

Perancangan dan Validasi *Fixture* Pemmesinan Komponen Utama Produk Ragum Meja

Asep Indra Komara^{1#}, Muhammad Fadhlan Afif², Dedy Ariefijanto³

^{1,2}Jurusan Teknik Perancangan Manufaktur, Politeknik Manufaktur Bandung

³Jurusan Teknik Manufaktur, Politeknik Manufaktur Bandung

Jl. Kanayakan No. 21 Dago, Bandung 40135, Jawa Barat, Indonesia

#asep.indra@polman-bandung.ac.id

Abstrak

Ragum meja adalah salah satu produk Politeknik Manufaktur Bandung yang terdiri atas dua komponen utama yaitu rahang gerak dan rahang tetap. Pemmesinan kedua komponen ini sebelumnya dilakukan menggunakan mesin konvensional dengan menggunakan beberapa *fixture*. Permasalahannya adalah kuantitas dan kualitas produk masih belum memenuhi harapan. Proses pemmesinan diputuskan diganti menggunakan mesin *Computer Numerical Control* (CNC) sehingga memerlukan *fixture* baru. Penelitian ini bertujuan untuk merancang *fixture* pemmesinan komponen utama produk ragum meja. Perancangan dilakukan menggunakan metode yang dikembangkan oleh *Verein Deutscher Ingenieure* (VDI) dimana langkah-langkah yang dilakukan adalah identifikasi produk, analisis pemmesinan dan perencanaan alat potong, analisis mesin, analisis operator dan layout produk, dan analisis ekonomis. Selanjutnya dilakukan kajian perhitungan dan validasi terhadap rancangan *fixture*. Berdasarkan hasil studi yang dilakukan, perbaikan proses pemmesinan dapat dilakukan dengan usulan skema yang baru. Rancangan *fixture* baru memungkinkan proses pemmesinan empat produk yang terdiri dari masing-masing dua rahang gerak dan dua rahang tetap. *Fixture* telah mengakomodir penggunaan *automatic pallet and tool changer* pada mesin sehingga pemasangan produk dan pergantian alat potong dilakukan dengan cepat. Waktu pemmesinan untuk kedua komponen diestimasikan berubah dari 11,5 jam menjadi 1,4 jam.

Kata kunci: perancangan, *fixture*, validasi rancangan

Abstract

A bench vise is one of the Politeknik Manufaktur Bandung products, which consists of two main components, namely moving-jaw and fixed-jaw. The machining of these two components was previously carried out using a conventional machine using several fixtures. The problem is the quantity and quality of the product still does not meet expectations. The machining process was decided to replace using a *Computer Numerical Control* (CNC) machine so that it needed a new fixture. This study aims to design main component machining fixture on bench vise product. The design is carried out using a method developed by *Verein Deutscher Ingenieure* (VDI), where the steps taken are product identification, machining analysis, and planning of cutting tools, machine analysis, operator analysis, and product layout, and economic analysis. The next step is to calculate and validate the fixture design. Based on the study, improvements to the machining process can be carried out with the proposed new scheme. The new fixture design allows the machining process of four products consisting of two moving-jaws and two fixed-jaws. The fixture has accommodated the use of *automatic pallet and tool changers* on the machine, so that product installation and cutting tool changes are done quickly. The machining times for the two components are estimated to change from 11.5 hours to 1.4 hours.

Keywords: design, fixture, design validation

I. PENDAHULUAN

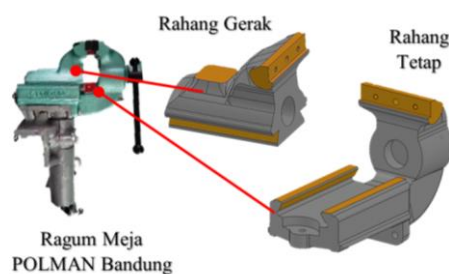
Politeknik Manufaktur Bandung (Polman Bandung) adalah salah satu perguruan tinggi vokasi yang menerapkan *Production Based Education* (PBE) dengan produk andalan berupa ragum meja.

Produk ini terdiri dari 11 komponen dengan komponen utama rahang gerak dan rahang tetap seperti pada Gambar 1. Proses pemmesinan kedua komponen tersebut semula dilakukan pada mesin konvensional dengan menggunakan bantuan *fixture* yang sudah ada. Kendalanya adalah waktu siklus

penyelesaian kedua komponen tersebut tidak konsisten dan operator sering melakukan improvisasi untuk menghindari *reject*, sehingga kualitas hasil pemesinan belum maksimal. Kapasitas produksi yang diharapkan sebesar 50 produk per bulan juga masih belum terpenuhi. Upaya perbaikan yang akan dilakukan adalah melakukan proses pemesinan kedua komponen tersebut pada mesin CNC Milling MH4BN.

Penggunaan *fixture* telah banyak dikaji oleh para peneliti dan perekayasa manufaktur. Perancangan *fixture* dengan metode *flexible workholding* dapat digunakan untuk memegang berbagai macam benda kerja dengan berbagai bentuk [1]. Penggunaan *Computer Aided Design* (CAD) pada verifikasi *fixture* untuk menganalisis kondisi batas geometri, analisis toleransi, analisis stabilitas, dan analisis aksesibilitas dilakukan pada [2]. Pemanfaatan perangkat lunak rekayasa *solidworks* telah banyak digunakan juga untuk mengkonstruksi *fixture* seperti pada [3]. Untuk menghasilkan produk yang memiliki sifat mampu tukar dengan kepresisian tinggi dapat dilakukan dengan memberikan fokus dan perhatian pada tahap perancangan seperti yang dikaji oleh [4]. Keinginan penggunaan mesin CNC untuk memproduksi produk rahang gerak (RG) dan rahang tetap (RT) ini membutuhkan *fixture* baru. Pengaruh jenis dan kondisi mesin yang digunakan dalam produksi memiliki dampak yang signifikan pada desain *fixture* [5]. Desain mesin yang dapat beroperasi pada empat atau lima sisi pada benda kerja dalam satu kali *setup* memiliki pertimbangan khusus pada *fixture*.

Tujuan rekayasa enjiniring ini adalah untuk menghasilkan rancangan *fixture* komponen rahang gerak dan rahang tetap dengan peningkatan kuantitas dan kualitas produk pada mesin CNC dengan melakukan validasi desain melalui simulasi perangkat lunak rekayasa. Kajian rekayasa enjiniring dilakukan mulai dari kajian terhadap proses eksisting, spesifikasi produk, *layout*, usulan tahapan proses pemesinan, dan rancangan *fixture* baru.



Gambar 1. Produk ragum meja Polman Bandung

II. METODE PENELITIAN

Metode penyelesaian desain dilakukan secara sistematis dengan mengacu pada beberapa metode perancangan dan tahapan seperti yang dijelaskan pada [6]-[9]. Langkah-langkah lebih khusus diadaptasi dari metode perancangan *fixture* dalam *Computer Aided Fixture Design* [10]. Metode rekayasa enjiniring dapat dilihat pada Gambar 2.

A. Analisis Produk

Analisis data produk dilakukan untuk menentukan referensi utama, hubungan antar dimensi yang penting, dan toleransi yang harus dicapai. Fitur penting pada kedua komponen ini dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4. Fitur-fitur ini diberi nama dan ditandai untuk selanjutnya dipertimbangkan dalam menentukan tahapan proses pemesinan dan sistem pelokasi pada *fixture*.

B. Analisis Pemesinan

Penelurusan tahapan proses pemesinan eksisting dilakukan untuk mengetahui jumlah proses, waktu proses, serta proses apa saja yang tercakup dalam pembuatan kedua komponen tersebut. Pada identifikasi ini akan diamati waktu *setting* (WS) dan waktu pemotongan (WP). Setelah dilakukan pengamatan diperoleh waktu total (WT) untuk mengerjakan kedua komponen tersebut adalah 11,45 jam. Selanjutnya disusun skema pemesinan baru untuk menyelesaikan kedua komponen tersebut.

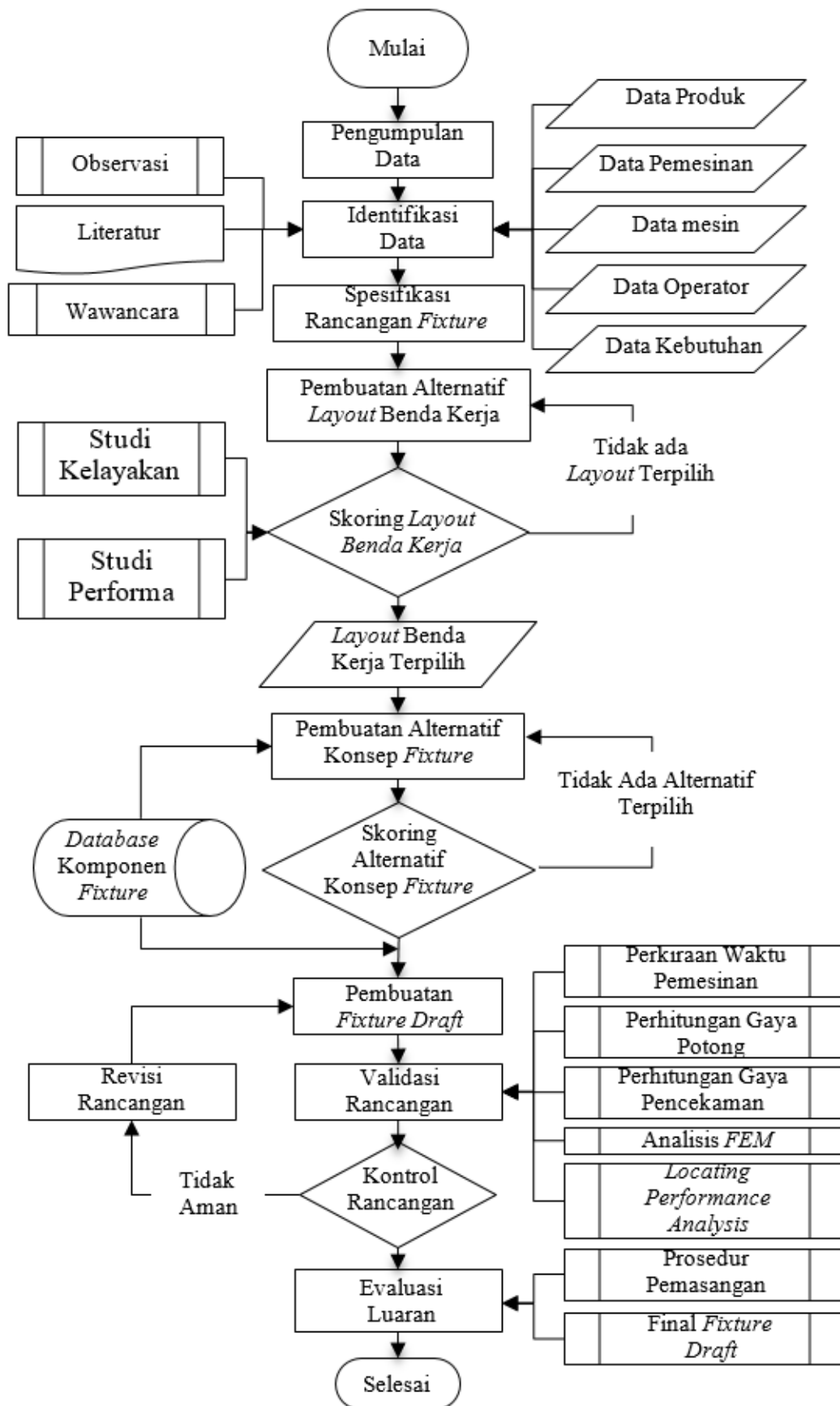
C. Analisis Mesin

Mesin yang digunakan adalah mesin CNC Milling Mitsubishi MH4BN. Mesin tersebut memiliki beberapa fasilitas dengan ketentuan yang harus dipenuhi yaitu:

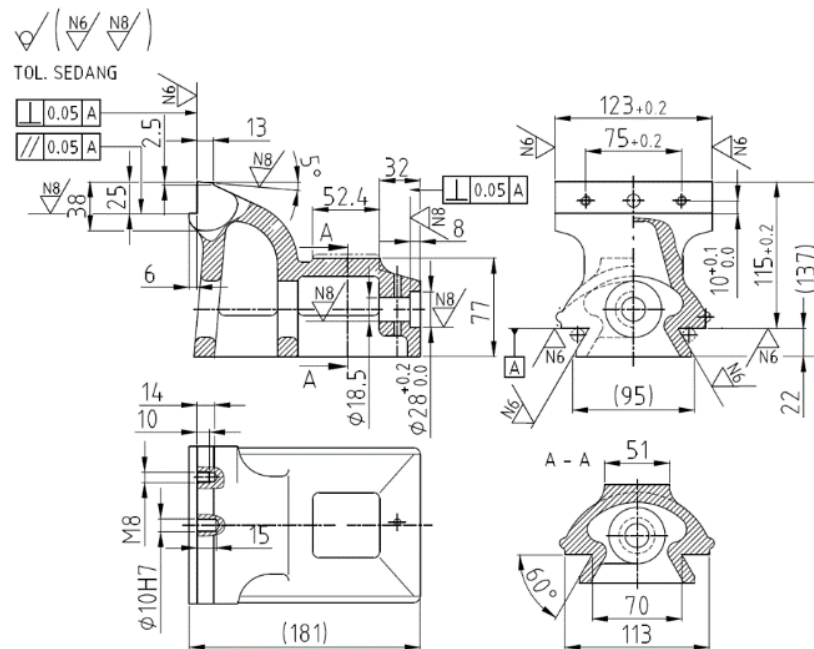
1) *Meja mesin dan palet*: Parameter penting yang dibutuhkan pada perancangan *fixture* dapat dilihat Gambar 4 dan spesifikasi pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Spesifikasi beban meja mesin

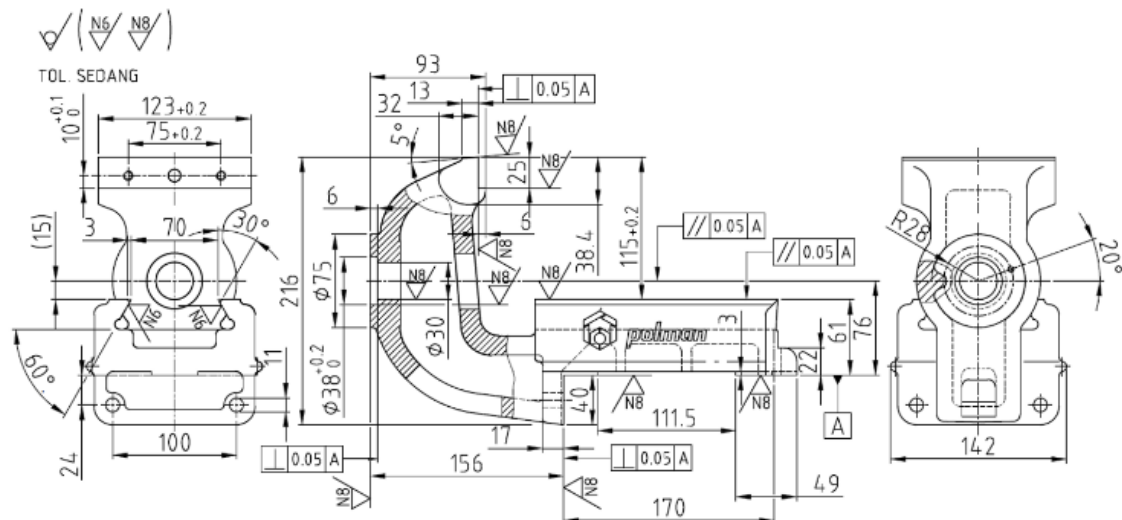
Spesifikasi	Nilai	Satuan
Capacity	400	kg
X axis travel	625	mm
Y axis travel	50 – 610	mm
Z axis travel	650	mm
Feedrate	40000	mm/min
Max. Cutting Feedrate	4000	mm/min
Rev. Torque	343	Nm



Gambar 1. Metodologi penelitian (rekayasa enjiniring)



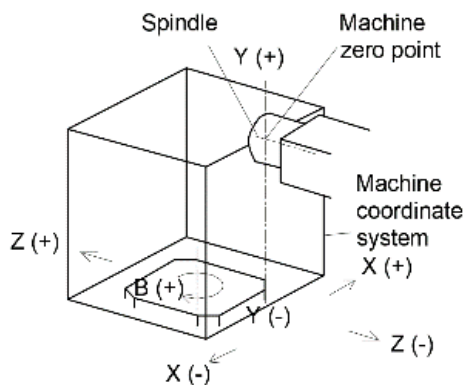
Gambar 2. Bentuk dan dimensi rahang gerak



Gambar 3. Bentuk dan dimensi rahang tetap

Tabel 2. Akurasi penempatan mesin

<i>Item</i>	<i>Axis</i>	<i>Tolerance</i>
<i>Linear Axis positioning accuracy</i>	X, Y, Z	± 0,004 mm/ total travel
<i>Linear axis repeatability</i>	X, Y, Z	±0,0015 mm/ total travel
<i>B axis Rotary table positioning accuracy</i>	B	±5 sec
<i>B axis rotary table repeatability</i>	B	±2 sec



Gambar 4. Meja mesin dan palet CNC MH4BN

2) *Automatic Tool Changer (ATC)*: Adalah sistem yang ada pada mesin yang berfungsi untuk mengganti *tools* yang digunakan saat proses dengan waktu yang relatif cepat. Spesifikasi dari fasilitas ini dapat dilihat pada Tabel 3.

3) *Automatic Pallet Changer (APC)*: Adalah suatu fasilitas pada mesin yang berfungsi untuk mengganti palet yang digunakan dengan waktu yang relatif cepat. Ini berarti terdapat dua buah palet pada mesin. Satu palet berada di dalam mesin dan satu palet lainnya berada di luar mesin. Proses pemesinan dilakukan untuk benda kerja yang berada di atas palet di dalam mesin, sedangkan proses pengaturan (*setup*) dilakukan pada palet di sisi operator. Ilustrasi dari APC ini dapat dilihat pada Gambar 5.

4) *Headstock*: Adalah suatu fasilitas mesin yang berfungsi memegang dan memutarakan alat potong. Batasan berupa daya pemotongan yang dilakukan dengan putaran tertentu harus berada di bawah grafik pada Gambar 6.

D. Identifikasi Data Operator

Untuk meningkatkan efektifitas kerja operator, maka perlu dipastikan bahwa beban yang dikeluarkan harus berada pada batas kemampuan operator. Kemampuan rerata otot lengan dan bahu primer pada lengan terentang penuh saat posisi operator berdiri tidak boleh melebihi 110 N seperti pada [11] dan [12]. Berdasarkan hal tersebut, pemasangan benda kerja dilakukan secara manual dengan alat bantu angkat dan operasi pencekaman dilakukan secara manual pula.

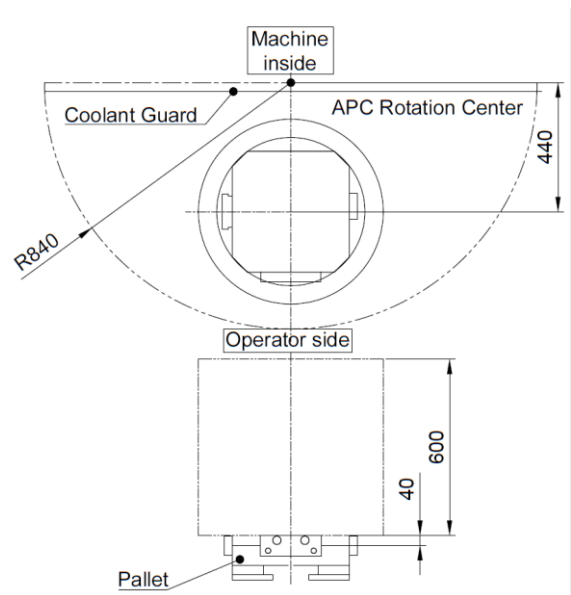
Tabel 3. Spesifikasi beban meja mesin

ATC Specification		
Tool Max. Length	300	mm
Tool Max. Weight	8	kg
Tool Max. Diameter (with Adjacent Tool)	85	mm
Tool Max. Diameter (without Adjacent Tool)	150	mm
Boring Tool Diameter (without Adjacent Tool)	240-150	mm
Exchange Time (Tool-Tool)	1,3	Sec
Exchange Time (Tip-Tip)	3,8	Sec

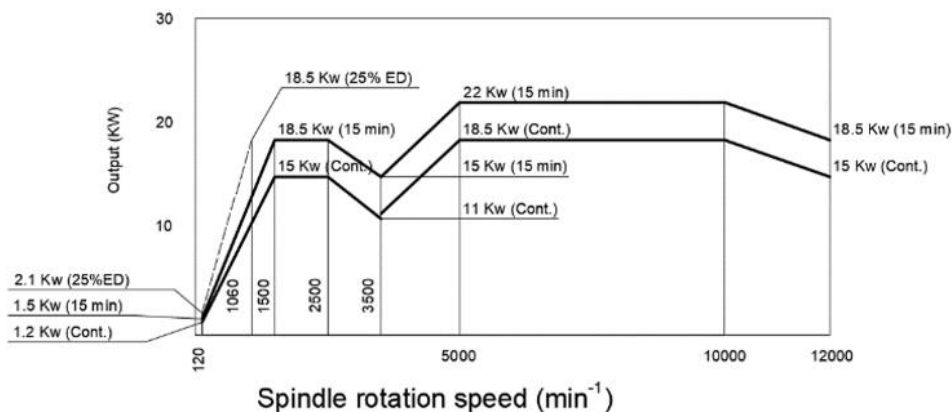
E. Identifikasi Data Biaya dan Permintaan

Dari data biaya didapatkan bahwa biaya pemesinan dengan mesin konvensional adalah Rp. 418.525. Selain itu, waktu pengerjaan komponen RG, RT, dan *lifter* (komponen lain pada ragum meja) adalah waktu yang paling lama sehingga dianggap kritis. Ketiga komponen tersebut direncanakan untuk dikerjakan pada mesin yang sama sehingga pembagian waktu perlu dilakukan lagi.

Waktu pengerjaan pasangan RG-RT dan *lifter* pada proses sebelumnya dibandingkan dan dibuatkan persentase. Hasil yang didapatkan adalah 59% untuk waktu pengerjaan RG-RT dan 41% untuk waktu pengerjaan *lifter*. Dengan demikian faktor waktu pemesinan (WM) untuk RG-RT adalah 59%. Rencana target waktu pengerjaan dibuat dengan mempertimbangkan jumlah jam kerja, jumlah hari kerja, target produksi, jumlah mesin dan faktor WM seperti disajikan pada Tabel 4.



Gambar 5. Ilustrasi APC



Gambar 6. Grafik batas daya pemotongan headstock MH4BN

Tabel 4. Spesifikasi beban meja mesin

Jam Kerja / hari	Hari Kerja / bulan	Target Produksi / bulan	Faktor WM	Target WM
(jam)	(hari)	(pcs)	(%)	(jam)
7	20	50	59	1,65

Tabel 5. Daftar tuntutan

No.	Tuntutan		Keterangan
1.	Tuntutan Primer		
	A	Mesin yang digunakan	CNC Milling Mitsubishi MH4BN
	B	Berat maksimum <i>fixture</i>	200-400 kg
	C	Dimensi <i>fixture</i>	Maksimum Ø800 mm x 600 mm
	D	Waktu pemesinan	≤ 1,65 jam/pasangan rahang gerak-tetap
	E	<i>Fixture base</i>	<i>Fixture base</i> : Tombstone untuk CNC Milling Mitsubishi MH4BN
2.	Tuntutan Sekunder		
	A	Proses <i>loading</i> dan <i>unloading</i>	Manual oleh operator kurang dari waktu pemesinan. Proses dibantu alat bantu angkat
	B	Proses operasional	Operasi dilakukan oleh satu operator dengan gaya operator yang sesuai standar
3.	Tuntutan Tersier		
	A	Fleksibilitas	Komponen <i>fixture</i> mudah digunakan dan siklus produksi yang fleksibel

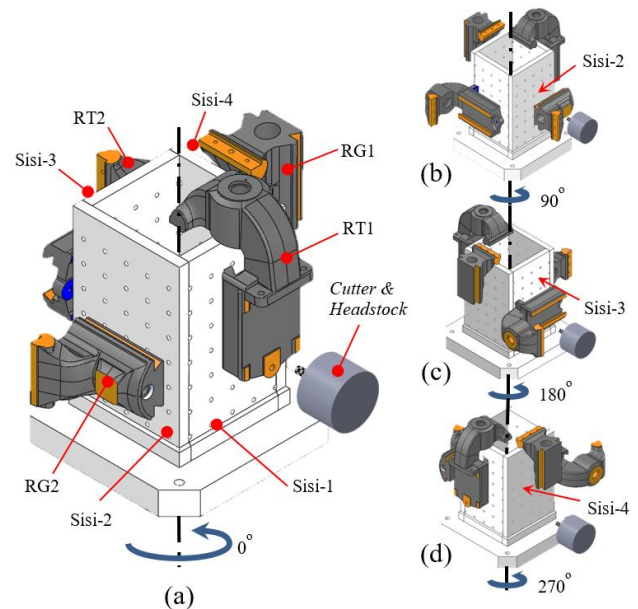
F. Daftar Tuntutan

Berdasarkan data perancangan yang diidentifikasi, daftar tuntutan dibuat dan disajikan pada Tabel 5. Tuntutan terdiri dari tiga jenis yaitu tuntutan primer, tuntutan sekunder, dan tuntutan tersier.

G. Perencanaan Cutting Tool

Fitur-fitur pada benda kerja direncanakan untuk dikerjakan dengan menggunakan alat potong tertentu. Seluruh *cutting tool* diberi nomor untuk memudahkan identifikasi.

Salah satu contoh alat potong yang dipakai adalah *solid carbide endmill* pada [13]. Dari katalog alat potong didapatkan rekomendasi parameter pemesinan yaitu: diameter = 25 mm; *feed per tooth* = 0,11 mm/tooth; dan kecepatan potong = 550 m/menit.



Gambar 7. Alternatif layout produk terpilih, (a) posisi pertama, (b) posisi kedua, (c) posisi ketiga (d) posisi keempat

H. Pengembangan Alternatif Layout produk

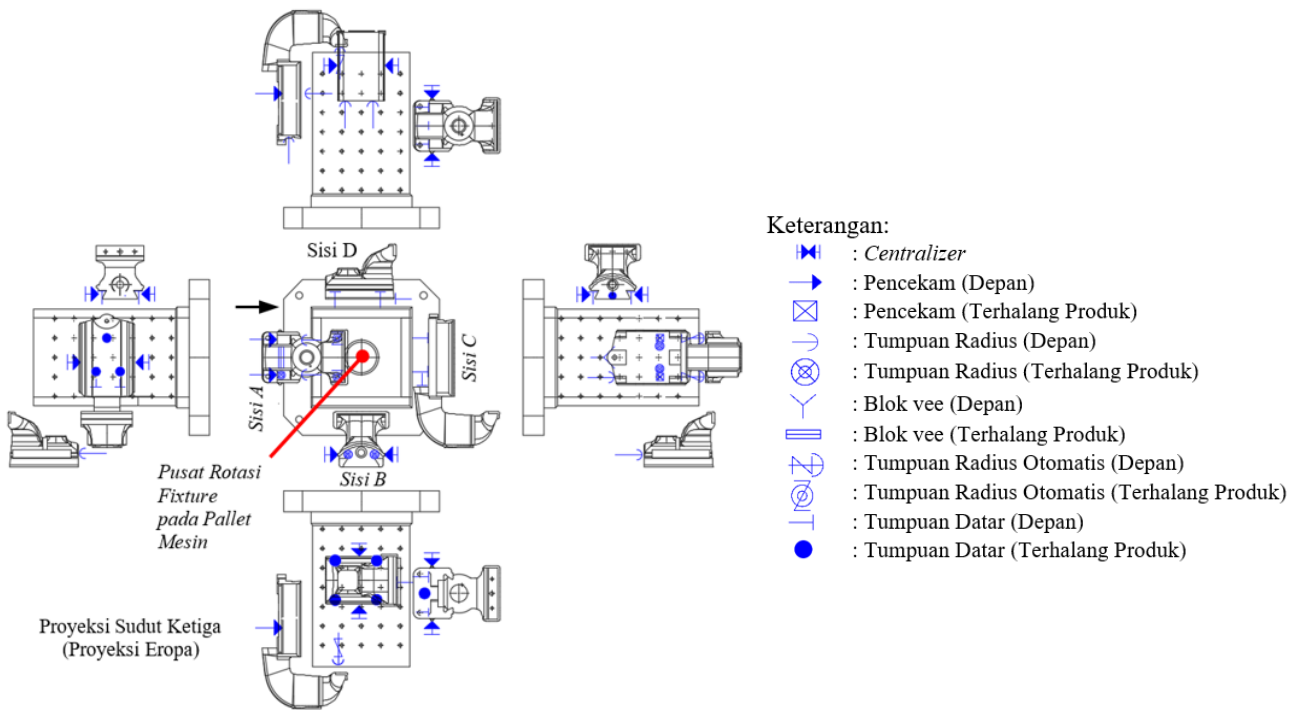
Kajian pada empat alternatif *layout* produk dilakukan dengan mempertimbangkan kriteria *table load*, *axis travel*, *thrust loading*, *ATC interference*, dan ketersediaan ruang. Alternatif yang tidak memenuhi kriteria tersebut dieliminasi.

Alternatif yang tersisa dikaji kembali dengan mempertimbangkan kriteria kapasitas produksi, kemudahan *setting*, *maintenance*, *loading-unloading*, dan fleksibilitas produksi. Skoring dilakukan berdasarkan *concept scoring method* pada [14] sehingga didapatkan alternatif terpilih. Alternatif konsep ini dapat dilihat pada Gambar 7.

Benda kerja RG melalui perpindahan dengan urutan: *Loading* – Posisi RG1 – Posisi RG2 – *Unloading*. Benda Kerja RT melalui perpindahan dengan urutan: *Loading* – Posisi RT1 – Posisi RT2 – *Unloading*. Proses pemesinan dibagi berdasarkan sisi pada *base fixture*. Pemesinan dilakukan dengan urutan posisi pemesinan: Sisi-1 – Sisi-2 – Sisi-3 – Sisi-4 – Sisi-1. Setelah *layout* produk ditentukan selanjutnya pengembangan konsep rancangan *fixture* dilakukan.

I. Konsep dan Operasi Fixture

Berdasarkan hasil merencana yang telah dilakukan, maka didapatkan hasil konsep rancangan secara umum melalui simbolisasi sebagai gambaran rancangan yang akan dikerjakan. Konsep *fixture* dikembangkan seperti pada [15] dan [16]. Konsep rancangan disajikan pada Gambar 8. Proses *loading-unloading* dan pemindahan benda kerja palet-1 (pada *operator side*) dilakukan secara simultan dengan proses pemesinan pada palet-2

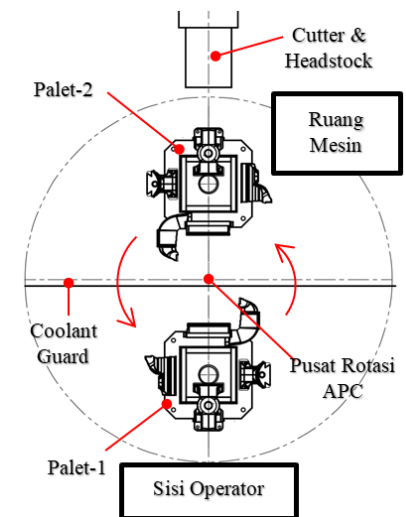
Gambar 8. Konsep rancangan *fixture*

(pada *machine inside*). Setelah proses pemesinan selesai, APC bekerja sehingga posisi palet-1 dan palet-2 bertukar. Kemudian proses *loading-unloading* dan pemindahan benda kerja palet-2 (pada *operator side*) dilakukan secara simultan dengan proses pemesinan palet-1 (pada *machine inside*). Siklus tersebut dilakukan secara terus menerus sampai jumlah produk yang dihasilkan terpenuhi, lihat pada Gambar 9.

J. Perancangan *Fixture*

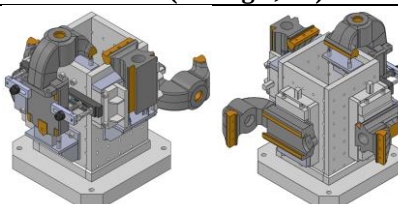
Perancangan *fixture* dilakukan berdasarkan elemen *fixture* yang digunakan pada konsep *fixture* [3]. Setiap elemen *fixture* akan dipenuhi fungsinya dengan tiga alternatif komponen *fixture* seperti pada [5] dan [17]. Masing-masing alternatif elemen *fixture* dipasangkan sehingga didapatkan tiga Alternatif Fungsi Keseluruhan (AFK).

Ketiga AFK dinilai berdasarkan *concept scoring method* pada [14]. Kriteria yang pertimbangan adalah fungsi, perakitan, perawatan, keamanan, ketahanan, dan harga dari setiap alternatif komponen *fixture* yang digunakan pada suatu AFK. Tabel 6 menyajikan hasil penilaian akhir dengan skala terbesar 5 dari ketiga AFK. AFK yang terpilih adalah AFK1. Alternatif ini akan divalidasi dan diperbaiki pada tahapan selanjutnya.

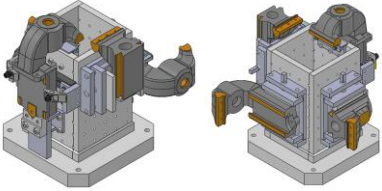
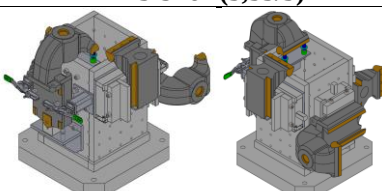


Gambar 9. Bentuk dan dimensi rahang tetap

Tabel 6. Pemilihan alternatif komponen

AFK1 (Rating 3,8/5)					
					
Komponen <i>fixture</i> yang digunakan:					
					
Costume Vee Block	Threaded Locating Pin Round Head	Plunger	Support Block	Slotted-heel clamp straps	Centralizer Pengarah Slider

Tabel 6. Pemilihan alternatif komponen (lanjutan)

AFK2 Skor (3,69/5)					
					
Komponen <i>fixture</i> yang digunakan:					
					
Vertical Vee Block	Locating Pin Round Head	Stop Button	Locating Pin	Forged Adjustable Clamp	Konstruksi Poros Pengarah
AFK3 Skor (3,53/5)					
					
Komponen <i>fixture</i> yang digunakan:					
					
Horizontal Vee Block	Precision Locating Pin Round Head	Custom Plunger	Threaded Support Pin	Vertical Toggle Clamp	Konstruksi T-Slot Pengarah

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Identifikasi Gaya Pengganti Gaya Potong Maksimum

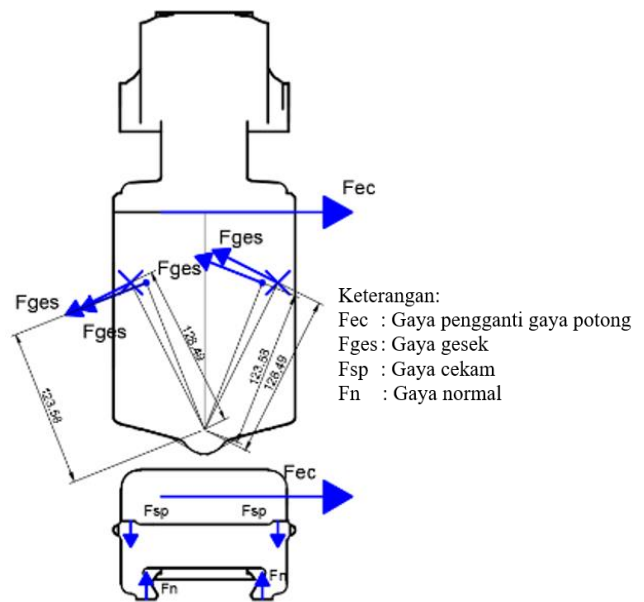
Gaya pengganti gaya potong didapat dengan menghitung menggunakan parameter pemesinan. Perhitungan dilakukan dengan rumus-rumus dalam [18], sedangkan data mekanik dari material diambil dari [19]. Gaya pengganti gaya potong maksimum yang didapatkan untuk setiap sisi dan waktu total disajikan pada Tabel 7. Gaya-gaya tersebut akan digunakan dalam perhitungan gaya cekam pada setiap sisi.

Jenis pencekam pada sisi A menggunakan tipe *straps* dan ulir. Kondisi diagram benda bebas (DBB) dapat dilihat pada Gambar 10. Gaya pengganti gaya potong $F_{ec} = 11,90$ kN akan menyebabkan rotasi pada benda kerja di pusat radius yang ditumpu blok vee. Gaya cekam yang dihasilkan dari setiap *straps* adalah $F_{sp} = 10,43$ kN. Hasil perhitungan dengan menggunakan data koefisien gesek 0,4 menunjukan momen gesek akibat pencekaman $M_{ges} = 2,104$ kNm lebih besar dari momen gesek akibat gaya potong sebesar $M_{Fec} = 2,023$ kNm. Dengan demikian, gaya cekam bisa dikatakan cukup kuat.

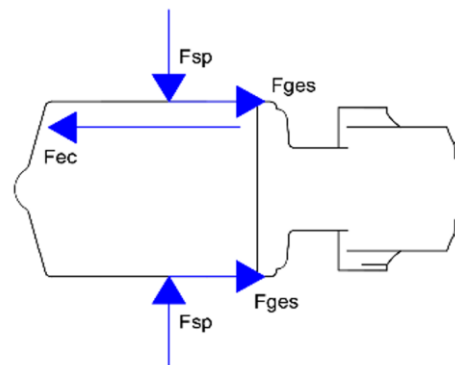
Tabel 7. Gaya pengganti gaya potong (skema baru)

Sisi	Operation Planning	Gaya pengganti gaya potong Maksimum F_{ec}/F_{ef} [N]
A	A1-PS1	11.900
B	B1-PS2	23.550
C	C1-PS3	22.020
D	D1-PS4	21.170
E atau A (2)	E1-PP	1.859

Keterangan:
A1: Masining ke-1 di sisi A
PS1: Rotasi fixture dari sis A ke B



Gambar 10. DBB rahang tetap



Gambar 11. DBB RT2 sisi C

Jenis pencekaman dengan *centralizer* digunakan pada sisi B, C, dan D. Gaya cekam harus bisa melawan gaya pengganti gaya potong. Hal ini diilustrasikan pada Gambar 11.

Beban yang diterima ulir terbesar terjadi pada sisi C sehingga kontrol dilakukan pada *centralizer* sisi C seperti pada [20]. Batang ulir trapesium pada *centralizer* mengalami tegangan normal $\sigma_{dz} = 102$

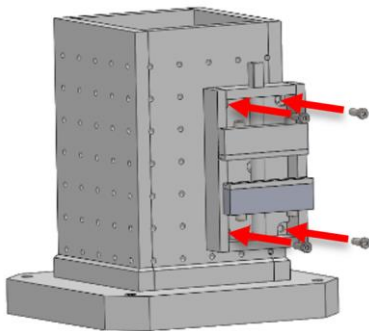
N/mm^2 dan tegangan tangensial $\tau_T = 97,4 \text{ N/mm}^2$ akibat gaya pengecaman sehingga tegangan gabungan (σ_v) yang terjadi sebesar 197 N/mm^2 . Dengan tegangan izin untuk material kode 1.7003 sebesar 366 N/mm^2 , maka *Safety Factor* yang diperoleh yaitu 1,86. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa gaya cekam ulir trapesium TR20 cukup kuat.

B. Perhitungan Kekuatan Konstruksi Fixture

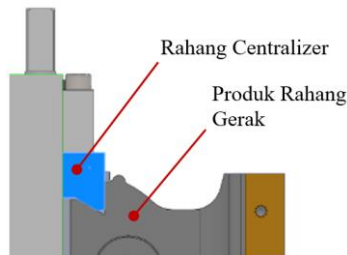
Komponen *fixture* yang dihitung kekuatannya adalah baut *mounting*, permukaan rahang *centralizer* sisi B, permukaan rahang *centralizer* sisi C dan B, dan tekanan permukaan ulir trapezium.

1) *Baut Mounting*: Pengikatan unit *centralizer* pada setiap sisi menggunakan empat baut M10 seperti pada Gambar 12. Perhitungan kekuatan baut *mounting* berdasarkan [20]. Gaya aksial yang dibutuhkan untuk mengikat unit *centralizer* akibat beban gaya potong dan berat benda kerja (F_{VMn}) adalah sebesar 13,86 kN, sedangkan baut M10 dengan kualitas 8,8 memiliki kemampuan gaya aksial maksimum (F_{sp}) sebesar 29,6 kN. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa baut *mounting* cukup kuat dengan *safety factor* sebesar 2,14.

2) *Permukaan Rahang Centralizer Sisi B*: Rahang *centralizer* sisi B mengalami tekanan permukaan akibat gaya cekam dan kontak dengan benda kerja. Perhitungan ini dilakukan berdasarkan pada [20] dengan ilustrasi seperti pada Gambar 13.



Gambar 12. Elemen baut pengikat



Gambar 13. Kondisi pengecaman *centralizer* sisi B

Gaya normal yang bekerja pada setiap rahang sebesar 15,57 kN. Tekanan maksimum permukaan rahang yang terjadi adalah $P_{\max} = 7,4 \text{ N/mm}^2$.

Berdasarkan [19], batas tekanan permukaan bahan S45C yaitu 130 N/mm^2 sehingga kondisi ini disimpulkan aman.

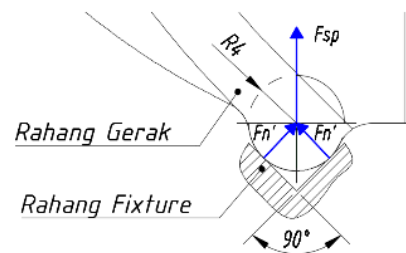
3) *Permukaan Rahang Centralizer Sisi C dan B*: Gaya cekam yang bekerja pada *centralizer* ini didistribusikan sesuai dengan Gambar 14 sehingga didapatkan gaya F_n' sebesar 7.785 N. Perhitungan *Hertzian Stress*, seperti pada [19], digunakan untuk menghitung kekuatan rahang. *Shear stress maximum* ($\tau_{\max}$) yang terjadi adalah sebesar $167,25 \text{ N/mm}^2$. Kemudian *shield yield point* (S_{syp}) sebesar $284,2 \text{ N/mm}^2$. Besar $\tau_{\max}$ lebih kecil dari S_{syp} sehingga aman.

4) *Tekanan Permukaan Ulir Trapezium*: Ulir trapesium pada *centralizer* akan mengalami tekanan permukaan (p) akibat gaya aksial (F) sebesar $14,72 \text{ N/mm}^2$. Tekanan permukaan bahan berdasarkan [21] adalah 20 N/mm^2 . Maka *safety factor* tekanan permukaan maksimum didapat sebesar 1,36 sehingga masih aman.

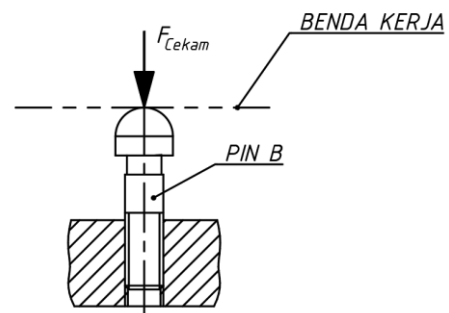
C. Simulasi Finite Element Analysis

Finite Element Analysis (FEA) digunakan untuk mendapatkan data *safety factor* dan *displacement* komponen yang dinilai kritis seperti pada [22]. Simulasi dilakukan pada komponen pin B dan *centralizer*.

1) *Tumpuan Pin B*: Kondisi pembebanan pada tumpuan pin B dapat dilihat seperti pada Gambar 15. Kondisi komponen pin B harus memenuhi persamaan (1) seperti pada [21] sebagai berikut:



Gambar 14. Distribusi gaya cekam



Gambar 15. DBB pin B

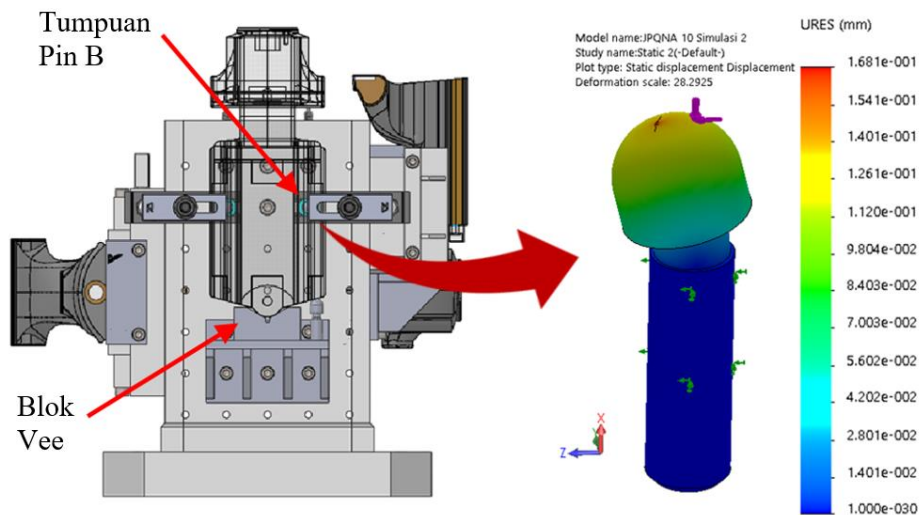
$$\sigma \leq S_y \quad (1)$$

$$\left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]^{1/2} \leq S_y \quad (2)$$

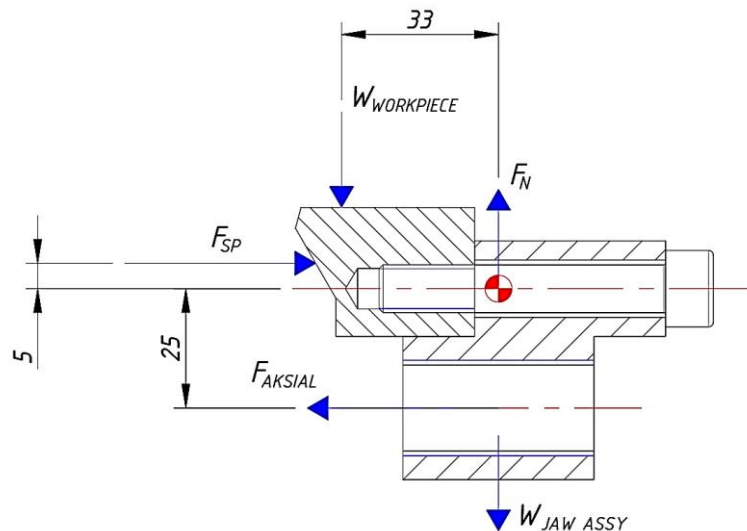
dengan σ adalah tegangan yang terjadi (*stress*), S_y adalah *yield strength*, dan $\sigma_{1,2,3}$ adalah *principle stress*. Hasil simulasi dengan FEA ditunjukkan pada Gambar 16. Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan, maka diperoleh data *displacement* pada sumbu X (searah sumbu) = 0,060 mm, *displacement* pada sumbu Z (tegak lurus sumbu) = 0,168 mm,

resultant displacement = 0,168 mm, dan *displacement* pada sumbu X (searah sumbu, titik kontak baru) = 0,013 mm.

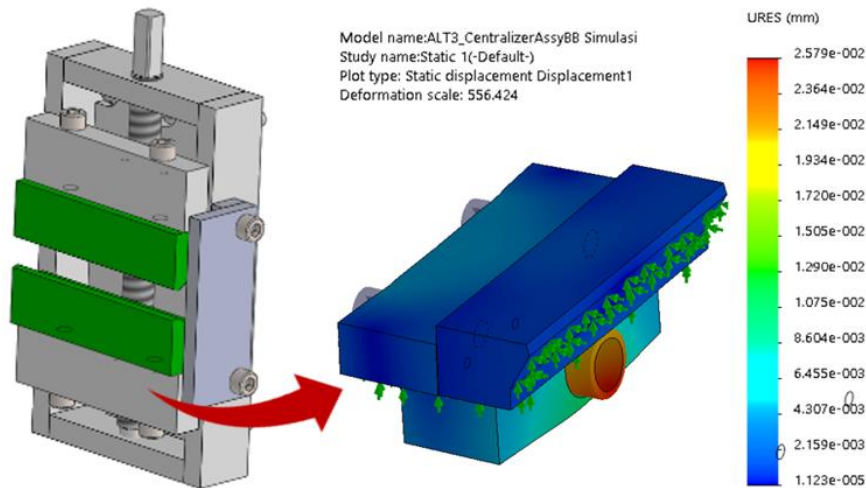
2) *Centralizer Sisi B, C dan D*: Konstruksi *Centralizer* pada ketiga sisi ini dapat digambarkan diagram benda bebasnya seperti pada Gambar 17. Hasil simulasi FEA unit *centralizer* B dapat dilihat pada Gambar 18. Dengan metode yang sama, diperoleh kondisi unit *centralizer* C dan D seperti pada Tabel 8.



Gambar 16. *Displacement* pada tumpuan pin B



Gambar 17. DBB unit *centralizer*

Gambar 18. *Displacement unit centralizer B*Tabel 8. Hasil simulasi FEA pada unit *centralizer*

No	Komponen	Max. Disp. Sb. x [mm]	Max. Disp. Sb. z [mm]	Resultant Sb. x & Sb. z	Min. SF
1	Centralizer Sisi B	0,025	0,003	0,026	1,4
2	Centralizer Sisi C	0,058	0,011	0,051	1,5
3	Centralizer Sisi D	0,043	0,0009	0,043	1,5

Tabel 9. Prosedur dan waktu operasi eksisting

No	Prosedur operasi	Jumlah operation planning	Total waktu [s]
1	Pemesinan rahang tetap (RT)	12	15.249
2	Pemesinan rahang gerak (RG)	5	6.827
3	Pemesinan bersama (RT & RG)	12	15.640
4	Pemesinan lanjut RT & RG	15	3510
Total waktu penyelesaian RT & RG [s]			41.226
Total waktu penyelesaian RT & RG [Jam]			11,5

D. Locating Performance Analysis

Pada tahap ini akan dilakukan proses analisis untuk mengetahui performa pelokasian oleh komponen *fixture* yang telah mengalami *displacement* seperti pada pada perhitungan sebelumnya. Adanya *displacement* akan mempengaruhi hasil proses pemesinan. Selanjutnya perubahan bentuk benda kerja dibandingkan dengan toleransi fitur-fitur pada benda kerja dengan posisi yang ideal, konsep ini seperti yang dikaji pada [2]. Berdasarkan pada hasil *displacement* yang didapatkan melalui proses simulasi menggunakan aplikasi rekayasa enjiniring, diperoleh hasil bahwa penyimpangan yang terjadi masih masuk dalam batas toleransi yang diizinkan.

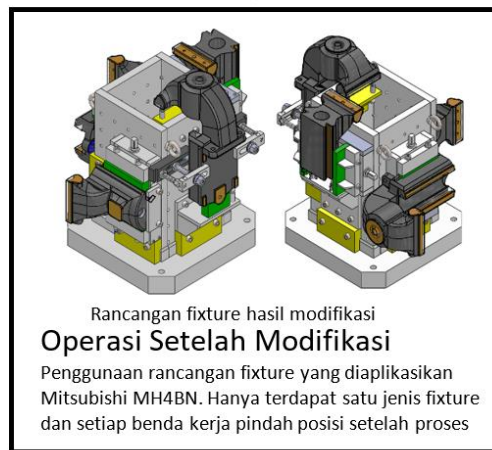
E. Prosedur dan Waktu Operasi

Prosedur dan waktu penyelesaian produk RT dan RG sebelum modifikasi *fixture* dapat dilihat pada Tabel 9. Waktu pemesinan setelah perbaikan proses dan desain *fixture* dihitung dengan mempertimbangkan waktu *rapid movement*, pergantian *cutting tool*, pemotongan, rotasi *fixture* dan pergantian palet. Waktu pemotongan tergantung kepada parameter pemesinan seperti dalam [13] dan [18].

Tabel 10. Prosedur dan waktu operasi setelah modifikasi

No	Sisi	Operation Planning	Waktu Total [s]
1	A	Masing ke-1 sisi A-Rotasi A ke B	485,30
2	B	Masing ke-1 sisi B-Rotasi B ke C	250,73
3	C	Masing ke-1 sisi C-Rotasi C ke D	861,15
4	D	Masing ke-1 sisi D-Rotasi D ke A	733,63
5	E atau A (2)	Rotasi ke A untuk masing ke-2	151,00
Total [s]			2.481,80
Total waktu siklus-1 [jam]			0,69
Total penyelesaian produk [jam]			1,4

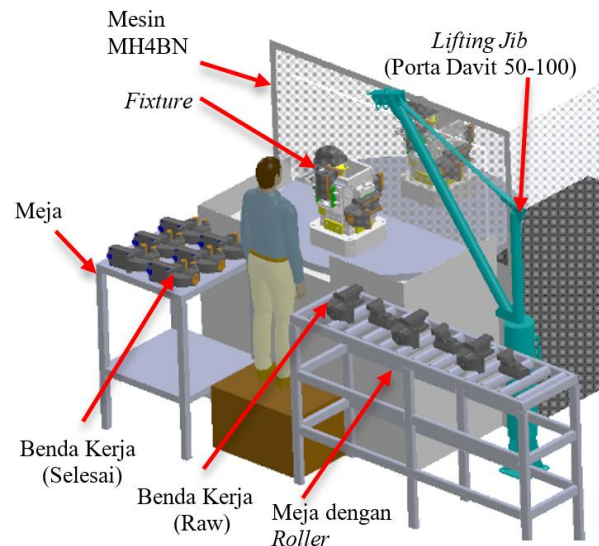
Waktu total (WT) disajikan pada Tabel 10 untuk dua kali siklus maka WT dikalikan dua sehingga didapatkan waktu total dua siklus 1,4 jam.



Gambar 19. Kondisi *fixture* sebelum dan setelah modifikasi

Setelah dilakukan beberapa penyesuaian rancangan maka didapatkan rancangan *fixture* yang telah diperbaiki dan sesuai dengan tuntutan. Perbandingan kondisi rancangan sebelum modifikasi dan setelah modifikasi dapat dilihat pada Gambar 19. Penggunaan berbagai jenis *fixture* dan mesin konvensional pada pemesinan RG dan RT sebelum dimodifikasi telah dapat direduksi hanya dengan menggunakan satu *fixture* dan satu mesin CNC.

Prosedur operasi dalam menggunakan dan *setting fixture* telah dibuat. Secara umum perakitan *fixture* terdiri atas pemasangan blok *setting*, pemasangan komponen *fixture* di sisi A, pemasangan komponen *fixture* di sisi B, pemasangan komponen *fixture* di sisi C, pemasangan komponen *fixture* di sisi D, pemasangan *base* ke mesin, dan pemasangan benda kerja. Selain itu, simulasi area kerja dengan menggunakan *fixture* direncanakan sesuai Gambar 20. Untuk mempermudah proses *handling* produk RG dan RT, digunakan alat bantu angkat (*crane*), yang dipasang di sisi mesin CNC yang digunakan.



Gambar 20. Simulasi area kerja dengan *fixture*

Rancangan *fixture* yang dihasilkan telah memenuhi persyaratan desain *fixture* seperti pada [1], [5], [8], dan [16]. Kondisi bentuk produk RG-RT yang kompleks membutuhkan sistem pelokasi dan pencekam yang berbeda dengan [9] dan [17]. Konsep metodologi verifikasi *fixture* dengan aspek analisis batasan geometri, analisis toleransi, analisis stabilitas, dan analisis aksesibilitas yang telah dihasilkan pada [2], telah diterapkan pada rekayasa engineering perancangan *fixture* produk RG-RT dengan menggunakan bantuan *software* rekayasa *Solidworks*.

IV. KESIMPULAN

Desain dan validasi rancangan *fixture* CNC yang dihasilkan telah menunjukkan hasil yang baik. Simulasi elemen hingga dari komponen *fixture* baru menggunakan aplikasi *Solidworks* menunjukkan kondisi *displacement* yang masih dalam batas yang diizinkan. *Layout* pengerjaan produk rahang tetap dan rahang gerak serta tahapan proses pemesinan yang diusulkan pada mesin CNC Milling Mitsubishi MH4BN telah menunjukkan hasil produktivitas yang meningkat dibandingkan proses sebelumnya saat menggunakan mesin konvensional. Hal ini ditunjukkan dengan dalam sebulan mampu menghasilkan 57 pasang produk satu kali proses. Langkah selanjutnya yang perlu dilakukan untuk meningkatkan kualitas produk pada aspek mampu tukar produk adalah melakukan kajian pada teknologi proses manufaktur *casting* produk rahang gerak dan rahang tetap agar produk *casting* seragam.

REFERENSI

- [1] E. G. Hoffman, *Jig and Fixture Design, Ed.5*, New York: Delmar Cengage Learning, 2004.
- [2] Y. Kang, Y. Rong, F. Yang and W. Ma, "Computer-aided fixture design verification," *Assembly Automation*, vol. 22, no. 44, pp. 350-359, 2002.
- [3] U. Farhan and M. T. Rada, "Design of modular fixtures using a 3D-modelling approach," in *19th International Congress on Modelling and Simulation*, Perth, Australia, 2011.
- [4] C. C. Okpala and E. Okechukwu, "The Design and Need for Jigs and Fixtures in Manufacturing," *Science Research*, vol. 3, no. 4, pp. 213-219, 2015.
- [5] C. L. Manufacturing Co., *Jig And Fixture Handbook, 3rd Ed.*, St. Louis: Carr Lane Manufacturing Co., 2016.
- [6] J. Jansch and H. Birkhofer, "The Development of The Guideline VDI 2221 - The Change of Direction," in *International Design Conference - Design*, Dubrovnik - Croatia, 2006.
- [7] A. I. Komara and Saepudin, "Aplikasi Metode VDI 2222 Pada Proses Perancangan Welding Fixture Untuk Sambungan Cerobong Dengan Teknologi CAD/CAE," *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cylinder*, vol. 1, no. 2, pp. 1-8, 2014.
- [8] Society of Manufacturing Engineers, *Handbook of Jig and Fixture Design (2nd Ed.)*, Michigan, 1989.
- [9] R. Prajapati, M. Gandhi, P. Patel, and S. Modi, "Fixture Modification of a 5-Axis CNC Machine (Makino)," *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, vol. 7, no. 2, pp. 16-23, 2017.
- [10] H. Wang, Y. Rong, H. Li, and P. Shaum, "Computer Aided Fixture Design: Recent research and trends," *Elsevier*, vol. 42, p. 1085, 2010.
- [11] G. O. Canada, "Canadian Centre for Occupational Health and Safety," Government of Canada, 3 April 2017. [Online]. Available: <https://www.ccohs.ca/oshanswers/ergonomics/push1.html>. [Accessed 30 Maret 2020].
- [12] T. E. K. Company, *Kodak's Ergonomic Design for People at Work*, Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2004.
- [13] Sandvik Coromant, Solid round tools, 2018.
- [14] A. Xiao, Simon S. Park, and Theo Freiheit, "A Comparison of Concept Selection in Concept Scoring and Axiomatic Design Methods," in *Proceedings of the Canadian Engineering Education Association*, Canada, 2011.
- [15] K. Venkataraman, *Design of Jigs, Fixtures and Press Tools*, United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd. 2015.
- [16] H. Matuszewski, *Handbuch Vorrichtungen: Konstruktion und Einsatz*, Braunschweig: Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, 1986.
- [17] S. Balamurali, G. S. Krishna, C. Sivakumar, S. Manikandan, and R. P. Kumar, S. Kaliappan, "Combo Fixtures for Axial Profile Fan Lever," *Eleyon Engineering Report*, vol. 2, no. 1, pp. 35-39, 2019.
- [18] H. Tschätsch, *Applied Machining Technology, 8th ed.*, New York: Springer Dordrecht Heidelberg London New York, 2009.
- [19] J. E. Bringas, *Handbook of Comparative World Steel Standard, 3rd ed.*, West Conshohocken: ASTM International, 2004.
- [20] H. Wittel, D. Muhs, D. Jannasch, and J. Vossiek, *Roloff/Matek Maschinenelemente, 21st ed.*, Braunschweig, Deutschland: Springer Vieweg, 2013.
- [21] R. G. Budynas and J. K. Nisbett, *Shigley's Mechanical Engineering Design, 10th ed.*, New York: McGraw-Hill Education, 2015.
- [22] J. E. Akin, *Finite Element Analysis Concepts via Solidworks*, Houston, Texas: World Scientific, 2009.

