

## Desain, Manufaktur, dan Inspeksi Produk Berbasis Fitur

Indra Djodikusumo<sup>1, a \*</sup>, Duddy Arisandi<sup>2, b</sup> Ruswandi<sup>3, c</sup>

<sup>1</sup> Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung,  
Jl. Ganesha No. 10, Bandung 40132, Jawa Barat, Indonesia

<sup>2</sup> Akademi Teknik Soroako  
Jl. Soemantri Brodjonegoro No. 1 Soroako 92984, Sulawesi Selatan, Indonesia

<sup>3</sup> Politeknik Manufaktur Negeri Bandung  
Jl. Kanayakan No. 21, Bandung 40135, Jawa Barat, Indonesia

<sup>a</sup>djodikusumo.indra@gmail.com, <sup>b</sup>duddy\_arisandi@yahoo.com, <sup>c</sup>ruswandi@gmail.com

### Abstrak

Desain, Manufaktur dan Inspeksi merupakan bagian-bagian kegiatan utama dalam siklus umur produk. Di situ ide mengenai suatu produk diolah dan diwujudkan secara fisik menjadi suatu produk. Bagi organisasi yang membagi fungsi-fungsi desain, manufaktur dan inspeksi menjadi 3 bagian yang berbeda, diperlukan komunikasi yang baik di antara 3 bagian tersebut. Tidak boleh terjadi keambiguan terhadap gambar yang dihasilkan oleh bagian desain, yang kemudian diteruskan ke bagian manufaktur, dan hasilnya diverifikasi di bagian inspeksi. Ketiga bagian tersebut harus memiliki satu interpretasi terhadap gambar tersebut. Untuk dapat membuat gambar yang seperti itu, teori tentang gambar mesin klasik tidak dapat digunakan, sebab tidak bisa memberikan spesifikasi (dimensi) geometri secara lengkap dan jelas. Biasanya ukuran saja yang ditampilkan, sementara bentuk, orientasi dan posisi tidak bisa dinyatakan. Untuk dapat mendefinisikan bentuk, orientasi dan posisi dari suatu fitur, ASME dan ISO telah menciptakan standar, yaitu ASME Y14.5 - 2009 dan ISO 1101-2012. Standar ASME maupun ISO tersebut disempurnakan terus menerus, sesuai dengan tuntutan perkembangan teknologi. Dalam makalah ini akan diuraikan bagaimana ASME Y14.5 - 2009 dan ISO 1101 - 2012 bisa digunakan untuk mengatur fitur-fitur pada gambar mesin sehingga akan diinterpretasikan sama oleh siapapun yang membaca.

**Kata kunci:** ASME Y14.5-2009, ISO 1101-2012, fitur, kotak kendali fitur, fitur datum dan datum reference frame

### Pendahuluan

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan menjelaskan metode pembuatan gambar mesin berorientasi fitur yang dapat menghilangkan keambiguan antara personal atau bagian yang berkepentingan dengan aktivitas desain, manufaktur, dan inspeksi pada saat mewujudkan (merealisasikan) suatu produk yang dapat dijamin kehandalan-, keterbuatan-, keterperiksaan-, keterakitan-, dan ketertukarannya.

Seringkali kita jumpai bahwa yang dikendalikan dalam gambar mesin hanya ukuran saja, padahal untuk mendukung fungsi yang diinginkan perlu dilakukan pengendalian terhadap fitur-fitur geometriknya (khususnya

fitur-fitur geometrik yang fungsional), seperti bentuk-, dan/atau orientasi-, dan/atau posisinya [1, 2].

Hal tersebut perlu dilakukan terutama untuk produk rakitan (bangunan mesin) yang terdiri dari beberapa/banyak komponen. Masing-masing komponen dibangun dari fitur-fitur pembangunnya, baik fitur primitif ataupun fitur kompleks dengan menggunakan operasi Boolean.

Berdasarkan evaluasi terhadap beberapa gambar susunan dan gambar komponen (**Tabel-1**), ditunjukkan bahwa gambar mesin seringkali dibuat tanpa menghiraukan pengendalian fitur-fitur geometriknya, terutama yang berhubungan dengan

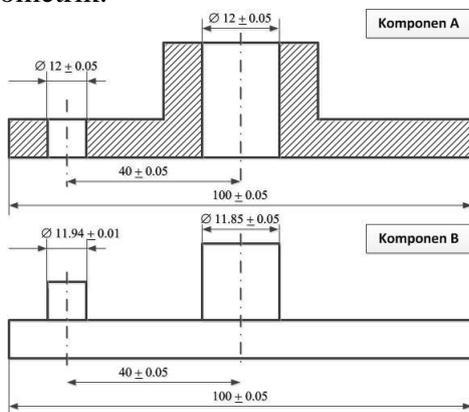
spesifikasi geometrik, *datum reference frame*, fitur datum dan datum dan suaian. Akibatnya hal tersebut menimbulkan keambiguan dalam interpretasi gambar di bagian disain, manufaktur, dan inspeksi ketika dilakukan realisasi produk.

**Tabel-1:** Hasil evaluasi gambar mesin

NO	GAMBAR RAKITAN	MILIK	PENGENDALIAN FITUR-FITUR PADA KOMPONEN-KOMPONEN YANG ADA DALAM RAKITAN		
			SPESIFIKASI GEOMETRI	DATUM REFERENCE FRAME	SUAIAN FITUR-FITUR YANG BERPANGSANGAN
1	Dudukan <i>Box Arm</i>	Organisai 1	X	X	X
2	<i>Mold Wadah Oli</i>	Organisai 2	X	X	✓
3	<i>Gearbox Coal Feeder 1</i>	Organisai 3	X	X	X
4	<i>Turbine Cross Flow</i>	Organisasi 4	X	X	X
5	<i>Rotating Seat Haulmaster</i>	Organisasi 5	X	X	X

Catatan: x = Tidak ada  
✓ = Ada

Untuk mengatasi hal tersebut perlu dihadirkan suatu metoda berkaitan dengan pembuatan gambar mesin yang berorientasi fitur yang dapat mengintegrasikan kebutuhan desain, manufaktur, dan inspeksi. Suatu kasus yang telah dipilih untuk dipelajari dalam penelitian ini (**Gambar-1**), yang merupakan gambar mesin yang dibuat secara konvensional yang mengandung beberapa kesalahan berupa: tidak adanya fitur datum dan tidak adanya pengendalian fitur geometrik.



**Gambar-1:** Gambar mesin dibuat dengan metoda konvensional

Kesalahan tersebut megakibatkan terdapat keambiguan dalam menentukan fitur mana yang harus dijadikan referensi selama proses manufaktur dan inspeksi, sehingga komponen yang dibuat tidak dapat memenuhi fungsinya sebagai komponen dari suatu bangunan mesin.

Untuk memperbaikinya digunakan metodologi seperti yang ditunjukkan pada **Gambar-2**.

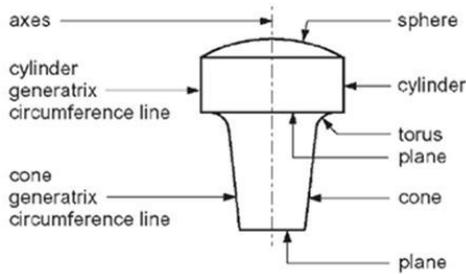


**Gambar-2:** Metodologi pemecahan masalah

### Identifikasi Fungsi dan *Design Intent* Berbasis Fitur

Definisi fitur berdasarkan ASME Y.145-2009 adalah: bagian fisik suatu komponen seperti permukaan, pena, lubang, atau alur, atau representasinya pada gambar, model, atau arsip digital [3]. Sedangkan berdasarkan ISO 14660-1 adalah: bagian spesifik suatu benda kerja, seperti sebuah titik, sebuah garis, atau sebuah permukaan, dan fitur tersebut dapat menjadi fitur integral (seperti permukaan suatu silinder) atau fitur turunan (seperti garis median atau permukaan median) [4].

Suatu fitur dibentuk melalui elemen geometri seperti ditunjukkan pada **Gambar-3**.



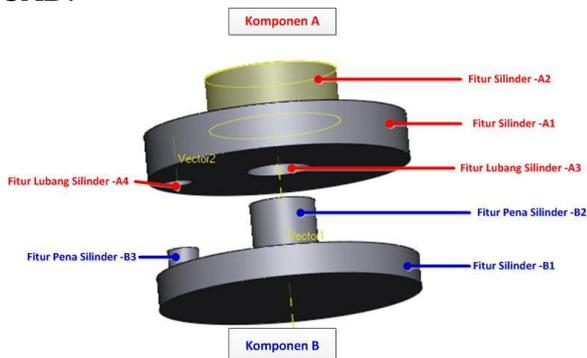
**Gambar-3:** Contoh elemen geometri [4]

Berdasarkan **Gambar-1**, diperoleh identifikasi fungsi dan *design intent* berupa:

- Fitur lubang diameter 25 [mm] berpasangan dengan fitur pena silinder diameter 24,85 [mm].
- Fitur lubang diameter 12 [mm] berpasangan dengan fitur pena silinder diameter 11,94 [mm].
- Fitur permukaan bawah komponen 1 akan mengalami kontak permukaan dengan fitur permukaan atas komponen 2.
- Jarak diantara dua fitur lubang silinder dan jarak diantara dua fitur pena silinder memungkinkan komponen dirakit, sehingga posisi diantara keduanya menjadi penting.
- Fitur lubang silinder 25 [mm] dan fitur pena silinder diameter 24,85 [mm] harus terletak lurus permukaan bidang rata.

### Membuat Gambar Mesin untuk Kebutuhan Desain Berbasis Fitur

Pembuatan gambar mesin diawali dengan pembuatan model 3D (**Gambar-4**) yang dilakukan menggunakan perangkat lunak CAD.

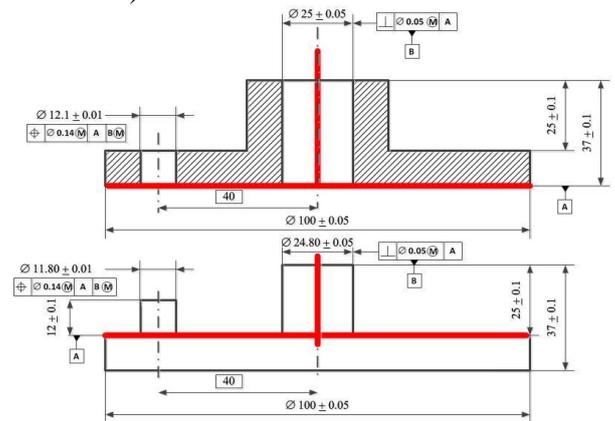


**Gambar-4:** Model 3D komponen

Komponen terdiri atas beberapa fitur yang digabungkan menggunakan teknik operasi

Boolean. Fitur solid primitif seperti silinder dihasilkan melalui penggambaran skets lingkaran kemudian dilakukan teknik operasi ekstrude.

Model 3D yang dihasilkan kemudian diterjemahkan menjadi model 2D (**Gambar Mesin**) sebagai bahasa komunikasi diantara bagian desain, manufaktur, dan inspeksi. Gambar tersebut memuat tata letak dan aturan umum, serta rincian tentang fungsi, pembuatan dan inspeksi, yang bersamaan membentuk spesifikasi teknik gambar mesin (**Gambar-5**).



**Gambar-5:** Gambar mesin untuk kebutuhan desain

Beberapa hal yang harus diperhatikan pada gambar mesin untuk kebutuhan desain berbasis feature adalah:

- *Pengendalian Dimensi Fitur*

Pada komponen berpasangan, dimensi suatu fitur dari suatu komponen terhadap fitur lain pada komponen pasangannya dapat memiliki hubungan berupa suaian longgar, atau suaian pas, atau suaian sesak. Suaian ditentukan berdasarkan fungsi komponen berpasangan tersebut. Sebagai salah satu contoh, untuk menghasilkan suaian sesak maka pasangan toleransi suaian adalah H7/p6 (H7 toleransi suaian untuk lubang dan batas toleransi suaian untuk poros dan batas toleransi berdasarkan dimensi nominal poros). Pemilihan jenis toleransi suaian umumnya telah ditabelkan berdasarkan jenis komponennya dan berdasarkan fungsi penggunaannya.

• *Pengendalian Fitur Geometrik*

Selain pengendalian terhadap dimensi, diperlukan juga pengendalian terhadap geometrik suatu fitur, baik secara individu ataupun yang berhubungan dengan fitur lainnya.

Pengendalian geometrik suatu fitur dilakukan terhadap bentuk, dan/atau orientasi, dan/atau posisi. Jenis dan simbol standar untuk pengendalian fitur dapat dilihat pada **Table-2**.

**Tabel-2:** Karakteristik geometric [1, 2, 3, 4, 5]

APPLICATION	TYPE OF TOLERANCE	CHARACTERISTIC	SYMBOL	SEE:
INDIVIDUAL FEATURES	FORM	STRAIGHTNESS	—	5.4.1
		FLATNESS	▭	5.4.2
		CIRCULARITY	○	5.4.3
		CYLINDRICITY	∕	5.4.4
INDIVIDUAL OR RELATED FEATURES	PROFILE	PROFILE OF A LINE	⌒	8.2.1.2
		PROFILE OF A SURFACE	⌒	8.2.1.1
RELATED FEATURES	ORIENTATION	ANGULARITY	∠	6.3.1
		PERPENDICULARITY	⊥	6.3.3
		PARALLELISM	∥	6.3.2
	LOCATION	POSITION **	⊕	7.2
		CONCENTRICITY	⊙	7.6.4
		SYMMETRY	≡	7.7.2
	RUNOUT	CIRCULAR RUNOUT	↗*	9.4.1
		TOTAL RUNOUT	↗**	9.4.2

\* Arrowheads may be filled or not filled \*\* May be related or unrelated 3.3.1

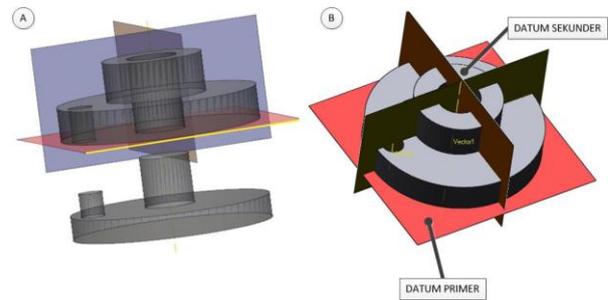
• *Pemilihan Fitur Datum dan Datum Reference Frame (DRF)*

Datum reference frame dibentuk melalui fitur datum yang akan membantu proses pembuatan fitur komponen berdasarkan identifikasi fungsi dan *design intent*, dan merupakan 3 bidang yang saling tegak lurus 90°. Selain itu akan menjaga derajat kebebasan komponen sebanyak 6 derajat kebebasan (3 buah translasi dan 3 buah rotasi).

Fitur permukaan bidang datar dan rata pada komponen A dipilih sebagai datum A karena fungsinya dan menyediakan kestabilan komponen yang lebih baik pada saat proses manufaktur dan proses inspeksi. Fitur ini akan membentuk bidang datum primer.

Fitur lubang silinder A3 dipilih sebagai datum B karena fungsi dan kestabilannya lebih besar dibandingkan dengan fitur lubang silinder A4. Kedua sumbu fitur silinder akan

membentuk bidang datar yang akan membentuk bidang datum sekunder.



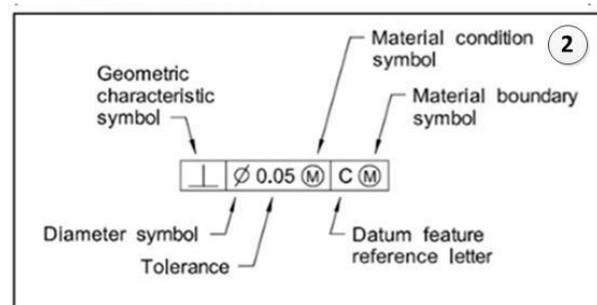
**Gambar-6:** Pemilihan fitur datum dan datum reference frame

Pada fase desain, DRF akan membantu dalam membuat fitur melalui teknik operasi solid seperti *extrude*, *rotate*, *loft*, dan *sweep*. Fitur yang dihasilkan akan secara otomatis memenuhi kaidah pengendalian geometrik seperti ketegaklurusan, kesejajaran, dan kesumbuan.

Pada fase manufaktur, DRF akan membantu dalam hal menentukan orientasi penekaman benda kerja, urutan pemrosesan, dan pemilihan alat potong. Hal yang membatasi besarnya toleransi geometri umumnya dikaitkan dengan ketelitian mesin perkakas yang digunakan.

Pada fase inspeksi, DRF akan membantu dalam hal menentukan orientasi pengukuran dan lintasan gerak probe, andai pengukuran dilakukan menggunakan mesin pengukur koordinat.

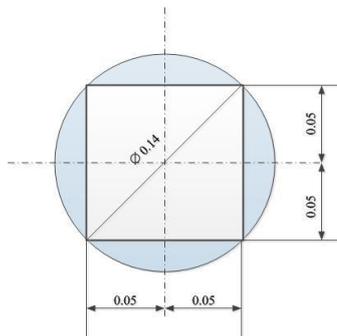
Pengendalian fitur geometrik ditunjukkan melalui kotak pengendali fitur (**Gambar-7**) berikut toleransi geometrinya, yang akan menentukan letak suatu datum berdasarkan zona toleransi atau batas yang dapat diterima.



**Gambar-7:** Kotak pengendali fitur [8]

- Mengubah toleransi posisi linier menjadi zona toleransi silinder

Toleransi posisi plus-minus 0.05 [mm] dapat diperbaiki dengan mengubahnya menjadi *basic dimension* yang memiliki toleransi geometrik posisi dengan zona toleransi silinder (**Gambar-8**) :



**Gambar-8:** Perubahan toleransi posisi

*Basic dimension* dan zona toleransi silinder akan memberikan rentang toleransi yang lebih besar dan sesuai untuk mengendalikan fitur berbentuk silinder.

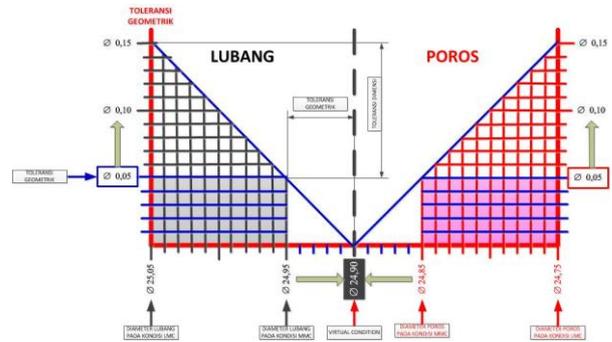
### Membuat Gambar Mesin untuk Kebutuhan Manufaktur Berbasis Fitur

Gambar mesin untuk kebutuhan manufaktur dibuat dengan tujuan bahwa produk dapat dibuat dengan mempertimbangkan mesin dan alat bantu lainnya yang dimiliki oleh suatu industri.

Kombinasi dari toleransi dimensi dan toleransi geometrik akan saling berinteraksi. Suatu pertanyaan akan timbul berupa sejauh manakah penyimpangan geometrik yang diakibatkan pada proses pembuatan akan berpengaruh terhadap fungsi komponen, andai seluruh ukuran pada produk dibuat pada batas toleransi yang diijinkan?

Untuk menjawab pertanyaan tersebut maka diperlukan suatu analisa untuk mengetahui hubungan diantara toleransi dimensi dan toleransi geometrik pada fitur yang akan dikendalikan. Pengaruh toleransi dimensi dan toleransi geometrik pada kondisi material

maksimum akan memberikan suatu kondisi yang disebut dengan *virtual condition*, dan akan memberikan bonus toleransi geometrik yang diakibatkan perubahan dimensi aktual suatu fitur. Hubungan tersebut dapat dilihat pada **Gambar-9** dan **Table-3**.



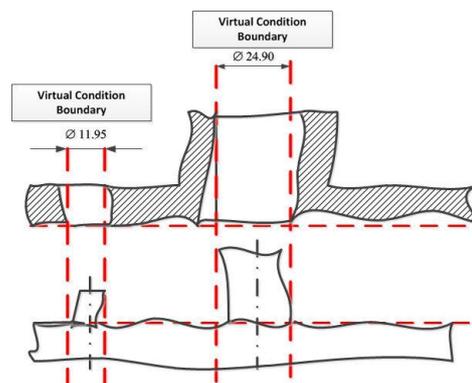
**Gambar-9:** Ilustrasi *virtual condition* [4, 5]

**Tabel-3:** Menghitung *virtual condition*

VIRTUAL CONDITION (Lubang&Poros Besar)			VIRTUAL CONDITION (Lubang&Poros Kecil)		
LUBANG	MMC	24.95 [mm]	LUBANG	MMC	11.95 [mm]
	T. Geometrik	0.05 [mm]		T. Geometrik	0.14 [mm]
	VC	24.90 [mm]		VC	11.95 [mm]
POROS	MMC	24.85 [mm]	POROS	MMC	11.80 [mm]
	T. Geometrik	0.05 [mm]		T. Geometrik	0.14 [mm]
	VC	24.90 [mm]		VC	11.95 [mm]

Secara fisik dikatakan bahwa kondisi virtual suatu fitur yang ditentukan pada batas kondisi material maksimum merupakan batasan konstan yang dihasilkan oleh sekumpulan pengaruh batas MMC pada ukuran fitur berikut toleransi geometrik yang dipersyaratkan bagi fitur tersebut.

Pada saat simbol MMC diterapkan pada suatu toleransi, maka akan diperoleh bonus toleransi yang ditambahkan terhadap toleransi geometrik (**Gambar-10**).



**Gambar-10:** *Virtual condition* pada komponen rakitan [6, 7]

Berdasarkan *virtual condition* yang diperoleh, maka rentang toleransi yang ada dapat dibagi untuk kebutuhan toleransi dimensi dan toleransi geometrik. Untuk kebutuhan manufaktur maka semakin besar toleransi dimensi akan semakin memudahkan operator untuk membuatnya.

Suatu upaya untuk mengoptimalkan toleransi dengan jalan membuat agar toleransi geometrik menjadi 0. Perlu dicatat bahwa toleransi geometrik menjadi 0 bukan berarti bahwa suatu fitur harus sempurna betul tanpa penyimpangan. Dan juga perlu dicatat bahwa dengan upaya yang dilakukan tidak akan mengubah batas *virtual condition* yang telah dihitung sebelumnya.

Dengan mengoptimalkan bahwa toleransi geometrik untuk ketegaklurusan dan posisi menjadi 0, maka akan diperoleh :

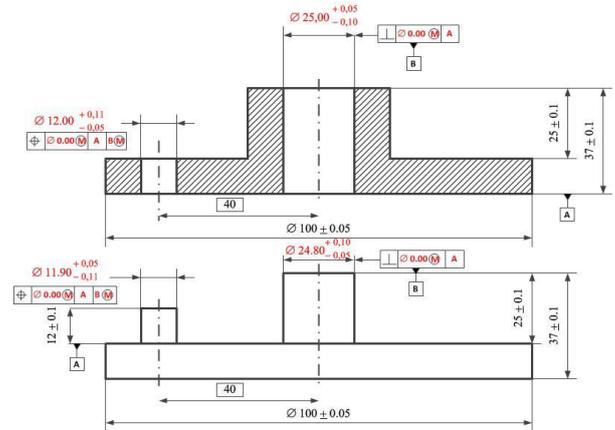
- Diameter lubang : 24.90 - 25.05 [mm]
- Diameter Poros : 24,75 - 24,90 [mm]
- Diameter lubang : 11.95 – 12,11 [mm]
- Diameter Poros : 11,79 – 11,95 [mm]

**Tabel-4: Optimasi Toleransi**

OPTIMASI TOLERANSI LUBANG / Ø 25 [mm]			
RENTANG TOLERANSI	TOLERANSI DIMENSI	TOLERANSI GEOMETRIK	TOLERANSI TOTAL
0.15	0.15	0.00	0.15
	0.10	0.05	0.15
	0.05	0.10	0.15
	0.00	0.05	0.05
OPTIMASI TOLERANSI POROS / Ø 24.8 [mm]			
RENTANG TOLERANSI	TOLERANSI DIMENSI	TOLERANSI GEOMETRIK	TOLERANSI TOTAL
0.15	0.15	0.00	0.15
	0.10	0.05	0.15
	0.05	0.10	0.15
	0.00	0.05	0.05
OPTIMASI TOLERANSI LUBANG / Ø 12.10 [mm]			
RENTANG TOLERANSI	TOLERANSI DIMENSI	TOLERANSI GEOMETRIK	TOLERANSI TOTAL
0.16	0.16	0.00	0.16
	0.12	0.04	0.16
	0.08	0.08	0.16
	0.04	0.12	0.16
	0.00	0.16	0.16
OPTIMASI TOLERANSI POROS / Ø 11.8 [mm]			
RENTANG TOLERANSI	TOLERANSI DIMENSI	TOLERANSI GEOMETRIK	TOLERANSI TOTAL
0.16	0.16	0.00	0.16
	0.12	0.04	0.16
	0.08	0.08	0.16
	0.04	0.12	0.16
	0.00	0.16	0.16

Berdasarkan optimasi toleransi yang dilakukan, maka gambar mesin untuk

kebutuhan manufaktur diubah seperti ditunjukkan pada **Gambar-11**.



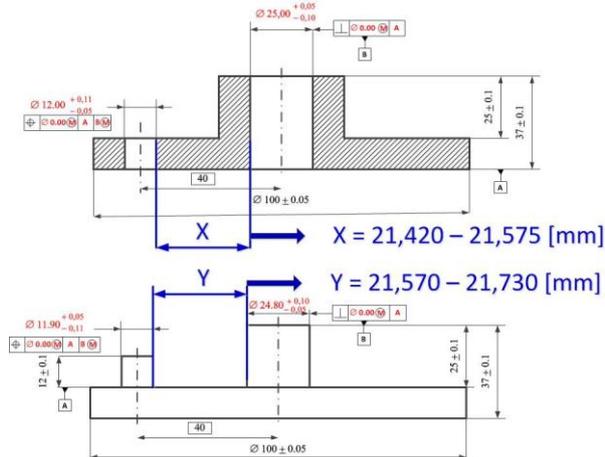
**Gambar-11: Gambar mesin untuk kebutuhan manufaktur**

### Membuat Gambar Mesin untuk Kebutuhan Inspeksi Berbasis Fitur

Untuk mempermudah pengukuran pada saat inspeksi dilakukan, maka beberapa penunjukkan ukuran tambahan diberikan untuk memudahkan operator dalam melakukan inspeksi tanpa disibukkan dengan penghitungan yang dilakukan secara manual.

Sebagai salah satu contoh adalah pada saat melakukan pengukuran jarak fitur A3&A4, dan B2&B3. Beberapa ukuran ditambahkan untuk mengetahui jarak minimum dan maksimum diantara fitur.

Jarak minimum diantara fitur lubang silinder komponen A merupakan basic dimension – LMC fitur lubang silinder A3 – LMC fitur lubang silinder A4.



**Gambar-12:** Gambar mesin untuk kebutuhan inspeksi berbasis fitur

## Kesimpulan

Berdasarkan studi kasus yang telah dipaparkan, diperoleh kesimpulan berikut :

1. Pengendalian toleransi dimensi fitur dan toleransi geometrik fitur akan mengintegrasikan kebutuhan gambar mesin untuk menghindari keambiguan pada saat desain, manufaktur, dan inspeksi dilakukan.
2. Analisa dan optimasi toleransi berdasarkan fungsi dari komponen yang akan dibuat dengan mempertimbangkan fungsi rakitannya, perlu dilakukan untuk memperlebar rentang toleransi pada saat proses manufaktur, yang disesuaikan dengan mesin yang dimiliki oleh suatu industri.
3. Dengan menerapkan prinsip MMC akan memungkinkan toleransi dimensi dan toleransi geometrik dioptimalkan berdasarkan *virtual condition* yang ada. Proses optimasi untuk kebutuhan manufaktur dapat menjadikan toleransi dimensi menjadi lebih besar sehingga akan mempermudah proses pembuatannya, dan disesuaikan dengan ketelitian mesin perkakas yang dimiliki oleh suatu industri.
4. Penambahan penunjukkan ukuran pada gambar mesin untuk kebutuhan inspeksi akan membantu operator inspeksi dalam melakukan pengukuran (tidak dibutuhkan perhitungan yang dilakukan oleh operator inspeksi).

5. Gambar mesin sebagai bahasa komunikasi akan mengintegrasikan maksud dan tujuan desain berdasarkan tuntutan fungsi yang ada. Dan untuk menghindari keambiguan maka dibuat gambar mesin untuk tujuan desain, manufaktur, dan inspeksi, dengan tujuan yang sama, dan dapat dibuat dengan mudah melalui layer yang berbeda pada perangkat lunak CAD.
6. Penelitian kedepannya dapat dititikberatkan kepada pembuatan perangkat lunak untuk mengoptimalkan toleransi dimensi dan geometrik sehingga mempermudah penghitungan dan ilustrasinya untuk diterjemahkan menjadi gambar mesin untuk kebutuhan desain, manufaktur, dan inspeksi dengan lebih tepat dan cepat sesuai dengan fasilitas yang dimiliki oleh industry.

## Referensi Literatur

- [1] The American Society of Mechanical Engineers, ASME Y14.5-2009, Dimensioning and Tolerancing, New York, 2009.
- [2] International Standard Organization, ISO 110-2004, Geometrical Product Specifications (GPS) - Geometrical Tolerance of form, orientation, location, and run-out, Switzerland, 2004.
- [3] Gene R. Cogorno, Geometric Dimensioning and Tolerancing for Mechanical Design, McGraw Hill, New York, 2006.
- [4] G. Henzold, Geometrical Dimensioning and Tolerancing for Design, Manufacturing, and Inspection, Second Edition, Elsevier, United Kingdom, 2006.
- [5] Michael R. McCaleb, A Conceptual Data Model of Datum System, Journal of Research of The National Institute of Standard and Technology, Volume 104, 1999.
- [6] P.J. Drake Jr., Dimensioning and Tolerancing Handbook, McGraw Hill, New York, 1999.
- [7] Rudiger Hochmuth, Harald Meerkamm, Willy Schweiger, An Approach to A General View on Tolerances in Mechanical Engineering, Germany