

# Perkakas bantu standar untuk pemesinan komponen prismatic pada Machining Center: solusi teknologi pemesinan yang berorientasi job-shop

Agus Sutanto<sup>1,\*</sup>, Nilda Tri Putri<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Program Profesi Insinyur, Pasca Sarjana Universitas Andalas, Padang, SUMBAR

Email: [agussutanto@eng.unand.ac.id](mailto:agussutanto@eng.unand.ac.id) (korespondensi)

Dari beberapa penelitian mengenai efektivitas waktu pemesinan menyebutkan sangat besar waktu terbuang untuk kegiatan yang tidak melakukan proses pemotongan (*non-added value*). Dilain pihak kecenderungan industri manufaktur sekarang ini berorientasi pada *job-shop* dengan karakteristik volume produksi kecil dengan keragaman yang tinggi. Kontradiksi ini menjadi tantangan yang besar bagi perencana produksi untuk menentukan solusi yang realistis dan secara teknis dan sangat memungkinkan untuk diterapkan, terutama pada pemesinan komponen prismatic pada *Machining Center*.

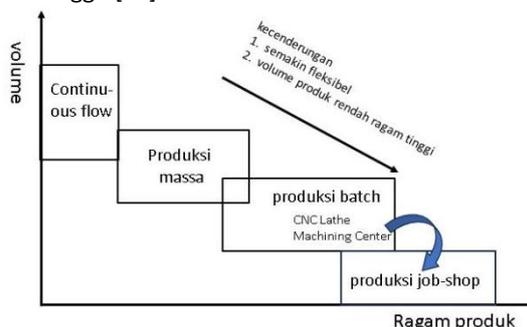
Salah satu metode untuk merealisasikan teknologi fabrikasi yang masih layak secara ekonomis dan teknis untuk produk dengan karakteristik jumlah sedikit dan ragam produk banyak adalah dengan cara menyederhanakan dan bila mungkin mengeliminasi proses persiapan (*setup*) yang harus dilakukan pada mesin perkakas sehingga utilitas mesin meningkat. Pada penelitian ini dikembangkan suatu teknologi fabrikasi pada *Machining Center* untuk komponen prismatic menyerupai pelat, yang bertujuan untuk menyederhanakan proses persiapan (*setup*) dengan cara memakai beberapa perkakas bantu standar.

## Pendahuluan

Kondisi pasar dewasa ini menjadi semakin kompleks. Beberapa referensi menyebutkan kompleksitas tersebut adalah daur hidup produk yang semakin pendek, tingkat pendidikan dan budaya membeli konsumen yang semakin tinggi dan tingkat kesejahteraan masyarakat yang semakin meningkat [1], [2], [3], dan [4]. Kondisi ini menyebabkan keragaman dan diferensiasi dalam permintaan, tetapi dalam jumlah volume produksi yang tidak terlalu tinggi dan fluktuatif. Hal ini membawa konsekuensi pada industri manufaktur yang harus semakin fleksibel dan cenderung berorientasi *job-shop* seperti diperlihatkan pada Gambar 1 dengan karakteristik volume produksi kecil dengan keragaman produk yang tinggi sebagai coraknya [5]. Bagaimanakah kecenderungan sistem produksi *job-shop* ini masih cukup layak secara ekonomis, bila diterapkan teknologi pemesinan dengan memakai mesin perkakas CNC seperti CNC Lathe atau Machining Center yang lebih sesuai dipakai untuk produksi *batch*? Hal ini membawa kendala yang berarti yang berhubungan dengan kompleksitas dalam memproduksi dan waktu persiapan produksi seperti persiapan perkakas bantu (*jig* atau *fixture*), perkakas potong dan pemrograman NC. Pertanyaannya adalah apakah segala kendala ini masih memungkinkan dilakukan secara teknis dan layak secara ekonomis pemesinan untuk volume produksi yang kecil (bahkan untuk 1 varian komponen) dilakukan pada Mesin Perkakas CNC? Konsekuensinya adalah diperlukan suatu bentuk teknologi dengan efisiensi tinggi dalam membuat produk untuk volume produksi kecil dan dengan ragam banyak (*low volume and high repetitive products*) untuk pemesinan dengan Machining Center

(salah satu jenis Mesin perkakas CNC yang mampu melakukan beberapa operasi pemesinan) [6].

Cara-cara yang dapat ditempuh antara lain adalah mereduksi tugas-tugas yang berhubungan dengan proses persiapan dengan cara meminimumkan atau bila mana mungkin mengeliminasi proses persiapan untuk pembuatan perkakas bantu. Selain itu proses pembuatan program NC juga merupakan persiapan yang sangat diperlukan sebelum melakukan pemesinan yang harus dipercepat (atau diotomasi) dengan membuat secara otomatis *G-codes* yang digenerasi dari gambar teknik yang ada [7], [8]. Kemudian untuk mengefektifkan waktu pemesinan, maka waktu persiapan (*set-up*) dapat lebih dipangkas lagi dengan melakukan *setup* benda kerja di luar mesin [9], sehingga utilitas mesin dapat ditingkatkan dan mereduksi waktu menunggu [10].



Gambar 1. Beberapa tipe produksi berdasarkan volume dan ragam produk dan kecenderungannya.

Pada penelitian ini dikembangkan beberapa perkakas bantu standar (*fixture standard*) untuk pemesinan komponen prismatic berbentuk dasar pelat pada Machining Center. Dengan perkakas bantu ini

maka tugas-tugas yang berhubungan dengan proses persiapan benda kerja dapat dilakukan dengan lebih cepat, dan waktu yang hilang pada proses persiapan sebelum aktivitas pemesinan dapat diperkecil. Dengan kondisi ini proses pemesinan dengan mempergunakan Mesin Perkakas CNC masih layak secara ekonomis diaplikasi untuk tipe produksi job-shop (volume produksi rendah dengan ragam produksi tinggi).

## Metode

### Peralatan dan Bahan Penelitian

Pada penelitian teknologi pemesinan yang berorientasi job-shop ini memakai Mesin Perkakas CNC jenis Machining Centre STAMA MC520 (Gambar 2)

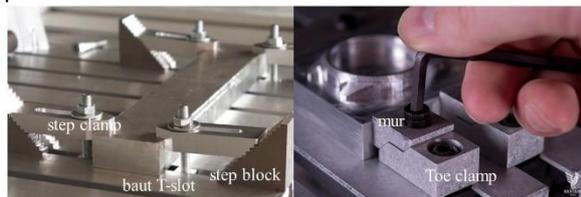


Gambar 2. Machining Center yang dipakai (Stamac MC520)

Mesin ini memiliki Daya 12kVA/380 Volt dengan dengan jarak perpindahan sumbu masing-masing Sumbu X 1600 mm; Sumbu Y 400 mm dan sumbu Z 350 mm. Machining Center (MC) ini memiliki Panjang meka yang Panjang yaitu 2100 mm dengan lebar 430 mm serta memiliki 3 buah T Slot dengan ukuran 14H12. Machining Center memiliki spindel motor AC 5,5 kW untuk 100% ED, dengan torsi maksimum 47 Nm, diameter spindel 60 mm, dengan kecepatan spindel 45-6000 rpm. MC memakai sistem kontrol CNC FANUC OM-C.

### High Touch Set (HTS) Coupler

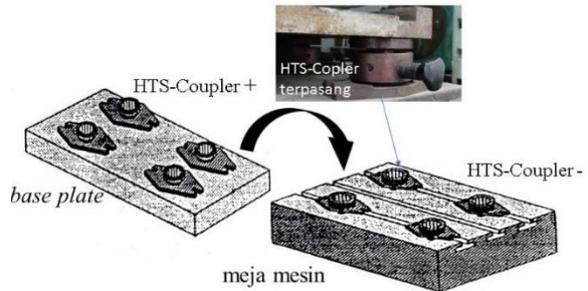
Kebanyakan perkakas bantu (fixture) dipasangkan pada meja slot T di mesin merupakan susunan baut, mur, berbagai tipe clamp (toe clamp atau step clamp), step block dan komponen standar yang lain yang mengalokasikan dan memegang benda kerja seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. T-slot, clamp dan step block sebagai pemegang benda kerja

Sedangkan pada teknologi fabrikasi yang dikembangkan ini, perkakas bantu dipasangkan pada meja mesin dengan menggunakan High Touch Sets (HTS) Coupler. Dengan HTS Coupler yang terpasang pada meja mesin dan juga pada perkakas bantu/ benda kerja, maka dapat

dilakukan pemosisian cepat dengan ketelitian tinggi untuk pemasangan dan pembongkaran yang berulang (lihat Gambar 4)



Gambar 4. HTS Coupler untuk pemosisian presisi dan pemasangan dan pembongkaran cepat.

### Bahan

Bahan penelitian berupa baja pelat dengan beberapa ukuran masing-masing 600 x350x40 mm dan 350x350x40 mm dengan spesifikasi teknik S45C atau ASTM 1045 yang termasuk kategori baja karbon medium. Bahan ini nantinya diproses melalui Machining Center MC 520 untuk membuat beberapa buah perkakas bantu standar untuk tujuan mempersingkat waktu set-up benda kerja

### Langkah Penelitian

Dalam penelitian ini langkah-langkah yang ditempuh untuk tujuan mengeliminasi atau mereduksi beberapa waktu persiapan proses untuk pemesinan komponen berbentuk pelat pada Machining Center adalah sebagai berikut:

- 1 Perancangan prosedur pemesinan untuk suatu benda kerja prismatic berbentuk pelat,
- 2 Perancangan beberapa perkakas bantu standar bagi komponen prismatic berbentuk pelat yang sesuai prosedur pemesinannya,
- 3 Persiapan proses pembuatan perkakas bantu (persiapan pembuatan bahasa pemrograman NC),
- 4 Fabrikasi perkakas bantu dengan CNC Machining Center MC520 dan perakitan perkakas bantu, dan
- 5 Pengukuran dan analisa unjuk kerja dari beberapa perkakas bantu untuk pemesinan berbagai bentuk komponen berbentuk pelat.

## HASIL

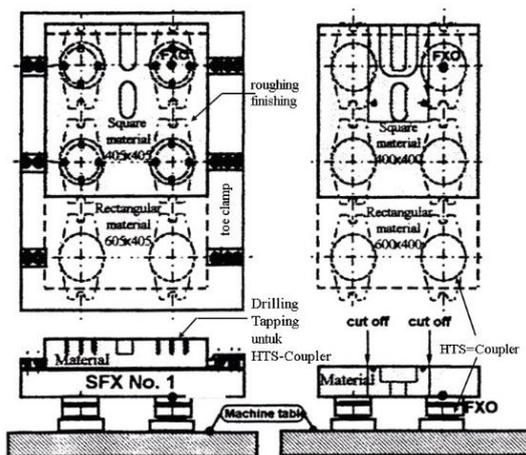
Hasil dari penelitian ini terdiri dari rancangan prosedur pengoperasian beberapa perkakas bantu standar untuk pemesinan komponen prismatic berbentuk pelat dengan beberapa ketebalan benda kerja. Prosedur yang dirancang diikuti dengan beberapa disain perkakas bantu standar. Prosedur dan beberapa perkakas bantu standar yang dibuat diaplikasi untuk pemesinan komponen berbentuk pelat. Dalam bagian hasil ini, juga dianalisa kesesuaian spesifikasi geometrik perkakas bantu seperti kekasaran permukaan dan toleransi kedataran. Pada bagian akhir dibahas tentang potensi waktu persiapan benda kerja yang dapat direduksi dan dieliminasi.

### Prosedur Pengoperasian

Prosedur pengoperasian beberapa perkakas bantu standar untuk pemesinan komponen dengan bentuk dasar menyerupai pelat (plate-like components) terdiri atas tiga prosedur utama yaitu:

1. Prosedur pertama
2. Prosedur kedua
3. Prosedur ketiga

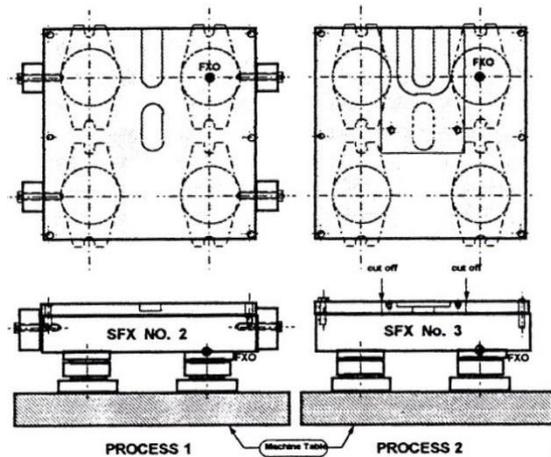
**Prosedur pertama** adalah prosedur membuat pelat dasar (base plate) atau pemesinan komponen dari material dasar berbentuk pelat dengan ketebalan antara 25-60 mm, panjang 400-600 mm dan lebar 400 mm. Prosedur ini menggunakan perkakas bantu standar nomor 1 (SFX No.1) dan memiliki dua proses pengerjaan. Proses pertama adalah proses yang dilakukan pada perkakas bantu SFX No.1 yang terdiri dari operasi freis muka pengasaran (roughing) dan dilanjutkan dengan penghalusan (finishing) pada satu sisi disertai dengan operasi gurdi dan membuat ulir dalam (tapping) untuk memasang HTS Coupler yang akan dijadikan referensi untuk proses berikutnya (Gambar 5). Proses kedua dilakukan setelah proses pertama selesai dilakukan. Pada proses ini, HTS Coupler telah dipasangkan pada pelat dasar (base plate) dan pada meja mesin. Proses kedua melakukan pengerjaan pemesinan berdasarkan *feature* pemesinan pada bidang muka dan samping benda kerja (terkait *feature* pemesinan ini akan dijelaskan pada bagian berikutnya). Pada proses kedua ini, pelat dasar (base plate) yang hampir selesai dimesin sesuai bentuk yang diinginkan dibiarkan tetap dipegang oleh keempat HTS Couplers. Berdasarkan penelitian terkait kerataan bidang akibat proses pemesinan, maka disarankan untuk hanya melakukan proses pengakiran dengan kedalaman potong yang kecil dengan memakai fluida pendingin, sehingga kesalahan kerataan (flatness error) dapat diminimalkan.



Gambar 5. Prosedur pertama dengan SFX No.1

**Prosedur kedua** adalah prosedur pengerjaan komponen dari material dasar berbentuk pelat dengan ketebalan kurang dari 15 mm untuk ukuran yang bervariasi dengan panjang 150-610 mm dan lebih lebar 100-240 mm yang membutuhkan alas sebuah base plate di bawahnya. Prosedur ini menggunakan perkakas bantu standar nomor 2 (SFX No.2) untuk material dasar pelat bujur sangkar, persegi panjang. Prosedur ini terdiri dari dua proses (proses 1 dan

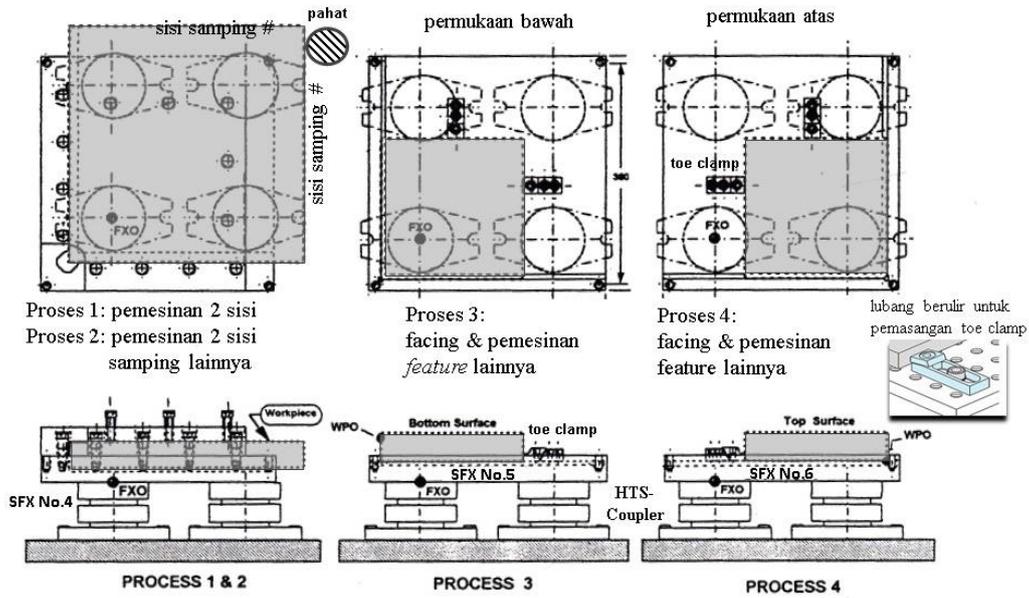
proses 2). Proses 1 dilakukan proses freis muka pengasaran dan penghalusan dan atau proses pemesinan lain dengan mempergunakan Machining Center berdasarkan *feature* pemesinan yang ada, serta dilanjutkan dengan dua lubang presisi (diameter 8 mm, dengan proses ream) untuk pemosisian secara akurat benda kerja yang sama untuk proses kedua pada bidang yang berhadapannya. Proses kedua dilakukan dengan cara yang sama seperti pada proses pertama dan diakhiri dengan proses *cut-off* untuk mendapatkan ukuran produk sesuai dengan ukuran yang diinginkan.



Gambar 6. Prosedur kedua dengan SFX No.2 dan 3

**Prosedur ketiga** adalah prosedur pengerjaan komponen dengan material dasar berbentuk pelat untuk ukuran yang bervariasi dengan panjang 185-320 mm dan lebar 185-320 mm dengan ketebalan hingga 40 mm. Prosedur ini menggunakan perkakas bantu standar yang juga bisa berfungsi sebagai perangkat setup eksternal benda kerja nomor 4 (SFX No.4) untuk melakukan dua proses pemesinan sisi samping (side facing), dimana proses pertama untuk dua sisi samping dan selanjutnya proses kedua untuk dua sisi samping lainnya (seluruhnya empat proses *side facing*). Prosedur ini dilanjutkan dapat dilakukan pemesinan untuk permukaan (facing). Proses pemesinan yang dapat dilakukan adalah proses pengasaran permukaan (roughing), penghalusan permukaan (finishing) atau pemesinan dengan *feature* lainnya. Proses ini menggunakan perkakas bantu standar nomor 5 (SFX No.5). Proses pemesinan dapat dilanjutkan untuk permukaan yang berlawanan dari benda kerja (sehingga permukaan hasil proses 3 menjadi permukaan bawah dari benda kerja. Ini menjadi langkah terakhir dari prosedur ketiga ini, yaitu pemesinan permukaan atas. Proses ini (proses 4) dilakukan oleh perkakas bantu nomor 6 (SFX No.6) dan proses yang dapat dilakukan sama dengan permukaan sebelumnya yaitu pengasaran permukaan (roughing), penghalusan permukaan (finishing) atau pemesinan dengan *feature* pemesinan lainnya. Langkah prosedur ketiga ini dapat dilihat pada Gambar 7. Seluruh proses pada prosedur ketiga ini merujuk pada satu titik koordinat benda kerja (X,Y,Z) atau disebut dengan *Work Piece Origin* (WPO) untuk SFX No. 5 dan 6, dimana lokasinya pada bagian titik tengah salah satu HTS Coupler (lihat Gambar). Pada SFX No. 5 dan 6 juga dibuat banyak lubang berulir sejajar pada sepanjang arah bidang X dan Y untuk pemasangan baut *toe clamp* pemegang benda

kerja, serta mengakomodasi berbagai ukuran benda kerja prismatik berbentuk pelat.



Gambar 7. Prosedur ketiga dengan SFX No.4, 5 dan 6

**Feature Pemesinan**

Seperti disebutkan pada bagian prosedur pengoperasian, dikenal istilah *feature* pemesinan, yaitu beberapa tipe pemesinan khas dengan dimensi utama yang bisa diparametrik. Pada benda kerja berbentuk blok atau pelat ini dapat dilakukan pemesinan berdasarkan feature seperti face (pemesinan muka), side (pemesinan samping), pocket, slot (pemesinan slot), hole dan tapped hole (pemesinan lubang dan ulir lubang), bore (pelebaran lubang) seperti diperlihatkan pada Gambar 8. Feature pemesinan ini nantinya terkait proses otomatisasi G-Code untuk menghasilkan program CNC.

<b>FACE</b> 	<b>SIDE</b> 	<b>SQUARE STEP</b> 	<b>ROUNDED STEP</b> 	<b>INCLINED STEP</b> 	<b>2-sided POCKET</b> 	<b>3-sided POCKET</b> 
<b>4-sided POCKET</b> 	<b>SQUARE SLOT</b> 	<b>ROUNDED SLOT</b> 	<b>BLIND SLOT</b> 	<b>LONG HOLE</b> 	<b>DRILLED HOLE</b> 	<b>TAPPED HOLE</b> 
<b>SUNK BOLT HOLE</b> 	<b>BLIND BORE</b> 	<b>THROUGH BORE</b> 	<b>RING</b> 	<b>CIRCULAR BORE</b> 	↓ Spindle Orientation ● Origin	

Gambar 8. Beberapa *feature* pemesinan standar

**Disain Perkakas Bantu Standar**

Berdasarkan prosedur pengoperasian yang ada, maka dirancang 6 buah perkakas bantu standar yang juga bisa berfungsi sebagai perangkat setup eksternal benda kerja.

- 1 Perkakas bantu standar No. 1 (SFX No.1) yang dipakai membuat pelat dasar benda kerja untuk proses berikutnya dengan pemegang sendiri dengan memakai HTS Coupler;
- 2 Perkakas bantu standar No. 2 dan No. 3 untuk pemesinan bidang atas (SFX No.2) dan bidang bawah (SFX No.3), sedangkan bagian samping tidak dilakukan karena termasuk pelat tipis (ketebalan kurang dari 15 mm);

- 3 Perkakas bantu standar No. 4 (SFX No.4) dipakai untuk pengerjaan pelat tebal (diatas 15 mm) pada pengerjaan masing-masing empat sisi samping;
- 4 Perkakas bantu standar No. 5 (SFX No. 5) untuk pengerjaan permukaan pada pelat tebal dengan panjang dan lebar benda kerja yang bervariasi;
- 5 Perkakas bantu standar No. 6 (SFX No. 6) untuk pengerjaan lanjutan permukaan sisi yang berhadapan pada pengerjaan permukaan sebelumnya.

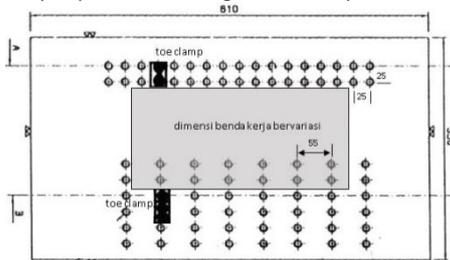
**Pembuatan**

Proses fabrikasi beberapa perkakas bantu ini menggunakan Machining Center MC520 dengan kelengkapan sistem pemerkasakan yang ada di Laboratorium Inti Teknologi Produksi Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas.

Perkakas bantu SFX No.1 adalah perkakas bantu untuk pemesinan pelat dasar untuk perkakas bantu yang lain. Fixture ini memiliki permukaan atas dan bawah yang harus rata, sehingga diharuskan dilakukan pemesinan muka (facing) untuk proses pengasaran dan penghalusan. Pengasaran memakai *hosoi rough* diameter 50 mm, dengan putaran spindle 800 rpm, kecepatan makan 1200 mm/min, dan kedalaman makan hingga 1 mm. Proses selanjutnya yaitu meratakan permukaan halus (finishing) dilakukan dengan mempergunakan pahat *finish cutter* diameter 63 mm dengan putaran spindle 1500 rpm, kecepatan makan 4500 mm/min, dan kedalaman makan 0.03, 0.02 dan 0.01 mm (digunakan bertahap). Untuk pemasangan empat HTS Coupler, pada permukaan sebelah bawah dilakukan pembuatan 16 buah lubang dengan pahat *Ex-Gold Drill* diameter 5 mm dengan putaran spindle 1500 rpm dan kecepatan makan 450 mm/min. Setelah itu dilanjutkan dengan pembuatan ulir dalam pada 16 lubang yang sudah dibuat dengan memakai pahat *spiral tap* M6 x 1 dengan

putaran spindel 60 rpm dan kecepatan makan 60 mm/min. Proses mendapatkan permukaan datar dengan *roughing* dan *finishing*, dan proses pembuatan 16 buah lubang berulir ini merupakan proses pembuatan yang sama dilakukan untuk perkakas bantu standar yang lain.

Pada permukaan atas perkakas bantu dilakukan proses meratakan permukaan (*facing*) dengan dua tahapan yaitu pengasaran permukaan (*roughing*) dan dilanjutkan dengan proses penghalusan (*finishing*) yang pahat dan parameter prosesnya sama dengan sebelumnya. Untuk mengakomodir panjang serta lebar benda kerja yang diproses pada SFX No.1 ini maka pada permukaan bagian atas dibuat banyak lubang berulir M12x1.75 dengan jarak antar lubang masing-masing 55 mm dan 25 mm (seperti diperlihatkan pada Gambar 9) untuk tempat pencekam dengan *toe clamps*.



Gambar 9. Lubang berulir M12x1,75

Perkakas Bantu standar Nomor 2 dan 3 (SFX No.2 dan No.3) diperuntukkan untuk pengerjaan permukaan pelat dengan ketebalan kurang dari 15 mm (kategori pelat tipis), panjang 150-610 mm dan lebar 100-240 mm dan diakhiri pengerjaan *cut-off* pada pelat untuk mendapatkan benda kerja yang diinginkan. Perkakas bantu ini identik (hanya berbeda titik datum offset nol benda kerja saja), karena diperuntukkan untuk proses permukaan bawah dan atas benda kerja dengan dua perkakas bantu berbeda. Tahapan pengerjaan perkakas bantu ini adalah pengerjaan meratakan permukaan (proses *roughing* dan *finishing*) permukaan perkakas bantu oleh SFX No.1 untuk mendapatkan permukaan dasar. Setelah permukaannya rata dilakukan *drilling* dan *tapping* untuk pemasangan empat buah HTS-Coupler. Permukaan atas kedua *fixture* ini dikerjakan serupa dengan proses perataan permukaan atas pada SFX No.1 dengan banyak lubang berulir untuk dipasangkan baut M12x1.75 yang dirakit bersama-sama dengan *toe clamping* sebagai perkakas pemegang benda kerja yang presisi. Pada SFX No.2 ini ditentukan titik datum pada posisi X 603.003 dan Y -321.499 sebagai referensi untuk *zero offset* benda kerja pada kode G54-G59 (dipilih salah satu). Perintah G-Code ini merupakan kode yang digunakan untuk memindahkan titik nol mesin ke titik nol benda kerja. Perintah tersebut akan memberi tahu kontrol CNC, titik datum mana yang akan digunakan. Dengan ini juga waktu *setting* koordinat benda kerja di mesin dapat dieliminir. Rancangan perkakas bantu standar Nomor 2 (SFX No.2) dan hasil pembuatannya diperlihatkan pada Gambar 10.

SFX No.3 secara prinsip dipakai sebagai perkakas bantu untuk benda kerja yang sudah dilakukan pemesinan dengan

memakai SFX No.2, tetapi membutuhkan operasi lanjutan pada sisi yang berhadapan (sisi bawahnya). Secara prinsip SFX No.3 seperti SFX No.2 dengan titik datum sebagai titik nol benda kerja yang sedikit berbeda.



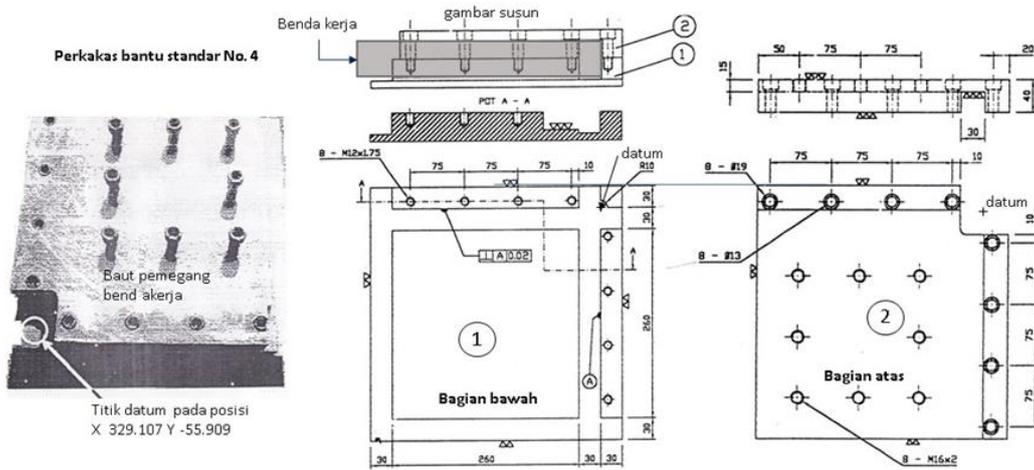
Gambar 10. SFX No.2

Perkakas bantu standar No. 4 digunakan untuk pengerjaan sisi (*side milling*) sampai ketebalan 40 mm dengan panjang 185-320 mm dan lebar 185-320 mm. Tahap pembuatannya terbagi dua yaitu, 1) pembuatan bagian bawah, dan dilanjutkan dengan 2) pembuatan bagian atas SFX No. 4.

Pembuatan bagian bawah dimulai dengan proses meratakan permukaan bawah dengan proses pengasaran dan diakhiri dengan penghalusan dengan memakai SFX No.1 sebagai *base plate*. Kemudian dilanjutkan proses pembuatan lubang berulir M6x1 untuk pemasangan HTS-Coupler. Setelah itu SFX No.1 dikeluarkan dari meja mesin, diganti dengan kemudian pelat SFX No.4 yang sudah dipasang Coupler di bawahnya untuk dilanjutkan pengerjaan tahap kedua. Pada tahap ini dilakukan proses *roughing* dan *finishing* bagian atas pelat sampai ketebalan 40 mm dan pengerjaan sisi (*mill four side*) sehingga didapat ukuran pelat 350 x 350 mm.

Tahap ketiga adalah pembuatan empat *slot* 30 mm sepanjang perkakas bantu sejarak 350 mm sampai ketebalan 10 mm. Kemudian dilanjutkan dengan meratakan permukaan perkakas bantu sebagai bidang referensi hingga ketebalan mencapai 20 mm. Tahap keempat merupakan tahap terakhir pembuatan bagian bawah perkakas bantu yaitu *drilling* dan *tapping* delapan buah lubang M12 x 1,75 sebagai tempat penyambungannya dengan bagian atas (lihat Gambar 11).

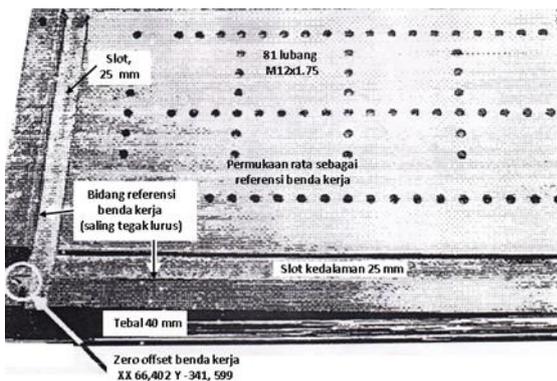
Pembuatan bagian atas SFX No. 4 dimulai dengan proses *roughing* dan *finishing* kedua permukaan pelat sampai ketebalan 40 mm seperti terlihat pada Gambar 11. Tahap kedua dengan melakukan pembuatan lubang tembus sebanyak delapan buah dengan diameter 13 mm dan lubang dengan diameter 19 mm sedalam 15 mm, kedua lubang ini berguna untuk menggabungkan bagian atas dan bawah perkakas bantu dengan baut. Setelah itu dilakukan proses *pocketing* dua sisi (*2-side pocket*) serta proses *drilling* dan *tapping* delapan lubang M14 x 2 dengan kedalaman 18 mm yang berfungsi sebagai tempat baut pengepit benda kerja. Selanjutnya pelat dibalik dan dilakukan pengerjaan tahap ketiga yaitu pembuatan dua slot saling tegak lurus sampai dengan ketebalan 10 mm serta proses *roughing* dan *finishing* permukaan sampai ketebalan 15 mm. Tahap terakhir adalah pengerjaan adalah proses *cut-off* pada kedua sisi pelat sehingga pelat berukuran 310 x 310 mm.



Gambar 11. SFX No. 4

Pada SFX No.4 ini ditentukan titik datum pada posisi X 329.107 Y -52, 499 pada meja mesin. Titik datum ini berfungsi sebagai sebagai referensi untuk *zero offset* benda kerja pada kode G54-G59. Hal ini akan mereduksi waktu persiapan terutama *setting* untuk penentuan titik nol benda kerja.

Perangkat perkakas bantu standar No. 5 (SFX No. 5) dirancang untuk pengerjaan permukaan bagian atas pelat baik bujursangkar maupun persegi panjang dengan ukuran 120-550 x 120-270 mm dan ketebalan lebih dari 15 mm. Proses pembuatannya sama dengan pembuatan SFX No. 2 termasuk lubang berulir (seperti Gambar 9). Perbedaannya terletak pada pembuatan dua *slot* saling tegak lurus dengan kedalaman 25 mm dan permukaan rata sebagai referensi benda kerja yang permukaannya memiliki kedalaman 20 mm dari dimensi awal pelat perkakas bantu (tebal 40 mm). Pada SFX No.5 ini ditentukan titik datum pada posisi X 70,462 Y -55, 499 pada meja mesin. Titik datum ini berfungsi sebagai sebagai referensi permukaan datar untuk zero offset benda kerja (Kode G54 hingga G59).



Gambar 12. SFX No. 6

Demikian juga rancangan SFX No. 6 memiliki kemiripan rancangan dengan SFX No.5 (termasuk slot tegak lurus dan referensi permukaan datar), tetapi dipakai untuk pekerjaan lanjutan benda kerja pada permukaan yang berhadapan. Seperti halnya SFX No. 5, juga terdapat 81 lubang berulir M12x1.75 untuk mengakomodir pemegangan benda kerja dengan ukuran yang bervariasi. Zero offset benda kerja berata pada titik X 66,402 Y -341, 599 (Gambar 12).

### Pengukuran Kualitas Geometrik

Persyaratan penting dari sebuah perkakas bantu adalah kualitas geometriknya yang tinggi, karena dengan ini ia dapat menghasilkan benda kerja dengan ketelitian yang tinggi pula. Dengan itu diperlukan pengukuran spesifikasi geometrik perkakas bantu standar yang telah dibuat. Pengukuran geometrik yang dilakukan adalah toleransi kerataan permukaan referensi benda kerja, ketegaklurusan dua bidang referensi benda kerja dan kekasaran permukaannya, terutama pada SFX No. 4, 5, dan 6. Hasil pengukuran diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengukuran

Geometrik yang diukur	SFX .4	SFX 5	SFX 6
Error kerataan, mm	0,03	0,04	0,04
Ketegaklurusan	N/A	Tidak ada celah	
Kekasaran, Ra $\mu$ m	0,38	0,31	0,32

*Error* kerataan atau ketidakrataannya pada SFX No.4 dengan bidang ukur 260x260 mm adalah 0,03 mm. Sedangkan untuk SFX 5 dan 6 dengan bidang ukur 610x350 mm adalah 0,04 mm. Hasil ini sudah sesuai kualitas perkakas bantu. Pengujian ketegaklurusan dengan memakai penyiku standar pada SFX No. 5 dan 6 menghasilkan tidak terlihat celah (kedua bidang tegak lurus). Hasil kekasaran permukaan menunjukkan kualitas permukaan perkakas bantu setara dengan *ISO Number* N5 dengan kategori halus.

### Hasil Pengujian

Pengujian dilakukan dengan penggurdian lubang tembus dengan memakai perkakas bantu standar No. 5 untuk penggurdian pada sisi atas benda kerja. Kemudian dilanjutkan dengan penggurdian pada sisi bawah benda kerja dengan memakai perkakas bantu standar No. 6. Kedua lubang bertemu, tetapi ada sedikit takikan lebih kurang 0,01 mm pada pertemuan kedua lubang pada titik koordinat pemesinan yang sama. Penyimpangan atau kekurangtelitian hasil penggurdian dua lubang pada sisi berbeda disebabkan oleh kesalahan posisi dalam melakukan penentuan datum titik nol benda kerja (Xo, Yo) dari SFX No. 5 dan atau No. 6 sehingga mengakibatkan kesalahan posisi titik tengah lubang dari dua arah (sisi atas dan bawah). Kemungkinan penyebab lain adalah ketidakrataannya kedua permukaan

perkakas bantu standar (dari hasil pengukuran sebelumnya ketidakrataaan 0,03-0,04 mm. Hal ini dapat mengakibatkan kesalahan orientasi sumbu lubang bila digurdi dari sisi atas dan dari sisi bawah. Walaupun demikian kesalahan ini terbilang cukup kecil, sehingga dapat disimpulkan bahwa proses pemesinan dengan Machining Center MC 520 dengan memakai perkakas bantu standar yang dibuat dapat diimplementasikan teknologinya dan hasilnya cukup akurat.

#### Pembahasan

Pertanyaan yang penting adalah waktu persiapan apa saja yang dapat direduksi atau dieliminir dengan memakai perkakas bantu standar ini, sehingga efektivitas tidak terbuang untuk kegiatan yang tidak melakukan proses pemotongan (non-added value)? Berdasarkan prosedur, dan pengujian perkakas bantu standar ini dalam membuat benda kerja, maka waktu *loading dan unloading* benda kerja dapat direduksi dibandingkan cara tanpa perkakas bantu. Demikian pula pemasangan alat pemegang benda kerja lebih cepat (karena sistem HTS-Coupler), bila dibandingkan dengan memakai berbagai pemegang seperti: *clamp, step block, T-slot dan locator*. Cara ini juga tidak memerlukan penyetelan orientasi benda kerja pada meja mesin, karena sudah dibimbing oleh bidang-bidang referensi yang presisi. Proses pengalokasian benda kerja secara berulang dapat dilakukan dengan mudah dan lebih cepat pada tingkat ketelitian yang tinggi (reduksi waktu). Penentuan titik nol benda kerja pada meja mesin dalam pemrograman NC tidak perlu dilakukan lagi (dieliminir). Perkakas bantu standar ini juga dapat difungsikan sebagai perangkat setup eksternal benda kerja sehingga operasi pemesinan dapat dilakukan simultan (secara bersamaan) dengan operasi setup benda kerja (dilakukan di luar mesin), tanpa mengurangi kualitas geometrik benda kerja secara berarti. Empat hingga lima keunggulan ini dapat menghasilkan pengurangan waktu persiapan secara signifikan.

#### KESIMPULAN

Perkakas bantu standar untuk pemesinan untuk komponen prisma berbentuk pelat dengan prosedur pemesinan yang dirancang secara signifikan dapat mereduksi waktu persiapan benda kerja sebelum dilakukan pemesinan. Reduksi atau eliminasi waktu persiapan antara lain karena kemampuan pengesetan di luar mesin, *loading dan unloading* benda kerja lebih cepat, pengalokasian dan pengekaman benda kerja lebih mudah dan berulang, penyetelan lebih cepat, serta tidak perlu menentukan *zero offset* benda kerja untuk pemrograman NC. Kualitas geometrik perkakas bantu standar juga cukup baik dan sesuai spesifikasi perkakas bantu. Hasil pengujian penggurdian lubang tembus yang dilakukan dari dua perkakas bantu berbeda menghasilkan kesalahan posisi yang

masih dapat ditolerir dan dapat dikompensasi dengan penentuan *zero offset* benda kerja yang lebih teliti.

#### Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih ditujukan kepada Prof. T. Hoshi sebagai *long expert* JICA dalam pengembangan teknologi produksi yang telah memberikan bimbingan teknis dan kontribusi langsung terkait pengembangan teknologi rendah setup di *Core Laboratory Production Technology* Fakultas Teknik Mesin Univ. Andalas antara tahun 1997 hingga tahun 2001.

#### Referensi

- 1 A.K. Sethi, S.P. Sethi, *Flexibility in manufacturing: A survey*, International Journal Flexible Manufacturing System Vol. 2 (1990), 289–328
- 2 N. Slack, *The flexibility of manufacturing systems*, International Journal of Operations & Production Management Vol. 25 No. 12 (2005), 1190-1200
- 3 M. Katic, R. Agarwal, *The Flexibility Paradox: Achieving Ambidexterity in High-Variety, Low-Volume Manufacturing*, Global Journal of Flexible Systems Management, Vol. 19 (2018), 69–86.
- 4 T. Hanada, T. Hoshi, *Development of a Fixture-Free Machining Center for Low-Volume FMS*, Advancement of Intelligent Production, 7<sup>th</sup> International Conference on Production/Precision Engineering, 4<sup>th</sup> International Conference on High Technology, Chiba, Japan, (1994), 150-155.
- 5 T. Hanada, B.P. Bandyopadhyay, T. Hoshi, *Implementation of low-volume FMS for prismatic components*, Journal of Manufacturing Systems, Vol. 14 No. 2 (1995), 91-108
- 6 Z. M. Bi, W. J. Zhang, *Flexible fixture design and automation: Review, issues and future directions*, International Journal of Production Research Vol. 39 No. 13 (2001), 2867-2894
- 7 Y. Huang, *CAD/CAM Technology to support Fixture Design and Fabrication for Preform Workpiece*, Proceeding of 31<sup>th</sup> CIRP Int. seminar on Manuf. Systems (1998)
- 8 H.K. Miao, K. Huikang, S. Nandakumar, and J. J. Shah, *CAD-CAM integration using machining features*, International Journal of Computer Integrated Manufacturing Vol. 15 No. 4 (2002,) 296-318.
- 9 M. Shakeri, T. Hoshi, *System-CAD/CAM Integration for Machining Center Work of Preform Raw Materials like Welding, Casting or Forging Supporting Fully-External Setup*, International Journal of the Japan Society for Precision Engineering, Vol. 33(2) (1999), 156.
- 10 B.P. Bandyopadhyay, T. Hoshi, M.A. Latief, and T. Hanada, *Development of a fixture-free machining center for machining block-like components*. Journal of Materials Processing Technology, 39(3-4) (1993), 405-413.