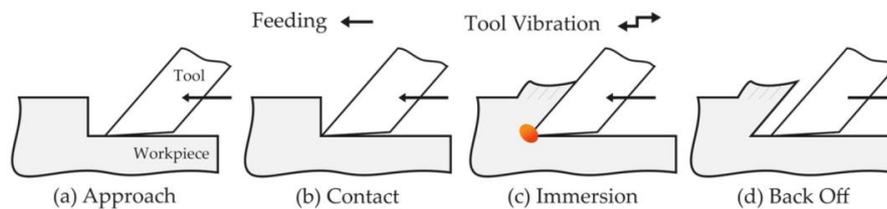


BAB I PENDAHULUAN

I.1 Latar belakang

Industri manufaktur modern menghadapi tekanan untuk terus meningkatkan produktivitas, kualitas produk, dan efisiensi proses guna tetap bersaing di pasar global yang semakin kompetitif. Untuk mengatasi tantangan ini, penggunaan teknologi produksi yang efisien dan inovatif menjadi kunci utama bagi industri manufaktur. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan hasil dari proses permesinan dalam industri manufaktur adalah *Ultrasonic Vibration Assisted Machining* (UVAM).

UVAM adalah teknik pemrosesan material dengan menambahkan getaran ultrasonik pada proses pemotongan tradisional seperti pembubutan, *milling*, dan pengeboran. Getaran ini ditambahkan langsung ke alat pemotong atau benda kerja itu sendiri. Dalam UVAM, getaran yang diterapkan pada alat pemotong dan/atau benda kerja secara terkontrol serta sinkron dengan proses pemotongan, dengan tujuan untuk meningkatkan performa proses secara keseluruhan (Chen et al., 2018). Penambahan ini secara mendasar mengubah mekanisme pemotongan, menciptakan proses dengan beberapa keunggulan dibandingkan metode tradisional.



Gambar I. 1 Ilustrasi pemotongan *Ultrasonic Vibration-assisted Machining* (UVAM) (a) *cutting tool* mendekati *workpiece*, (b) sentuhan awal *tool* pada *workpiece*, (c) pemakanan *cutting tool* terhadap *workpiece*, (d) posisi *intermittent* (Diambil dari, Martins & Puga, (2023),© MDPI AG)

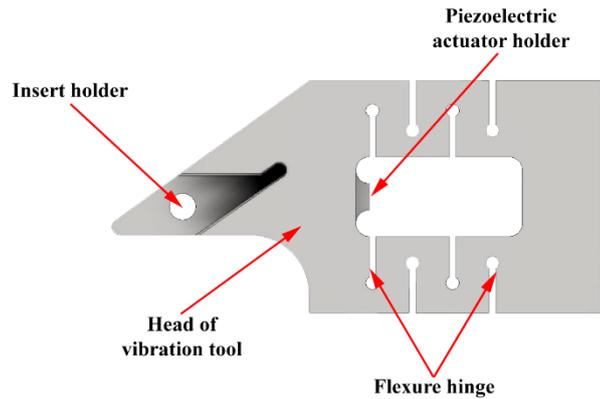
Proses permesinan UVAM pada Gambar I.1 dimulai dengan *cutting tool* mendekati benda kerja dengan kecepatan pemakanan (*feeding*) yang ditentukan. *Cutting tool* kemudian bersentuhan dengan benda kerja, dan getaran ultrasonik mulai diterapkan, mengurangi gaya pemotongan awal. Pada tahap *immersion*, getaran ultrasonik meminimalkan gaya pemotongan dan meningkatkan presisi. Titik merah pada Gambar I.1 (c) menunjukkan area dengan dampak terbesar dari getaran.

Setelah pemesinan selesai, *cutting tool* memasuki tahap *back off*, di mana getaran ultrasonik membantu melepaskan *cutting tool* dari benda kerja, mengurangi risiko kerusakan pada permukaan atau *cutting tool*.

Dalam upaya menghantarkan getaran secara maksimum pada proses pemesinan, UVAM menggunakan *vibration tool* sebagai penghantarnya. *Vibration tool* merupakan komponen penting dalam teknik *Ultrasonic Vibration Assisted Machining* (UVAM) yang memainkan peran penting dalam meningkatkan efisiensi dan kualitas proses pemotongan. *Vibration tool* dirancang untuk menghasilkan getaran mekanis yang diarahkan secara presisi dan stabil ke zona pemotongan pada mesin. Getaran yang stabil dan presisi sangat penting dalam proses UVAM untuk memastikan kondisi pemesinan yang stabil, beban statis yang lebih rendah, dan kontrol yang lebih baik terhadap machining force (Firouzabadi, 2017).

Untuk menghasilkan getaran mekanis yang diarahkan secara presisi dan stabil, *vibration tool* pada proses UVAM menggunakan *flexure hinge* untuk menghantarkan getaran mekanis kecil yang stabil dan berulang melalui deformasi elastis (Hao et al., 2010). Gerakan berulang yang dihasilkan penting untuk meningkatkan efisiensi pemesinan dan kemampuan mesin pada material yang rapuh dan keras (Kien et al., 2018).

Untuk memastikan *flexure hinge* menghantarkan getaran mekanis dengan optimal, *flexure hinge* ditempatkan di antara *piezoelectric* dan bagian alat pemotong yang berinteraksi dengan material kerja. Lokasi ini memungkinkan kontrol getaran yang lebih baik dan efisien, memastikan bahwa getaran diterapkan tepat di tempat yang dibutuhkan untuk hasil pemotongan optimal (Kien et al., 2018). Ilustrasi penempatan *flexure hinge* pada *vibration tool* ditunjukkan pada Gambar I.2.



Gambar I. 2 Komponen pada RNO vibrator yang sedang dikaji
(Dimodifikasi, dari Rachmat et al., (2017) , © Author)

Posisi ini dipilih agar *flexure hinge* dapat meningkatkan getaran mekanis melalui deformasi elastis yang tinggi, dengan gaya yang diberikan oleh *piezoelectric* untuk memastikan pergerakan konstan sesuai dengan jarak yang ditentukan (Ibrahim et al., 2018). Deformasi elastis yang tinggi membantu menyalurkan gaya yang diberikan oleh *piezoelectric* secara efektif ke *workpiece*. Getaran ini mengurangi gaya pemotongan yang diperlukan, sehingga meningkatkan efisiensi pemotongan dan mengurangi *tool wear*.

Setelah memahami pentingnya penempatan yang tepat untuk *flexure hinge* dalam meningkatkan kinerja *vibration tool* pada UVAM, perlu juga dipertimbangkan jenis *flexure hinge* yang digunakan. Dari berbagai jenis *flexure hinge* yang ada, terdapat beberapa bentuk umum yaitu: *Notch Hinge*, *Corner-Filletted Hinge*, dan *Leaf-Spring Hinge* yang diilustrasikan pada Gambar I.3.

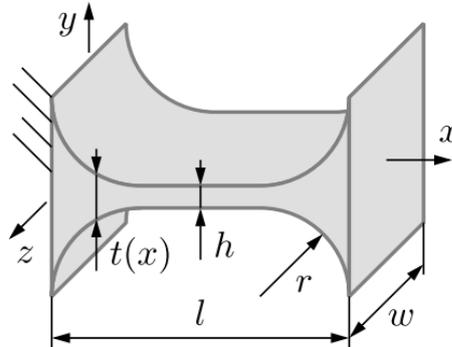


Gambar I. 3 Tipe *flexure hinge*, (a) *leaf spring hinge*, (b) *corner-filletted hinge*, (c) *notch hinge*
(Dimodifikasi, dari,(Linß et al., 2017) © Copernicus)

Dari ketiga desain *hinge* yang ditampilkan pada Gambar I.3, terdapat perbedaan karakteristik dari setiap *hinge*. *Leaf spring hinge* memiliki kemampuan untuk mengakomodasi deformasi yang besar karena memiliki kekakuan yang relatif rendah. Sementara, *notch hinge* memiliki kemampuan untuk menahan beban yang besar karena mampu mendistribusikan beban secara lebih merata dan meningkatkan kekakuan *hinge*. Dengan menggabungkan karakteristik kedua desain ini, *corner-filletted hinge* memiliki keunggulan dari gabungan karakteristik *hinge* tersebut. *Corner-filletted hinge* mampu menahan beban yang lebih besar dibandingkan dengan *leaf spring hinge*, karena desainnya mendistribusikan beban secara merata (Rui-qi, 2018). Selain itu, *corner-filletted hinge* mampu memiliki nilai deformasi yang lebih tinggi dari *notch hinge* dan memberikan gerakan yang lebih stabil dan akurat dibanding dengan *leaf spring hinge*. Karakteristik ini didapat dari desain *corner-filletted hinge* yang memanfaatkan sudut lengkung pada *hinge* untuk mendistribusikan *stress* secara lebih merata di seluruh struktur *hinge* yang dapat mengurangi konsentrasi tegangan.

Untuk mencapai keunggulan pada *corner-filletted hinge*, desain perlu dioptimalkan agar mampu mencapai nilai deformasi elastis yang tinggi, serta menghasilkan gerakan yang lebih presisi dan stabil pada *flexure hinge*. Hal ini pada akhirnya dapat meningkatkan presisi pemesinan dengan tingkat stres yang tetap dalam batas aman. Untuk mengoptimalkan desain *corner-filletted hinge*, dibutuhkan pengombinasian parameter seperti radius (R), tebal *hinge* (t), dan panjang *hinge* (l). Kombinasi parameter-parameter ini diatur untuk mencapai nilai deformasi elastis yang tinggi dan menghasilkan gerakan yang presisi dan stabil pada *flexure hinge*

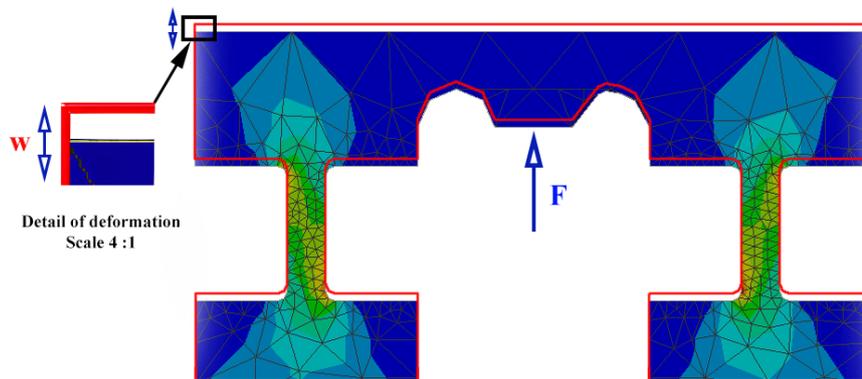
yang dapat meningkatkan presisi pemesinan dengan nilai *stress* yang masih dalam batas aman. Parameter yang akan dikombinasikan diilustrasikan pada Gambar I.4



Gambar I. 4 Parameter desain pada *Corner-filleted Hinge* (r) Radius, (h) tebal hinge, (l) panjang hinge
(Diambil, dari (Harfensteller et al., 2022), © Elsevier)

Gambar I.4 menggambarkan parameter geometri dasar *corner-filleted hinge*, yaitu radius (r), tebal *hinge* (h), dan panjang *hinge* (l). Berdasarkan kajian sebelumnya yang membahas penggunaan *corner-filleted hinge* pada *vibration tool* (Harfensteller et al., 2022), optimisasi parameter desain *corner-filleted hinge* untuk mencapai deformasi maksimum dan *stress* minimum masih belum dieksplorasi secara lebih lanjut.

Dalam upaya mengoptimalkan keunggulan yang dimiliki oleh *corner-filleted hinge*, dilakukan kajian untuk mencari kombinasi parameter yang memiliki nilai deformasi elastis yang tinggi dan *stress* minimum. Mekanisme pengkajian dilakukan dengan memberikan getaran yang diilustrasikan pada Gambar I.3



Gambar I.5 Mekanisme getaran *Corner-filleted hinge* pada gaya (F) dan deformasi (w), *Notch Hinge* merenggang sebesar w ketika diberi gaya F (Dimodifikasi, dari (Linß et al., 2017), © Copernicus)

Gambar I.6 mengilustrasikan pengaruh *corner-filleted hinge* yang disimulasikan menggunakan metode *Finite Element Analysis (FEA)* dalam *software* Ansys Workbench. Simulasi yang dilakukan merepresentasikan piezoelektrik yang menghasilkan gaya berupa getaran mekanis. Getaran mekanis yang dihasilkan menyebabkan sisi berwarna merah meregang (disebut deformasi) (A). *Corner-filleted hinge* kembali ke posisi semula pada saat gaya yang diberikan Piezoelektrik berhenti (B). Besarnya deformasi (w) ditentukan oleh parameter desain yang dapat diubah sesuai dengan kebutuhan. Untuk mendapatkan perkiraan performa *hinge* yang akurat dengan parameter tertentu, digunakan rumus yang sesuai dengan parameter desainnya (Du & Li, 2019).

Dengan mempertimbangkan berbagai parameter desain *corner-filleted hinge*, dilakukan kajian optimisasi parameter desain sepasang *corner-filleted hinge* untuk mencapai desain optimal yang memaksimalkan deformasi (w) dan meminimalkan tegangan (σ) pada permesinan UVAM. Metode *full factorial* digunakan untuk menentukan kombinasi parameter desain yang disimulasikan dengan metode *Finite Element Analysis (FEA)*. Metode *Grey Relational Analysis* digunakan untuk menemukan kombinasi parameter optimal dengan respons yaitu memaksimalkan deformasi (*larger the better*) dan meminimalkan *stress* (*smaller the better*).

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disajikan, maka rumusan masalah pada kajian yang dilakukan sebagai berikut:

1. Bagaimana kombinasi parameter desain *corner-filletted hinge* untuk *Ultrasonic Vibration Assisted Machining* (UVAM) yang dapat menghasilkan nilai deformasi maksimum dan stress minimum?

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui kombinasi parameter yang optimal pada desain *corner-filletted hinge* untuk *Ultrasonic Vibration Assisted Machining* (UVAM) yang dapat menghasilkan nilai deformasi maksimum dan stress minimum.

I.4 Manfaat Penelitian

Tugas akhir dapat memberikan kontribusi dalam bidang pengembangan keilmuan, khususnya pada pengembangan desain *vibration tool* menggunakan salah satu desain *flexure hinge* yaitu *corner-filletted hinge*. Sehingga, tugas akhir diharapkan dapat menjadi referensi untuk kajian selanjutnya.

I.5 Sistematika Penulisan

Pada penyusunan tugas akhir terdiri dari beberapa bab yang setiap babnya berisi uraian dan penjelasan aktivitas yang dilakukan selama kajian berlangsung. Penulisan setiap bab bertujuan agar pembahasan perbandingannya dapat diuraikan secara spesifik sesuai dengan judul bab.

BAB I PENDAHULUAN

Bab I berisi latar belakang dari pemanfaatan salah satu desain *corner-filletted hinge* untuk aplikasi pada proses permesinan UVAM dibahas pada bab ini. Sehingga dapat diketahui rumusan masalah, tujuan kajian, manfaat kajian dan sistematika penulisan yang akan dikaji selama kajian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab II berisi uraian mengenai studi literatur dan dasar teori pendukung dari masalah yang dikaji. Tujuan dari bab ini yaitu memahami dasar dari kajian yang dilakukan agar dapat melakukan optimisasi parameter desain *corner-*

filleted hinge untuk penggunaan pada *Ultrasonic Vibration Assisted Machining (UVAM)* serta alasan pemilihan *full factorial* sebagai metode dalam melakukan eksperimen.

BAB III METODOLOGI PENYELESAIAN MASALAH

Bab III berisi sistematika dalam melakukan kajian untuk menyelesaikan masalah serta identifikasi sistem terintegrasi dibahas pada bab ini. Batasan dan asumsi kajian yang akan menjadi batas pada permasalahan serta identifikasi komponen sistem integral untuk mengetahui elemen yang ada pada sistem dan rencana waktu penyelesaian tugas akhir juga dibahas sebagai acuan dari lini waktu kajian.

BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Bab IV berisi kajian yang sudah dibahas sebelumnya dilakukan pengambilan data berdasarkan dengan metode yang telah ditentukan dan dilakukan pengolahan data dengan mengidentifikasi perubahan yang terjadi pada setiap parameter.

BAB V ANALISIS

Bab V berisi hasil pengolahan data sebelumnya akan dilakukan analisis optimisasi dari parameter desain *corner-filleted hinge* pada *vibration tool* dengan mengamati perubahan data yang dihasilkan dari simulasi agar dapat menarik kesimpulan dari masalah. Pada bab ini juga diambil kesimpulan parameter yang optimal untuk diterapkan pada proses permesinan UVAM.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Bab VI berisi hasil analisis yang didapatkan pada bab sebelumnya untuk dibuat menjadi kesimpulan yang diharapkan dapat menjawab dari rumusan masalah yang telah ditentukan sebelumnya. Pada bab ini juga diberikan saran agar kajian selanjutnya dapat lebih baik.