

MODEL ELEMEN HINGGA UNTUK ANALISIS PENGARUH URUTAN PENCEKAMAN DALAM FIXTURE TERHADAP PERPINDAHAN LOKASI BENDA KERJA

Mohammad Tauviquirrahman¹⁾

Abstrak

Pengetahuan perpindahan lokasi benda kerja akibat pengecaman dalam sistem fixture-benda kerja merupakan hal yang penting untuk menjamin kualitas produk. Ada beberapa sumber kesalahan terkait dengan fixture yang diketahui memberikan kontribusi terhadap perpindahan lokasi benda kerja sehingga menyebabkan kualitas produk yang buruk. Di samping sumber kesalahan tertentu, seperti kesalahan geometri fixture dan deformasi elastik dan benda kerja akibat gaya pengecaman, urutan pengecaman juga dapat mempengaruhi posisi dan orientasi benda kerja.

Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan model elemen hingga untuk menganalisa pengaruh urutan pengecaman pada benda kerja terhadap perpindahan lokasi benda kerja dalam sistem fixture benda-kerja. Perpindahan lokasi benda kerja didefinisikan sebagai perpindahan suatu titik respon pada permukaan benda kerja. Perangkat lunak berdasarkan metode elemen hingga, ANSYS digunakan untuk memodelkan berbagai kondisi batas yang ada dan menghitung besarnya perpindahan lokasi benda kerja yang ditinjau dalam sistem fixture 3-2-1. Model yang dikembangkan fokus terhadap pemodelan pengecam dalam perangkat ANSYS.

Berdasarkan studi ini, diketahui bahwa urutan pengecaman yang berbeda memiliki pengaruh terhadap besarnya perpindahan lokasi benda kerja dan gaya reaksi pemosisi. Pengecam dimodelkan dengan kontak surface-to-surface agar efek kekakuan baik elemen fixture maupun benda kerja berpengaruh terhadap ketepatan hasil prediksi. Perbandingan hasil simulasi dengan hasil eksperimen yang telah ada menunjukkan bahwa rata-rata perpindahan lokasi benda kerja adan gaya reaksi yang muncul adalah 7 % dan 11 %.

Kata kunci: Urutan pengecaman, Perpindahan lokasi, Fixture

PENDAHULUAN

Fixture pemesinan digunakan untuk memosisikan benda kerja dan memegang benda kerja selama pemesinan agar tidak bergerak. Fixture dikembangkan untuk manufaktur dan perakitan sehingga memberikan pemosisian benda kerja yang unik, teliti, dan tepat.

Metode-metode untuk menganalisa fixture adalah hal yang esensi dalam desain sistem fixture-benda kerja baik dilihat dari ketelitian proses dan hasil maupun biayanya. Dalam praktek, metode yang memiliki kemampuan untuk memodelkan dan memprediksi secara teliti deformasi benda kerja yang diakibatkan oleh beban pen-fixture-an serta gaya kontak benda kerja-fixture yang tidak diketahui merupakan sesuatu yang penting untuk mendesain fungsi fixture. Berdasarkan kajian literatur, salah satu metode yang digunakan adalah metode elemen hingga (FEM) [1]. Metode ini dinilai sangat *powerful* dan mampu menghitung ketidak-linieran yang ada pada sistem [2].

Sering kali dalam pen-fixture-an, digunakan banyak pengecam untuk mencapai tujuan fungsi pemegangan benda kerja. Urutan yang mana pengecam

terlebih dahulu diterapkan dapat mempengaruhi posisi akhir dan orientasi benda kerja. Hal ini dapat mendorong terjadinya lokasi benda kerja yang tidak akurat sehingga menyebabkan kualitas benda kerja yang buruk pula. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa perubahan gaya pengecaman sebesar 200 N dapat mengakibatkan perpindahan sebesar 9 μm pada titik kritis di permukaan benda kerja [4].

Model detail bagaimana urutan pengecaman mempengaruhi orientasi benda kerja dan kualitas produk masih terbatas. Chandra et al [3] memberikan prosedur tahap demi tahap untuk memodelkan urutan pengecaman dengan menggunakan model FE non-linear, khususnya dengan menggunakan elemen GAP untuk memodelkan kontak fixture-benda kerja. Meskipun demikian, model hanya terbatas pada *toggle clamp* dimana gaya pengecaman tidak konstan, karena merupakan suatu fungsi interferensi antara pengecam dengan benda kerja. Selain itu, kekakuan elemen fixture tidak dimodelkan.

Anand Raghu [4] memberikan model analitik dan eksperimen serta prosedur algoritma yang memprediksi perpindahan lokasi komponen benda kerja sebagai fungsi urutan pengecaman. Dalam model analitik ini, kekakuan pemosisi dan pengecam dimodelkan dengan pegas.

Tulisan ini menyajikan pemodelan elemen hingga yang meliputi elemen pengecam untuk prediksi besarnya perpindahan lokasi benda kerja akibat pengaruh urutan pengecaman. Perbandingan analisis

1) Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin FT-UNDIP

antara hasil eksperimen yang ada [4] dengan model elemen hingga yang dikembangkan juga akan disajikan. Dengan model elemen hingga, elemen pengecam bisa dimodelkan dengan berbagai jenis. Model yang paling representatif akan diberikan.

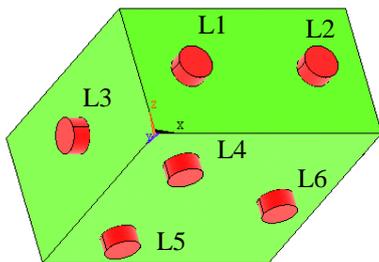
TUJUAN PENELITIAN

Dalam studi ini, model elemen hingga dikembangkan untuk pengecam dalam sistem fixture-benda dengan menggunakan perangkat lunak simulasi berdasar metode elemen hingga. Perangkat lunak yang digunakan adalah ANSYS Multiphysics 9.0. Berbagai pemodelan pengecam dikembangkan dalam kasus untuk mengetahui pengaruh urutan pengecaman terhadap perpindahan lokasi benda kerja. Hasil simulasi model ini selanjutnya akan dibandingkan dengan hasil eksperimen yang telah dilakukan oleh Anand Raghu [4] guna mengetahui validitas model elemen hingga yang akan dikembangkan.

Diharapkan dari hasil simulasi ini, diperoleh kesimpulan bagaimana urutan pengecaman akan berpengaruh terhadap perpindahan lokasi benda kerja sehingga dapat memberikan informasi yang berguna terhadap perancangan fixture dalam membuat perbandingan kuantitatif urutan pengecaman yang berbeda. Selain itu, juga ingin diperoleh model elemen hingga untuk pengecam yang representatif.

PENGEMBANGAN MODEL

Sistem fixture-benda kerja yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari balok berpenampang persegi. Balok ini ditahan dalam suatu tata letak fixture 3-2-1 seperti ditunjukkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Tata letak elemen fixture, pemosisi 3-2-1

Benda kerja berukuran 125 mm x 150 mm x 75 mm terbuat dari aluminum 6061-T6 ($E = 70 \text{ GPa}$, $\nu = 0.334$). Dua pengecam digunakan untuk menahan benda kerja melawan enam pemosisi: tiga pada bidang primer, dua pada bidang sekunder, dan satu pada bidang tersier. Gaya pengecaman sebesar 200 N per pengecam digunakan. Elemen fixture berjenis planar terbuat dari baja AISI 1144 yang dikeraskan ($E=206 \text{ GPa}$, $\nu=0.296$). Pemosisi memiliki diameter nominal 14.3 mm dan tinggi 6.6 mm, sementara pengecam memiliki diameter 24.6 mm dan tinggi 25 mm. Koefisien gesek statik rata-rata untuk pasangan material benda kerja-fixture yang digunakan adalah 0.18 [5].

Model elemen hingga dibangun dengan menggunakan perangkat lunak ANSYS Multiphysics 9.0. Model solid terdiri dari balok dan elemen fixture. Semua komponen dalam sistem dimodelkan sebagai elastik isotropik. Koordinat global tata letak elemen fixture disajikan dalam Tabel 1. Elemen tetrahedral 10-nodal SOLID95 digunakan untuk mengemesh semua solid. Elemen fixture pemosisi dimodelkan dengan silinder untuk menggambarkan kontak *surface-to-surface* (disebut juga kontak permukaan). Sedangkan pengecam yang digunakan untuk mengecam benda kerja dimodelkan baik dengan kontak area elastik maupun kontak permukaan seperti terlihat dalam Gambar 2. Kontak titik tidak digunakan dalam model ini karena kurang representatif akibat tidak adanya pengaruh kekakuan pengecam [6].

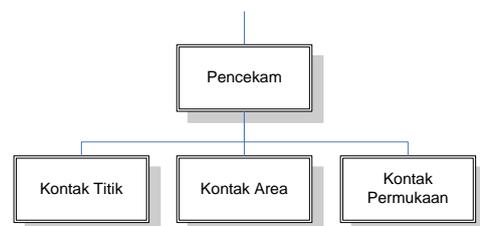
Tabel 1. Koordinat Elemen Fixture pada Model Balok

	Koordinat		
	X (mm)	Y(mm)	Z(mm)
L1	22.31	0.0	41.66
L2	124.91	0.0	41.66
L3	0.0	79.76	41.66
L4	4.99	24.52	0.0
L5	4.99	24.52	0.0
L6	148.5	66.3	0.0
C1	82.5	127.46	41.03
C2	153.04	67.06	41.03

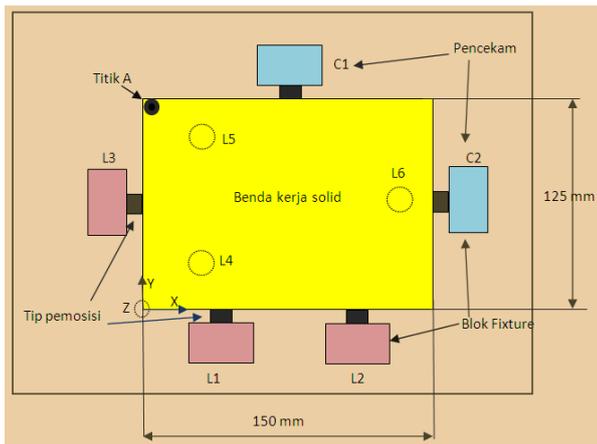
Keterangan:
L : Pemosisi
C : Pengecam

Gaya reaksi normal yang ditinjau berada pada pemosisi 3, L3. Gaya reaksi tangensial pada titik kontak tidak diamati karena pada umumnya besarnya jauh lebih kecil daripada gaya normal. Perpindahan lokasi benda kerja diamati pada titik A (0, 125, 75) seperti terlihat pada Gambar 3. Titik ini akan dijadikan acuan validitas model yang dikembangkan. Dengan menggunakan perangkat lunak FEA, perpindahan lokasi dapat diketahui dengan mudah pada setiap tempat, mulai dari harga yang paling kecil hingga yang paling besar. Urutan pengecaman ditulis dalam suatu kode APDL (*ANSYS Parametric Design Language*).

Pengaruh urutan pengecaman yang berbeda disajikan dalam Tabel 2.



Gambar 2. Pemodelan Pengecam



Gambar 3. Skema tata letak fixture

HASIL DAN DISKUSI

Perpindahan lokasi benda kerja, d_{total} akibat perpindahan pada titik A karena beban pencekaman didefinisikan sebagai :

Gaya normal pada pemosisi L3 diperoleh dengan mempertimbangkan berbagai urutan pencekaman seperti tersaji pada Tabel 2. Adapun penjelasan notasi gaya normal yang terjadi adalah sebagai berikut :

- F_{Nst} adalah gaya setelah pencekam pertama diterapkan;
- F_{Nda} adalah gaya setelah pencekam kedua diterapkan.

Tabel 3 dan 4 menyajikan perbandingan hasil simulasi dengan hasil eksperimen [4] dengan mempertimbangkan urutan pencekaman untuk dua model pencekam yang berbeda. Tabel 3 menggunakan model kontak permukaan, sedangkan Tabel 4 menggunakan model kontak area elastik. Dari kedua tabel ini dapat diperoleh kesimpulan bahwa pemodelan pencekam dengan menggunakan kontak permukaan memberikan hasil yang paling mendekati dengan hasil eksperimen. Penyimpangan yang dihasilkan paling besar bernilai $< 11\%$ apabila digunakan model kontak permukaan. Hal ini dikarenakan model ini memperhitungkan efek kekakuan elemen pencekam dalam pemecahan.

Berdasarkan hasil simulasi dan eksperimen yang ada seperti tersaji dalam Tabel 3, terdapat perbedaan perpindahan lokasi benda kerja (d_{total}) dan gaya kontak normal pada pemosisi 3 antara pencekaman yang diterapkan secara bersamaan dengan yang diterapkan secara berurutan. Selain itu hasil simulasi juga menunjukkan prediksi yang baik dengan hasil eksperimen karena baik perpindahan lokasi benda kerja maupun gaya normal berada pada orde yang sama. Kesalahan persentasi rata-rata dalam memprediksi perpindahan lokasi benda kerja dan gaya reaksi normal

berada pada kisaran $7\% - 11\%$. Kesalahan persentasi untuk suatu kasus, misalkan dalam urutan B(a), dapat menjadi sangat besar, dikarenakan besar orde yang sangat kecil. Perbedaan-perbedaan yang dihasilkan karena simulasi memodelkan luas kontak yang terjadi antara benda kerja dengan silinder sebagai elemen fixture adalah 100% . Hal ini berbeda dengan eksperimen bahwa luas kontak yang terjadi hanya $2/3$ luas kontak nominal. Selain itu, simulasi tidak memodelkan blok pendukung fixture.

KESIMPULAN

Dalam studi ini, model elemen hingga dikembangkan untuk mencari pemodelan elemen fixture, pencekam. Model yang terpilih telah mampu mensimulasikan pengaruh urutan pencekaman terhadap besarnya kesalahan perpindahan benda kerja dan gaya reaksi normal pada suatu pemosisi. Penyimpangan model yang dikembangkan dengan eksperimen yang ada bernilai 7% untuk prediksi perpindahan lokasi benda kerja dan 11% untuk gaya reaksi normal.

Model-model yang disajikan diharapkan memberikan suatu gambaran bagi perancang fixture untuk memperoleh pemahaman yang kualitatif dan kuantitatif dampak urutan pencekaman terhadap perpindahan lokasi benda kerja.

DAFTAR PUSTAKA

- 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.
- 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.
- Chandra, P., S.M. Athavale, R.E. DeVor, S.G. Kapoor. (1996), Effect of preloads on the surface flatness during fixturing of flexible workpiece, *Proceedings of the First SM Wu Symposium* **2**, 146-152.
- Raghu, Anand, S.N. Melkote. (2003), Analysis of the effects of fixture clamping sequence on part location errors, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* **44**, 373-382.
- 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.
- Tauviqirrahman, M. (2006), *Optimisasi desain tata letak fixture dengan perangkat lunak simulasi*, Tesis Program Magister, Institut Teknologi Bandung.

Tabel 2. Urutan pengekaman yang berbeda

Urutan	Gaya pengekaman	Tahap I	Tahap II
A (serempak)	200 N	Diterapkan baik C1 dan C2	-
B (C1-C2)	200 N	Menerapkan C1	Menerapkan C2
C (C2-C1)	200 N	Menerapkan C2	Menerapkan C1

Tabel 3. Perbandingan hasil simulasi dengan hasil eksperimen untuk perpindahan lokasi benda kerja [4] untuk model kontak permukaan

Model Pengekam -->		200 N		
Kontak Permukaan		d_{total} (μm)	F_{Nst} (N)	F_{Nda} (N)
Urutan A (Serempak)	Eksperimen	6.7	167.3	Tidak ada
	Hasil Simulasi	6.1	153	Tidak ada
	% Perpindahan	8.9	8.5	Tidak ada
Urutan B (C1 -> C2)	Eksperimen	5.9	1.3	124.6
	Hasil Simulasi	6.4	1.8	125.9
	% Perpindahan	-7.8	-38.4	-1.0
Urutan C (C2 -> C1)	Eksperimen	6.3	162.4	141.8
	Hasil Simulasi	6.7	179.6	138.8
	% Perpindahan	-6.3	-10.2	2.1

Tabel 4. Perbandingan hasil simulasi dengan hasil eksperimen untuk perpindahan lokasi benda kerja [4] untuk model kontak area elastik

Model Pengekam -->		200 N		
Kontak Area elastik		d_{total} (μm)	F_{Nst} (N)	F_{Nda} (N)
Urutan A (Serempak)	Eksperimen	6.7	167.3	Tidak ada
	Hasil Simulasi	4.2	155.4	Tidak ada
	% Perpindahan	37.3	7.1	Tidak ada
Urutan B (C1 -> C2)	Eksperimen	5.9	1.3	124.6
	Hasil Simulasi	3.7	2.1	135.7
	% Perpindahan	37.3	-61.5	8.9
Urutan C (C2 -> C1)	Eksperimen	6.3	162.4	141.8
	Hasil Simulasi	7.8	187.9	134.6
	% Perpindahan	-23.8	15.7	5.1