

Optimisasi Desain Tata Letak Fixture dengan Analisa Elemen Hingga

Yatna Yuwana Martawirya^{*} dan Mohammad Tauviqirrahman^{}**

Program Studi Teknik Mesin, Institut Teknologi Bandung

^{*}Email : yatna@tekprod.ms.itb.ac.id

^{**}Email : mtauviq@yahoo.com

Abstract

Fixture layout including locator and clamp layout plays a vital role in machining accuracy. Traditionally, fixtures were designed by trial and error, which is expensive and time consuming. In this regard, researches based finite element analysis in fixturing has been widely applied by researchers. However, the primary drawback of these researches is especially in modelling locator and clamp. These researches consider the workpiece and the fixturing elements to be rigid, but however they are elastic and deformable. The purpose of this research is to develop a method for modelling fixture elements that accurately can predict workpiece deformation using the FEA (finite elemen analysis). Knowledge of workpiece deformations induced by loading in a fixture-workpiece system is important to ensure quality part production. Minimizing workpiece defomation is treated as an objective function in optimization of fixture layout design. The design variables in the optimization are locator and clamp positions, and clamping forces. The state variable is the von Mises effective stress. ANSYS parametric design language code (APDL) is used to develop an algorithm to automatically optimize fixture layout, and clamping force. The locators and clamps are modelled as surface-to-surface contact. The locators are placed in a 3-2-1 fixture configuration. The workpiece is loaded to model cutting forces during machining operations. The simple optimization case has been solved and the numerical results are presented in this paper.

Keyword : finite element analisis (FEA); fixture element; optimization; workpiece maximum displacement (DMAX)

Pendahuluan

Fixture merupakan salah satu pemegang benda kerja. Fixture memiliki fungsi untuk memosisikan benda kerja dan memegang benda kerja selama pemesinan agar tidak bergerak. Fixture memiliki dua elemen fungsional dasar yaitu pemosisi (*locator*) dan pencekam (*clamp*). Pemosisi digunakan untuk membatasi derajat kebebasan benda kerja dan memosisikan benda kerja. Sedangkan pencekam digunakan untuk memegang benda kerja selama proses pemesinan.

Yang menjadi permasalahan sekarang adalah tata letak (*layout*) fixture tidak bisa ditetapkan secara sembarang. Dengan kata lain, meletakkan pemosisi dan pencekam pada benda kerja harus dilakukan pada posisi koordinat yang pas. Hal ini dikarenakan tata letak fixture sangat berpengaruh terhadap deformasi yang akan terjadi pada benda kerja baik karena pencekaman itu sendiri maupun karena pembebangan pemesinan. Selain itu, tata letak fixture juga mempengaruhi stabilitas sistem fixture-benda kerja. Koordinat-koordinat elemen fixture inilah yang perlu dicari agar deformasi dapat sekecil mungkin sementara di sisi lain sistem tetap stabil. Dengan kata lain, dalam desain tata letak fixture perlu adanya optimisasi tata letak fixture. Desain tata letak cukup penting untuk keberhasilan desain fixture secara keseluruhan.

Selama ini, yang terjadi di *shoop flor* adalah bahwa penentuan tata letak fixture sering dilakukan secara *trial and error*, yaitu metode coba-coba pada posisi koordinat dimanakah yang bisa mengakibatkan deformasi benda kerja sekecil mungkin. Tentu saja, cara ini menyebabkan desain tata letak fixture menjadi lama dan mahal. Untuk mengatasi ketidakefisienan ini, telah dilakukan banyak penelitian yang berbasis komputer untuk membantu memecahkan permasalahan ini (Tabel 1). Desain tata letak fixture berbasis komputer ini pada umumnya dilakukan dengan menggunakan pendekatan analisa elemen hingga (FEA) karena dinilai paling mudah untuk memodelkan elemen fixture dan berbagai kondisi kontak yang terjadi antara benda kerja-fixture sehingga proses desain pada akhirnya bisa menjadi lebih cepat. Meskipun demikian, kebanyakan penelitian FEA menggunakan pemodelan

yang kurang menggambarkan objek yang sebenarnya dimodelkan. Karena (1) pemodelan elemen fixture dengan hanya menggunakan kontak titik berarti pengabaian gesekan yang terjadi pada kontak antara benda kerja dengan elemen fixture. Dalam semua kasus ketika gesekan diperhitungkan, banyak yang mengasumsikan dengan gesekan Coulomb *rigid*, bukan Coulomb elastik. (2) elemen fixture dimodelkan *rigid* yang berarti pengabaian elastisitas elemen fixture. Elastisitas ini terkait dengan deformasi yang mungkin juga terjadi pada elemen fixture itu sendiri. Dalam kenyataannya, elemen fixture baik itu pemasangan maupun pencekaman memiliki sifat elastisitas.

Tabel 1. Tinjauan Pustaka Pemodelan Elemen Fixture

Pustaka	Pemodelan Elemen Fixture	
	Pemasangan	Pencekaman
Lee dan Haynes (1987)	Kontak titik elastik, Gesekan Coulomb <i>rigid</i>	TD*
Pong <i>et al.</i> (1993)	Kontak titik elastik, Gesekan Coulomb <i>rigid</i>	TD
Trappey <i>et al.</i> (1995)	Kontak permukaan	Kontak titik
Cai <i>et al.</i> (1996)	Kontak titik <i>rigid</i>	TD
Kashyap dan DeVries (1999)	Kontak titik <i>rigid</i>	Kontak titik
Wardak (2001)	Kontak titik elastik, Gesekan Coulomb <i>rigid</i>	TD
Amaral (2005)	Kontak titik elastik, Gesekan Coulomb elastik	Kontak titik

Keterangan :

* TD : Tidak Dijelaskan

Dengan demikian, analisis desain tata letak fixture dengan menggunakan pemodelan elemen fixture berbasis FEA yang selama ini berkembang menjadi tidak efektif. Akibatnya bila hasil analisis desain ini diterapkan ke dunia nyata, maka apa yang diprediksi sebelumnya akan menjadi tidak cocok dengan yang ada di lapangan sehingga dimensi benda kerja yang diharapkan menjadi kurang teliti. Pemilihan pemodelan elemen fixture yang kurang sesuai dapat mempengaruhi hasil pengukuran deformasi benda kerja. Liao (2000) menyimpulkan bahwa ada ketergantungan deformasi terukur benda kerja dengan pemodelan elemen fixture.

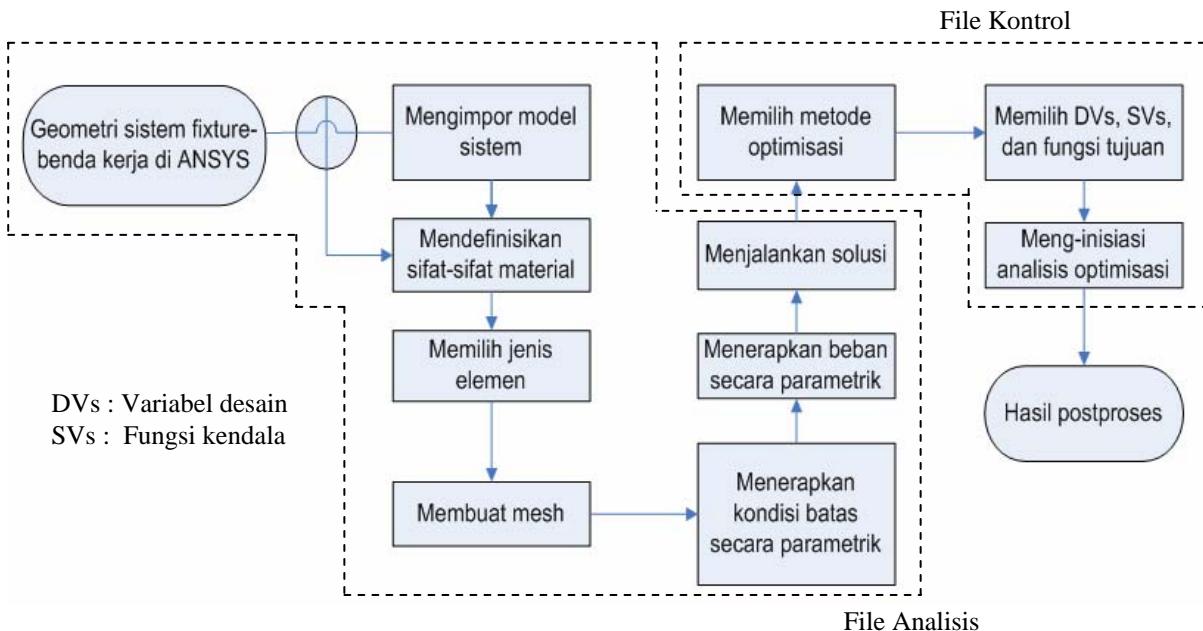
Dari latar belakang ini, dapat diperoleh suatu perumusan masalah yang menjadi kajian dalam penelitian ini yaitu "bagaimana memodelkan pemasangan dan pencekaman untuk keperluan optimisasi desain tata letak fixture dengan FEA agar dihasilkan ketelitian hasil pemesinan yang lebih tinggi".

Tahapan Penelitian

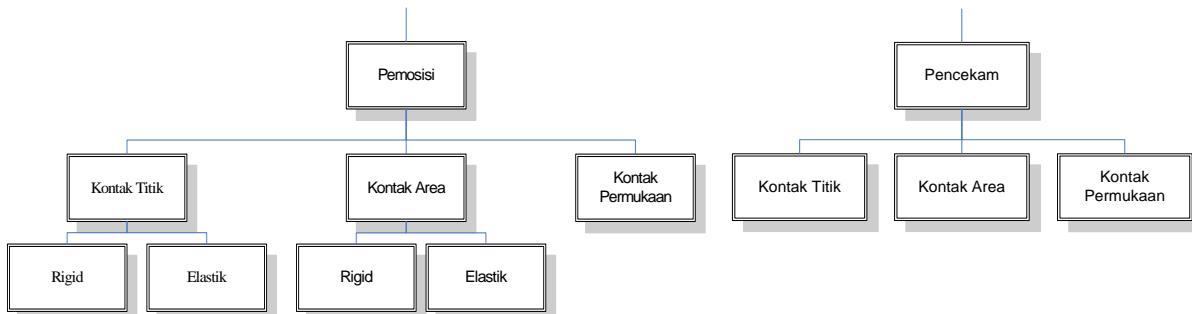
Mengacu pada perumusan masalah yang telah ditetapkan, ada dua tahapan penelitian yang akan dilakukan, yaitu (1) studi pemodelan elemen fixture, yang bertujuan untuk mencari pemodelan pemasangan dan pencekaman yang representatif. Ukuran representatif adalah kesesuaian hasil prediksi dengan data eksperimen, (2) studi optimisasi, yang bertujuan untuk mengimplementasikan pemodelan elemen fixture yang diperoleh untuk proses optimisasi desain tata letak fixture. Optimisasi dilakukan secara terintegrasi dan prosesnya berlangsung secara otomatis dalam perangkat lunak simulasi berbasis FEA, ANSYS 9.0. Algoritma proses optimisasi tata letak fixture disajikan dalam Gambar 1. Algoritma ini dituliskan dalam bentuk kode APDL (ANSYS *parametric design language*) yang terdiri dari file analisis dan file kontrol. Semua tahapan penelitian dilakukan dengan menggunakan prinsip analisa elemen hingga, yaitu *pre-processing*, *processing*, dan *post-processing* dalam perangkat lunak.

Studi Pemodelan Elemen Fixture

Elemen fixture fungsional terdiri dari pemasangan dan pencekaman. Gambar 2 menunjukkan hierarki jenis pemodelan elemen fixture yang berbeda-beda yang digunakan untuk memodelkan pemasangan dan pencekaman berbasis FEA.



Gambar 1. Skema kerangka kerja metodologi analisis desain fixture dengan FEA



Gambar 2. Hierarki pemodelan elemen fixture

Dari berbagai pemodelan yang telah dikembangkan, maka timbul pertanyaan "yang manakah yang paling akurat dalam memprediksi deformasi benda kerja?". Pertanyaan ini akan dijawab melalui dua kajian penelitian, yaitu :

- (1) simulasi "kontak titik elastik vs kontak area elastik",
- (2) simulasi "kontak permukaan vs kontak titik elastik".

Seluruh simulasi dalam penelitian ini mengasumsikan benda kerja bersifat homogen, isotropik, dan elastis linear. Jenis material benda kerja yang dipilih adalah aluminium 6061-T6 ($E=70$ GPa, $\nu=0.334$). Sedangkan elemen fixture berjenis AISI 1144 ($E=206$ GPa, $\nu=0.296$).

Kontak Titik Elastik vs Kontak Area Elastik

Kontak titik berarti memodelkan pemasangan dengan satu elemen pegas, sedangkan kontak area memodelkan pemasangan dengan banyak pegas yang disusun sejajar pada nodal-nodal benda kerja dalam satu area kontak sebesar diameter yang dimiliki tiap pemasangan. Elemen pegas oleh perangkat lunak simulasi dimodelkan dengan CONTAC52. Simulasi ini bertujuan membandingkan hasil prediksi deformasi maksimum benda kerja (DMAX) untuk dicari kecenderungan hasil prediksi DMAX antara

kedua model, mengingat keduanya menggunakan kontak *node-to-node*. Jika memiliki kecenderungan yang sama, maka dapat dipilih pemodelan mana yang paling efisien untuk studi optimisasi. Secara praktis untuk FEA, kontak titik lebih mudah diterapkan dibanding dengan kontak area.

Untuk keperluan simulasi, tiga pemosisi yang menyangga balok berukuran $10 \times 3 \times 2$ in³ dimodelkan baik dengan kontak titik elastik maupun kontak area elastik. Elemen-elemen pegas ditempelkan ke nodal-nodal terpilih dalam area kontak pada bidang datum primer balok dengan luas 10×3 in². Sedangkan benda kerja dimesh dengan elemen SOLID45.

Simulasi dilakukan dengan menvariasikan luas area kontak pemosisi berdasarkan diameter pemosisi yang dimiliki. Pemosisi dengan berbagai tipe diambil dari katalog online *Carr Lane manufacturing*. Hasil simulasi disajikan dalam Tabel 2. A_b adalah luas permukaan benda kerja (bidang datum primer) yang disangga oleh tiga pemosisi ($A_b = 10 \times 3$ in² = 30 in²). A_p adalah luas kontak tiap pemosisi. Dengan demikian, dari Tabel 2 ini dapat diperoleh kesimpulan bahwa kontak titik elastik cukup sesuai untuk memodelkan pemosisi ketika rasio antara luas permukaan benda kerja dengan luas kontak pemosisi ≥ 40 . Selisih yang diperoleh dengan membandingkan kedua model pada tiap diameter yang sama adalah $\leq 11\%$.

Tabel 2. Hasil simulasi DMAX untuk berbagai pemosisi

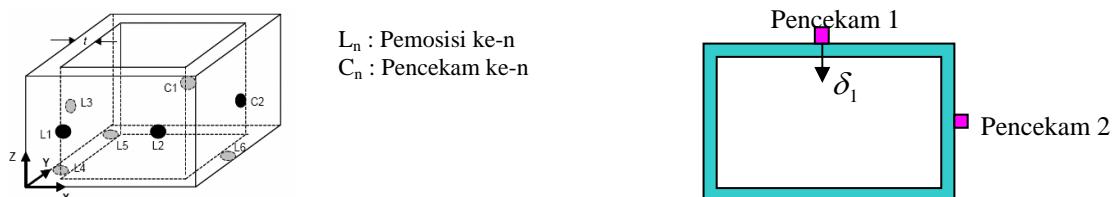
Nomor Part Pemosisi	A_p (in ²)	A_b / A_p	$D_1 \times 10^{-3}$ (in)	$D_2 \times 10^{-3}$ (in)	C (%)
CL-14-RB	0.1104	270	3.81	3.71	2.60
CL- 1-RB	0.1963	150	2.98	2.84	4.70
CL- 8-RB	0.3068	100	2.53	2.34	7.50
CL-16-RB	0.6013	50	2.17	1.97	9.20
CL-10-RB	0.7854	40	2.03	1.82	10.30

Keterangan:
 D_1 = DMAX dengan pemodelan kontak titik
 D_2 = DMAX dengan pemodelan kontak area
C = Selisih harga DMAX antara kedua model (%)
 $C = \frac{D_1 - D_2}{D_1} \times 100\%$

Kontak Titik vs Kontak Permukaan

Kontak permukaan dilakukan dengan memodelkan elemen fixture dengan model solid 3D. Kontak yang terjadi antara model solid ini dengan model solid benda kerja oleh perangkat lunak simulasi dimodelkan dengan CONTA174-TARGE170. Tujuan studi ini adalah untuk mencari apakah kontak permukaan (*surface-to-surface*) lebih akurat dalam memprediksi DMAX dibandingkan dengan kontak titik (*node-to-node*). Diharapkan dari studi ini akan diperoleh pemodelan elemen fixture yang meliputi pasangan pemosisi-pencekam yang paling representatif dalam memprediksi DMAX. Untuk mencapai tujuan ini, ada enam kasus simulasi yang akan dilakukan seperti tersaji dalam Tabel 3. Model yang disimulasikan adalah balok berongga dalam tata letak fixture 3-2-1 (Gambar 3 kiri). Elemen fixture yang digunakan berjenis planar. Elemen fixture dimodelkan dengan silinder dengan area kontak 60 dan 127 mm² masing-masing untuk pencekam dan pemosisi. Sedangkan panjang aksialnya sama yaitu 6.4 mm. Elemen 10-nodal tetrahedral SOLID92 digunakan untuk mengmesh semua solid, baik itu benda kerja maupun elemen fixture.

Validasi hasil-hasil simulasi dilakukan dengan cara membandingkannya dengan data eksperimen yang telah dilakukan oleh Shane P. Siebenaler [7]. Data pembanding adalah deformasi yang terjadi pada titik pencekaman 1, δ_1 seperti tampak dalam Gambar 3 kanan. Harga δ_1 yang terukur adalah sebesar $26.5 \mu\text{m}$ untuk gaya cekam 250 N dan $36.2 \mu\text{m}$ untuk gaya cekam 350 N. Semua parameter simulasi disesuaikan dengan parameter eksperimen.



Gambar 3. (Kiri) Tata letak fixture 3-2-1; (Kanan) Titik deformasi benda kerja

Hasil simulasi disajikan dalam Tabel 4. Dari Tabel 4 ini dapat ditarik kesimpulan bahwa : (1) untuk hasil yang lebih akurat, pemosisi sebaiknya dimodelkan dengan kontak permukaan karena memiliki peran yang lebih besar dalam memprediksi DMAX secara lebih akurat dibanding peran pemodelan pencekam, (2) pemodelan elemen fixture yang paling representatif adalah ketika memodelkan pemosisi dan pencekam dengan kontak permukaan. Hal ini dapat dimengerti karena kontak permukaan menghitung efek gesekan pada daerah kontak dan elastisitas yang terjadi.

Tabel 3. Enam Simulasi untuk berbagai Pemodelan Elemen Fixture

Simulasi ke-n	Pemosisi	Model di ANSYS	Pencekam	Model di ANSYS
1	Kontak titik elastik	Pegas	Kontak titik	Gaya pada satu nodal
2	Kontak titik elastik	Pegas	Kontak area	Gaya pada nodal-nodal dalam satu area
3	Kontak titik elastik	Pegas	Kontak permukaan	Silinder 3D
4	Kontak permukaan	Silinder 3D	Kontak titik	Gaya pada satu nodal
5	Kontak permukaan	Silinder 3D	Kontak area	Gaya pada nodal-nodal dalam satu area
6	Kontak permukaan	Silinder 3D	Kontak permukaan	Silinder 3D

Tabel 4. Hasil Simulasi vs Eksperimen untuk Gaya Pencekaman 250 dan 350 N

No	Pemodelan Elemen Fixture	250 N	350 N
		$\delta_1 (\mu m)$	$\delta_1 (\mu m)$
1	Eksperimen [7]	26.5	36.2
	Pemosisi : Kontak titik elastik Pencekam : Kontak titik	35.6	50.0
	penyimpangan	34.3 %	38.1 %
2	Pemosisi : Kontak titik elastik Pencekam : Kontak area	33.5	46.9
	penyimpangan	26.4 %	29.6 %
3	Pemosisi : Kontak titik elastik Pencekam : Kontak permukaan	34.0	47.5
	penyimpangan	28.3 %	31.2 %
4	Pemosisi : Kontak permukaan Pencekam : Kontak titik	30.4	42.5
	penyimpangan	14.7 %	17.4 %
5	Pemosisi : Kontak permukaan Pencekam : Kontak area	30.1	42.2
	penyimpangan	13.6 %	16.6 %
6	Pemosisi : Kontak permukaan Pencekam : Kontak permukaan	27.3	38.2
	penyimpangan	3.0 %	5.5 %

Keterangan:

$$\text{Penyimpangan} = \frac{\text{Deformasi hasil eksperimen}(\delta_1) - \text{Deformasi hasil simulasi}}{\text{Deformasi hasil eksperimen}(\delta_1)} \times 100\%$$

Studi Optimisasi Desain Tata letak Fixture

Optimisasi desain tata letak fixture bertujuan untuk mencari letak koordinat-koordinat pemosisi dan pencekam yang mampu memberikan stabilitas sistem fixture-benda kerja dengan deformasi benda kerja yang sekecil mungkin. Ada tiga variabel optimisasi yang perlu diperhatikan dalam proses optimisasi, yaitu variabel desain, fungsi kendala, dan fungsi tujuan.

Variabel desain (*Design Variabel*, DVs) merupakan besaran bebas yang divariasikan untuk mencapai desain yang optimum. Batas atas dan bawah ditentukan sebagai “batasan (*constraint*)” pada variabel desain. Variabel desain dalam optimisasi ini adalah letak pemosisi dan pencekam, serta tekanan (atau gaya) pencekaman. Fungsi kendala (*State Variabel*, SVs) adalah besaran-besaran yang

membatasi desain. Variabel ini dikenal juga sebagai “variabel tidak bebas” yang merupakan fungsi variabel desain. Fungsi kendala berupa tegangan lokal von Misses. Besarnya tegangan ini diamati pada benda kerja di daerah kontak tiap pemasangan dan pencekaman dan tidak boleh melebihi tegangan luluh material benda kerja. Fungsi tujuan (*objective function*) adalah variabel tak bebas yang berusaha untuk diminimalkan. Fungsi tujuan berupa deformasi maksimum benda kerja (D_{MAX}). Variabel desain, fungsi kendala, dan fungsi tujuan dinyatakan sebagai variabel optimisasi. Dalam optimisasi ANSYS, variabel-variabel ini dinyatakan sebagai **parameter** dan didefinisikan oleh pengguna. Pengguna harus menentukan parameter mana dalam model yang disebut sebagai DVs, mana yang SVs, dan mana yang fungsi tujuan.

Pengaturan desain (*design set*) merupakan kumpulan unik nilai-nilai parameter yang menggambarkan tata letak tertentu. Secara khusus, pengaturan desain ditandai oleh nilai-nilai variabel optimisasi. Desain yang layak (*feasible design*) merupakan desain yang memenuhi semua batasan baik yang ditentukan dalam SVs maupun dalam DVs. Jika ada satu batasan tidak terpenuhi, maka desain dipertimbangkan tidak layak. Desain terbaik adalah desain yang memenuhi semua batasan dan menghasilkan nilai fungsi tujuan yang minimum. Jika semua pengaturan desain tidak layak, pengaturan desain terbaik adalah yang paling mendekati untuk dijadikan desain layak, terlepas dari fungsi tujuan.

Analisis optimisasi dilakukan dalam perangkat lunak simulasi berbasis FEA, ANSYS 9.0. Metode optimisasi dalam perangkat ini melakukan serangkaian siklus **analisis-evaluasi-modifikasi**. Proses ini berarti bahwa analisis desain awal dilakukan, hasilnya dievaluasi berdasarkan kriteria desain yang telah ditentukan, dan kemudian desain dimodifikasi seperlunya. Proses ini berulang sampai semua kriteria yang telah ditentukan tersebut terpenuhi.

File analisis adalah file masukan ANSYS yang meliputi serangkaian analisis yang lengkap (*preprocessing, processing, postprocessing*). File ini mengandung suatu model yang terdefinisi secara parametrik, dengan menggunakan parameter-parameter untuk menyajikan semua masukan dan keluaran yang akan digunakan sebagai DVs, SVs, dan fungsi tujuan. File loop merupakan file kontrol untuk membangun model. File kontrol menginisialisasi variabel desain, mendefinisikan ruang desain (*design space*) yang layak, metode analisis optimisasi, dan kontrol loop, serta mengeksekusi analisis optimisasi. File analisis dan file kontrol dimasukkan dalam kode APDL.

Studi optimisasi dilakukan pada balok berukuran 90 x 90 x 50 mm³. Balok disimulasikan berada dalam tata letak fixture 3-2-1 (Gambar 4) yang direncanakan mengalami pembebanan pembesaran lubang. Pembesaran dimodelkan dengan gaya aksial, dan torsi. Koordinat masing-masing elemen fixture dinyatakan sebagai konfigurasi awal (pengaturan desain 1) seperti tersaji dalam Tabel 5. Pemodelan elemen fixture yang digunakan adalah kontak permukaan (CONTA174 dan TARGET170). Balok dimesh dengan SOLID45, sedangkan elemen fixture dimesh dengan SOLID92. Dimensi pemodelan elemen fixture disamakan dengan pemodelan studi ”kontak permukaan vs kontak titik”.

Dua simulasi dilakukan, (1) simulasi dengan memilih kisaran variabel desain pada ruang desain terbatas, dan (2) simulasi dengan memilih kisaran variabel desain pada ruang desain diperluas seperti tampak dalam Gambar 4. Pengaturan desain 2 adalah tata letak fixture hasil optimisasi untuk ruang desain terbatas. Sedangkan pengaturan desain 3 adalah tata letak fixture hasil optimisasi untuk ruang desain diperluas. Hasil-hasil optimisasi disajikan dalam Gambar 4, 5, dan 6, serta Tabel 5.

Dari Gambar 4 dan Tabel 5 dapat diperoleh kesimpulan bahwa dalam pengaturan desain 2, pemasangan pada bidang datum primer (L4, L5, dan L6) digeser lebih dekat ke pusat bidang untuk meminimalkan deformasi dikarenakan beban aksial yang diterapkan. Begitu juga dengan tata letak pemasangan pada pengaturan desain 3, ada kecenderungan untuk mendekat ke pusat bidang. Sedangkan pencekaman 2 bergeser mengikuti gerakan pemasangan 3 yang letaknya berseberangan. Dengan cara ini, gaya pencekaman akan diserap langsung oleh pemasangan 3 sehingga deformasi benda kerja dapat diminimalisasi. Lain halnya dengan pencekaman 1 yang berusaha untuk tetap berada di pusat bidang. Ini dilakukan agar deformasi karena lenturan dapat dikurangi.

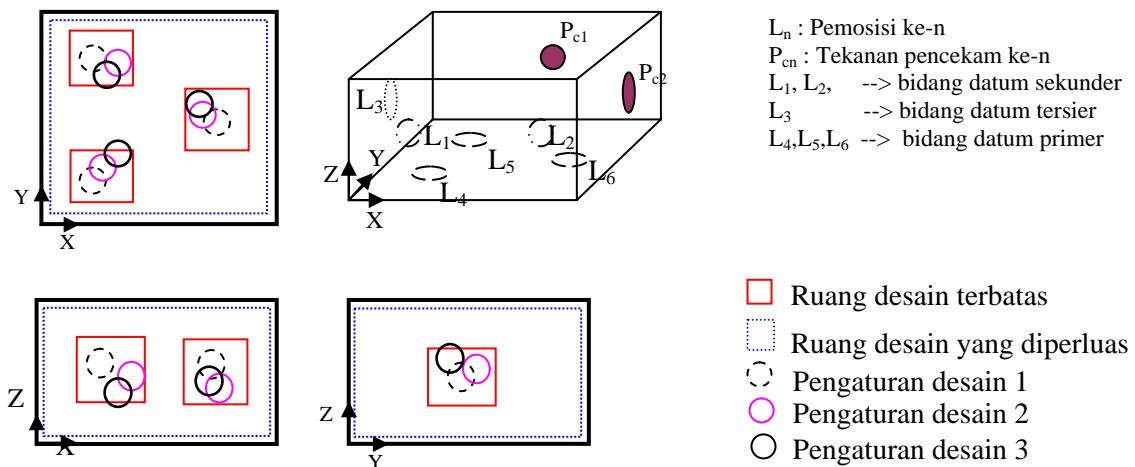
Gambar 5 menunjukkan deformasi resultant maksimum yang diminimalisasi selama proses optimisasi berjalan baik untuk pengaturan desain 2 dan 3. Dari kedua gambar ini, deformasi resultant maksimum cenderung mengalami pola yang sama yaitu terus mengalami penurunan hingga mencapai nilai yang konstan yang berarti bahwa tata letak elemen fixture yang optimal telah tercapai karena

kriteria desain telah terpenuhi. Dalam simulasi ini, DMAX berkurang lebih dari 50 % dari 13.6 mikron untuk tata letak awal menjadi 6.0 mikron baik untuk pengaturan desain 2 maupun 3.

Gambar 6 menunjukkan grafik tekanan pencekaman yang diminimalisasi selama proses optimisasi berjalan baik untuk pengaturan desain 2 dan 3. Tekanan pencekaman untuk pencekam 1 berkurang secara signifikan yaitu dari 33 MPa hingga menjadi 9 MPa untuk pengaturan desain 1. Hal yang sama juga berlaku pada pencekam 2, dimana tekanan pencekaman berkurang secara signifikan yaitu dari 33 MPa menjadi 4 MPa untuk pengaturan desain 2. Lebih kecilnya tekanan pencekaman hasil optimisasi pada pencekam 2 dibanding pada pencekam 1 karena pencekam 2 hanya menahan satu pemasangan yang terletak pada bidang datum tersier. Untuk ruang desain yang diperluas (pengaturan desain 3), hasil optimisasi menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda dengan pengaturan desain 2, yaitu menunjukkan harga 8 MPa untuk pencekam 1 dan 3 MPa untuk pencekam 2. Dengan demikian, ruang desain yang lebih luas akan memungkinkan pencarian solusi yang lebih baik karena pada ruang desain terbatas akan ada satu atau beberapa titik tata letak konfigurasi yang tak terhitung yang sebenarnya mampu menghasilkan tata letak yang lebih optimal.

Tabel 5. Hasil Optimisasi Tata Letak Fixture
dalam mm

Pemosisi (L_n)	Pengaturan Desain 1			Pengaturan Desain 2			Pengaturan Desain 3		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1	20.0	0.0	25.0	28.5	0.0	22.1	18.6	0.0	28.6
2	70.0	0.0	25.0	60.5	0.0	31.4	66.2	0.0	28.6
3	0.0	45.0	25.0	0.0	45.6	26.7	0.0	49.5	34.5
4	20.0	20.0	0.0	34.6	17.2	0.0	29.9	20.7	0.0
5	20.0	70.0	0.0	24.26	61.5	0.0	20.8	68.7	0.0
6	70.0	45.0	0.0	70.4	58.9	0.0	71.0	50.8	0.0
Pencekam									
1	40	90	25	34.5	90.0	25.1	31.2	90.0	23.7
2	90	40	25	90.0	46.5	26.8	90.0	48.9	35.0

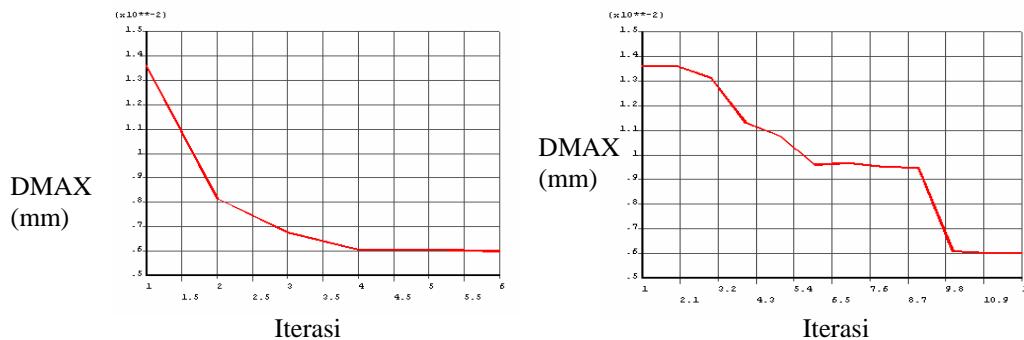


Gambar 4. Konfigurasi tata letak fixture

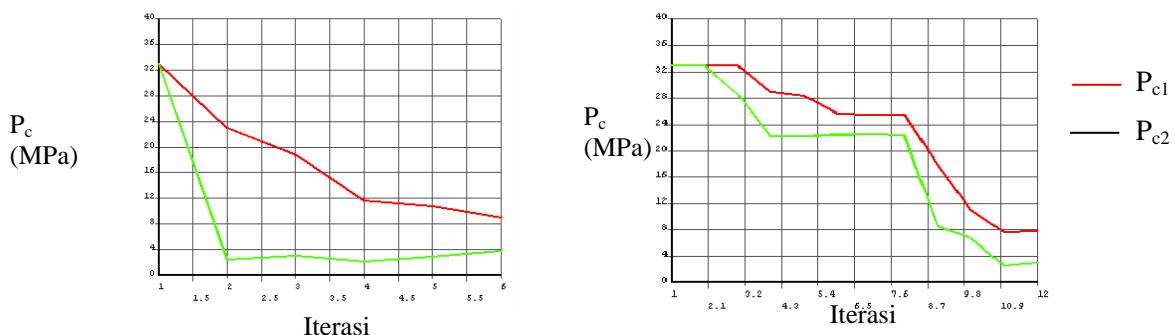
Kesimpulan

Dalam studi ini, model elemen hingga dikembangkan untuk mencari pemodelan elemen fixture yang mampu secara akurat memprediksi besarnya deformasi benda kerja yang berada dalam tata letak fixture tertentu. Elemen fixture lebih sesuai dimodelkan dengan kontak permukaan baik untuk pemasangan atau pencekam. Efek ini memperhitungkan gesekan elemen fixture serta elastisitas benda kerja. Kesesuaian hasil prediksi DMAX dengan pemodelan elemen fixture yang dipilih dengan data eksperimen yang ada di literatur berkisar antara 3-5 %.

Optimisasi bertujuan untuk mencapai ketelitian dan stabilitas benda kerja dalam waktu yang bersamaan. Algoritma optimisasi yang ditulis dalam kode APDL telah digunakan untuk mengoptimalkan lokasi pemosisi, lokasi pencekam, dan besarnya gaya pencekaman secara otomatis. Metode ini mampu meminimalisasi deformasi resultan maksimum benda kerja dan mencapai stabilitas sistem fixture-benda kerja.



Gambar 5. Optimisasi deformasi benda kerja (DMAX) ;
(Kiri) untuk ruang desain terbatas; (Kanan) untuk ruang desain diperluas



Gambar 6. (Kiri) Optimisasi tekanan pencekaman;
(Kiri) untuk ruang desain terbatas; (Kanan) untuk ruang desain diperluas

Daftar Pustaka

1. Amaral, N., Rencis, Joseph J., Rong, Yiming. (2005), Development of a finite element analysis tool for fixture design integrity verification and optimization, *International Journal Advanced Manufacturing Technology* **25**, 409 - 419.
2. Carr Lane Manufacturing Company (2006) Online Catalog. Carr Lane Manufacturing Company, St. Louis, MO. <http://www.carrlane.com/>.
3. Cai W. Hu SJ, Yuan JX. (1996), Deformable sheet metal fixturing: principles, algorithms, and simulations, *Transaction ASME Journal Of Engineering For Industry* **118**, 318-324.
4. Kashap, S., DeVries, W.R. (1999), Finite element analysis and optimization in fixture design, *Structural Optimization*. **18**, 193 – 201.
5. Lee, J.D., Haynes, L.S. (1987), Finite element analysis of flexible fixture system, *Transaction ASME Journal OF Engineering For Industry* **109**, 134 -139.
6. Satyanarayana, S., Melkote, S.N. (2004), Finite element modeling of fixture– workpiece contacts: single contact modeling and experimental verification, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* **44**, 903 – 913.
7. Siebenaler, Shane P., Melkote, S.N. (2006), Prediction of workpiece deformation in a fixture system using the finite element method, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* **46**, 51- 58..
8. Wardak, Khaled. (2001), Optimal fixture design for drilling through deformable plate workpieces—part 1: model formulation, *Journal of Manufacturing System* **20**, 23 – 21.