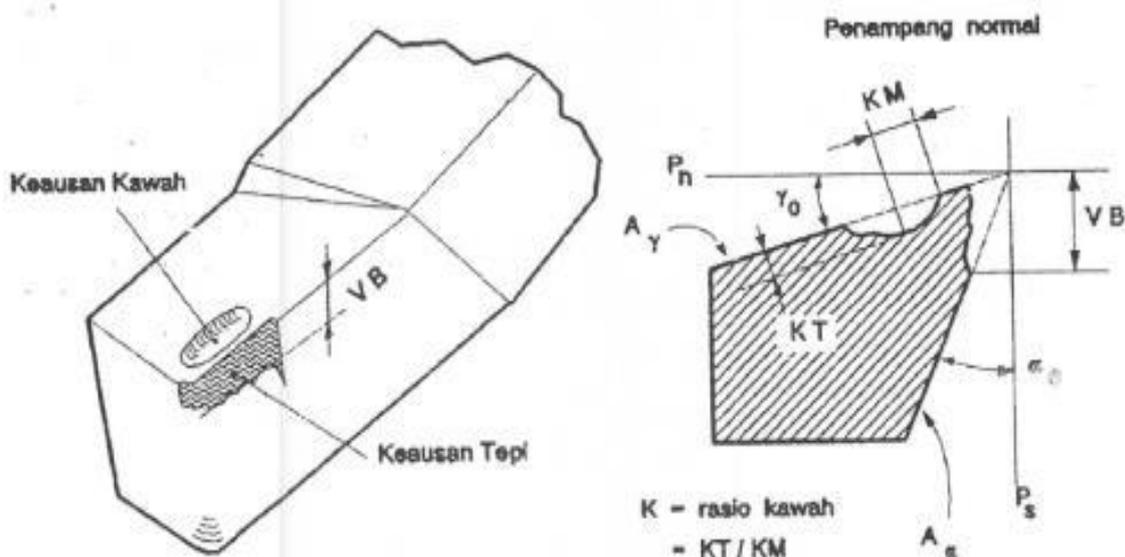
terletak di sekitar setir di dalam kabin, sementara pada sepeda motor, handle kemudi berada di bagian depan sepeda motor. Pergerakan pipe comp steering handle dikonversi menjadi pergerakan mekanis pada roda depan melalui berbagai komponen dalam sistem kemudi. Ini memungkinkan pengemudi untuk mengendalikan kendaraan dan mengubah arahnya sesuai kebutuhan saat mengemudi [22].



Gambar 3. Handle RH/LH K45G

D. Umur Pahat

Pahat mengalami keausan akibat gesekan antara permukaan chip yang mengalir dan permukaan benda kerja yang telah dipotong. Karena gaya pemotongan dan suhu tinggi, ada banyak tekanan yang menyebabkan hal ini. Proses abrasif, kimiawi, adhesi, difusi, oksidasi, deformasi plastis, retak, dan kelelahan semuanya berkontribusi terhadap keausan dan kerusakan pahat. Keausan alat ini pada akhirnya akan mencapai titik di mana alat tersebut tidak dapat digunakan lagi atau telah rusak. [4]. Lamanya waktu untuk mencapai batas keausan ini yang didefinisikan sebagai umur pahat (tool life). Umur pahat *end mill* merujuk pada jumlah pemakaian atau durasi pemotongan yang diharapkan sebelum alat potong *end mill* perlu diganti atau diasah kembali karena terjadi keausan. Penelitian umur pahat *end mill* melibatkan karakterisasi material yang digunakan untuk membuat *end mill*, pemantauan kondisi pahat selama pemotongan, pemodelan dan simulasi untuk memprediksi umur pahat, serta pengujian eksperimental untuk memperoleh pemahaman yang lebih baik tentang faktor-faktor yang mempengaruhi umur pahat *end mill*. Hal ini penting dalam industri pemesinan untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas produk yang dihasilkan, serta mengoptimalkan penggunaan alat potong *end mill*. Pertumbuhan keausan tepi pahat biasanya mengikuti bentuk yang ditunjukkan pada awal penggunaan, dengan pertumbuhan yang relatif cepat untuk beberapa waktu, diikuti oleh pertumbuhan linier seiring bertambahnya waktu pemotongan, dan akhirnya pertumbuhan yang cepat. keausan tepi pahat meningkat lagi. Jenis keausan pahat terdiri dari keausan kawah (*crater wear*) dan keausan tepi (*flank wear*) seperti pada Gambar berikut.



Gambar 4. (Kiri) Keausan Tepi dan (Kanan) Keausan Kawah

E. Pemasangan Benda Kerja dan Tools



Gambar 5. Pemograman Awal dan Pemasangan Benda Kerja

Pada tahap ini dilakukan tahap setting awal CNC *Milling* dengan menjalankan program nol atau home position dari setiap sumbu x dan y dilakukan dengan menggerakkan sumbu secara manual menggunakan tombol atau tuas yang ada pada mesin. Langkah ini juga meningkatkan tingkat keakuratan mesin. Selanjutnya pemasangan benda kerja jig dan melakukan pengecekan pada tools sebelum pemrograman, jika tools sudah tumpul lakukan pergantian. Untuk pergantian tools *end mill*, lakukan program sederhana dengan setting kode tools misalnya kode MG16 atau T16 dimana setiap mesin memiliki kode beda tapi untuk prinsip kerja sama saja. Sebelum melakukan program lakukan pengukuran awal dari *endmill cutter* HSS dari berat dan untuk suhu dilakukan pengukuran pada selesai percobaan ke 1. Setelah persiapan awal selesai selanjutnya jalankan program dengan melakukan perintah program dengan kode H.RH/LH K45G yang tersedia pada mesin CNC *milling*, untuk kecepatan spindel kita atur di 100 rpm, dengan waktu proses sekitar 6 menit 30 detik. Pastikan *coolant* pada mesin keluar dengan baik dan jika pada proses pemesinan CNC *Milling coolant* yang keluar kurang optimal maka lakukan pengisian ulang pada mesin.

F. Pengecekan dan Pengukuran Tools



Gambar 6. Pengambilan Handle pada jig dan Pengecekan Tools *End mill*

Proses CNC *Milling* selesai, selanjutnya pengambilan handle pada jig untuk diperiksa hasil *milling* sesuai atau tidak dengan prosedur yang ditentukan dan dilakukan dengan teliti. Langkah awal dengan membersihkan area jig dan benda kerja handle dari sisa coolant dan serpihan hasil *milling* agar aman saat pengambilan benda kerja. Setelah letakan semua benda kerja pada meja proses dan lakukan pembersihan pada lubang diameter dengan cara pengikiran dan pengurekan. Ada 10 benda kerja handle yang dilakukan pengukuran menggunakan sigmat, pengukuran dilakukan teliti dengan prosedur dan ukuran yang sesuai dengan standar perusahaan.



Gambar 7. *End mill* Sesudah Proses *Milling*

Hasil analisis dari bentuk pahat *end mill* cutter dapat dijelaskan bahwa terjadi keausan yang cukup pada tampak pahat, dari 4 bagian flute *end mill* cutter, dapat dilihat crater wear (keausan kawah) dan flank wear (keausan tepi) cukup terlihat, hal ini sedikit mempengaruhi dari daya makan dari *end mill* namun masih bisa digunakan untuk 10-15 kali percobaan CNC *Miling*. Keausan pahat *end mill* dapat terjadi akibat beberapa faktor, seperti kecepatan pemakanan yang terlalu tinggi, kecepatan potong yang rendah, material bahan kerja yang keras, kurangnya pelumasan atau pendinginan yang memadai, dan kualitas pahat yang buruk. Faktor-faktor ini dapat menyebabkan tekanan berlebihan, gesekan tinggi, peningkatan suhu, atau kekuatan yang tidak memadai pada tepi pemotongan pahat *end mill*, yang pada akhirnya mengakibatkan keausan yang lebih cepat. Untuk mengurangi keausan, penting untuk mengoptimalkan parameter pemotongan, memilih bahan pahat yang sesuai, memastikan pelumasan yang memadai, dan melakukan pemeliharaan rutin pada pahat *end mill*.

Tabel 1. Nilai suhu *end mill* cutter sebelum dan sesudah proses permesinan CNC *milling*

Nama Material / Jenis Material	Uji Spesimen Percobaan ke -	Suhu Sebelum C°	Suhu Sesudah C°	Selisih Suhu <i>End mill</i> (Cutter)
Handle RH/LH K45G	1	27,1	29	1,9
	2	27	29,3	2,3
	3	27,2	29,5	2,3
	4	27,4	29,6	2,2
	5	27,6	29,8	2,2
	6	27,7	29,9	2,2
	7	27,7	30,1	2,4
	8	27,9	30,3	2,4
	9	28	30,5	2,5
	10	28,2	30,7	2,5
	Jumlah	275,8	298,7	22,9
	Rata Rata	27,5	29,8	2,29

Tabel 2. Nilai berat *end mill* cutter sebelum dan sesudah proses permesinan CNC *milling*

Nama Material / Jenis Material	Uji Spesimen Percobaan ke -	Berat Sebelum (gram)	Berat Sesudah (gram)	Selisih Berat <i>End mill</i> (Cutter)
Handle RH/LH K45G	1	80	80	0
	2	80	80	0
	3	80	79,9	0,1
	4	79,9	79,8	0,1
	5	79,8	79,7	0,1
	6	79,7	79,6	0,1
	7	79,5	79,4	0,1
	8	79,4	79,3	0,1
	9	79,3	79,2	0,1
	10	79,2	79,1	0,1
	Jumlah	793,4	792,4	0,8
	Rata - Rata	79,3	79,2	0,08

Pada tabel di atas melakukan masing – masing 10 kali percobaan menunjukkan bahwa pada pengujian berat *end mill* mempunyai selisih berat dengan rata *end mill* cutter sebesar 0,08 gram, serta pada pengujian suhu *end mill* mempunyai jumlah selisih suhu *end mill* cutter sebesar 2,29 derajat C° saja [23].

IV. KESIMPULAN

Setelah melakukan percobaan dengan tujuan mengetahui keausan *end mill* cutter yang mengacu pada rumusan masalah dapat kita tarik kesimpulan, Keausan *end mill* flute 4 pad proses *milling* handle sepeda motor yaitu pada proses percobaan memiliki ciri-ciri yang merupakan gambaran *end mill* mengalami keausan ialah kenaikan suhu, pengurangan berat *end mill* dan perbedaan nilai keausan, dan jenis keausannya. Terdapat jenis keausan *end mill* cutter yang diperoleh dari 10 percobaan spesimen uji pada variasi bahan yang berbeda.

"Kenaikan suhu memengaruhi keausan pahat dengan berkurangnya berat pahat. Hal ini disebabkan oleh panas yang dihasilkan dalam proses pemotongan yang intens, menyebabkan kenaikan suhu akibat gesekan antara pahat dan benda kerja. Semakin banyaknya percobaan menggunakan *end mill*, semakin besar gesekan yang terjadi. Keausan pahat dapat dipicu oleh frekuensi pemotongan yang tinggi pada benda kerja, yang mengakibatkan pengikisan pada tepi dan kawah pahat *end mill*. Setelah melakukan 10 kali percobaan proses *milling*, ditemukan bahwa rata-rata pengurangan berat pada pahat *end mill* sekitar 0,08, menunjukkan bahwa pahat mengalami keausan yang cukup signifikan, namun masih memiliki daya tahan yang memadai untuk beberapa percobaan *milling*. Seiring dengan peningkatan jumlah percobaan, suhu pada pahat *end mill* juga meningkat sebesar 2,29 dalam 10 percobaan, yang menegaskan bahwa suhu berperan penting dalam proses keausan pahat. Penggunaan yang sering pada pahat dalam proses *milling* akan semakin meningkatkan suhu secara signifikan."

Semakin banyak karbon yang digunakan dalam material pahat, semakin cepat keausan pahat *end mill* cutter. Untuk kecepatan potong, kedalaman pemakanan, dan kecepatan pemakanan yang sama, karbon yang diterapkan pada material yang digunakan akan berbeda, jenis keausan yang dihasilkan, dan nilai keausan yang dihasilkan akan berbeda.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada pihak-pihak terkait yang sudah membantu dalam pembuatan penelitian ini.

1. Dosen pembimbing yang telah membimbing dan memberi masukan dalam penulisan artikel ini.
2. Pembimbing lapangan sekaligus kepala bidang machining yang memberi kesempatan dan pembelajaran selama melakukan praktik industri.

3. Teman-teman Untirta PVTM 2019 Orang tua yang senantiasa memberikan semangat dan dukungan menyelesaikan jurnal penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. Abriandika, A. A. Sonief, and Y. S. Irawan, "Pengaruh pahat *end mill* normal dan variabel helix angle pada metode pocket zig-zag terhadap chatter," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 14, no. 2, pp. 639–648, 2023, doi: 10.21776/jrm.v14i2.1419.
- [2] H. Abizar, M. Fawaid, S. Nurhaji, and A. R. Pambudi, "Efektivitas pembelajaran praktik cnc menggunakan swansoft simulator pada keaktifan belajar siswa," *Taman Vokasi*, vol. 8, no. 1, p. 36, 2020, doi: 10.30738/jtv.v8i1.7619.
- [3] B. D. Rahmat and Muhammad HariPriadi, "Analisa pengaruh variasi parameter pemotongan dan pendingin terhadap tingkat keausan pahat *end mill* hss hasil pemesinan cnc router *milling* pada aluminium sheet 1100," *J. POLIMESIN*, vol. 17, no. 2, pp. 13–20, 2019.
- [4] K. M. Cnc, M. Cnc, P. Pemotongan, and M. M. Geram, "Mesin *milling* CNC".
- [5] F. Novansyah *et al.*, "Analisis pemrograman cnc *milling* pada pembuatan disc brake menggunakan cad cam analysis of cnc *milling* programming for disc," vol. 8, no. 1, pp. 73–80, 2023, doi: 10.33579/krvtk.v8i1.4022.
- [6] K. Suharyadi and M. A. Irfa'i, "Pengaruh jumlah mata sayat *end mill* cutter menggunakan kode program g 02 dan g 03 terhadap kerataan alumunium 6061 pada mesin cnc tu-3a," *J. Tek. Mesin*, vol. 3, pp. 293–298, 2014, [Online]. Available: <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jtm-unesa/article/view/15245/13804>
- [7] N. Firstiawan, "Optimasi parameter proses permesinan cnc *milling* terhadap kekasaran permukaan kayu jati dengan metode taguchi," pp. 1–78, 2012.
- [8] E. Prianto, M.Eng, "Proses permesinan cnc dalam pembelajaran simulasi cnc," *J. Edukasi Elektro*, vol. 1, no. 1, pp. 62–68, 2017, doi: 10.21831/jee.v1i1.15110.
- [9] H. Abizar, M. Fawaid, and S. Nurhaji, "Pelatihan pengoperasian mesin cnc berbasis swansoft simulator kepada siswa teknik pemesinan di kota serang," *Pengabd pada Masy*, vol. 5, no. 2, pp. 309–318, 2020.
- [10] D. Annisa and D. Yuhas, "Analisis variasi nilai depth of cut terhadap kekasaran permukaan pada material s45c menggunakan pahat ball nose *end mill*," pp. 30–35, 2022.
- [11] W. Hanif and N. E. Setjiogiaro, "Analisa perbandingan machining time toolpath vortex dan konvensional pada proses cnc *milling*," pp. 682–688, 2022.
- [12] Y. R. Firmansyah and B. A. Hasyim, "Pengaruh jumlah mata sayat *end mill* cutter, kedalaman pemakanan dan kecepatan pemakanan (feeding) terhadap tingkat kekasaran permukaan benda kerja pada mesin miling cnc tu-3a dengan program g01," *J. Tek. Mesin*, vol. 3, no. 02, pp. 38–43, 2014.
- [13] L. Kasim, "Pengaruh variabel permesinan terhadap umur pahat *end mill* cutter two flute pada proses pelubangan besi cor the effect of machining variables to tool life of *end mill* cutter two flute in cast iron perforation process," 2018.
- [14] U. Aulia, M. Tadjuddin, S. Syahriza, and A. Alfandra, "Perbandingan gaya potong pada pembuatan lubang menggunakan kode g02 dan g03 dengan proses helical interpolation *milling*," *J. Tek. Mesin*, vol. 10, no. 1, pp. 1–6, 2022, [Online]. Available: <https://jurnal.unsyiah.ac.id/JTM/article/view/26353>
- [15] M. Kemampuan *et al.*, "Artikel skripsi universitas nusantara pgri kediri artikel skripsi universitas nusantara pgri kediri FKIP – PGPAUD," vol. I, pp. 1–7, 2015, [Online]. Available: http://simki.unpkediri.ac.id/mahasiswa/file_artikel/2015/11.1.01.11.0789.pdf
- [16] H. Yudiono, "Pengaruh variasi baja terhadap keausan *end mill* cutter HSS pada proses permesinan cnc *milling*," *J. Tek. Mesin Indones.*, vol. 15, no. 2, pp. 21–24, 2020.
- [17] A. A. Sonief, A. Y. Aditya, and Yoedividianto, "Komparasi antara proses up-*milling* dan down-*milling* dalam variasi speed , feed dan flute terhadap kekasaran permukaan dalam pemotongan al 6061," *Saintek Ii*, pp. 341–346, 2017.
- [18] Seminar Tahunan T. Mesin Xi T. Iv and U. Gadjah, "Pengaruh sudut pahat," no. Snttm Xi, pp. 16–17, 2012.
- [19] A. Hari Cahyono, N. Ana mufarida, and A. Finali, "Pengaruh variasi kecepatan spindle dan kedalaman pemakanan terhadap kekasaran permukaan stainless steel aisi 304 pada proses frais konvensional dengan metode taguchi," *J-Proteksion*, vol. 1, no. 2, pp. 7–12, 2017.
- [20] Q. Analysis *et al.*, "analisis kualitas lubang material carbon fiber reinforced polymer menggunakan pahat *end mill* two flute di bawah pengaruh variabel program pascasarjana reinforced polymer menggunakan pahat," 2020.

- [21] A. Sakti Nur Kholis, F. Achmad, A. Yudianto, and I. Wayan Adiyasa, "Optimalisasi struktural pada handle kopling sepeda motor," *Conf. Innov. Appl. Sci. Technol.*, no. Ciastech, pp. 845–854, 2020, [Online]. Available: https://plasticpipe.org/pdf/chapter-1_history_physical_chemistry_hdpe.pdf
- [22] H. M. Co, "Sonic 150r," vol. 2015, 2015.
- [23] R. Bintarto, R. Raharjo, and T. D. Widodo, "Effect of variation number of flutes and cutting parameters in conventional *milling* process of aluminum 6063," *Pros. Semin. Nas. Tah. Tek. Mesin XVII*, pp. 10–17, 2018, [Online]. Available: <http://prosiding.bkstm.org/prosiding/2018/PM-03.pdf>
- [24] A. Bagus, M. Aji, P. Studi, T. Mesin, F. Teknik, and U. M. Surakarta, "Pengaruh variasi diameter pahat ballnose *end mill* terhadap nilai kekasaran dengan pemakanan vertical pada aluminium 5052," 2022.



©2023. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).