

PEMBUATAN KOMPONEN AEROSPACE Al 6082-T6511 DENGAN METODE ONE STOP MACHINING MENGGUNAKAN MESIN CNC MULTITASKING

THE MAKING OF Al 6082-T6511 AEROSPACE COMPONENTS THROUGH ONE STOP MACHINING METHOD USING THE MULTITASKING CNC MACHINE

Gunawan Refiadi

Program Studi Pendidikan Teknik Mesin STKIP Sebelas April, Jl Angrek Situ No. 19 Sumedang
Email: g4refiadi@gmail.com

Diterima: 29 Oktober 2014

Direvisi: 12 November 2014

Disetujui: 16 Desember 2014

ABSTRAK

Metode *One Stop Machining* memiliki keunggulan dalam hal kecepatan proses yang optimum diikuti pencapaian karakteristik geometrik yang baik. Penelitian ini bertujuan membuktikan keunggulan metode tersebut melalui pembuatan komponen *aerospace* berbahan Al 6082-T6511. Dengan menganalisa *process plan*, mengawal proses permesinan, dan melakukan analisis statistik terhadap karakteristik geometrik produk, diketahui bahwa metode *one stop machining* dapat dilakukan pada mesin CNC *multitasking*. Adapun proses-proses yang dapat dilakukan secara simultan pada mesin ini meliputi *facing*, *drilling*, *counter boring*, *turning*, dan *cutting*. Karakteristik geometrik produk yang dihasilkan memenuhi kategori GO. Dan secara statistik berada dalam jangkauan toleransi disain produk komponen *aerospace* dengan selang kepercayaan 99,8%.

Kata kunci: karakteristik geometrik, CNC *multitasking*, *one stop machining*, kategori GO

ABSTRACT

One Stop Machining method has advantages in terms of speed optimum process followed by the geometric characteristics of a good achievement. This study aims to prove the superiority of the method through the manufacture of aerospace components based on Al 6082 - T6511. By analyzing the process plan, oversee the machining process, and perform statistical analysis on the geometric characteristics of the product, it is known that one stop machining method can be performed on multitasking CNC machine. The processes can be performed simultaneously on this machine includes facing, drilling, counter boring, turning, and cutting. The resulting geometric characteristics meet GO categories. And they are statistically within the tolerance range of products aerospace component design with 99.8 % confidence interval.

Keywords: *geometric characteristics, CNC multitasking, one stop machining, GO category*

PENDAHULUAN

Aluminium (Al) merupakan logam terbanyak kedua setelah besi (Fe). Definisi Al menurut *Aluminum Standard and Data* dapat berupa Al-murni komersil, Al-alloys, *strain-hardenable*, *heat treatable*, *wrought* (tempa), *cast* (coran), dan *specification limits and Test Direction* [1]. Kodifikasi Al mengacu kepada sistem yang dibuat oleh *The Technical Committee on Product Standards of the Aluminum Association* mengikuti standar ANSI-H35.1 [2]. Dalam bentuk *wrought* dan *cast*-nya,

Al-alloys dikenali dari empat digitnya. Seri 6082 misalnya, adalah *wrought-alloys* dengan angka 6 menunjukkan unsur paduan utamanya Mg dan Si yang membentuk senyawa *magnesium silicide*, Mg₂Si. Angka 0 menunjukkan komposisi orisinal. Angka 82 mengindikasikan spek paduan khusus. Seri A224.0 adalah *cast-alloys*. Huruf A menunjukkan modifikasi paduan awal atau batas *impurity*. Angka 2 berarti unsur Cu sebagai paduan utama dan angka 24 sebagai paduan khususnya. Digit keempat 0 menunjukkan hasil *castings* [2].

Selain huruf dan digit utama, paduan Al *wrought* dan *cast* dikenali dari huruf dan digit perlakuannya. Misalnya T6511, huruf T berarti paduan diberi perlakuan panas untuk mendapatkan struktur *temper* yang lebih stabil daripada kondisi *as-fabricated F*, *annealed O*, dan *stain hardened H*. Angka 6 – *solution treatment* diikuti *artificially aged*. Angka 511 adalah *stress relieving* dengan permanen set 1-3% *stretching* pada produk ekstrusi diikuti *straightening* untuk memenuhi standar toleransi. Jika digit terakhir nol (510), maka *stress relieve* hanya berupa *stretching* saja [2].

Industri *aerospace* menuntut ketersediaan metal Al kekuatan tinggi untuk dapat diaplikasikan pada jenis-jenis pesawat; helikopter, jet, ruang angkasa, dan militer [3]. Airbus A320 menggunakan sekitar 80% metal Al paduan [4]. Logam Al memiliki bobot yang ringan dan sifat mekanik spesifik yang tinggi. Struktur logam Al juga mampu beradaptasi dengan perbedaan kondisi temperatur operasional yang ekstrim, dan karenanya, Al dipakai pada berbagai komponen *aerospace* misalnya; *inlet nacelle*, *fuselage skin*, *tail cone*, *floor beams*, *winglets*, *seat tracks*, *door parts*, *bulk head*, *frame*, *ribs*, dan *stringer* [4].

Komponen *aerospace* mendukung kinerja elemen mesin pesawat terbang. Untuk menghasilkan produk yang berfungsi sesuai kebutuhan diperlukan kesamaan bahasa antara disainer, produsen, dan konsumen yaitu karakteristik geometrik berupa dimensi, geometri, posisi, dan kekasaran permukaan [5]. Media komunikasi yang dimengerti ketiga pihak tadi adalah gambar mesin. Karakteristik geometrik dicapai jika dua hal dipenuhi. *pertama*, penentuan batas toleransi dan *kedua*, pengawalan proses produksi.

Sebuah *process plan* [6] menjabarkan bagaimana sebuah produk akan dibuat seefisien mungkin melalui pemilihan proses, perkakas, termasuk pemilihan mesin. Metode *one stop machining* memungkinkan gabungan proses pemesinan berbeda pada satu mesin. Syaratnya, mesin harus memiliki kapasitas *multitasking* sehingga mampu mencapai:

1. Penghematan siklus waktu komponen melalui pengurangan waktu seting mesin dan seting pahat potong, dan
2. Peningkatan efisiensi proses pengerjaan sehingga diperoleh laju produksi massa yang tinggi.

Untuk dapat mempelajari *process plan*, metode *one stop machining*, dan karakteristik

geometrik produk yang dihasilkan, maka dilakukanlah suatu studi lapangan dalam bentuk penelitian kecil dengan judul *Pembuatan Komponen Aerospace Al 6082-T6511 dengan Metode One Stop Machining Menggunakan CNC Multitasking*.

Studi ini dilakukan sebagai salah satu upaya pelaksanaan pengabdian masyarakat secara aktif di dalam sebuah tim BUMN untuk melakukan verifikasi proses pemesinan pada sebuah industri manufaktur komponen *aerospace*. Hasil yang diharapkan adalah tersampainya informasi perkembangan proses pemesinan di dunia industri baik kepada masyarakat maupun dan pengayaan khasanah ilmu pengetahuan dan teknologi bagi dunia pendidikan tinggi di Indonesia.

BAHAN DAN METODE

Bahan komponen *aerospace* yang dipakai adalah Al 6082-T6511. Komposisi kimia dan sifat mekanik metal dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2. Penelitian dilakukan di satu industri pembuat komponen *aerospace* (komponen) di Indonesia.

Tabel 1. Komposisi Kimia Al 6082-T6511

Unsur	%	Unsur	%
Mn	0,40-1,00	Si	0,70-1,30
Mg	0,50-1,20	Cu	0,00-0,10
Fe	0,00-0,50	Cr	0,00-0,25
Ni	0,00-0,10	Pb	0,00-0,05

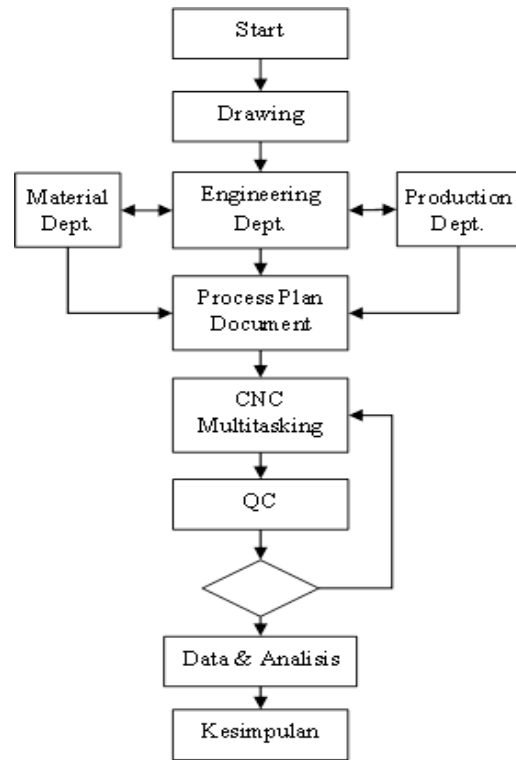
Tabel 2. Sifat Mekanik Al 6082-T6511

Kekuatan Tarik (MPa)	0,2% Proof Stress	Elongation (%)
340	310	11

Metodologi penelitian yang dipakai; yuridis normatif dan deskriptif analisis. Diagram alir (Gambar 1) memperlihatkan pekerjaan, dimulai dengan menerima gambar teknik produk dari *customer* (Gambar 2). Setelah proses komunikasi antara tiga departemen; *engineering*, *metal*, dan *produksi* dihasilkanlah dokumen *process plan* yang diantaranya memilih jenis mesin CNC *multitasking* untuk melaksanakan produksi.

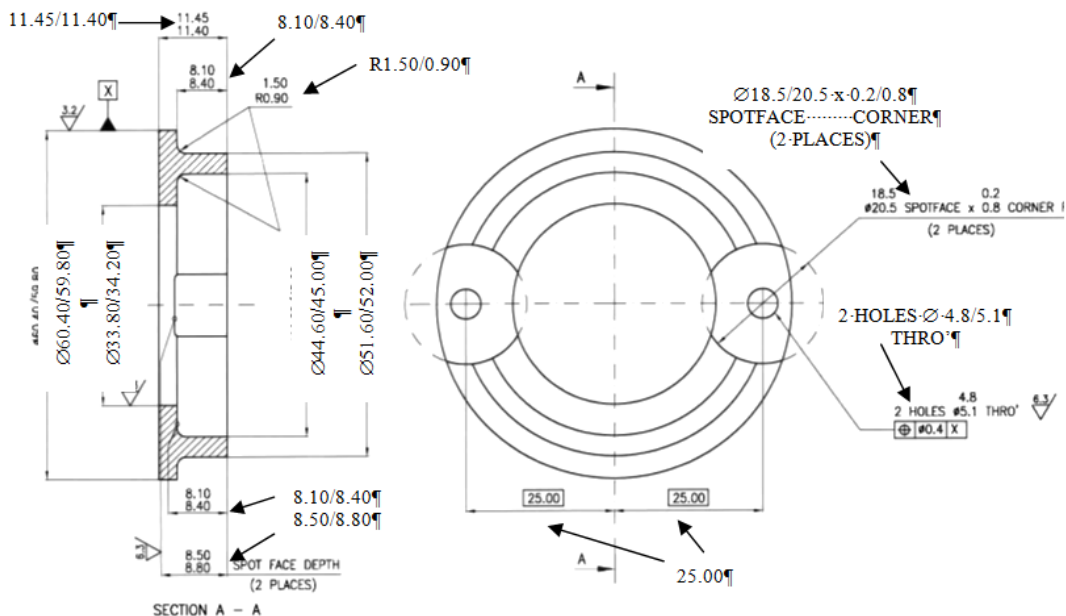
Process plan menuntun tahapan proses manufaktur mulai dari verifikasi stok metal, urutan proses pemesinan, program komputer, jenis mesin CNC yang dipakai, proses inspeksi, perlakuan permukaan, hingga proses pengemasan produk sesuai standar ekspor. Dengan *process plan* ditentukan bagaimana suatu disain produk ditransformasi menjadi produk dengan menggunakan sumberdaya manufaktur secara ekonomis. Artinya *process plan* menjembatani antara merancang produk dan membuat produk.

Faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihan proses adalah jumlah produk, metal, kehalusan permukaan, dan toleransi [4]. Pengambilan data diawali dengan pengecekan dokumen dan pemeriksaan fisik metal di order.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Tabel 3 menunjukkan tahapan proses pembuatan komponen mulai dari pemotongan metal dan pelaksanaan inspeksi produk dapat dilihat pada Tabel 4.



Gambar 2. Spesifikasi Geometrik Komponen

Tabel 3. Dokumen Metal Komponen

Description	Data
Order No.	608252
Part Number	1776-4022/1
Metal Spec.	L111-6082/T6511/D63.5
Part Description	KOMPONEN AEROSPACE
Customer	SHAFTMORELAND
Order Qty	30 buah
Stock Length	6,04 m
BOM Length	0,534 m
Type of Matl.	Aluminum
Supplier	Thyssen
Cast Number	R1274
Certificate Data	E48125
Test Piece	NO

Identifikasi *process plan* pada Tabel 4 diwakili dengan *syntax* (no.operasi-kode operasi). Proses 10-SA melaksanakan tahapan pemotongan metal sesuai kapasitas panjang mesin CNC Quick Turning 200-II MY. Proses *machining* secara simultan (20-MZM3) dilakukan hanya dengan satu mesin atau *one stop machine process*.

Tabel 4. *Process Plan* Pembuatan Komponen

No	Kode	Jenis Operasi/Pekerjaan
10	SA	Mesin : <i>Everising</i> Pemotongan metal
20	MZM3	Mesin : CNC 200 MY Proses : <i>facing, turning drilling (c/bore), spotface, c/drill (2 hole) part off</i> <i>Prog. Number : p100703</i>
40	BWI	<i>Debur and part mark acc. To t.i. 52/4</i>
45	QA	Check dimensions
60	FUI	<i>Flaw detect unstressed component acc. To t.i. 3/45</i>
90	FI	<i>Final inspection Visual check Packaging instruction: (23-15-03)</i> - <i>Put component in plastic bag</i> - <i>Put plastic bag in standard box</i>

Jumlah komponen dibuat sebanyak 30 buah dan diperiksa secara visual. Kemudian 10% dari jumlah produk diuji kualitas geometriknnya (45-QA) menggunakan alat ukur langsung maupun tak langsung. Alat dan objek ukur dilihat pada Tabel 5. Pengukuran diulang sebanyak 10x untuk setiap contoh produk. Khusus untuk dimensi *spotface depth* (8,5/8,8 mm) pengukuran dilakukan dengan perbandingan 1:5. Artinya dari 3 buah produk yang diukur 10x, data yang diberikan untuk dimensi *spotface depth* hanya 6 data.

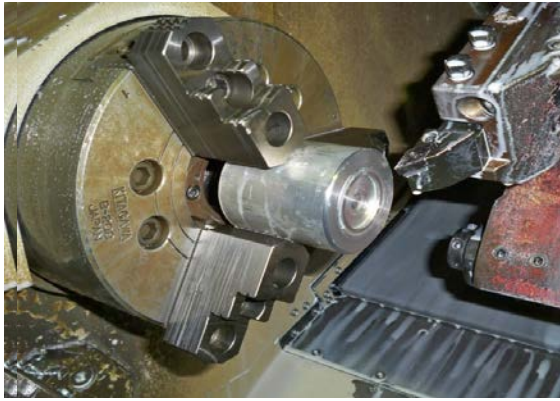
Tabel 5. Alat dan Dimensi pada Proses 45-QA

Alat Ukur	Dimensi	Objek
<i>Heigt gauge</i>	8,5/8,8	<i>Spotface depth</i> (2 buah)
	8,1/8,4	<i>Outer Base depth</i>
	11,45/11,4	<i>Height</i>
	8,1/8,4	<i>Inner Base depth</i>
<i>Vernier caliper</i>	Ø33,8/34,2	Dia. Lubang
	Ø 51,6/52	tengah
	Ø 44,6/45	Dia. Lingk luar
	Ø 60/59,8	Dia. Lingk dalam
		Dia. Produk
<i>Block Gauge</i>	Ø4,8/5,1	<i>Dia.Center Spotface</i>
<i>CMM</i>	<i>Position</i> Ø0,4 to X	<i>Eccentricity to the datum X</i>

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum mesin melaksanakan proses, secara manual operator melakukan setting posisi nol pahat terhadap benda kerja. Kemudian operator melakukan reset program CNC terhadap posisi nol pahat. Pada posisi nol reset inilah pahat mengikuti perintah program CNC *P100703* untuk melakukan proses *metal removal* hingga menghasilkan produk akhir yang diinginkan. Dokumentasi proses *one stop machining* pada mesin CNC *multitasking* dilihat mulai dari Gambar 3 sampai dengan Gambar 10.

Pertama kali pahat menyentuh permukaan metal ditujukan untuk membentuk datum acuan yang tegak lurus terhadap sumbu benda kerja. Proses ini disebut *facing* (Gambar 3). Selanjutnya pahat melakukan dua tahap proses *turning* sepanjang 11,45 mm dengan kedalaman 0,75 mm tujuannya untuk memperoleh ukuran diameter luar komponen.



Gambar 3. Posisi Pahat Sesaat sebelum Melakukan Proses Facing dan Turning pada Benda Kerja

Gambar 4 memperlihatkan adanya perubahan bentuk benda kerja sebelum dan setelah turning berupa perbedaan diameter. Kemudian mesin menjalankan program penggantian jenis perkakas dari pahat menjadi bor dan memposisikan bor untuk melaksanakan proses kedua, yaitu dua tahap proses drilling-roughing dan finishing.



Gambar 4. Benda Kerja Hasil Dua Tahap Turning dan Posisi Pahat Siap Melakukan Proses Drilling

Gambar 5 memperlihatkan hasil proses drilling memakai bor berdiameter 20 mm (Gambar 5) berupa bagian menjorok ke dalam berdiameter 44 mm di bagian tengah benda kerja. Ukuran diameter yang lebih besar ini dikarenakan mesin memiliki fasilitas gerak vertikal sepanjang sumbu Y mesin, sehingga bor 20 mm pada koordinat center dapat digerakkan sepanjang sumbu Y untuk menghasilkan diameter 44 mm. Selanjutnya, mesin mengganti perkakas

dari bor 20 mm menjadi bor 18 mm untuk persiapan proses spotfacing.



Gambar 5. Hasil Proses Center Drill (dia. 44 mm) yang Dibentuk oleh Bor 20 mm dan Posisi Bor 18 mm untuk Persiapan Proses Spotfacing

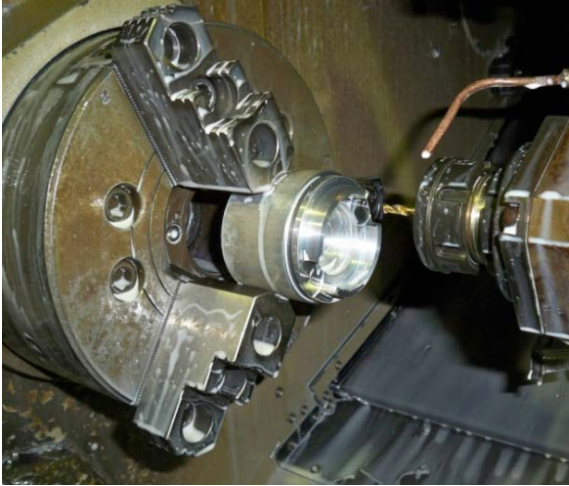
Proses spotfacing dilakukan dua tahap (pengkasaran dan penghalusan) pada dua posisi berbeda, masing-masing 25,00 mm dari di pusat sumbu benda kerja (Gambar 2). Hasil spotfacing ditunjukkan pada Gambar 6 dimana benda kerja tetap dipegang oleh chuck mesin turning, sementara proses dilakukan dengan metode milling.



Gambar 6. Benda Kerja Hasil Spotfacing pada Dua Posisi Spot 25 mm dari Pusat Sumbu Mesin Turning. Pada Proses ini Diperlihatkan Kemampuan Mesin CNC multitasking

Kemampuan mesin multitasking diperlihatkan pada proses spotfacing ini. Perpindahan pahat dari pusat sumbu dan proses spotfacing hanya dapat dilakukan oleh mesin milling konvensional, di mana perkakas harus mampu berputar dan melakukan perpindahan sedangkan benda kerja pada posisi fix di koordinat O (0,0).

Setelah proses *spotfacing* selesai, program menjalankan tahap penggantian ukuran diameter pahat (dari 18 mm menjadi 4,5 mm) untuk melaksanakan proses *center drilling* yaitu tepat di kedua posisi sumbu *spotface*. Posisi pahat sebelum melakukan *center drilling* dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Posisi Pahat sebelum Melakukan Proses *Center Drilling* pada Jarak masing-masing 25 mm dari Pusat Sumbu Mesin *Turning*

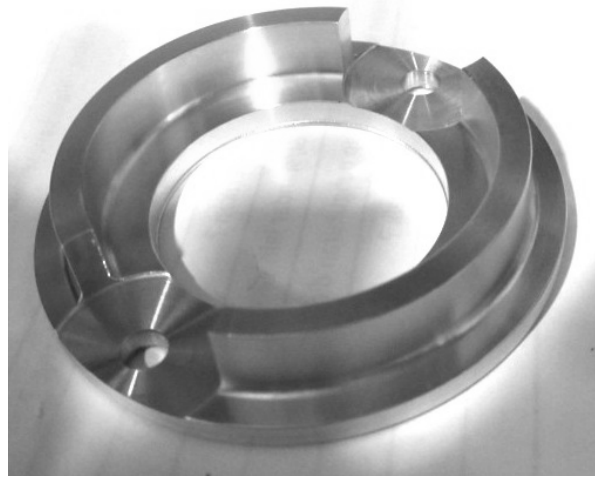
Center drilling adalah proses terakhir sebelum program menjalankan *cutting off* yaitu pemisahan produk komponen *aerospace* dari benda kerja. Siklus proses *one stop machining* rata-rata untuk tiap produk adalah 4,35 menit. Waktu sesingkat ini diperoleh dari hasil penghematan proses yang secara konvensional biasanya dilakukan pada mesin lain. Menurut McCarthy [10] penghematan waktu setting yang dapat dicapai untuk setiap pahat adalah dari 5 menit menjadi kurang dari 1 menit (sekitar 4 menit). Menurut Zhang Fen [7] dengan CNC *multitasking* proses tersebut menjadi hilang karena tahapan proses *turning* dan *milling* berikut dilakukan secara simultan pada satu mesin saja, yaitu:

- a) *Setting* pahat,
- b) Bongkar-pasang benda kerja
- c) *Setting* program & reset posisi nol pahat

Selain penghematan waktu di atas, proses dengan CNC *multitasking* dapat menaikkan efisiensi pemakaian metal karena perhitungan volume didasarkan pada siklus proses tunggal (satu kali *setting*) [8].

Produk akhir komponen hasil CNC *multitasking* diperlihatkan pada Gambar 8, dengan spesifikasi sebagai berikut:

1. Berat : 25,0 gram
2. Panjang : 11,440 mm
3. Diameter : 60,400 mm
4. Metal : AlMgSi-Al6082-T6511



Gambar 8. Produk Akhir Komponen *Aerospace* Hasil CNC *Multitasking*

Pengukuran diameter lubang center *spotface* menggunakan *Block Gauge* hanya menghasilkan data GO/NO GO dan bukan merupakan data angka seperti pengukuran menggunakan *height gauge* maupun *vernier caliper* [5]. Demikian pula untuk pemeriksaan visual, data yang dihasilkan bersifat kualitatif. Data CMM (*computer measuring machine*) untuk pengukuran eksentrisitas tidak ditampilkan atas permintaan perusahaan.

Hasil pemeriksaan visual dari 3 buah sample produk komponen *aerospace* (10% dari 30 buah produk) memberikan kategori BAIK. Dengan hasil ini kontrol kualitas dilanjutkan ke tahap pengukuran dimensi komponen. Hasil pengukuran dimensi menggunakan alat ukur *Height Gauge* dan *Vernier Caliper*, masing-masing ditampilkan pada Tabel 6 dan Tabel 7.

Dari hasil perhitungan statistik dengan jumlah 3 sampel ($\alpha_n = 1,693$) [9] serta selang kepercayaan 99,8% diperoleh batas bawah = 5,238 dan batas atas = 11,298 untuk dimensi *base depth outer*.

Tabel 6. Data Hasil Pengukuran *Height Gauge*

Alat Ukur : HEIGHT GAUGE					
Dimensi : 8,1/8,4 mm (Outer)					
No	1	2	3	4	5
I	8,27	8,27	8,27	8,27	8,27
	8,26	8,27	8,27	8,27	8,27
II	8,26	8,26	8,26	8,26	8,26
	8,26	8,26	8,26	8,26	8,26
III	8,28	8,28	8,28	8,28	8,28
	8,27	8,27	8,27	8,27	8,27

Dimensi : 8,1/8,4 (Inner)					
No	1	2	3	4	5
I	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25
	8,26	8,25	8,25	8,25	8,25
II	8,26	8,26	8,26	8,26	8,26
	8,26	8,26	8,26	8,26	8,26
III	8,26	8,26	8,26	8,26	8,26
	8,26	8,26	8,26	8,26	8,26

Dimensi : 11,45/11,40					
No	1	2	3	4	5
I	11,43	11,43	11,43	11,43	11,43
	11,43	11,43	11,43	11,43	11,44
II	11,44	11,44	11,44	11,44	11,44
	11,44	11,44	11,44	11,44	11,44
III	11,44	11,44	11,44	11,44	11,44
	11,44	11,44	11,44	11,44	11,44

(8.1/8.4 mm). Berdasarkan hasil ini dapat dikatakan bahwa seluruh ukuran produk (rata-rata = 8,268) berada di dalam jangkauan toleransi. Untuk dimensi *base depth inner* batas bawahnya = 5,227 dan batas atas = 11,287. Disimpulkan bahwa seluruh ukuran produk dengan rata-rata = 8,257 berada di dalam jangkauan toleransi.

Selanjutnya untuk dimensi tinggi komponen, dengan cara yang sama diperoleh batas atas dan batas bawah masing-masing adalah 8,407 dan 14,467 sedangkan rata-ratanya = 11,437. Sehingga disimpulkan bahwa dimensi tinggi komponen *aerospace* masih berada di jangkauan toleransi.

Untuk dimensi $\varnothing 33,8/34,20$ mm (*inner diameter* dasar piston rod), harga batas atas dan batas bawah tidak ditemukan karena keseluruhan data dari 3 *contoh* dengan masing-masing 10x pengukuran menunjukkan harga yang sama yaitu 34,00 mm. Kesimpulan untuk dimensi ini tidak didasarkan pada hasil statistik tetapi cukup

didasarkan atas harga toleransi ukuran saja. Artinya ukuran rata-rata data 34 masih berada di daerah jangkauan toleransi ukuran 33,80–34,20 mm.

Tabel 7. Data Hasil Pengukuran *Vernier Caliper*

Alat Ukur : VERNIER CALIPER					
Dimensi : $\varnothing 33,8/34,20$ mm					
No	1	2	3	4	5
I	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0
	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0
II	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0
	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0
III	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0
	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0

Dimensi : $\varnothing 51,6/52$ mm					
No	1	2	3	4	5
I	51,78	51,78	51,78	51,78	51,78
	51,78	51,78	51,78	51,78	51,80
II	51,80	51,80	51,80	51,80	51,80
	51,80	51,0	51,80	51,80	51,80
III	51,80	51,80	51,80	51,80	51,80
	51,80	51,80	51,80	51,80	51,80

Terakhir, ukuran diameter luar badan piston rod ($\varnothing 51,60/52,00$) memberikan harga batas atas dan batas bawah masing-masing sebesar 48,764 mm dan 54,824 mm dengan harga rata-rata 51,794. Dengan demikian disimpulkan bahwa dimensi badan piston berada di daerah jangkauan toleransi.

KESIMPULAN

Setelah melakukan penelusuran dokumen *process plan*, mengikuti proses pembuatan, dan menganalisis data hasil pengukuran komponen *aerospace*, maka disimpulkan beberapa hal berikut:

1. Pembuatan komponen *aerospace* metode *one stop machining* telah berhasil dilakukan pada mesin CNC *multitasking* 200-II MY dengan kemampuannya mampu melakukan proses pemesinan *turning* dan *milling* secara simultan.
2. *Process plan* untuk menghasilkan komponen yang terdiri atas rangkaian proses *facing*, *drilling*, *counter boring*, *turning*, dan *cutting* dan pemilihan mesin CNC

multitasking telah mampu menghasilkan siklus proses komponen yang cukup singkat, yaitu selama 4,35 menit/produk.

3. Hasil evaluasi visual terhadap 10% produk komponen *aerospace* (3 buah) tidak ditemukan cacat produk. Hasil pemeriksaan dengan *blok gauge*, ukuran diameter lubang spotface (\varnothing 4,8/5,1 mm) kesemuanya dikategorikan GO. Dimensi *inner base* diameter komponen *aerospace* memberikan keseragaman data yang cukup (34,00 mm) berdasarkan harga toleransi disain (33,8 - 34,20). Dimensi kedalaman badan (*inner* dan *outer*), pengukuran tinggi badan, dan diameter luar badan komponen *aerospace* memberikan hasil statistik yang berada di daerah jangkauan toleransi dengan selang kepercayaan 99,8%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Direktur PT. GOODRICH Pindad Aeronautical Systems Indonesia, Kepala Balai Besar Bahan dan Barang Teknik (B4T) Bandung, yang telah memberikan kesempatan dan bantuannya dalam penerbitan tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kaufman, J.G., 2000, *Introduction to Aluminum Alloys & Tempers*, ASM International, USA.
- [2] ASM Handbook Vol-2, 2003, *Properties and Selection: Non-Ferrous & Special-Purpose Metals*, The Metals Information Company, USA.
- [3] Anonim, 2012, "Aerospace and High Strength", <http://www.kaiseraluminum.com/markets-we-serve/aerospace/>, diakses 30 September 2014.
- [4] Aluminium, 2012, "Aluminium Remains the Number One Metal in Aircraft Construction", <http://blog.aluminiummess.com/aluminium-remains-the-number-one-metal-inaircraft-construction/182>, diakses 30 September 2014.
- [5] Taufik Rochim, 2006, *Spesifikasi, Metrologi, dan Kontrol Kualitas Geometrik*, Jilid 1 dan 2, Penerbit ITB, Bandung.
- [6] Anonim, 2012, "Process Planning in Manufacturing Systems", <http://www.engr.sjsu.edu/sobi/Process%20Planning.html>, diakses 30 September 2014.
- [7] Zhang Fen, 2009, "A System of Rapid Process Planning for Machining Features", AISC proceedings, 1454-1462.
- [8] MIT, "Shaft Process Plan", <http://web.mit.edu/snively/Public/Print/SHAFT%20Process%20Plan.pdf>, diakses 30 September 2014.
- [9] Montgomery, 2002, *Design and Analysis of Experiments*, John Wiley and Sons, New York, USA.
- [10] McCarthy, 2006, "Increase Production with Setup Reduction", <http://www.productionmachining.com/columns/increase-production-with-setup-reduction>, diakses 30 September 2014.