

Analisis Kekuatan Desain Tool Holder CNC Untuk Pengembangan Smart Sensor CNC di BRIN Manufaktur

Mochammad Rizky Maulana^{a,1,*}, Rizky Pauzi Hamdani^{a,2}, Lazuardi Akmal Islami^{a,3}

^a Universitas Nusa Putra, Jalan Cibolang Kaler No.21, Cisaat, Sukabumi, Kode Pos 43152.

¹ mochammad.rizky_tm22@nusaputra.ac.id*

* Corresponding Author

ABSTRAK

Penelitian ini membahas analisis kekuatan dua desain tool holder CNC untuk mendukung pengembangan smart sensor CNC di BRIN Manufaktur. Latar belakang penelitian didasarkan pada kebutuhan industri manufaktur akan proses produksi yang efisien, berkualitas tinggi, dan tepat waktu, di mana mesin CNC berperan penting dalam produksi skala besar, khususnya pada proses permesinan bubut. Tool holder sebagai komponen penunjang utama dalam permesinan CNC sangat mempengaruhi hasil akhir, terutama dalam hal kekasaran permukaan, umur pahat, dan efisiensi pemotongan. Penelitian ini bertujuan membandingkan kekuatan mekanis dua desain tool holder CNC yang berbeda terhadap beban statis, guna menentukan desain yang lebih optimal dalam menahan deformasi dan kerusakan selama operasi. Metode yang digunakan meliputi perancangan desain dengan prinsip *Design for Manufacturing* (DFM), pemilihan material (Carbide untuk insert dan AISI 4140 untuk shaft serta head), serta analisis kekuatan struktur menggunakan simulasi dengan metode *Finite Element Analysis* (FEA) dengan perangkat lunak ANSYS Workbench. Parameter pembebanan didasarkan pada simulasi gaya pemotongan pada proses turning baja AISI 1045, dengan gaya resultan sebesar 1400 N. Hasil analisis menunjukkan bahwa kedua desain tool holder memiliki performa mekanis yang baik, namun terdapat perbedaan signifikan dalam distribusi tegangan, deformasi, dan faktor keamanan. Desain tipe 1 memiliki distribusi tegangan rata-rata lebih rendah (4,94 MPa) namun tegangan maksimum lebih tinggi (84,23 MPa) dibanding tipe 2 (rata-rata 10,66 MPa; maksimum 69,11 MPa). Nilai deformasi maksimum pada tipe 1 lebih kecil (0,071 mm) dibanding tipe 2 (0,073 mm), sedangkan faktor keamanan tipe 2 lebih tinggi (9,44) dibanding tipe 1 (7,74). Meskipun kedua desain masih dalam batas aman, tipe 2 direkomendasikan karena menawarkan ketahanan dan efisiensi yang lebih baik terhadap beban statis. Penelitian ini memberikan rekomendasi desain tool holder CNC yang lebih handal dan efisien, serta dapat menjadi referensi dalam pengembangan tool holder untuk mendukung integrasi smart sensor dan peningkatan kualitas produksi di industri manufaktur modern.

KEYWORDS

Tool Holder CNC
Analisis Kekuatan
Finite Element Analysis (FEA)

1. Pendahuluan

Proses permesinan di industri manufaktur berkembang pesat dalam operasional produksinya sehingga menuntut produk yang berkualitas tinggi. Waktu pengerjaan juga merupakan hal yang sangat penting, oleh karena itu dalam dunia industri, proses produksi perlu dilakukan secara tepat, cepat, dan efektif agar dapat menghasilkan barang yang berkualitas dengan efisien. Mesin CNC digunakan untuk melakukan produksi skala besar. Proses permesinan bubut pada mesin CNC di mana logam dibuat dengan cara dipotong atau disayat untuk menghasilkan suatu komponen atau produk yang dibutuhkan di pasaran, merupakan proses permesinan yang menarik untuk dikaji di bidang industri [1]. CNC (*Computer Numerical Control*) mempunyai peran penting di dunia manufaktur khususnya industri otomotif. Mesin CNC banyak sekali digunakan untuk mengerjakan berbagai macam jenis pekerjaan seperti, pembuatan part atau komponen yang digunakan dalam bidang otomotif. Dalam proses permesinan khususnya CNC tentunya memerlukan *tools* atau alat untuk memproses sebuah komponen, baik itu *endmill*, *drill*, ataupun *tool holder* sebagai alat bantu cekam insert. *Tool holder* merupakan salah satu penunjang pekerjaan permesinan CNC, dengan menggunakan mata pahat insert atau mata pahat yang dapat dilepas pasang sebagai alat potongnya. *Holder* dapat digunakan dalam berbagai jenis pekerjaan baik itu untuk melakukan proses *drilling*, *contouring*, *pocketing*, *chamfering* dan pekerjaan lainnya. Dengan adanya *holder* dapat mengefisiensi dari segi biaya, waktu dan hasil pemotongan pada benda kerja [2].

Kualitas *tool holder* berdampak signifikan terhadap hasil permesinan, termasuk kekasaran permukaan dan umur pahat. Studi menunjukkan bahwa kedalaman pemotongan mempengaruhi

kekasaran permukaan pada CNC *Milling*, dengan pemotongan yang lebih dangkal menghasilkan permukaan yang lebih halus [3] (Sulfiana et al., 2024). Tool holder yang dirancang khusus dapat mengurangi biaya dan meningkatkan efisiensi, seperti yang ditunjukkan oleh *face mill holder* dengan insert HSS yang menghasilkan penggantian insert yang cepat dan runout yang rendah [4] (Muwafiq & Mulyadi, 2024). *Holder* khusus seperti *spring parting tool holder* dapat meningkatkan efisiensi pemotongan dan penyelesaian permukaan, dengan pengujian menunjukkan peningkatan nilai kekasaran pada kecepatan spindle yang lebih tinggi [5] (Alamsyah & Fahrudin, 2024).

Dalam proses pemesinan, *tool holder* harus mampu menahan beban mekanis yang timbul akibat gaya potong dan getaran selama operasi. Desain *tool holder* yang berbeda akan memberikan karakteristik kekuatan dan kekakuan yang berbeda pula, yang berpengaruh pada performa mesin CNC dan kualitas produk akhir. Oleh karena itu, analisis kekuatan *tool holder* dengan beban statis menjadi penting untuk mengetahui desain mana yang lebih optimal dalam hal ketahanan terhadap deformasi dan kerusakan.

Dalam penelitian ini, salah satu permasalahan utama yang perlu dijawab adalah bagaimana perbedaan kekuatan mekanis antara dua desain *tool holder* CNC yang berbeda ketika dikenai beban statis. Beban statis tersebut merepresentasikan gaya yang bekerja pada *tool holder* selama proses pemesinan, sehingga sangat penting untuk memahami bagaimana masing-masing desain merespons beban tersebut. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menentukan desain *tool holder* mana yang memiliki ketahanan lebih baik terhadap deformasi dan potensi kerusakan akibat beban statis selama operasi mesin CNC. Dengan mengetahui desain yang lebih unggul dalam hal kekuatan dan ketahanan, dapat diambil keputusan yang tepat untuk pengembangan *tool holder* yang lebih handal dan efisien, sekaligus mendukung integrasi teknologi smart sensor untuk monitoring kondisi secara real-time terkait skema Studi Collaborative Project (SCP) yang bekerja sama dengan Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN).

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan perbandingan kekuatan dua desain *tool holder* CNC yang berbeda melalui analisis kekuatan struktur yang diberi beban statis. Pengujian ini akan memberikan gambaran mengenai kemampuan masing-masing desain dalam menahan gaya yang bekerja selama proses pemesinan, sehingga dapat menentukan desain *tool holder* yang lebih unggul dari segi kekuatan mekanis. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan *tool holder* yang lebih tahan lama dan dapat meningkatkan kualitas serta efisiensi proses CNC.

2. Metode

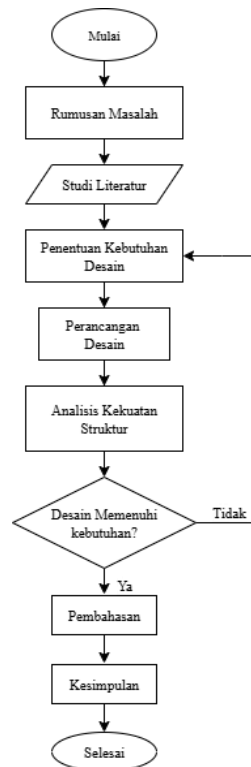


Fig. 1. Flowchart

Proses perancangan dan analisis kekuatan *tool holder* untuk mesin bubut CNC digambarkan dalam diagram alir ini, mulai dari menemukan masalah hingga mencapai kesimpulan. Termasuk dalam diagram alir ini adalah perumusan masalah, penelitian literatur, menentukan kebutuhan desain, perancangan desain, analisis kekuatan struktur, evaluasi kecocokan desain, dan hasil. Pada tahap penentuan kebutuhan desain dan perancangan desain, prinsip *Design for Manufacturing* (DFM) diterapkan. Prinsip-prinsip *Design for Manufacture* (DFM) yang di antaranya Mengurangi jumlah komponen, Mengembangkan rancangan modular, Menggunakan komponen standar/serupa Mendesain part yang multiguna, dan Mendesain untuk kemudahan manufaktur [6]. Pada tahap ini, desain harus mempertimbangkan kemudahan proses manufaktur, pemilihan material yang tersedia secara lokal, dan pengurangan kompleksitas bentuk komponen. Analisis kekuatan struktur juga menilai ketahanan struktur dan memastikan bahwa solusi desain tidak mempersulit produksi. Sejak awal, DFM telah mempertimbangkan biaya, produksi massal, dan ketersediaan teknologi manufaktur di industri lokal, yang menghasilkan desain yang lebih efisien.

2.1. Implementasi DFM

Design for Manufacturing (DFM) diimplementasikan untuk menciptakan proses produksi yang efisien, dan berkualitas tinggi dengan mengintegrasikan tiga prinsip yaitu, *simplicity design*, pemilihan material, dan standarisasi komponen

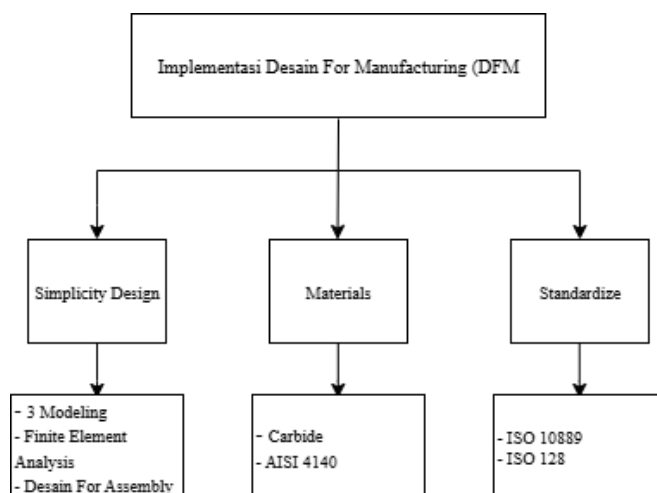


Fig. 2. Parameter Permodelan Perancangan dalam Implementasi DFM

2.2.1. Simplicity Design

Dalam metode Desain for Manufacturing (DFM), simplicity design adalah pendekatan perancangan yang berfokus pada mempermudah proses manufaktur dengan menyederhanakan bentuk, struktur, dan jumlah komponen dalam sebuah produk. Tujuannya adalah untuk mengurangi kompleksitas desain sehingga lebih cepat, murah, dan minim kesalahan. Untuk memastikan bahwa setiap bagian dapat dibuat dan dirakit dengan efisien, metode seperti pemodelan 3D, Finite Element Analysis (FEA) hingga, dan penerapan prinsip Desain for Assembly (DFA) digunakan. Selain meningkatkan keandalan produk, desain yang sederhana mempermudah pemeliharaan di lapangan.

2.2.2. Material

Pemilihan material adalah langkah penting dalam proses produksi dan harus disesuaikan dengan fungsi komponen, dan efisiensi biaya. Material yang dipilih harus mudah diproses dengan teknologi manufaktur yang tersedia dan memiliki sifat mekanik yang sesuai dengan beban kerja komponen. Dua jenis material utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Carbide* dan AISI 4140. *Carbide* dipilih karena kekerasannya dan ketahanan ausnya yang luar biasa, serta stabilitasnya pada suhu tinggi. Oleh karena itu, karbida sangat cocok untuk digunakan sebagai ujung pahat atau bagian pemotong dalam tool holder yang digunakan pada kecepatan potong tinggi. Selain itu, material ini mampu mempertahankan ketajaman dan umur pakai alat meskipun digunakan pada kecepatan potong yang tinggi. Sementara itu, AISI 4140 adalah baja paduan dengan kandungan kromium dan molibdenum yang memiliki sifat mekanik yang luar biasa, termasuk kekuatan tarik tinggi, ketangguhan, kekerasan sedang, dan ketahanan terhadap abrasi dan kelelahan. Sehingga diaplikasikan pada *part Shaft* dan *Head*.

Table 1. Material Properties AISI 4140 [7] dan Tungsten Carbide [8], [9], [10], [11]

Properti Mekanik	AISI 4140 Steel	Tungsten Carbide (WC)
Tensile Strength	655 MPa (95000 psi)	344 MPa (49900 psi)
Yield Strength	415 MPa (60200 psi)	140 Mpa (20300 psi)
Elastic Modulus	190-210 GPa	669-696 GPa
Shear Modulus	80 GPa	260-298 Gpa
Bulk Modulus	140 GPa	350-400 Gpa
Poisson's Ratio	0.27-0.30	0.31
Elongation at Break	25.7%	
Hardness (Brinell)	197	
Hardness (Rockwell C)	13	90

2.2.3. Standarisasi

Standarisasi dalam prinsip *Design for Manufacturing* (DFM) adalah cara penting untuk memastikan produk yang dirancang bisa dibuat dengan mudah, cepat, dan hemat biaya. Cara ini mendorong penggunaan komponen dan bahan yang sudah umum digunakan di berbagai industri, sehingga proses produksi lebih cepat, pengeluaran lebih sedikit, dan risiko kesalahan berkurang. Dengan menggunakan komponen standar, perusahaan bisa mengurangi kebutuhan suku cadang khusus, memudahkan rantai pasok, serta mempermudah proses merakit dan merawat produk. Selain itu, standarisasi juga membantu mengontrol kualitas produk karena proses produksi memiliki acuan standar yang jelas dan konsisten. ISO 10889 berperan penting dalam standarisasi tool holder agar terjamin kompatibilitas, kekuatan, dan efisiensi proses manufaktur. Sementara ISO 128 menjadi acuan utama dalam pembuatan gambar teknik yang jelas, konsisten, dan mudah dipahami secara internasional. Keduanya sangat penting untuk mendukung kualitas, keamanan, dan efisiensi di dunia industri manufaktur modern.

Sebagai referensi dalam perancangan desain *tool holder* cnc dilakukan terhadap *Interchangeable Head VDI* yang diperlihatkan pada fig 3, dengan menghilangkan part *flange* VDI pada *Interchangeable Head VDI*. Dengan *item number* 58.4040-4, A 40, B 22, C 83, D 31, E 1.500, dan F 100.

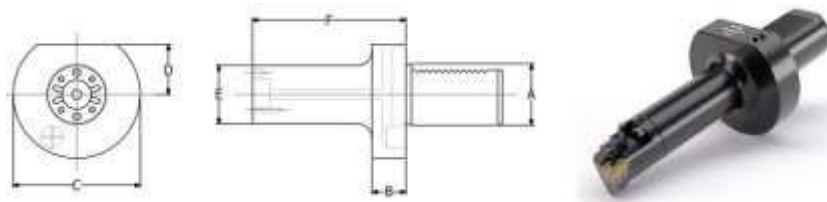


Fig. 3. *Interchangeable Head Vdi* [12]

2.2.4. Design Tool Holder CNC

Dalam gambar hasil *Tool Holder* CNC ini terdapat dua desain *tool holder* yang berbeda, Pada fig 4 (A) dan (B) menunjukkan dua desain *tool holder* CNC hasil dari referensi yang dapat dilihat dari fig 3, fig 4 (A) menunjukkan Desain *Tool Holder* CNC dengan *part* sistem pengunci *insert* dan pada fig 4 (B) tidak terdapat *part* sistem pengunci *insert*.

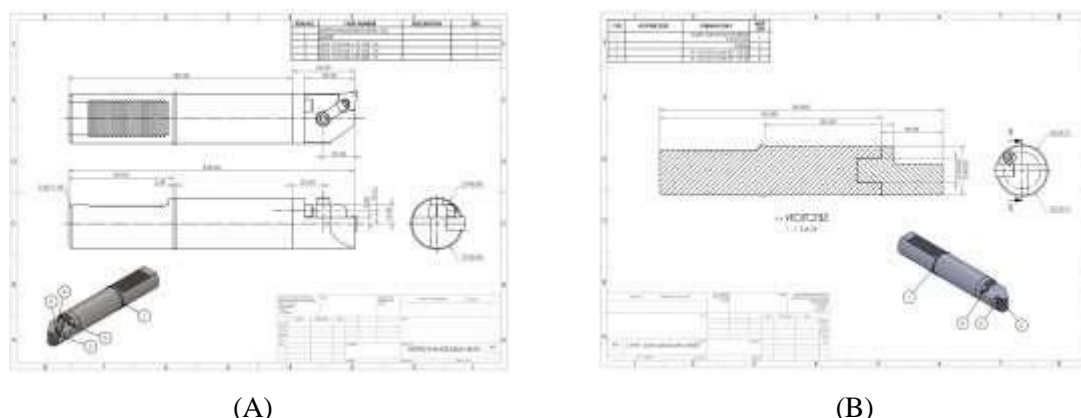
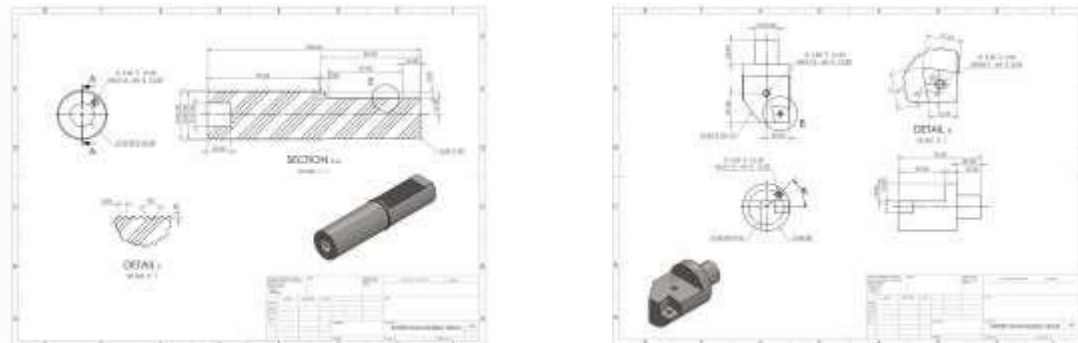


Fig. 4. (A) *Design Tool Holder* CNC Type 1, (B) *Design Tool Holder* CNC Type 2

Pada fig 5 (A) menunjukkan *part* *Tool Holder* CNC yaitu *shaft* (batang) sebagai struktur utama yang menahan seluruh komponen serta memberikan kekakuan saat pemotongan, dan pada bagian *shaft* yang bergerigi, berfungsi sebagai mekanisme pengunci presisi yang mencegah slip dan pergeseran *tool holder* di turret mesin CNC, sekaligus memastikan transfer gaya potong yang optimal dan memudahkan

penggantian *tool holder* secara cepat. Pada fig 5 (B) menunjukkan *part Head* dengan sistem modular yang di hubungkan terhadap *shaft* (batang) dan sebagai tempat dudukan *insert*.



(A)

(B)

Fig. 5. (A) Shaft, (B) Head

Pada fig 6 menunjukkan *part* pengunci dan *insert*, pada *part* pengunci ini berfungsi untuk mengunci *insert* agar tetap pada posisinya saat proses pemesinan CNC.

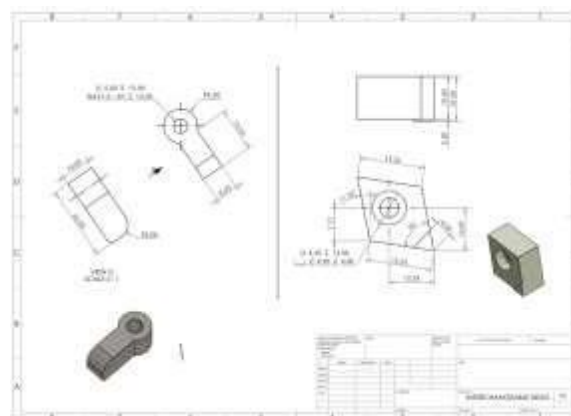


Fig. 6. Pengunci dan Insert

2.2.5. Perhitungan Pembebanan

Untuk menentukan besar gaya yang menekan insert (mata pahat) saat proses pembubutan, perlu dipahami bahwa gaya pemotongan terdiri dari tiga komponen utama: Gaya Potong (Tangensial) F_c , Gaya Makan (Aksial) F_f , dan Gaya Radial F_r . Gaya-gaya ini bergantung pada material benda kerja, parameter pemotongan, geometri insert, dan kondisi mesin. Berikut rumus dan metode perhitungan untuk simulasi FEA untuk proses turning baja AISI 1045:

- Kedalaman potong $d = 2.5$ mm
- Gerak makan $f = 0.2$ mm/rev
- $K_c = 2500\text{N/mm}^2$ (nilai rata-rata)

Resultan gaya yang menekan insert:

$$F_{\text{resultan}} = \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_r^2}$$

Specific Cutting Force (K_c):

$$F_c = K_c \cdot A$$

$$A = d \cdot f \text{ (luas penampang beram dalam mm}^2\text{)}$$

Keterangan:

- d : Kedalaman potong (mm)
- f : Gerak makan per putaran (mm/rev)
- K_c : Specific Cutting Force (N/mm²)

Membubut baja AISI 1045 dengan:

- Kedalaman potong $d = 2.5 \text{ mm}$
- Gerak makan $f = 0.2 \text{ mm/rev}$
- $K_c = 2500 \text{ N/mm}^2$ (nilai rata-rata)

Kalkulasi:

$$\begin{aligned} A &= d \cdot f = 2.5 \cdot 0.2 = 0.5 \text{ mm}^2 \\ F_c &= K_c \cdot A = 2500 \cdot 0.5 = 1250 \text{ N} \\ F_f &= 0.4 \cdot F_c = 500 \text{ N} \\ F_r &= 0.3 \cdot F_c = 375 \text{ N} \end{aligned}$$

Gaya Resultan:

$$F_{\text{resultant}} = \sqrt{1250^2 + 500^2 + 375^2} \approx \mathbf{1400 \text{ N}}$$

Jadi, gaya yang akan diberikan pada pembebanan ialah 1400 N.

2.2. Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini alat yang digunakan untuk membuat desain tool holder CNC dan menganalisis kekuatan struktur menggunakan:

1. Laptop Lenovo IdeaPad 114ALC7 Memiliki spesifikasi sebagai berikut:
 - *Operation System* : Windows 11 Home 64-bit
 - *Processor* : AMD Ryzen 3 5300U with Radeon Graphics (8 Cpus), 2.6GHz
 - *Memory* : 8192MB RAM



Fig. 7. Laptop Lenovo IdeaPad 114ALC7

2. *Software* SOLIDWORKS 2021

Solidworks adalah software rancang bangun yang digunakan untuk mengerjakan desain mesin, desain produk, desain konstruksi dan juga kebutuhan teknik yang lain. Solidworks juga dilengkapi dengan *tool* yang berfungsi untuk menghitung dan menganalisis hasil desain seperti regangan, tegangan, maupun pengaruh suhu, dll.

3. *Software* ANSYS WORKBENCH

ANSYS Workbench adalah salah satu *software* berbasis metode elemen hingga yang digunakan untuk menganalisa masalah-masalah rekayasa Teknik (*engineering*). ANSYS

Workbench juga mampu berintegrasi dengan *software* CAD sehingga memudahkan pengguna dalam model geometri dengan berbagai *software* CAD

3. Hasil dan Pembahasan

Analisis Tool Holder CNC menggunakan metode finite element analysis. Metode finite element analysis adalah sebuah metode penyelesaian numerik yang menggunakan pendekatan dengan membagi-bagi (mendiskritisasi) benda yang akan dianalisis menjadi bentuk elemen-elemen yang berhingga dan saling berkaitan. Pada proses analisis ini software yang digunakan adalah Ansys Workbench. Adapun untuk Langkah-langkahnya:

- Import geometri pada ANSYS. Masukan file data format berupa .x_t yang telah didesain sebelumnya menggunakan Solidworks kemudian import geometri.
- Setting material assignment yang diperlukan



Fig. 8. (A) Import Geometri, (B) Assigment Material

- Pastikan desain tidak memiliki interferensi lewat opsi contact region *see fig. 9 (A)*.
- Lakukan pemberian mesh secara optimal untuk memastikan hasil yang diperoleh memiliki kualitas yang baik. Hal ini dapat dilihat pada tabel 2 dan fig. 9 (B), di mana nilai skewness rata-rata sebesar 0,3593 menunjukkan hasil yang baik. Dengan demikian, diharapkan dapat meminimalkan kesalahan dalam analisis.

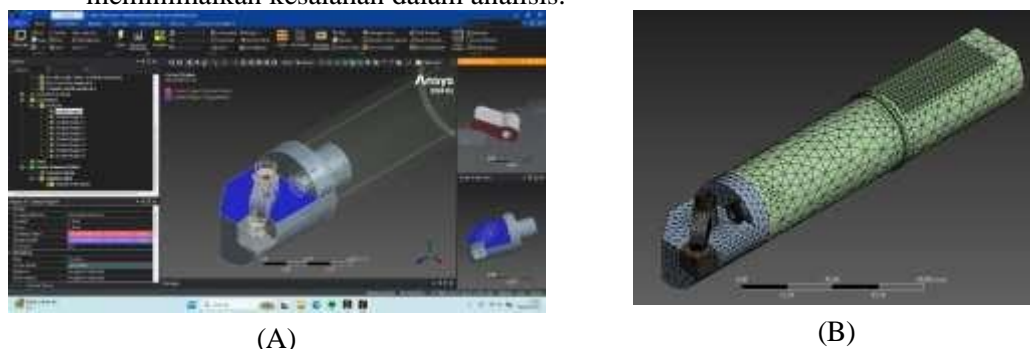


Fig. 9. (A) Contact Region, (B) Meshing

Table 2. Mesh Quality

Mesh Metric Skewness
Min 6,4013e-004
Max 0,99995
Average 0,3593

- Pada lokasi fixed support (*see fig. 10 (A)*) diberikan sesuai dengan posisi holder, sementara itu, untuk mensimulasikan gaya eksternal yang bekerja pada struktur berdasarkan hasil

perhitungan sebelumnya, beban 1400N dengan arah ke bawah yang diberikan pada ujung *insert* (see fig. 10 (B)).

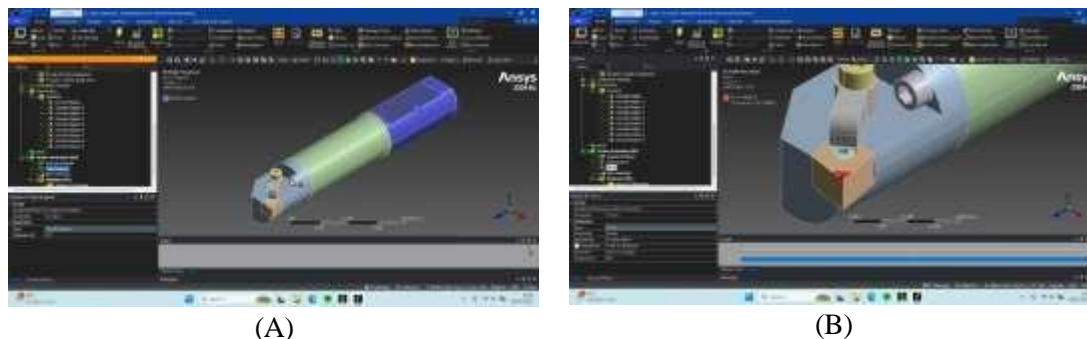


Fig. 10. (A) Fixed Support, (B) Titik Pembebanan

3.1. Perbandingan Hasil Simulasi FEA

Perbandingan simulasi dilakukan untuk mengetahui perbedaan distribusi dan pengaruh pada struktural terhadap part pengunci karena dapat dilihat pada fig. 4 pada ke dua tipe memiliki perbedaan di penguncian *insert* yang dimiliki di *tool holder type 1*.

3.3.1. Von Misses Stress

Von Mises stress adalah indikator yang mengukur kegagalan material dengan menganalisis sifat material. Hasil tegangan utama terhadap kegagalan diprediksi jika nilai tegangan *Von Mises* lebih besar dari tegangan luluh material. Simulasi dilakukan dengan menunjukkan nilai *Von Mises stress* untuk melihat penyebaran tegangan pada material [13]. Dari hasil analisis statik terhadap dua desain tool holder CNC, hasil diperoleh nilainya sebagai berikut:

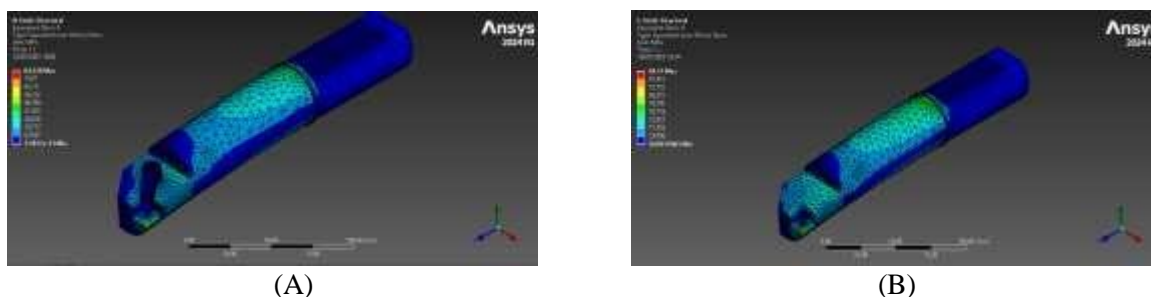


Fig. 11. *Von Mises Stress* (A) *Design Tool Holder CNC Type 1*, (B) *Design Tool Holder CNC Type 2*
Tegangan maksimum yang terjadi pada desain tool holder CNC tipe 1 dan 2 (see fig. 11), yaitu sebesar 84,23 Mpa dengan rata-rata distribusi 4,9416 Mpa untuk desain tipe 1 dan untuk desain tipe 2 adalah nilai maksimumnya sebesar 69,11 Mpa dengan rata-rata 10,66 Mpa, adapun distribusi tegangan maksimum berada didaerah tumpuan yang berwarna merah, hal ini terjadi karena pada tumpuan momennya paling besar pada posisi pembebanan di lokasi insert. Sedangkan nilai minimum untuk desain tipe 1 sebesar $1,1927e-013$ Mpa, dan untuk desain tipe 2 sebesar 0,00079465 Mpa yang terjadi pada daerah yang terdistribusi berwarna biru.

3.3.2. Deformasi

Dalam konteks analisis tegangan, perpindahan dapat merujuk pada perubahan posisi relatif antar bagian-bagian struktur akibat beban. Hasil analisis perpindahan dapat memberikan informasi tentang bagaimana suatu struktur bereaksi terhadap gaya eksternal dan digunakan untuk kekuatan struktur tersebut, pada fig. 12 didapat nilai maksimumnya 0,071189 mm untuk *type 1* dan *type 2* memiliki nilai 0.073582 mm pada bagian yang berwarna merah pada posisi pemberian pembebanan dan minimumnya 0 mm pada bidang yang berwarna biru.

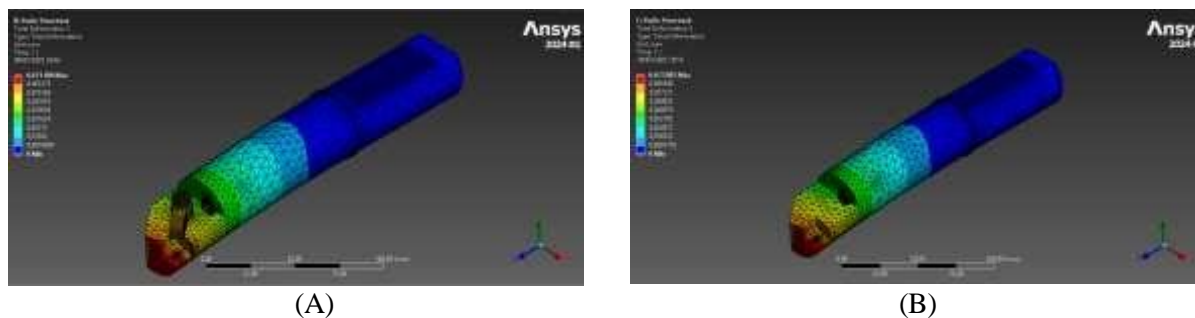


Fig. 12. Deformasi (A) *Design Tool Holder CNC Type 1*, (B) *Design Tool Holder CNC Type 2*

3.3.2. Safety Factor

Faktor keamanan (*Safety Factor/SF*) adalah faktor yang digunakan untuk mengevaluasi agar perencanaan suatu struktur atau elemen mesin terjamin keamanannya. SF biasanya dinyatakan sebagai rasio antara tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh bahan dengan tegangan yang sebenarnya bekerja pada bahan tersebut [13]. Pada fig. 13 (A) dan (B) dapat dilihat nilainya 7,7432 untuk *tool holder type 1* dan 9,4372 pada *tool holder type 2*.

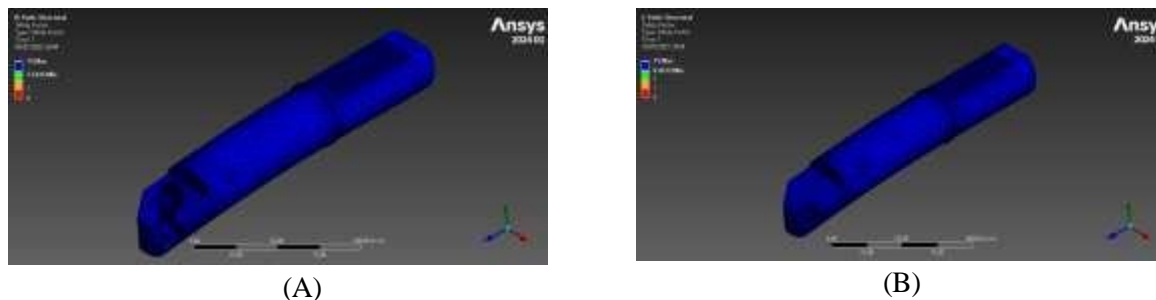


Fig. 13. *Safety Factro* (A) *Design Tool Holder CNC Type 1*, (B) *Design Tool Holder CNC Type 2*

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis kekuatan dua desain *tool holder CNC* terhadap beban statis, dapat disimpulkan bahwa kedua tipe *tool holder* menunjukkan performa mekanis yang baik. Namun, dalam pemilihan tipe yang lebih optimal tipe 1 memiliki kelebihan untuk menahan beban menjadi lebih terdistribusi terhadap struktur keseluruhan karena memiliki nilai rata-rata von mises 4,9416 Mpa berbanding dengan nilai rata-rata 10,66 Mpa pada *tool holder* tipe 2. Walau pun nilai tegangan maksimum tipe 2 yang lebih rendah, yaitu sebesar 69,11 MPa, dibandingkan tipe 1 yang mencapai 84,228 MPa, akan tetapi tegangan maksimum ini hanya terjadi pada daerah tumpuan insert dengan bagian kecil. Selain itu, didukung dengan nilai *displacement* maksimum pada tipe 1 lebih kecil yang bernilai 0,071189 mm untuk tipe 1 dan 0,073582 mm untuk tipe 2, namun keduanya menunjukkan bahwa struktur stabil terhadap beban. Adapun nilai *safety factor*, pada tipe 1 bernilai 7,7432 dan tipe 2 9,4372, yang menandakan bahwa *tool holder* tipe 2 lebih aman dan tahan terhadap kerusakan akibat beban statis, tapi pada kedua nilai ini nilai tersebut masih sangatlah aman karena masih jauh dari nilai 1 terhadap *failure* struktur. Dengan demikian, desain *tool holder* tipe 2 lebih direkomendasikan untuk digunakan dalam proses permesinan CNC karena menawarkan ketahanan dan efisiensi yang lebih baik, serta dapat menjadi referensi dalam pengembangan *tool holder* yang handal dan mendukung peningkatan kualitas produksi di industri manufaktur.

References

- [1] A. Aripin, R. D. Anjani, M. Marno, and S. Hariyanto, “Analisis Pengaruh Kedalaman Pemakanan dan Variasi Pahat terhadap Kekasaran Permukaan dan Kekuatan Tarik Baja S45C pada Proses Bubut Mesin CNC,” *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 13, no. 1, 2024, doi: 10.24127/trb.v13i1.3154.
- [2] F. R. Ar, “RANCANG BANGUN HOLDER FACEMILL MENGGUNAKAN INSERT SEET12T3-DF UNTUK PROSES PERMESINAN CNC MILLING TUGAS AKHIR Oleh ;,” pp. 326–330, 2023.
- [3] A. M. Cnc, K. Kunci, and M. Cnc, “(7) 1-7),” vol. 6, pp. 129–137, 2024.
- [4] A. R. Muwafiq and M. Mulyadi, “Rancang Bangun Holder Face Mill dengan Insert Pahat HSS,” *Innov. Technol. Methodical Res. J.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–12, 2024, doi: 10.47134/innovative.v1i1.84.
- [5] C. F. Alamsyah and A. Fahrudin, “Rancang Bangun Spring Parting Tool Holder,” *Innov. Technol. Methodical Res. J.*, vol. 2, no. 3, pp. 1–11, 2024, doi: 10.47134/innovative.v2i3.85.
- [6] Rosnani Ginting and M. Ghassan Fattah, “Optimisasi Proses Manufaktur Menggunakan Dfma Pada Pt. Xyz,” *J. Sist. Tek. Ind.*, vol. 21, no. 1, pp. 42–50, 2019, doi: 10.32734/jsti.v21i1.902.
- [7] AZoM.com, “AISI 4140 Alloy Steel (UNS G41400),” no. December, pp. 1–4, 2014, [Online]. Available: <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6769>
- [8] “Tungsten Carbide Material Properties - Imetra, Inc.” [Online]. Available: <https://www.imetra.com/tungsten-carbide-material-properties/>
- [9] “Mechanical Properties Tungsten vs Tungsten Carbide.” [Online]. Available: <file:///E:/PAPER/Mechanical Properties Tungsten vs Tungsten Carbide.html>
- [10] “Tungsten Carbide, WC.” [Online]. Available: <file:///E:/PAPER/Tungsten Carbide, WC.mhtml>
- [11] “Properties_ What Is Tungsten Carbide Used For_.” [Online]. Available: file:///E:/PAPER/Properties_ What Is Tungsten Carbide Used For_.html
- [12] P. Catalog, “VDI DRIVEN / STATIC TOOL HOLDERS”, [Online]. Available: <file:///E:/PAPER/03-VDI-Global-CNC-Catalog-2023.pdf>
- [13] M. O. Faturrohman Al Khozi, Ismail Yapen, “Analisis Statis Rangka Motor Copper dengan Metode FEA,” vol. 6, no. 3, pp. 313–322, 2024.