

OPTIMASI RANCANGAN & OPTIMASI PROSES PEMESINAN KOMPONEN VENTILATOR INDONESIA (VENT-i)

Haris Setiawan

Tenaga Pengajar (Dosen)
POLMAN Bandung Jurusan
Teknik Manufaktur
haris@polman-bandung.ac.id

Addonis Candra

Tenaga Pengajar (Dosen)
POLMAN Bandung Jurusan
Teknik Manufaktur
addonisc@polman-bandung.ac.id

Andri Pratama

Tenaga Pengajar (Dosen)
POLMAN Bandung Jurusan
Teknik Manufaktur
pratama@polman-bandung.ac.id

M. Yazid Diratama

Tenaga Pengajar (Dosen)
POLMAN Bandung Jurusan
Teknik Manufaktur
yazid@polman-bandung.ac.id

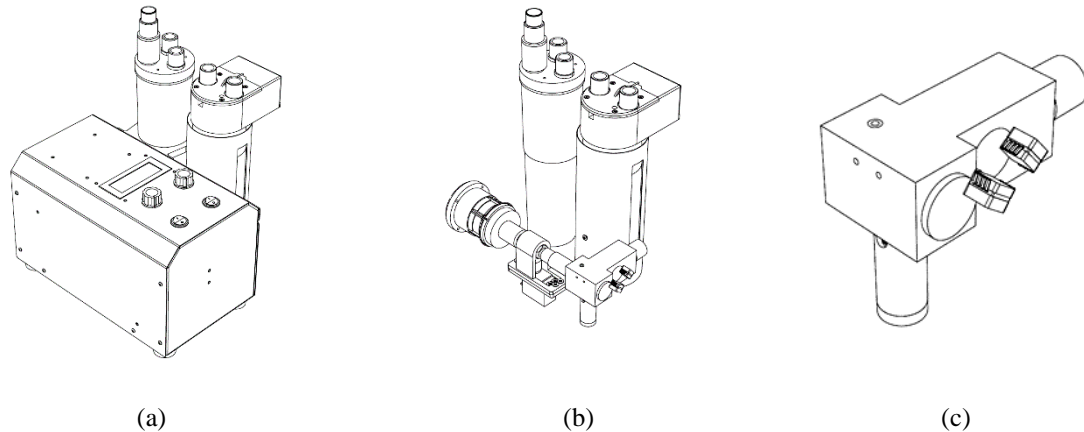
Sub-assy-manifold is one of the most significant components inside Vent-i (Indonesian ventilator). The production of sub-assy-manifold consists of two main processes that are assembly process and machining process. The assembly process of sub-assy-manifold is the longest one that takes 23.4 minutes in total compared to other components. The assembly process takes 1.4 minutes/pcs, and the body manifold machining process takes 22 minutes/pcs. Therefore, it is too hard to produce 1000 units of Vent-i per month. Making 1000 units/month can be achieved if the assembly process and the component machining process are at 10.43 minutes maximum in total. The purpose of this research is to reduce the assembly process time and machining process time of sub-assy-manifold. It's begun with analyzing the current design of sub-assy-manifold using DFMA (Design for Manufacturing Assembly) to reduce the assembly processes time. The two-level full-factorial design experiment is used to find the optimum machining process time. The variables used in this experiment are the type of machine tools, hole toolpath strategy, and surface toolpath strategy. The result shows that assembly process time decreases to 43%, and the machining process time decreases to 63%, and it only takes 9.9 minutes to make sub-assy-manifold in total. With this result, it is possible to produce 1000 units/month Vent-i.

Keywords: *Sub-Assy-Manifold, Manifold, DFA, Two-Level Full Factorial Design Experiment*

1. PENDAHULUAN

Tahun 2020 terjadi pandemik yang disebabkan COVID-19 dan telah menjangkiti jutaan umat manusia diseluruh dunia tak terkecuali di Indonesia. Virus ini menyerang system pernafasan manusia dan dapat mengakibatkan kematian. Penderita COVID-19 akan mengalami gejala klinis tahap 2 dan apabila dibiarkan akan terjadi gagal nafas dan bisa mengakibatkan kematian. Untuk mencegah hal tersebut, dibutuhkan alat bantu bernafas salah satunya vent-i (ventilator Indonesia) hasil kolaborasi Salman-ITB dengan UNPAD. Selain buatan dalam negeri, vent-I juga mempunyai harga lebih murah dengan kisaran harga 60 juta rupiah dimana ventilator buatan luar negeri (impor) memiliki harga berkisar 180 – 230 juta rupiah [1].

Komponen vent-i sebagian besar dibuat di Polman Bandung mulai dari proses perakitan (*assembly*) sampai proses manufaktur/pemesinan komponen sub assy-nya. Vent-I tersusun atas beberapa sub assy diantaranya sub assy manifold seperti yang diperlihatkan Gambar 1.



Gambar 1: (a) Vent-I (b) Komponen sub-assy inti Vent-I (c) Sub assy manifold

Kebutuhan pasar vent-i per bulannya adalah 1000 unit. Untuk bisa memproduksi 1000 unit/bulan, maka dibutuhkan 46 unit/hari. Waktu kerja normal adalah 8 jam/hari sehingga, 1 unit membutuhkan waktu maximal 10.43 menit. Sub assy manifold adalah komponen yang paling lama proses pembuatannya dengan waktu 23,4 menit/unit. Manifold adalah komponen dalam sub assy manifold yang paling lama proses pembuatannya dengan waktu 22 menit/pcs. Proses pembuatan sub assy manifold terdiri dari proses perakitan & pemesinan dengan waktu masing-masing proses 67.22 detik dan 1395,2 detik. Waktu total yang dibutuhkan untuk membuat 1 pcs sub assy manifold pada stasiun pemesinan & perakitan adalah 1406,32 s (23.4 menit). Hal ini membuat sub assy manifold menjadi komponen vent-i dengan waktu pembuatan paling lama. Untuk bisa memproduksi vent-I sejumlah 46 unit/hari dengan waktu kerja normal diperlukan percepatan dalam proses perakitan & pemesinan komponen vent-i khususnya sub assy manifold.

Proses perakitan dapat dipercepat dengan mengurangi komponen atau memperbaiki desain suatu produk menggunakan analisis DFA. Analisis DFA pernah digunakan untuk mengurangi waktu assembly dan meningkatkan efisiensi desain pada *dry iron*. Hasilnya setelah efisiensi desain menjadi 18,08% jumlah komponen berkurang dari 13 menjadi 10, dan waktu perakitan dipercepat 15% dari waktu awal [3]. Analisis DFA juga digunakan dalam meningkatkan efisiensi desain dan meminimumkan waktu perakitan dalam pembuatan *polucentric paediatric prosthetic knee*. Dengan analisis DFA efisiensi desain meningkat 13,6 % dimana waktu perakitan berkurang akibat pengurangan komponen yang tidak penting dan menggantinya dengan komponen standar pada *polucentric paediatric prosthetic knee* [4]. Hal ini juga dilakukan untuk mengurangi waktu perakitan pada *sewing machine*. Hasilnya jumlah komponen penyusun *sewing machine* berkurang dari 89 menjadi 77 komponen dan waktu perakitan dipercepat 38% [5]. Dari beberapa penelitian tersebut terbukti bahwa analisis DFA pada suatu rancangan dapat meningkatkan efisiensi desain sehingga dapat mengurangi waktu perakitan. Selain waktu perakitan, waktu pembuatan khususnya waktu pemesinan juga harus dipercepat.

Di era sekarang ini banyak mesin – mesin konvensional digantikan oleh mesin perkakas CNC. Mesin CNC sudah terintegrasi dengan perangkat lunak yang berfungsi untuk mensimulasikan proses manufaktur yang dibutuhkan untuk mengecek kesalahan yang terjadi sebelum proses dilakukan. Salah satunya adalah perangkat lunak CAM (*software CAM*) yang dapat melihat kesalahan yang mungkin akan terjadi saat proses pemesinan berlangsung [6]. Selain itu, mesin CNC juga sudah didukung berbagai teknologi untuk menggantikan aktivitas penyetelan (*setting*) di mesin secara manual menjadi otomatis sehingga dapat memproses benda kerja secara efisien, efektif, dan mampu mengerjakan berbagai fitur dalam sekali set-up. Mesin CNC 5 axis bisa memproses 5 permukaan/bidang hanya dengan satu set-up (satu pencekaman) sehingga dapat menurunkan waktu proses menjadi lebih singkat hal ini dibuktikan dengan percobaan pembuatan *super plast SP 300* untuk komponen infusio mold dimana proses awalnya membutuhkan 7 mesin perkakas, 9 operator, dan 40 pahat setelah menggunakan mesin CNC 5 axis hanya membutuhkan 1 mesin perkakas, 3 operator, dan 30 pahat sehingga memangkas biaya produksi 60% [7].

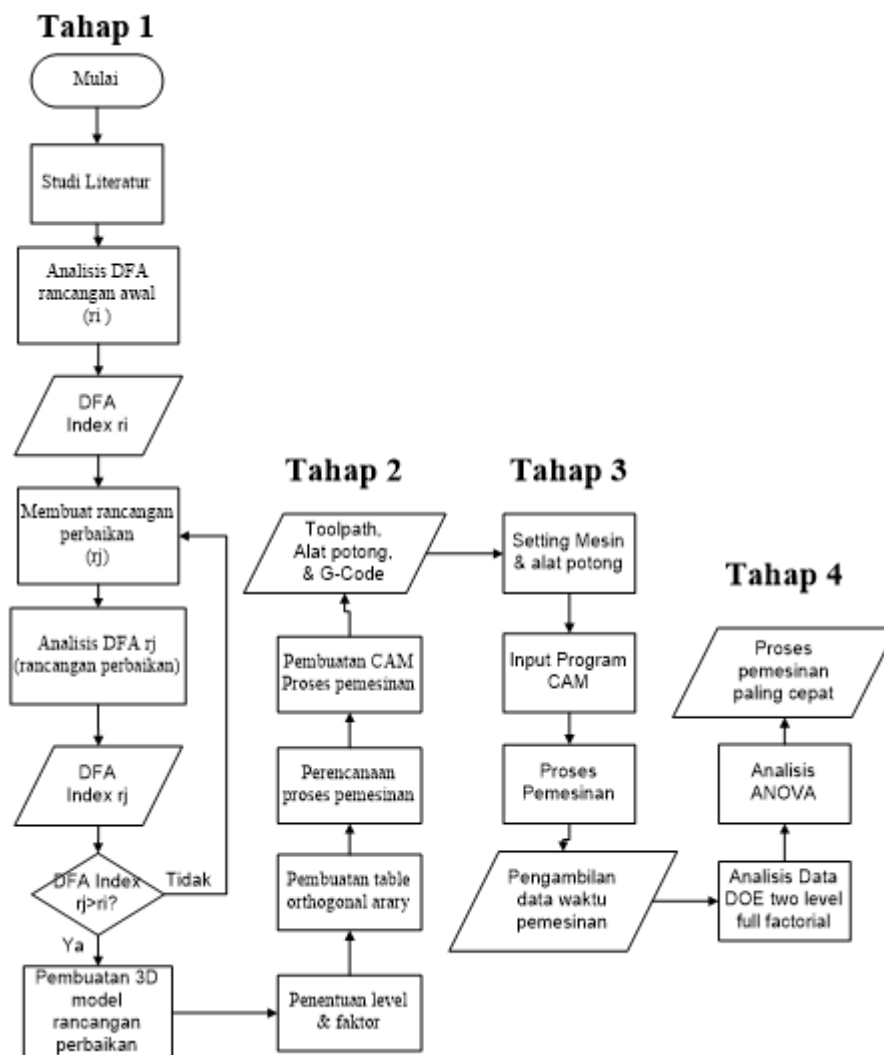
Integrasi antara perangkat lunak CAM dan mesin CNC yang semakin canggih, memungkinkan kita untuk dapat melakukan optimasi proses pemesinan khususnya waktu pemotongan. Optimasi proses pemotongan (*cutting*) bisa dilakukan dengan menggunakan metode *full factorial design*. Metode ini pernah digunakan dalam mencari nilai & faktor yang berpengaruh dalam proses pemotongan kayu mahoni menggunakan mesin CNC *router G-Weike WK1212*. Dari eksperimen yang dilakukan, dihasilkan *depth per*

cut 0,25 mm, *spindle speed* 7 step, dan *motion speed* 6 step adalah parameter pemotongan optimal [8]. Hal ini juga pernah dilakukan untuk mencari parameter pemesinan yang berpengaruh dalam proses CNC *milling* berbasis CAD/CAM. Dengan metoda *full factorial design* dan analisis ANOVA dihasilkan bahwa parameter kecepatan makan (*feeding*) dan kedalaman potong (*depth of cut*) sangat mempengaruhi waktu pemesinan dengan kontribusi sebesar 49.56% [9]. Waktu proses pemotongan juga di pengaruhi oleh pemilihan jalur pemotongan (*tool path*). Hal ini dibuktikan dengan membandingkan 8 jenis jalur pemotongan yang ada pada perangkat lunak (*software*) MasterCAM X4 yaitu *zig zag*, *Constant overlap spiral*, *parallel spiral*, *parallel spiral clean corners*, *morph spiral*, *high speed*, *one way*, dan *true spiral*. Dengan fitur pemesinan yang sama, kedalaman potong, kecepatan potong, dan putaran spindle yang sama, dihasilkan variasi waktu proses yang berbeda - beda antara jalur pemotongan satu dengan yang lainnya [10]. Penentuan Jalur pemotongan dipengaruhi juga oleh jenis lintasan potong linier (G01) atau circular (G02) yang keduanya akan mempengaruhi besar *feed rate*. Semakin banyak lintasan *circular*, semakin banyak segment, dan semakin bervariasi *feed rate* - nya (tidak konstan) [11].

Penelitian ini membahas optimasi proses perakitan dan proses pemesinan komponen vent-I yaitu sub assy manifold dengan menggunakan DFMA dan *two-level full factorial design* agar tercapai target produksi vent-i 1000 pcs/bulan.

2. METODE DAN BAHAN

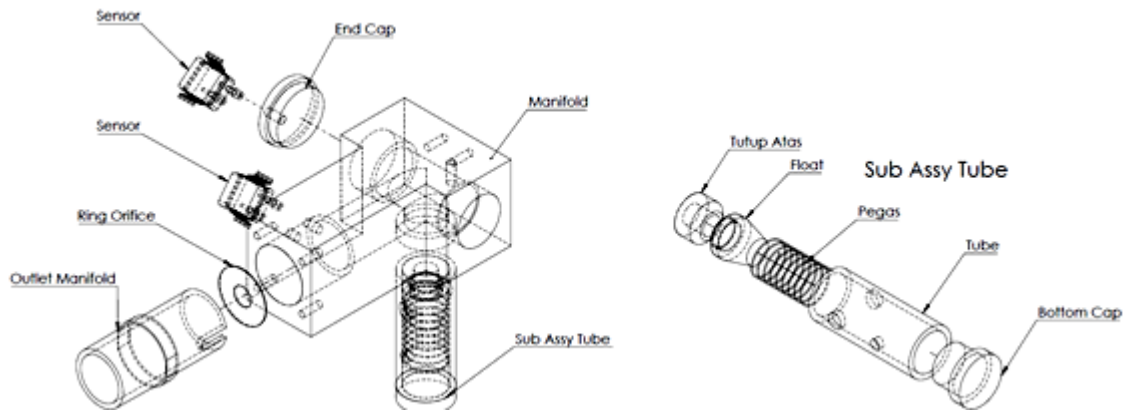
Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan seperti ditunjukkan gambar 2 berikut.



Gambar 2: Tahapan dalam penelitian

Tahap 1: Analisis Rancangan Dengan DFA (*Design for Assembly*)

Penelitian dimulai dengan merancang ulang model awal yang memiliki 11 komponen seperti yang diperlihatkan Gambar 3 dibawah ini



Gambar 3: Model awal sub assy manifold pada Vent-I yang akan dilakukan DFMA

Proses merancang ulang model awal akan dilakukan dengan terlebih dahulu melakukan analisis berdasarkan parameter keterakitan serta keterbuatan dari produk tersebut. Metoda yang digunakan adalah *design for manufacturing and assembly* (DFMA). Hal ini dilakukan untuk mengukur serta mengoptimasi waktu perakitan yang akan dilakukan dengan cara merancang ulang model menjadi model yang lebih sederhana serta mudah dibuat. Model sub assy manifold tersebut harus mudah dibuat & dirakit, sehingga diharapkan bisa mempersingkat waktu pembuatan serta perakitannya. Keluaran dari tahap 1 adalah 3D model yang sudah dianalisis dengan DFA sebagai input untuk proses pemesinan di tahap 2.

Tahap 2 : Perencanaan Proses Pemesinan & Penentuan faktor serta level *full factorial*

Tahap selanjutnya adalah merencanakan proses pemesinan (*machining process planning*) untuk pembuatan manifold Vent-I. Variabel yang digunakan dalam proses pemesinan adalah pemilihan mesin, strategi pemotongan lubang serta strategi pemotongan permukaan. Tabel 1 memperlihatkan alat potong & parameter pemotongan yang digunakan dan nilainya tidak berubah. Masing-masing parameter mempunyai 2 level sehingga, percobaan dilakukan sebanyak 27 kali (8 percobaan dengan 3 kali pengulangan) dengan kombinasi faktor & level yang berbeda setiap uji coba nya seperti yang diperlihatkan Tabel 2. Respon yang dihasilkan adalah waktu pemesinan (*Machining time/ T_m*).

Tabel 1: Alat potong dan parameter pemotongan yang digunakan

No.Tools	Nama	Jenis	V_c (m/min)	f_z (mm/teeth)
2	HMPT Endmill Ø14	End mill	300	0.07
4	HSS drillbit Ø18	Drill bit	100	0.1
5	HSS drillbit Ø3.1	Drill bit	50	0.1
6	HMPT Endmill Ø6	End mill	150	0.05
9	HSS drillbit Ø2.5	Drill bit	50	0.1
10	HSS drillbit Ø5.5	Drill bit	50	0.1

Tabel 2: Tabel percobaan/eksperimen yang akan dilakukan

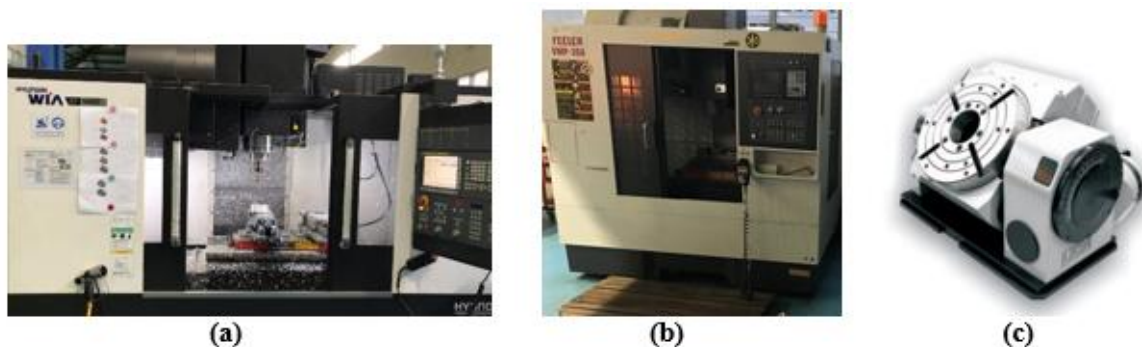
No	Mesin Perkakas	Strategi pemotongan lubang	Strategi pemotongan permukaan	Respon
1	Manual + 3 axis	Helical milling	Countur	Waktu Pemesinan/ T_m
2	Manual + 3 axis	Peck drill	Linier	
3	Manual + 3 axis	Helical milling	Countur	
4	Manual + 3 axis	Peck drill	Linier	
5	3+2 axis	Helical milling	Countur	
6	3+2 axis	Peck drill	Linier	

7	3+2 axis	<i>Helical milling</i>	<i>Countur</i>
8	3+2 axis	<i>Peck drill</i>	<i>Linier</i>

Setelah merencanakan parameter pemotongan dan memilih alat potong serta mesin perkakas CNC yang akan digunakan, lalu dibuatlah program CAM menggunakan perangkat lunak SolidCAM® untuk mendapatkan kode-G (*G-code*) agar manifold bisa di proses pada mesin perkakas CNC sesuai jalur pemotongan yang diinginkan.

Tahap 3: Uji Coba (Eksperimen)

Uji coba dimulai dengan melakukan setting mesin perkakas CNC dan persiapan alat potong/pahatnya. Dalam uji coba proses pemesinan ini, mesin perkakas yang digunakan adalah mesin perkakas CNC 3 axis Hyundai KF5600 dan mesin perkakas CNC 3+2 axis Feeler VMP-30A 3 axis yang dilengkapi dengan *trunnion table* agar dapat melakukan manuver 3+2 axis seperti yang diperlihatkan Gambar 4 dibawah. Proses pemesinan manifold di mesin Hyundai KF5600 dilakukan dengan 6 kali set-up menggunakan ragum mesin yang dicekam pada meja magnet. Sedangkan proses pemesinan di mesin Feeler VMP 30-A dilakukan dengan 1 kali set-up menggunakan ragum yang dipasang pada *trunnion table*.



Gambar 4: (a) Hyundai KF5600 (b) Feeler VMP-30A (c) *trunnion table*

Tahap 4: Proses Pengambilan Data & Analisis Data

Data waktu proses pemesinan diambil dengan merekam/mencatat waktu menggunakan *stopwatch*. Setelah dilakukan uji coba proses pemesinan, didapatkan data waktu proses seperti yang diperlihatkan Tabel 3 berikut.

Tabel 3: Waktu pemesinan hasil uji coba

No	Mesin Perkakas	Strategi pemotongan lubang	Strategi pemotongan permukaan	Waktu pemesinan (s)		
1	Manual + 3 axis	<i>Helical milling</i>	<i>Countur</i>	722	725	724
2	Manual + 3 axis	<i>Peck drill</i>	<i>Linier</i>	903	905	908
3	Manual + 3 axis	<i>Helical milling</i>	<i>Countur</i>	758	758	757
4	Manual + 3 axis	<i>Peck drill</i>	<i>Linier</i>	734	734	735
5	3+2 axis	<i>Helical milling</i>	<i>Countur</i>	634	632	629
6	3+2 axis	<i>Peck drill</i>	<i>Linier</i>	566	582	579
7	3+2 axis	<i>Helical milling</i>	<i>Countur</i>	568	597	590
8	3+2 axis	<i>Peck drill</i>	<i>Linier</i>	519	521	522

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Hasil Tahap 1 & 2

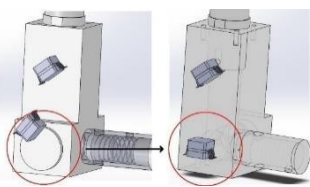
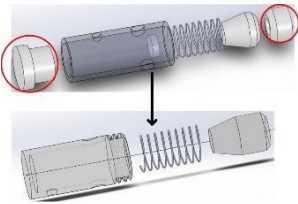
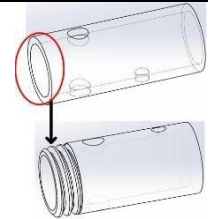
Hasil analisis DFA pada proses perakitan sub assy manifold rancangan model awal mendapati waktu perakitan yang dibutuhkan adalah 67,22 s dengan DFA index sebesar 35,7 % seperti yang diperlihatkan Tabel 4 dibawah.

Tabel 4: Hasil analisis DFA rancangan manifold model awal

Nama Item	Jumlah	Kode handling manual	Kode memasukan manual	Total waktu perakitan/ (s)	Theoretical part count
Manifold (SM1)	1	30	00	3.45	1
End cap (SM2)	1	11	09	9.30	0
Ring orifice (SM3)	1	03	09	9.19	1
Outlet manifold (SM4)	1	10	09	9.0	1
Tutup atas (SM5)	1	10	09	9.0	0
Float (SM6)	1	10	00	3.0	1
Pegas (SM7)	1	10	00	3.0	1
Tube (SM8)	1	00	09	8.83	1
Bottom cap (SM9)	1	10	09	9.0	0
Sensor (SM10)	2	30	00	3.45	2
Jumlah	11			67.22	8

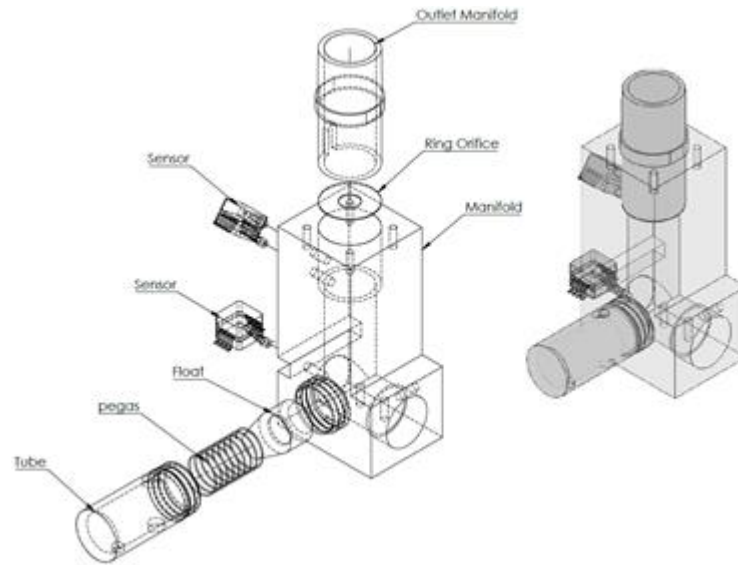
Dengan nilai DFA pada Tabel 4 diatas yang rendah maka harus dilakukan perbaikan pada rancangannya. Komponen yang paling lama dalam proses perakitannya adalah Endcap (SM2), Ring orifice (SM3), Outlet manifold (SM4), Tutup atas (SM5), Tube (SM8) dan Bottom Cap (SM9). Proses perbaikan rancangan akan difokuskan pada komponen tersebut. Proses perbaikan diperlihatkan oleh tabel 5 berikut.

Tabel 5: Perbaikan Rancangan yang dilakukan

No	Perbaikan Desain	Komponen	Waktu yang dihemat (s)
1	 <p>Menghilangkan endcap sebagai dudukan sensor dan membuat dudukan sensor langsung di manifoldnya</p>	endcap	9.3
2	 <p>Menghilangkan tutup atas dan bottom cap pada sub assy tube</p>	<ul style="list-style-type: none"> Tutup atas Bottom cap 	<ul style="list-style-type: none"> 9.0 9.0
3	 <p>Mengubah tube menjadi berprofil ulir yang sebelumnya flat dimana proses perakitannya harus di <i>press</i> dengan mesin <i>press</i> meja.</p>	Mengubah proses <i>press</i> menjadi <i>screw</i> .	8.83 (waktu proses <i>press</i>) 6.0 (waktu proses ulir) 8.83 - 6.0 = 2.83

Setelah dilakukan perbaikan rancangan, maka dihasilkan rancangan sub assy manifold modifikasi seperti yang

ditunjukkan Gambar 5 berikut.



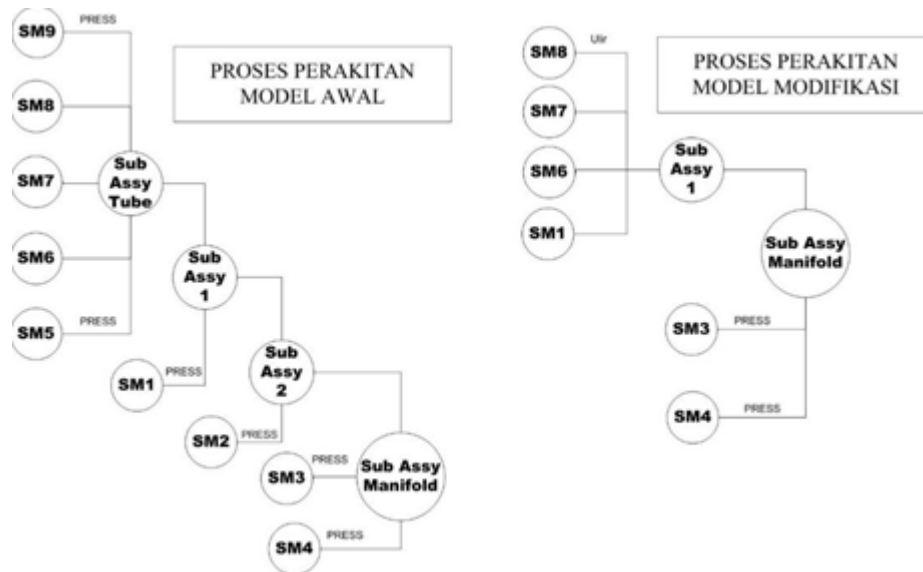
Gambar 5: Sub Assy Manifold modifikasi

Setelah itu dilakukan kembali analisis DFA pada manifold modifikasi dan dihasilkan waktu perakitan dan DFA index seperti yang diperlihatkan Tabel 6 berikut.

Tabel 6: Analisi DFA Rancangan Manifold Hasil Perbaikan

Nama Item	Jumlah	Kode handling manual	Kode memasukan manual	Total waktu perakitan/ (s)	Theoretical part count
Manifold (SM1)	1	30	00	3.45	1
Ring orifice (SM3)	1	03	09	9.19	1
Outlet manifold (SM4)	1	10	09	9.0	1
Float (SM6)	1	10	00	3.0	1
Pegas (SM7)	1	10	00	3.0	1
Tube (SM8)	1	00	38	7.13	1
Sensor (SM10)	2	30	00	3.45	2
Jumlah	8			38.22	8

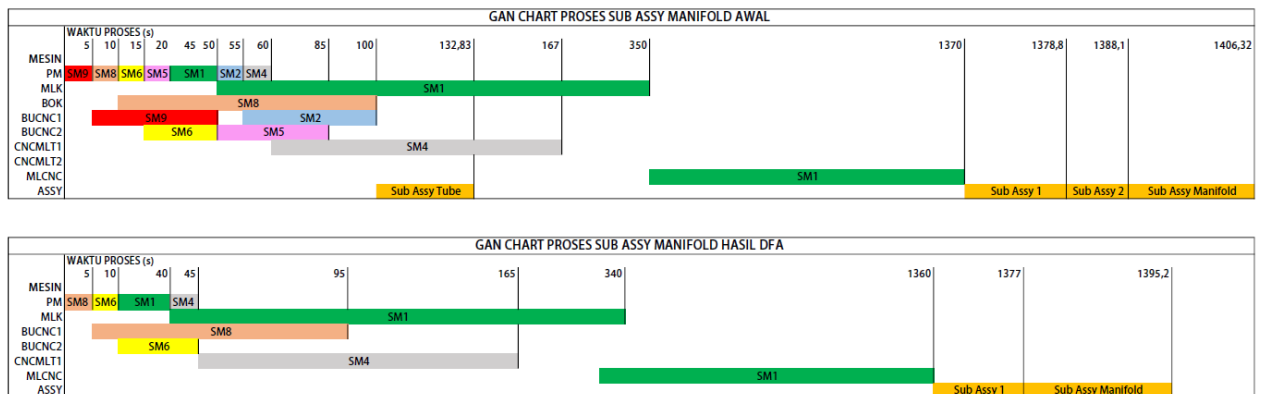
Dari perbaikan rancangan dan analisis DFA yang dilakukan, waktu perakitan menjadi 38,22 s dengan DFA index 62,7 %. Hasil tersebut mampu mereduksi waktu perakitan 43% dari waktu awal. Selain itu, jumlah komponen berkurang dari 11 menjadi 7 komponen sehingga, tahap perakitan di pangkas dari 4 tahap menjadi 2 tahap perakitan saja seperti yang di perlihatkan oleh Gambar 6 berikut.



Gambar 6: Perbedaan tahap perakitan rancangan awal & rancangan setelah di perbaiki

3.2 Hasil Tahap 3 & 4

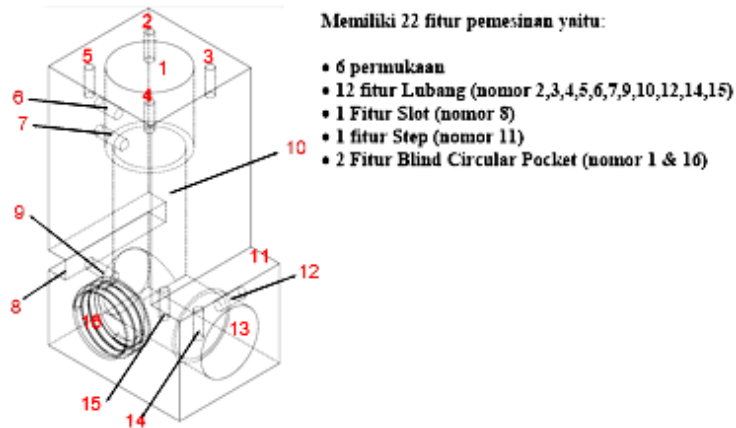
Rancangan Manifold modifikasi hanya berdampak pada kecepatan proses perakitannya. Namun tidak untuk proses pemesinannya seperti yang diperlihatkan oleh ganchart pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7: Ganchart proses pembuatan sub assy manifold awal dengan hasil modifikasi DFA

Gambar 7 menunjukkan bahwa proses perakitan hanya berdampak kecil dalam memangkas waktu pembuatan sub assy manifold. Hal ini dikarenakan salah satu komponen pada sub assy manifold yaitu badan manifold (SM1) memiliki waktu terlama dalam proses pemesinannya sehingga, perlu dilakukan optimasi proses pemesinan badan manifold.

Langkah pertama adalah mengidentifikasi jumlah fitur dan jenisnya untuk merencanakan kebutuhan alat potong, parameter pemotongan, dan strategi pemotongannya. Rancangan sub assy manifold modifikasi menghasilkan komponen manifold (SM1) dengan jumlah fitur sebanyak 20 fitur pemesinan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 8.



Gambar 8: Jumlah fitur pada manifold hasil perbaikan rancangan

Tabel 7 memperlihatkan alat potong, parameter pemotongan, dan strategi pemotongan untuk membentuk fitur-fitur pemesinan manifold hasil perbaikan.

Tabel 7: Alat potong, parameter, dan strategi pemotongan untuk membentuk fitur pemesinan

No Fitur	No Tools	Nama	Jenis	V_c (m/min)	f_z ($mm/teeth$)	Strategi Pemotongan	
						Alternatif 1	Alternatif 2
Permukaan 1 - 6	2	HMPT Endmill Ø14	End mill	300	0.07	<i>Facing Countur</i>	<i>Facing Linier</i>
1	2	HMPT Endmill Ø14	End mill	300	0.07	<i>Helical milling</i>	
2,3,4,5,6,7	9	HSS drillbit Ø2.5	Drill bit	50	0.1	<i>Peck drill</i>	
8	6	HMPT Endmill Ø6	End mill	150	0.05	<i>Linier</i>	
9	5	HSS drillbit Ø3.1	Drill bit	50	0.1		
10	2	HMPT Endmill Ø14	End mill	300	0.07	<i>Helical milling</i>	
	4	HSS drillbit Ø18	Drill bit	100	0.1		<i>Peck drill</i>
11	2	HMPT Endmill Ø14	End mill	300	0.07	<i>Facing Countur</i>	<i>Facing Linier</i>
12	10	HSS drillbit Ø5.5	Drill bit	50	0.1	<i>Peck drill</i>	
16	HMPT Endmill Ø6	End mill	150	0.05	HMPT Endmill Ø6	<i>Countur</i>	<i>Linier</i>

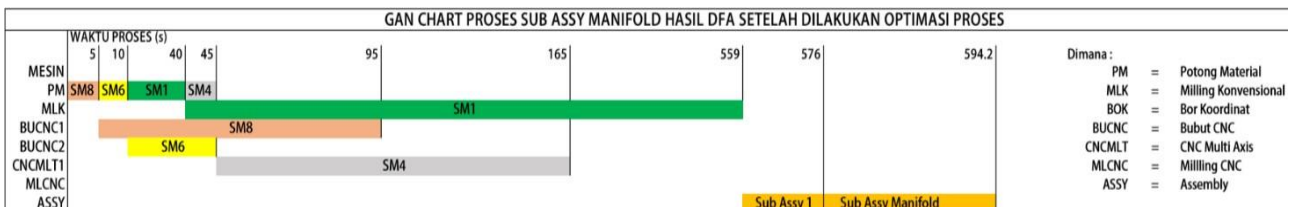
Percobaan pembuatan fitur dengan proses pemesinan akan dilakukan dengan alat potong, parameter, dan strategi pemotongan yang ada pada tabel 7 diatas dengan menggunakan 2 mesin perkakas CNC yaitu mesin perkakas CNC 3 axis Hyundai KF5600 dan mesin perkakas CNC 3+2 axis Feeler VMP 30-A. Hasil percobaan diperlihatkan oleh Tabel 8 berikut.

Tabel 8: Hasil Percobaan Proses Pemessinan

No	Mesin Perkakas	Kode Eksperimen	Strategi pemotongan lubang	Kode Eksperimen	Strategi pemotongan permukaan	Kode Eksperimen	Respon Waktu pemesinan (s)		
							1	2	3
1	Manual + 3 axis	A1	<i>Helical milling</i>	B1	<i>Countur</i>	C1	722	725	724
2	Manual + 3 axis	A1	<i>Peck drill</i>	B2	<i>Linier</i>	C2	903	905	908
3	Manual + 3 axis	A1	<i>Helical milling</i>	B1	<i>Countur</i>	C1	758	758	757
4	Manual + 3 axis	A1	<i>Peck drill</i>	B2	<i>Linier</i>	C2	734	734	735
5	3+2 axis	A2	<i>Helical milling</i>	B1	<i>Countur</i>	C1	634	632	629
6	3+2 axis	A2	<i>Peck drill</i>	B2	<i>Linier</i>	C1	566	582	579
7	3+2 axis	A2	<i>Helical milling</i>	B1	<i>Countur</i>	C1	568	597	590
8	3+2 axis	A2	<i>Peck drill</i>	B2	<i>Linier</i>	C2	519	521	522

Dalam percobaan yang dilakukan dengan 8 percobaan dan 3 kali pengulangan didapatkan kombinasi faktor & level yang paling optimum (waktu paling singkat) yaitu kombinasi mesin perkakas 3+2 axis, strategi pemotongan lubang dengan *peck drill*, dan strategi pemotongan permukaan *linier* dengan waktu pemesinan yang paling minimum yaitu 519 s atau 8,65 menit.

Hasil ini membuat waktu proses pemesinan manifold dipercepat 63% sehingga, waktu pembuatan sub assy manifold meningkat/dipercepat 43% dari 1395,2 s (23,3 menit) menjadi 594,2 s (9,9 menit) seperti yang diperlihatkan ganchart pada Gambar 8 berikut.



Gambar 8: Ganchart Proses pembuatan sub assy manifold setelah rancangan diperbaiki dan dilakukan optimasi proses pemesinan

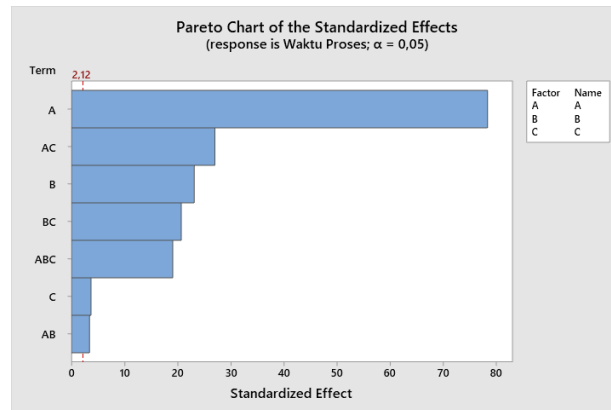
Dari hasil ANOVA yang dilakukan, faktor waktu pemesinan paling minimum adalah kombinasi A2-B2-C2 yaitu kombinasi Mesin perkakas 3+2 axis, strategi pemotongan lubang dengan *peck drill*, dan strategi pemotongan permukaan dengan *linier*.

Presentase 3 faktor yang paling berpengaruh adalah faktor A (mesin perkakas), AC (mesin perkakas dan strategi potong permukaan), dan B (strategi potong lubang) yaitu mesin sebesar 75,60%, 8,24%, dan 6,64% seperti yang diperlihatkan tabel 9 dibawah. Ketiga faktor tersebut adalah penyumbang efek yang besar namun faktor yang mempengaruhi paling signifikan adalah pemilihan mesin perkakas (A) seeperti yang ditunjukkan Gambar 9 dibawah.

Tabel 9: Hasil ANOVA (Analysis of Variance)

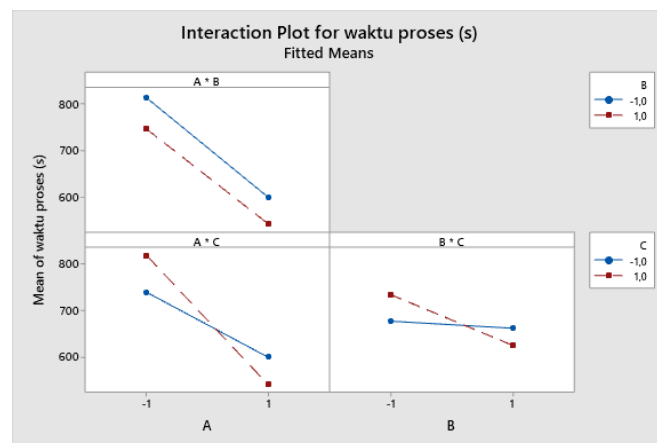
Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	327886	99,81%	327886	46841	1173,47	0,000
Linear	3	266726	81,19%	266726	88909	2227,36	0,000
A	1	244824	74,52%	244824	244824	6133,38	0,000
B	1	21361	6,50%	21361	21361	535,13	0,000
C	1	542	0,16%	541	541	13,57	0,002
2-Way Interactions	3	46655	14,20%	46655	15552	389,61	0,000

A*B	1	468	0,14%	468	468	11,73	0,003
A*C	1	29121	8,86%	29121	29121	729,54	0,000
B*C	1	17067	5,19%	17067	17067	427,56	0,000
3-Way Interactions	1	14504	4,41%	14504	14504	363,36	0,000
A*B*C	1	14504	4,41%	14504	14504	363,36	0,000
Error	16	639	0,19%	639	40		
Total	23	328525	100,00%				



Gambar 9: Pareto Charts

Interaksi antar mesin perkakas (A) & strategi pemotongan lubang (B) tidak berpengaruh terhadap waktu proses manifold. Sementara, interaksi faktor mesin perkakas (A) & pemilihan startegi potong permukaan (C) sangat berpengaruh terhadap waktu proses. Interaksi antara Pemilihan strategi pemotongan lubang (B) & strategi pemotongan permukaan (C) juga berpengaruh terhadap waktu proses. Semua diperlihatkan oleh Gambar 10 berikut.



Gambar 10: Interaksi antar faktor terhadap waktu Proses

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, dihasilkan beberapa kesimpulan sebagai berikut.

- Dengan menghilangkann komponen endcap, merubah rancangan tube serta tutup atas dan bottom cap, rancangan sub assy manifold baru mendapatkan DFA indeks 62,7% atau meningkat 43% dan waktu perakitan dipersingkat menjadi 38,2 detik, jumlah komponen berkurang dari 11 menjadi 7 komponen, dan tahap perakitan yang awalnya 4 tahap menjadi 2 tahap perakitan.
- Hasil optimasi dengan DOE *two-level full factorial* memberikan waktu proses pemesinan manifold (SM1) menjadi 8,56 menit atau mengurangi 63% waktu pemesinannya. Hal ini berdampak pada proses pembuatan sub assy manifold yang awalnya 22 menit/pcs mejnadi 9,9 menit/pcs.
- Kombinasi faktor dan level dengan waktu pemesinan paling minimum adalah kombinasi A2-B2-C2

yaitu kombinasi Mesin perkakas 3+2 axis, strategi pemotongan lubang dengan *peck drill*, dan strategi pemotongan permukaan dengan *linier*.

- Presentase 3 faktor yang paling berpengaruh adalah faktor A (mesin perkakas), AC (mesin perkakas dan strategi potong permukaan), dan B (strategi potong lubang) yaitu sebesar 74,52%, 8,86%, dan 6,50%. Ketiga faktor tersebut adalah penyangga efek yang paling besar.
- Interaksi antar mesin perkakas & strategi pemotongan lubang (A*B) tidak berpengaruh terhadap waktu proses manifold. Sementara, interaksi faktor mesin perkakas & pemilihan strategi potong permukaan (A*C) sangat berpengaruh terhadap waktu proses. Interaksi antara Pemilihan strategi pemotongan lubang & strategi pemotongan permukaan (B*C) juga berpengaruh terhadap waktu proses.

5. PERNYATAAN TERIMAKASIH

Penelitian ini didanai oleh Hibah Program Penelitian Internal Polman Bandung Tahun 2020 Skim Penelitian Inovasi/Kreativitas Produk Polman (IKPP).

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] NANCY J, Lebih Murah! ITB dan PHC Bikin Ventilator Harga Rp60 juta, Produk Impor Rp230 juta, <https://ekonomi.bisnis.com/read/20210127/257/1348311/lebih-murah-itb-dan-phc-bikin-ventilator-harga-rp60-juta-produk-impor-rp230-juta> . Diakses: 08 Agustus 2021
- [2] HAZARIKA, M., DIXIT, U.S., *Setup Planning for Machining*, Springer International Publishing, Switzerland, 2015.
- [3] SUDIN M.N, CHIN N.S, SHAMSUDIN S.A, YUSUFF M.A, “Design Efficiency Analysis Towards Product Improvement for Eco-Friendly Using DFMA Method”, *The Open Mechanical Engineering Journal*, 10, 173-181, 2016.
- [4] MANGERA T, KIENHÖFER F, CARLSON K, CONNING M, PURKIS T, GOVENDER G, “Design for Manufacture and assembly of polycentric paediatric prosthetic knee”, *Proc ImechE part B: J Engineering Manufacture*, 233, 2566 – 2476, 2019.
- [5] MALLESWARI V.N, BABU B.S, RAJ P.L, “Improvement of Sewing Machine Design for Assembly Time Reduction Using DFA Methodology”, *International Journal of Advanced Science and Technology*, vol.29, No.4, 7845 – 7857, 2020.
- [6] GARVIL M, ANDREI M, LUCIAN T, “Increase Productivity and Cost Optimization in CNC manufacturing”, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol 161, 1-6, 2016.
- [7] SIVAM S.P.S.S, SARAVANAN K, PRADEEP N, RAJENDRAKUMAR S, KARUPPIAH S, “Comparison of Manufacturing Data Analysis for 5 & 3 Axis Vertical Machining Center for the Time and Tool Benefits of Industries”, *International Journal of Engineering & Technology*, Vol 7, 196-201, 2018.[7]
- [8] WIJAYA D.K, SUPRIJONO H, NUGROHO D.S, “Optimasi Proses *Cutting* Mesin CNC Router G-Weike WK1212 dengan Metode *Full Factorial Design* dan Optimasi Plot Multi Respon”, *Jurnal Penelitian dan Aplikasi Sistem & Teknik Industri (PASTI)*, Vol. XIV, No.1, pp.1-14, 2020
- [9] YUDHYANDI I G.N.K, RACHMANTO T, RAMADAN A.D, “Optimasi Parameter Permesinan Terhadap Waktu Proses Pemrograman CNC Milling dengan berbasis CAD/CAM”. *Dinamika Teknik Mesin*, Volume 6, No.1, 38-50, 2016.
- [10] SUMBODO W, KRISWANTO, MURDANI, SUWANDA I, ALLAM T.S, “Optimization of CNC Milling Machining Time Through variation of Machine Parameters and Toolpath Strategy in Various Cross-Sectional Shape on Tool Steel and Dies Steel Materials”, *Proceeding of the 7th Engineering International Conference on Education, Concept and Application on Green Technology*, 84-92, 2018.
- [11] SANCHEZ G.M, JIMENEZ E.T, GRACIA R.L, VICENTE R.D, “Cutting time in pocket machining for different tool-path approximation segment”, *Procedia Manufacturing*, Vol. 13, 59-66, 2020.
- [12] RASHID M.F.F.A, HUTABARAT W, TIWARI A. “Multi-Objective discrete particle swarm optimisation algorithm for integrated assembly sequence planning and assembly line balancing”, *Proceedings of the Institution of mechanical Engineers Part B: Journal of Engineering Manufacture*, Vol.232, issue 8, 1444 – 1459, 2016.
- [13] LATHASHANKAR B, ASHIRTHA G, ASMA S, SHIVAM K, NITESH K, “Cycle time reduction in manufacturing industry by designing a dedicated fixture: A case Study”, *International journal of Engineering Science and technology*, vol.10, No.3, 34 – 42, 2018.
- [14] CAI Y, LIU Z, SHI Z, SONG Q, WAN Y, “Optimum end milling tool path and machining parameters for micro laval nozzle manufacturing”, *Proceedings of the Institution of mechanical Engineers Part B:*

Journal of Engineering Manufacture, Vol. 231, issue: 10, 1703 – 1712, 2015.

- [15] GROOVER M.P, *Fundamentals of Modern Manufacturing*, John Wiley & Sons, Inc, United States of America., 2020.
- [16] S. HIDAYAT, J. HALID, T. DIRGANTARA, M.A. KUSUMA, H. UTOMO, R.W. SUDJUD, I.S. REJEKI, S. MIHRADI, S. RAHARNO, D. RUKANTA, H. TIAHJONO, “Lessons Learned from Rapid Development of CPAP Ventilator Vent-I during Covid-19 Pandemic in Indonesia”, *Journal of Engineering and Technological Sciences*, Vol.52, No.5, 765-778, 2020.