

## MODIFIKASI MODULAR FIXTURE UNTUK PROSES MILLING

Anita Susilawati

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Km 12.5 Panam, Pekanbaru, Riau.

E-mail: [anita.susilawati@unri.ac.id](mailto:anita.susilawati@unri.ac.id)

### ABSTRAK

*Fixture adalah alat bantu yang berfungsi memegang, menahan dan menjaga posisi benda kerja selama proses pemesinan. Salah satu jenis fixture yaitu modular fixture yang mempunyai sistem fleksibel dimana komponen-komponen dapat diganti pasang dengan aman dan akurat, sesuai dengan kebutuhan bentuk benda kerja dan proses pemesinan yang akan dilakukan. Penelitian ini dilakukan untuk merancang modular fixture yang diaplikasikan pada berbagai proses pemesinan yang memakai mesin milling. Sistem modular fixture yang dirancang memakai dowel-pin dengan base berbentuk segi empat. Setelah itu dirancang dan dipilih komponen-komponen penumpu, pemegang, penahan dan peletakannya serta komponen aksesoris. Computer aided design digunakan untuk mensimulasikan rancangan dalam bentuk tiga dimensi, pada berbagai variasi benda kerja dan pengerjaan pemesinan yang akan dilakukan. Terakhir, komponen-komponen modular fixture selesai dirakit dan dipasang pada meja mesin milling. Dari hasil pengujian modular fixture yang dirancang dapat digunakan untuk berbagai variasi benda kerja dan proses pemesinan dengan waktu loading/unloading lebih cepat, lebih akurat dan presisi.*

**Keywords:** Modular fixture, milling, proses pemesinan, benda kerja

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Proses pemesinan dengan menggunakan mesin perkakas sampai saat ini masih tetap merupakan proses yang paling banyak digunakan (60 % sampai dengan 80 %) di dalam membuat komponen-komponen mesin yang komplis (Ibrahim, 1986). Dalam hal ini mesin-mesin tersebut mempunyai keterbatasan dalam penggunaannya, yaitu pada bentuk benda kerja yang dapat dikerjakan dan juga waktu pengerjaannya. Maka mesin-mesin ini memerlukan alat bantu yang akurat dan presisi untuk memegang benda kerja.

*Fixture* merupakan salah satu alat bantu yang berfungsi memegang, menahan benda kerja untuk menjaga posisi benda kerja selama proses pemesinan. *Fixture* ini ada dua jenis yaitu *single fixture* dan *modular fixture* (Reid, 1991).

*Modular fixture* ini mempunyai konsep sederhana yaitu suatu sistem dimana terdapat bagian-bagian yang fleksibel yang dapat memegang dan menahan benda kerja sesuai dengan bentuk-bentuk benda kerja dengan waktu yang singkat, sehingga pengerjaan benda kerja dapat dilakukan dengan mudah dan lebih teliti. Dengan menggunakan alat bantu ini maka peletakan benda kerja dapat disesuaikan dengan proses pemesinan yang dilakukan.

Bentuk benda kerja yang rumit dan sulit dipegang dengan *fixture* biasa dapat dipegang dengan menggunakan *modular fixture*. Juga proses pemesinan yang dilakukan pada benda kerja lebih bervariasi dan waktu pengerjaan lebih singkat.

### 1.2 Tujuan dan Manfaat

Tujuan penelitian adalah merancang, membuat dan menguji alat bantu pegang yaitu *modular fixture*, yang dapat memegang bermacam variasi/bentuk benda kerja yang rumit (sulit dipegang dengan alat bantu pegang biasa) dengan berbagai proses pemesinan/pengerjaan pada mesin milling dan dapat menghasilkan alat bantu yang akurat dan presisi.

Manfaat modifikasi *modular fixture*: bentuk benda kerja yang dikerjakan dapat lebih bervariasi dan waktu pengerjaan dapat lebih singkat serta mampu menjamin ketelitian dan mampu ulang sebuah benda kerja. Sehingga kalau alat ini digunakan pada industri-industri akan dapat menurunkan biaya manufaktur/produksi, menjaga kualitas dan meningkatkan produksi.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Untuk dapat memenuhi kebutuhan industri dengan baik maka telah dikembangkan sistem-sistem perkakas bantu modular MFS (*Modular Fixture System*). *Modular Fixture System* harus memenuhi sejumlah kriteria tertentu, antara lain (HOFFMAN, 1991)

1. Lokasi dari benda kerja yang dipegang harus teliti.
2. Benda kerja harus dipegang dengan aman sehingga tak tergeser oleh gaya-gaya pemotongan.

Kedua kriteria ini akan menjamin ketelitian dan mampu ulang sebuah benda kerja. Salah satu kriteria tambahan adalah bahwa elemen-elemen *modular fixture system* harus dapat dirakit dengan mudah dan cepat, juga harus tersedia elemen dalam jumlah dan

variasi yang cukup besar untuk dapat menangani berbagai variasi benda kerja.

*Modular fixture* terdiri dari elemen-elemen yang dapat dikelompokkan sebagai berikut :

- Elemen-elemen dasar; merupakan bidang-bidang dasar dari sebuah perkakas bantu pegang, diatas mana semua elemen penumpu, elemen lokasi dan elemen penuntun di pasang.
- Elemen-elemen penumpu; fungsinya adalah sebagai lokator dan/atau menumpu dari benda kerja terdiri dari blok V, pelat penyiku dan seterusnya.
- Elemen-elemen pencekam; dalam kelompok ini termasuk semua baut T, batang engkol, baut & mur untuk cekam engkol dan sebagainya.
- Elemen-elemen kombinasi; elemen-elemen ini dipakai untuk benda kerja-kerja dengan bidang miring, pola lubang pada sebuah lingkaran *pits* dan untuk memudahkan dan mempercepat pengoperasian perkakas bantu.

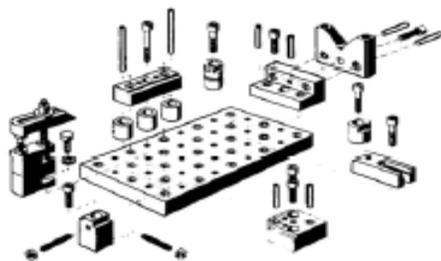
Dalam perancangan *modular fixture* sangat penting untuk memilih jenis, ukuran dan jumlah elemen-elemen *fixture* seperti *base* (dasar), *clamping* (pencekam), lokator (penumpu) dan aksesoris yang diperlukan.

Beberapa penelitian yang dihasilkan dalam pengembangan modular fixture seperti Gandhi & Thompson (1996) meneliti cara-cara untuk mendesign *modular fixture* yang digunakan pada industri otomatis. Nee *et al.* (2000) mengembangkan perancangan modular fixture menggunakan auto cad dan expert sistem sel. Penelitian lainnya, menggunakan 3-D solid modeler dan expert sistem dikembangkan oleh Ngoi *et al.* (2001).

Jenis *Modular Fixture* ditinjau dari *based system* terdiri dari: *T-Slot-Based System* yang berfungsi untuk *locating*, *clamping*, *supporting* dan *guiding*, dapat digunakan untuk berbagai proses pemesinan turning, milling, drilling, boring. Paling banyak digunakan pada proses drilling. Sedangkan *Dowel-Pin-Based System* digunakan secara luas pada pemesinan NC untuk berbagai variasi benda kerja dalam jumlah yang kecil (Reid, 1991). *Dowel-Pin-Based System* dapat dilihat pada Gambar 1.

Perbedaan antara *T-Slot-Based System* dengan *Dowel-Pin-Based System* dapat dilihat pada Tabel 1.

Komponen-komponen *Modular Fixture* yaitu: *support*, komponen struktural dalam perancangan *fixture* yang digunakan untuk mendukung komponen



Gambar 1. *Dowel-Pin-Based System* (Reid, 1991)

Tabel 1. Perbedaan *T-Slot* dengan *Dowel-Pin-Based System* (Reid, 1991)

	<i>T-Slot</i>	<i>Dowel-Pin</i>
Variasi konfigurasi <i>fixture</i>	Lebih banyak	Lebih sedikit
Jumlah komponen <i>fixture</i> yang dibutuhkan	Lebih banyak	Lebih sedikit
Kekuatan <i>fixturing</i>	Lebih rendah	Lebih tinggi
Keahlian operator yang dibutuhkan	Terampil	Cukup
Biaya manufaktur	Lebih tinggi	Lebih rendah

fungsional yang lain (lokator dan *clamp*) dan menghubungkannya dengan *baseplate*. Jenisnya: *block*, *angular*, dan bentuk geometris yang lain untuk mengangkat komponen fungsional untuk ketinggian yang berbeda.

Lokator, digunakan untuk menentukan posisi relatif posisi dan orientasi dari benda kerja dan komponen *fixture*. Jenisnya: *locating key*, *locating pin*, *locating pad*, *diamond pin*, *V-block* dll. *Guiding component*, contohnya adalah *jig* pada operasi pembuatan lubang untuk mengurangi waktu dan menjamin kualitas pemesinan. *Clamp*, digunakan untuk menahan benda kerja terhadap gaya pemesinan dan *fastening components*, digunakan untuk menghubungkan komponen-komponen *fixture* ke dalam suatu struktur tunggal. *Combined unit*, set komponen yang dirakit bersama untuk dapat memenuhi fungsi yang spesifik.

### 3. METODE PENELITIAN

Alat bantu pegang (*fixture*) yang dirancang ukurannya disesuaikan dengan ukuran meja mesin milling. Alat bantu pegang ini juga direncanakan bisa dipakai pada meja mesin-mesin konvensional maupun yang non konvensional seperti mesin CNC. Karena alat bantu ini akan digunakan untuk berbagai proses pemesinan (pembuatan benda kerja) dengan menggunakan berbagai mesin seperti pengurangan permukaan benda kerja (*roughing* dan *finishing*), memotong, membuat alur, *chamfer*, *spie*, roda gigi dll.

Material yang dipakai untuk *modular fixture* adalah baja paduan berkualitas tinggi yang mempunyai kekuatan tarik harus lebih besar dari benda kerja yang akan dipegang.

Modifikasi *modular fixture* yang dirancang dan dibuat terdiri dari *base plate*, lokator, klem, *support* dan aksesoris.

#### 3.1 Perancangan *Base Plat*

*Baseplate* adalah dasar *fixture* dimana semua komponen *fixture* yang lain akan dirakit. Jenisnya: *square*, *rectangular*, *round*, dan *angular*. Langkah-langkah perancangan *dowel-pin modular fixture* yaitu:

1. Review geometri benda kerja dan proses permesinan yang akan dilakukan.
2. Pemilihan metode peletakan dan datum.
3. Pemilihan komponen dan penempatan ke dalam konfigurasi.
4. Verifikasi konfigurasi rancangan *fixture*: kemungkinan tabrakan dengan pahat, penyesuaian, dan pengencangan.

Untuk *dowel-pin-based system*, dalam perancangan pemilihan ukuran diameter lobang untuk base platnya bisa dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Tipe ukuran lobang *modular fixture* (Hoffman, 1991)

Series	Locating-hole size		Tapped-hole size	
	(mm)	(in.)	(mm)	(in.)
Mini size	6		M6	
Small size	10	5/16	M10	5/16-18
Mid size	12	1/2	M12	1/2 -13
Large size	16	3/4, 5/8	M16	3/4 -10, 5/8-11

### 3.2 Perancangan Klamping

Dasar dasar perancangan klamping harus diperhatikan:

- Cukup kuat untuk memegang benda kerja dan menahan pergeseran benda kerja
- Tidak merusak/mendeformasi benda kerja
- Menjamin *loading* dan *unloading* benda kerja dengan cepat

Posisi klem: selalu bersentuhan dengan benda kerja pada posisi yang *rigid*. Untuk menghindari defleksi benda kerja harus ditahan menggunakan alat bantu. Klem harus diletakkan sedemikian sehingga tidak mengganggu pergerakan pahat. Klem harus diletakkan sedemikian sehingga operator dapat bekerja dengan mudah dan aman.

### 3.3 Perancangan Lokator

Untuk perancangan lokator (alat bantu untuk penopang dan peletakan) harus diperhatikan bahwa lokator tersebut bisa menjamin posisi peletakan benda kerja, menjamin kemudahan proses *loading* dan *unloading* serta menjamin kondisi *foolproof*.

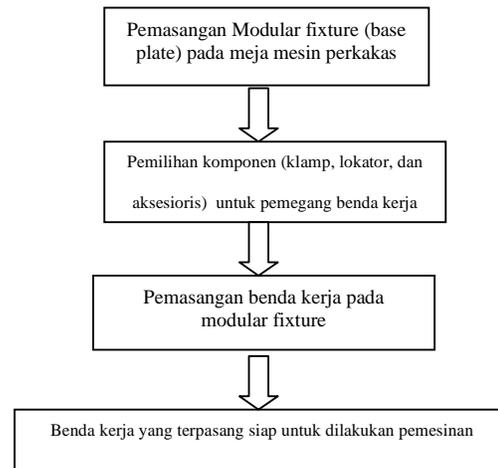
Lokator yang berfungsi untuk menahan beban benda kerja dan menjamin penopangan yang kaku disebut *support* (penopang). Sedangkan lokator yang berfungsi untuk menghasilkan titik/bidang referensi pada sisi benda kerja (*edge*) disebut lokator (*locator*) atau *stopper*.

### 3.4 Perancangan komponen pengikat dan aksesoris dipilih menurut keperluan

Rancangan geometri komponen-komponen *modular fixture* dibuat dalam bentuk simulasi 3-Dimensi (solid modeler) dengan *Computer Aided Fixture Design* (Rong & Zhu, 1999).

### 3.5 Perakitan

Setelah komponen *modular fixture* telah selesai dibuat selanjutnya dilakukan perakitan dengan tahapan sebagai berikut:



### 3.6 Pengujian Alat

Pengujian terhadap alat dilakukan pada mesin milling konvensional dengan cara memasang modular fixture pada meja mesin milling dan memasang benda kerja pada modular fixture tersebut. Langkah-langkah pengujian:

1. Mempersiapkan alat dan bahan
2. Memasang *modular fixture* pada mesin milling
3. Mencekam benda kerja pada *modular fixture*
4. Melakukan pengujian dengan cara menghitung berapa lama waktu memasang (*loading*) dan membuka (*unloading*) benda kerja.
5. Mencatat hasil pengujian
6. Menganalisa hasil pengujian

Kemudian dilakukan perbandingan dengan pemasangan benda kerja pada fixture konvensional (ragum) pada mesin milling tersebut. Langkah-langkah pengujian:

1. Mempersiapkan alat dan bahan
2. Memasang ragum pada mesin freis
3. Mencekam benda kerja pada ragum
4. Melakukan pengujian dengan cara menghitung berapa lama waktu memasang (*loading*) dan membuka (*unloading*) benda kerja.
5. Mencatat hasil pengujian
6. Menganalisa hasil pengujian

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Perancangan Klamping

Perancangan klamping disesuaikan dengan dimensi *base plate* dari *modular fixture*. Adapun pertimbangan yang perlu diperhatikan didalam membuat klamping adalah: mampu memegang benda kerja dan tidak merusak/mendeformasi benda kerja yang akan dipegang.

Klempling yang dirancang ada dua jenis yaitu:  
 Klemp 1: baja dengan kekuatan tariknya  $588 \text{ N/mm}^2$  ukuran  $80 \times 10 \times 20$  (mm) sebanyak 2 buah. Jumlah lubangnya 1 buah dengan diameter 12 mm, juga terdapat 1 buah slot dengan panjang 36 mm.

Klemp 2: baja dengan kekuatan tariknya  $588 \text{ N/mm}^2$  ukuran  $55 \times 20 \times 30$  (mm) sebanyak 2 buah. Jumlah lubangnya 3 buah dengan diameter 12 mm. Terdapat juga sebuah *slot* dengan panjang 24 mm.

#### 4.2 Perancangan Lokator

Perancangan lokator juga disesuaikan dengan dimensi *base plate* dari *modular fixture*. Lokator yang dirancang ada dua jenis yaitu:

Lokator 1: baja dengan kekuatan Tariknya  $588 \text{ N/mm}^2$  ukuran  $70 \times 25 \times 40$  (mm) sebanyak 2 buah. Jumlah lubangnya 3 buah dengan diameter 12 mm. Juga terdapat alur dengan dimensi panjang 55 mm, lebar 3 mm dan tebal 2 mm. Lokator 2 berupa *V-Block*: baja dengan kekuatan tariknya  $588 \text{ N/mm}^2$  ukuran  $90 \times 20 \times 25$  (mm) sebanyak 2 buah. Jumlah lubangnya 4 buah dengan diameter 12 mm, dengan sudut  $138^\circ$ .

#### 4.3 Perancangan Base Plate

Perencanaan *base plate* yang direncanakan terbuat dari baja paduan berkadar karbon rendah berkualitas tinggi yang dilakukan *heat treatment* untuk menambah kekerasannya (kekuatan tariknya  $588 \text{ N/mm}^2$  menjadi  $823 \text{ N/mm}^2$ ). Berbentuk segi empat dengan dimensi  $200 \times 180 \times 40$  mm. Jumlah lubang 72 buah, dimana 6 buah lubang dibuat *slot* dan 66 dibuat ulir dalam M12.

#### 4.4 Perancangan Aksesoris

Baut: perancangan baut ini digunakan untuk mengikat komponen-komponen *modular fixture* pada *base plate*, menggunakan baut M12 dengan panjang 25, 30, 50 dan 60 mm.

Baut *T-Slot*: perancangan baut *T-Slot* digunakan untuk mengikat *base plate* pada meja mesin. Baut yang digunakan baut M10.

Mur dan ring: perancangan mur dan ring ini digunakan pada *T-Slot* saat mengikat *base plate* pada meja mesin. Mur yang digunakan mur M12 dan ring diameter 12 mm.

Perencanaan dan skema pembebanan ulir pada spesimen uji yang direncanakan yaitu M12, maka parameter yang diketahui :

- Jarak pitch (P) = 1,75 mm
- Diameter luar ulir (d) = 12 mm
- Diameter dalam ulir (d1) = 10,106 mm
- Diameter efektif (d2) = 10,863 mm
- Tinggi keseluruhan ulir (H) = 35 mm
- Jumlah ulir (z) adalah 20 buah.
- Tinggi profil ulir (h) =  $d - d1 = 1,94$  mm
- Maka tekanan kontak yang terjadi:  $0.92 \text{ N/mm}^2$
- maka tegangan geser yang terjadi:  $1.28 \text{ N/mm}^2$
- tegangan normal yang terjadi:  $0.507 \text{ N/mm}^2$

- Untuk memberi keamanan pada baut yang direncanakan, maka diberi faktor keamanan  $S_f = 1,5$  karena baja yang digunakan menerima beban dinamis dapat ditentukan kekuatan luluh sebesar  $0.76 \text{ N/mm}^2$

- Maka kekuatan tarik adalah  $1.26 \text{ N/mm}^2$

#### 4.5 Pembuatan Modifikasi Modular Fixture

Untuk membentuk material yang akan dibuat klempling, lokator, *base plate* dan aksesoris maka pembentukan komponen tersebut menggunakan mesin sekrup, gergaji, freis dan drill. Benda kerja yang akan dibentuk sesuai dengan gambar benda kerja dimulai dari proses pengerjaan kasar (*roughing*) sampai pengerjaan halus (*finishing*).

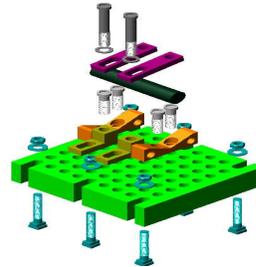
#### 4.6 Perakitan

*Modular fixture* yang dirancang dan dibuat, dapat digunakan untuk meja mesin milling, baik yang konvensional maupun non-konvensional (CNC).

Langkah-langkah perakitan yaitu:

- Pemasangan *base plate* pada meja mesin perkakas
- Pemilihan komponen-komponen yang diperlukan untuk pemegang benda kerja seperti klamp, lokator, pengunci seperti baut, pin dll.
- Pemasangan benda kerja yang akan dipegang pada *modular fixture*
- Benda kerja sudah terpasang dan tercekam baik.
- Benda kerja yang dipegang dengan *modular fixture* siap untuk dilakukan pemesinan.

Pada Gambar 3 dapat dilihat assembling modular fixture menggunakan CAD solid modeler untuk aplikasi benda kerja berbentuk silindris. Gambar 4(a) adalah komponen-komponen modular seperti *baseplate* dengan *hole system*, klamp, lokator, fastening dan komponen aksesoris. Untuk aplikasi benda kerja berbentuk *roundupt* dan silindris yang dipasang pada meja mesin milling dapat dilihat pada Gambar 4(b) dan 4(c).



Gambar 3. Asembling Modular Fixture



(a) (b) (c)

Gambar 4. Komponen *modular fixture* dan aplikasi

#### 4.7 Pengujian dan Analisa

Hasil pengujian alat dilakukan dengan membandingkan antara penggunaan *fixture* konvensional (ragum) dengan *modular fixture*.

Untuk pengerjaan milling dengan benda kerja berbentuk silindris:

- *fixture* konvensional

- Pada permukaan benda kerja terjadi cacat permukaan
- Benda yang dicekam tidak kuat posisinya
- Waktu yang digunakan pada saat setting benda kerja cukup cepat.
- Rata-rata waktu *loading* benda kerja 45 detik, *unloading* benda kerja 7 detik.

- *modular fixtures*

- Tidak terjadi cacat permukaan
- Benda yang dicekam posisinya kuat
- Waktu yang digunakan pada saat setting benda kerja pertama agak lama, untuk berikutnya lebih cepat.
- Rata-rata waktu *loading* benda kerja 57 detik, *unloading* benda kerja 29 detik.

Untuk pengerjaan milling dengan benda kerja berbentuk *flange*:

- *fixture* konvensional

- Benda yang dicekam menggunakan bantalan
- Waktu yang digunakan pada saat setting benda kerja cukup cepat.
- Rata-rata waktu *loading* benda kerja 48 detik, *unloading* benda kerja 15 detik.

- *modular fixtures*

- Tidak terjadi cacat permukaan
- Benda yang dicekam posisinya kuat tanpa bantalan.
- Waktu yang digunakan pada saat setting benda kerja pertama agak lama, untuk berikutnya lebih cepat.
- Rata-rata waktu *loading* benda kerja 15 detik, *unloading* benda kerja 7 detik.

Untuk pengerjaan milling dengan benda kerja roda gigi:

- *fixture* konvensional

- Tidak dapat dicekam
- *modular fixtures*
- Hanya menggunakan klem dan 2 buah baut L
- Waktu sangat singkat dalam perakitanannya
- Tidak terjadi cacat permukaan

Untuk benda kerja yang bentuknya sederhana seperti silindris lebih cepat menggunakan *fixture* konvensional, namun untuk benda kerja yang bentuknya rumit lebih cepat waktu *loading/unloading*-nya menggunakan *modular fixture*.

#### 5. KESIMPULAN DAN SARAN

##### 5.1 Kesimpulan

- Perancangan *modular fixture* yang dihasilkan yaitu: base plate berbentuk segi empat dengan

dimensi 200 x 180 x 40 mm, jumlah lubang 72 buah, dimana 6 buah lubang dibuat slot dan 66 dibuat ulir dalam M12. Dua jenis klem ukuran 80x10x20 (mm) dan 55x20x30 (mm). Lokator *V-Block* ukuran 90x20x25 (mm). Baut adalah M12 dengan panjang 25, 30, 50 dan 60 mm, untuk *T slote* baut M10. Untuk mur M12 dan ring diameter 12 mm.

- Pada saat pencekaman benda kerja penggunaan *modular fixture* lebih kuat dibandingkan dengan *fixture* konvensional.
- Pada saat penggunaan *fixture* konvensional kemungkinan terjadi cacat pada benda kerja sedangkan pada pemakaian *modular fixture* kemungkinan tidak terjadi cacat pada benda kerja
- Untuk bentuk benda kerja yang rumit *modular fixture* sangat cocok digunakan, sedangkan untuk benda kerja yang sederhana cocok dipakai *fixture* konvensional. Tetapi untuk benda kerja yang sederhana diproduksi secara massal *modular fixture* lebih efisien dipakai.
- Kelebihan *modular fixture* adalah: meningkatkan produktivitas melalui penurunan waktu manufaktur, dimungkinkan untuk menangani variasi benda kerja tertentu melalui kemampuan penyesuaiannya, menurunkan biaya simpan dan meningkatkan efisiensi penggunaan melalui penggunaan yang berulang-ulang dan mempunyai kemampuan pendukung untuk menurunkan waktu kerusakan *fixture*.

##### 5.2 Saran

- Perbaikan perancangan *modular fixture* untuk masa mendatang seperti; *base plate* dibuat lebih besar lagi ukurannya, sehingga benda kerja dengan size yang besar bisa dipegang.
- Komponen penguat dan pengencang seperti klemping, lokator dan aksesoris (baut, pin dll) dibuat lebih banyak dengan berbagai macam ukuran sehingga banyak variasi benda kerja yang rumit dapat dipegang dengan *modular fixture* tersebut.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Gandhi, M.V. and B.S. Thompson, "Automated Design of Modular Fixtures for Flexible Manufacturing Systems", *Journal of Manufacturing System*, 5(4), 243-252, 1996
2. Hoffman, E. G., *Jig and Fixture Design*, Delmer Publiser Inc., New York, US, 1991
3. Ibrahim, C., *Perkakas Bantu, Lab. Teknik Produksi & Metrologi Industri*, Jurusan Mesin, ITB, 1986
4. Nee, A.Y.C., A. Senthil kumar and Z.J. Tao, "An Intelligent Fixture with a Dynamic Clamping Scheme", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 214 (Part B), 183-196, 2000
5. Ngoi, B.K.A., K. Whybrew and R.J. Astley, "Computer Aided Assembly of Modular Fixturing Systems", *Proceedings of Asia-*

- Pacific Industrial Automation Convergence, Automation Singapore, 593-607, 2001*
6. Reid, D. T., *Fundamentals of Tool Design*, Third Edition, Society of Manufacturing Engineers, 1991
  7. Rong Y. and Zhu Y., *Computer Aided Fixture Design*, Marcel Dekker Inc., 1999