

PERANCANGAN KONSEPTUAL DAN PABRIKASI MESIN TEKAN PAKU KELING DENGAN METODE PEMODELAN FUNGSIONAL

Beni Tri Sasongko

Jurusan Teknik Mesin
Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta
E-mail: beni_trisasongko@yahoo.com

ABSTRACT

A mechanization system is continuously optimized to get a low cost product and a homogen product in manufacturing process such as aluminum based industry. Rivet joint on the aluminum based product can be used, which the joint is one of stages on production process that determine capacity and quality of the product. A good rivet joint can give a good product that can increase a price of the product. A way to replace a manual rivet joint use rivet joint machine that can improve a quality of the product. Rivet joint machine is used to make a permanent joining of the aluminium sheets. This paper report a design process of the rivet joint machine. In this study, the design of the rivet joint machine was used functional modelling method. This method was focused on the specification of machine that used the production scale technology. It was conducted by the three-stage processes: comparing the process with a similar one, making the conceptual design, and testing the riveted joints. A method of the research on tensile test of the rivet with various diameter of 3, 4, and 5 mm were evaluated. The result of the tensile strength testing on aluminum plate joints by using the rivet are 9,70 kg/mm², 14,77 kg/mm², and 18,86 kg/mm² respectively. The strength of the rivet joint can support a load on the aluminum joint products.

Keywords: rivet joint machine, functional modelling, conceptual design, and strength testing.

INTISARI

Sistem mekanisasi dalam industri manufaktur terus dioptimalkan untuk menekan biaya produksi dan menjaga keseragaman kualitas produk. Pengelangan adalah merupakan salah satu tahapan dari proses produksi yang menentukan kualitas dari produk. Hal ini sangat berpengaruh terhadap nilai jualnya. Untuk perbaikan kualitas produk, salah satu alternatif yang harus dilakukan ialah mengganti cara pengelangan secara manual dengan pengelangan menggunakan mesin pada industri berbahan dasar alumunium. Mesin tekan paku keling merupakan mesin perkakas yang dapat digunakan dalam proses pengelangan pada sambungan produk kerajinan alumunium pegangan panci. Makalah ini melaporkan mekanisme rancang bangun sebuah mesin tekan paku keling. Proses perancangan mesin keling ini menggunakan metode pemodelan fungsional. Metode ini difokuskan pada spesifikasi mesin perkakas yang memakai teknologi skala produksi. Mekanisme perancangan ini menggunakan tiga tahapan proses yaitu membandingkan dengan proses sejenis, melakukan perancangan konseptual, serta melakukan pengujian produk keling. Pengujian yang dilakukan adalah uji kekuatan tarik hasil penekanan paku keling dengan diameter 3, 4, dan 5 mm. Hasil pengujian kuat tarik paku keling dari dua buah plat alumunium dengan diameter paku keling 3, 4, dan 5 mm, diperoleh nilai kekuatan tarik masing-masing hasil pengelangan adalah 9,70 kg/mm², 14,77 kg/mm², dan 18,86 kg/mm². Data tersebut menunjukkan kelingan pada pegangan panci dinyatakan aman untuk menerima beban yang diberikan.

Kata Kunci: mesin tekan paku keling, pemodelan fungsional, perancangan konseptual, dan uji tarik.

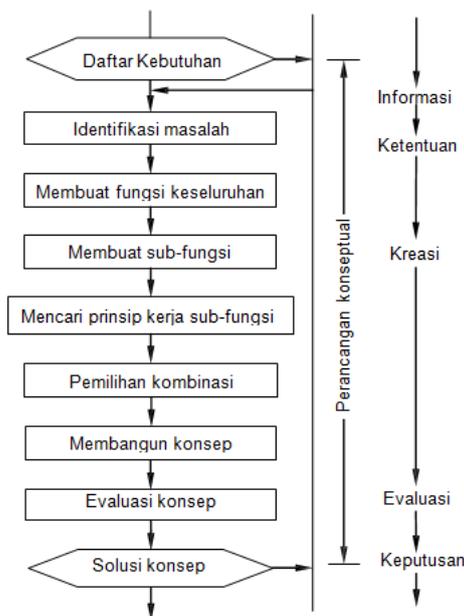
PENDAHULUAN

Dewasa ini, pertumbuhan ekonomi semakin tinggi. Begitu juga dengan perkembangan usaha kecil menengah (UKM). Salah satu contoh UKM yang berpotensi besar untuk dikembangkan adalah industri kerajinan alumunium dengan produk berupa alat-alat rumah tangga di daerah Giwangan, Yogyakarta. Beberapa proses akhir dari pembuatan alat-alat rumah

tangga tersebut sebagian besar pengerjaannya masih menggunakan alat bantu mesin yang sederhana. Bahkan ada beberapa dari proses akhir tersebut yang masih menggunakan tenaga manusia sehingga menyebabkan kualitas akhir yang kurang baik. Hal ini mendorong perlunya pengembangan sebuah alat mesin tekan paku keling guna menekan biaya produksi, menjaga keseragaman serta meningkatkan

kualitas produk yang dihasilkan di industri manufaktur.

Metode yang digunakan melalui tiga tahapan proses untuk mencapai tujuan penelitian yaitu pembuatan rancang bangun sebuah alat mesin tekan paku keling. Ketiga tahapan tersebut adalah perencanaan (proses perbandingan mesin sejenis), perancangan konseptual (Pahl *et al.* 2007), dan pengujian hasil pengelangan. Langkah-langkah konsep perancangannya dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Langkah-langkah perancangan Konseptual. (Pahl *et al.* 2007)

Perencanaan pembuatan mesin tekan paku keling dilakukan dengan cara menganalisis perbandingan secara teknik dan ekonomi pada mesin yang sejenis. Kemudian pembuatan spesifikasi perancangan sebagai acuan rancangan. Melakukan identifikasi permasalahan yang timbul dalam perancangan secara abstrak, sehingga proses perancangan dapat dilakukan secara sederhana. Pembuatan fungsi keseluruhan untuk mengetahui sistem kerja yang ada pada mesin tekan paku keling. Pembuatan subfungsi untuk membagi mekanisme menjadi tiga mekanisme yaitu; mekanisme sumbu z, mekanisme struktur rangka, dan mekanisme sistem kontrol.

Kombinasi dari berbagai solusi alternatif mekanisme yang terpilih digunakan untuk membangun konsep mekanisme mesin. Konsep yang terbangun dari kombinasi solusi alternatif dievaluasi yang terkait dengan permasalahan yang diidentifikasi pada spesifikasi perancangan.

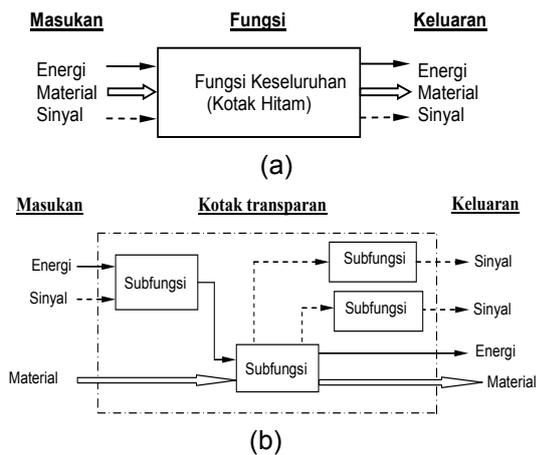
Beberapa kriteria yang dievaluasi dalam konsep adalah; fungsi, prinsip kerja, *embodiment*, keamanan, kenyamanan, produksi, kontrol kualitas, perakitan, transportasi, pengoperasian, perawatan, daur ulang dan biaya. Setelah dievaluasi diperoleh solusi konsep yang merupakan bentuk akhir dengan dimensi keseluruhan untuk mengetahui skalanya.

Pengujian kekuatan hasil penekanan paku keling dilakukan menggunakan mesin uji tarik untuk memperoleh nilai kekuatan tarik, untuk masing-masing paku keling dengan variasi diameter 3, 4, dan 5 mm. Bahan uji paku keling terbuat dari bahan aluminium.

Stone dan Wood (2000), menjelaskan bahwa pemodelan fungsional merupakan langkah awal yang dilakukan dalam melakukan proses perancangan suatu produk atau alat. Metode perancangan ini pada tahap awal dimulai dengan cara memformulasikan fungsi proses produk secara keseluruhan, kemudian dilakukan pendetailan fungsi untuk mempermudah penyelesaian solusi konsepnya

Perancangan konseptual adalah bagian dari proses perancangan secara keseluruhan, yang bertujuan untuk menentukan solusi secara prinsip. Capaian ini dapat diperoleh dengan melakukan delapan tahapan yaitu: membuat daftar kebutuhan, melakukan tinjauan abstrak dalam mengidentifikasi masalah; membuat fungsi secara keseluruhan; membuat subfungsi; membuat solusi alternatif; melakukan pemilihan kombinasi; membangun konsep; serta melakukan evaluasi konsep, sehingga diperoleh solusi konsep (Pahl *et al.* 2007).

Menurut Raffaelli *et al.* (2007), suatu produk dapat digambarkan dengan sebuah kotak hitam yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi fungsi utama dari sebuah sistem. Sistem ini mengolah hubungan antara masukan dan keluaran dengan kondisi yang berada di luar sistem tersebut (Gambar 2). Pahl *et al.* (2007) menambahkan bahwa struktur dalam suatu sistem yang dibentuk untuk menunjukkan masukan dan keluaran yang berupa: energi, material, dan sinyal akan dikonversi di dalam fungsi utama tersebut.

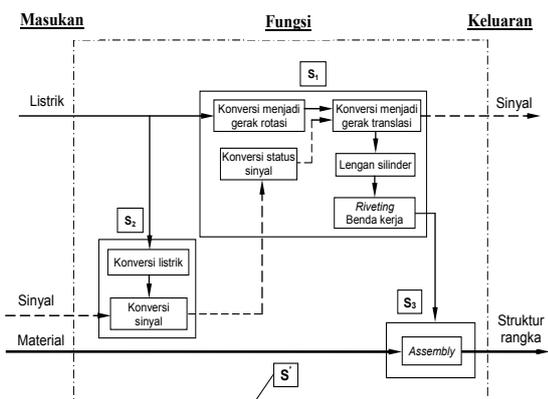


Gambar 2. Struktur pemodelan fungsional, a. model sistem kotak hitam (fungsi keseluruhan), b. model sistem subfungsi. (Pahl *et al.* 2007).

Pemodelan fungsional diperlukan dalam proses perancangan produk atau peralatan yang digunakan untuk membentuk suatu konsep rancangan (Linsey *et al.*, 2005). Magrab *et al.* (2010) memberikan keterangan tambahan bahwa keseluruhan fungsi produk kemudian dibagi kembali dalam hierarki subfungsi dengan cara melakukan dekomposisi. Hubungan dari setiap fungsi yang ada akan menjadi suatu acuan solusi yang akan diperoleh.

PEMBAHASAN

Pembuatan pemodelan fungsional pada mesin tekan paku keling untuk menunjukkan langkah-langkah dalam pengoperasian dan prinsip kerja mesin secara keseluruhan (Gambar 3).



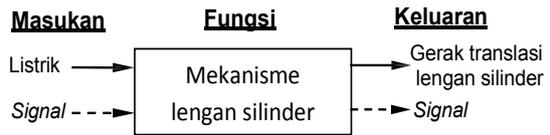
Gambar 3. Fungsi keseluruhan mekanisme mesin tekan paku keling.

Mekanisme sumbu Z

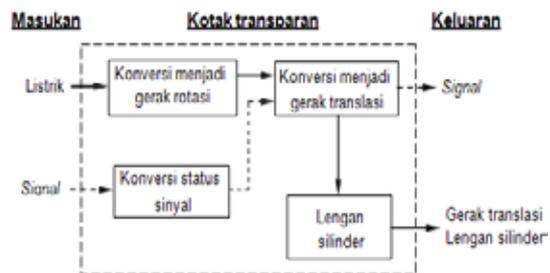
Dalam fungsi keseluruhan mesin tekan paku keling terdapat bagian mekanisme sumbu Z. Mekanisme ini

merupakan mekanisme gerak translasi lengan silinder pada proses pengelingan.

1. Fungsi keseluruhan mekanisme sumbu Z
 Dalam fungsi proses kerja mesin, fungsi keseluruhan mekanisme sumbu Z dapat dijelaskan pada Gambar 4 dibawah ini. Sedangkan aliran masukan dan keluaran serta susunan subfungsi dalam mekanisme kerja pada sumbu Z dapat digambarkan pada Gambar 5 dan Tabel 1.



Gambar 4. Fungsi keseluruhan mekanisme sumbu Z.



Gambar 5. Subfungsi mekanisme sumbu Z.

Tabel 1. Alternatif prinsip kerja subfungsi mekanisme sumbu Z

No	Fungsi	Subsisi		
		1	2	3
1	Penggerak daya	Stap motor	Servo motor	Motor AC 3 Phase
2	Sistem transmisi daya	Roda gigi	Flexible shaft coupling	Sabuk gigi
3	Sistem tenaga penggerak silinder	Pneumatik	Hydraulik	Mekanik
4	Dudukan silinder	Profil plat	Baja block	Profil I

2. Penilaian solusi prinsip kerja mekanisme sumbu Z

Dalam rangkaian subfungsi mekanisme kerja sumbu Z perlu dilakukan pemilihan beberapa komponen yang dibutuhkan untuk menentukan solusi prinsip kerjanya. Tabel 2 dibawah ini merupakan penilaian dalam memilih solusi prinsip kerja yang dibutuhkan untuk membangun sumbu Z.

Tabel 2. Penilaian solusi prinsip kerja mekanisme sumbu Z

Mekanisme Sumbu Z	Bagian pemilihan Komponen						Bagian : 1			
Solusi alternatif	Kriteria pemilihan						Keputusan			
	(-) Ya (+) Tidak (0) Kurang informasi (1) Periksa daftar kebutuhan									
	Keputusan									
	Menyusun kebutuhan									
	Memenuhi tuntutan kebutuhan									
	Memenuhi secara prinsip									
	Kesesuaian harga									
	Memenuhi faktor keamanan									
	Lain-lain									
	Keterangan									
	1.1	1	+	+	+	+		+	Suara berisik pada saat beroperasi	-
	1.2	2	+	+	+	+		+	Beban berlebih dalam waktu lama akan merusak motor	-
1.3	1	+	+	+	+	+	Kebandulan tenaga, risiko daya terhadap berat beban	+		
2.1	4	+	+	+	+	+	Mahal, khusus untuk diameter kecil dan pendek	-		
2.2	5	+	+	+	+	+	Mampu memberikan toleransi tebata dengan adanya wear/geseran	-		
2.3	6	+	+	+	+	+	Mudah terjadi slip	-		
3.1	7	+	+	+	+	+	Mudah terjadi kebocoran	-		
3.2	8	+	+	+	+	+	Transmisi tenaganya lebih tidak ideal	-		
3.3	9	+	+	+	+	+	Transmisi tenaganya tidak ideal	-		
4.1	10	+	+	+	+	+	Murah, proses manufakturnya mudah	+		
4.2	11	+	+	+	+	+	Mahal, proses manufakturnya lama	-		
4.3	12	+	+	+	+	+	Murah, proses perakitannya rumit	-		

3. Solusi pilihan untuk prinsip kerja mekanisme sumbu Z

Beberapa solusi pilihan prinsip kerja yang dibutuhkan dapat diperoleh dari penetapan yang sesuai dengan kebutuhan mekanisme (Tabel 3) berdasarkan pemilihan prinsip kerja mekanisme sumbu Z.

Tabel 3. Solusi pilihan untuk prinsip kerja mekanisme sumbu Z

No	Fungsi	Solusi	Keputusan	Keterangan
1	Penggerak daya	Motor AC 3 Phase	Dibeli	Produksi pabrik
2	Sistem transmisi penggerak	Flexible sleeve coupling	Dibeli	Produksi pabrik
3	Sistem tenaga penggerak silinder	Hydraulic	Dibeli	Produksi pabrik
4	Dudukan silinder	Profil plat	Dibuat	Dimodifikasi

4. Kombinasi dan penilaian kombinasi fungsi prinsip kerja mekanisme sumbu Z

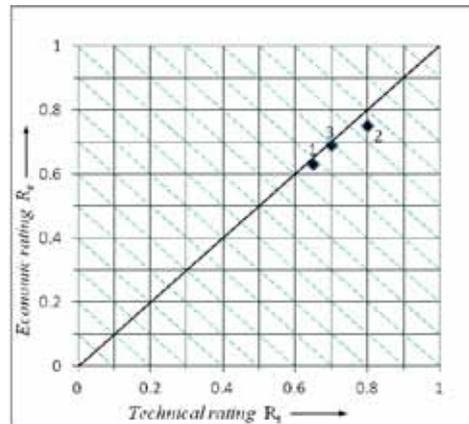
Beberapa pilihan dari solusi fungsi prinsip kerja pada mekanisme sumbu Z kemudian digunakan untuk membangun beberapa pilihan kombinasi prinsip kerja mekanisme sumbu Z (Tabel 4).

Tabel 4. Kombinasi fungsi prinsip kerja mekanisme sumbu Z

Fungsi	Kombinasi		
	1	2	3
Mekanisme gerak lengan silinder (sumbu Z)	Gerak lengan silinder ke samping 	Gerak lengan silinder ke bawah 	Gerak lengan silinder ke atas 

Langkah berikutnya adalah penilaian dari sisi teknik dan ekonomi untuk mendapatkan pemilihan kombinasi yang tepat sesuai dengan kebutuhan. Dari

penilaian tersebut dapat diperoleh hasil seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik perbandingan nilai R_t dengan nilai R_e .

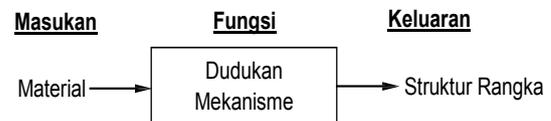
Dari Gambar 6 yang menyatakan hubungan antara perbandingan nilai secara teknik dan ekonomi, dengan menggunakan metode *straight-line* dapat dipilih kombinasi 2 pada mekanisme sumbu Z, yaitu gerak lengan silinder kebawah. Mekanisme ini dipilih karena mempunyai nilai paling tinggi apabila dibandingkan dengan kombinasi lainnya.

Mekanisme struktur rangka

Mekanisme struktur rangka didefinisikan sebagai mekanisme diam sebagai tempat merakit kombinasi dari mekanisme yang terpilih.

1. Fungsi keseluruhan mekanisme struktur rangka

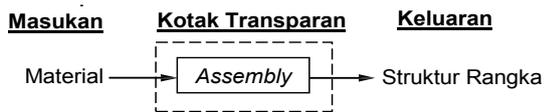
Fungsi ini secara konsep hanya memiliki satu fungsi proses kerja, maka dalam mekanisme keseluruhan struktur rangka digambarkan satu masukan dan keluaran.



Gambar 7. Fungsi keseluruhan mesin tekan paku keling

2. Subfungsi mekanisme struktur rangka

Subfungsi mekanisme struktur rangka dinyatakan sebagai sebuah fungsi proses yang diperlukan untuk membentuk sebuah struktur rangka (Gambar 8).



Gambar 8. Subfungsi mekanisme struktur rangka

3. Mencari prinsip kerja subfungsi mekanisme struktur rangka

Beberapa solusi yang dibutuhkan untuk membangun mekanisme rangka yang dievaluasi berdasarkan fungsi yang dibutuhkan dapat ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 5. Alternatif prinsip kerja subfungsi mekanisme struktur rangka.

Fungsi	Solusi		
	1	2	3
Struktur rangka Utama			

4. Penilaian solusi mekanisme struktur rangka

Tahap penilaian untuk memilih prinsip kerja struktur rangka yang sesuai dengan kebutuhan spesifikasi perancangan dilakukan Berdasarkan kebutuhan struktur rangka. Mekanisme struktur rangka yang baik adalah mekanisme tunggal. Mekanisme ini menyebabkan struktur rangka yang dihasilkan menjadi kaku.

Tabel 6. Penilaian solusi mekanisme struktur rangka

Struktur rangka	Bagian pemilihan Komponen						Bagian : 2	
	A	B	C	D	E	F		
Evaluasi alternatif	Kriteria pemilihan						Sepuluh	
	(+) Ya (-) Tidak (?) Kurang informasi (0) Perisa untuk kebutuhan							
	Menyamin kebutuhan							
	Memenuhi secara kebutuhan							
	Memenuhi secara prinsip							
	Kesesuaian harga							
	Mencakup faktor keamanan							
	Lain-lain							
	Keterangan							
	1.1	+	+	+	+	+		-
1.2	+	+	+	+	+	-	Mahal, kuat, proses manufaktur lama	-
1.3	-	-	-	+	+	-	Murah, kurang kuat, proses manufaktur cepat	-

5. Solusi pilihan untuk mekanisme struktur rangka

Solusi terpilih yang disesuaikan dengan kebutuhan mekanisme struktur rangka adalah profil I (Tabel 7). Bentuk ini mempunyai harga yang terjangkau dan struktur yang kuat, proses manufaktur lebih cepat dibandingkan dengan baja yang berbentuk *block*.

Tabel 7. Solusi pilihan untuk mekanisme struktur rangka

Fungsi	Solusi	Keputusan	Keterangan
Struktur rangka utama	Profil I	Dibuat	Dimodifikasi

6. Kombinasi fungsi mekanisme rangka

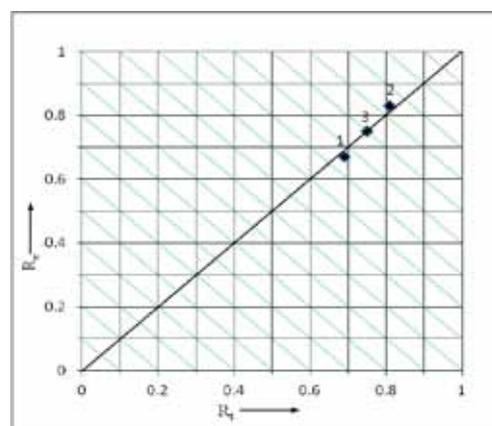
Berdasarkan mekanisme profil I dan dengan menyesuaikan kebutuhan spesifikasi perancangan, maka dibentuk 3 buah pilihan kombinasi mekanisme rangka (Tabel 8). Dari 3 pilihan kombinasi tersebut akan dipilih salah satu yang terbaik yang akan digunakan untuk membangun rangka dari mesin tekan paku keling.

Tabel 8. Kombinasi fungsi prinsip kerja mekanisme rangka

Fungsi	Kombinasi		
	1	2	3
Rangka	Dengan 2 tiang penyangga, dudukan dis dilongkah tengah sejajar tiang penyangga 	Dengan penyangga tunggal, dudukan ditegak lurus tiang penyangga 	Dengan penyangga tunggal, dudukan ditegak lurus tiang penyangga

7. Penilaian kombinasi fungsi prinsip kerja mekanisme rangka

Proses penilaian dilakukan berdasarkan 3 pilihan kombinasi mekanisme struktur rangka tersebut dan dengan mempertimbangkan dari segi teknik dan ekonomi. Dari hasil penilaian diperoleh kebutuhan rangka yang memenuhi prinsip mekanisme rangka utama mesin tekan paku keling. Solusi yang terbaik diambilkan dari hasil penilaian yang tertinggi (Gambar 9).



Gambar 9. Grafik perbandingan antara nilai R_t dengan nilai R_e

Berdasarkan Gambar 9 yang menyatakan perbandingan nilai secara teknik dan ekonomi dengan menggunakan metode *straight-line* untuk mekanisme rangka dipilih adalah kombinasi 2, karena mempunyai nilai yang tertinggi dibandingkan dengan kombinasi lainnya. Pada kombinasi 2 ini menggunakan penyangga tunggal, dudukan *dies* tegak lurus tiang penyangga.

Mekanisme sistem kontrol

Sistem kontrol merupakan sistem operasi yang digunakan untuk mengontrol proses pengelangan dari awal proses kerja hingga selesai pada mesin tekan paku keling.

1. Fungsi keseluruhan sistem kontrol

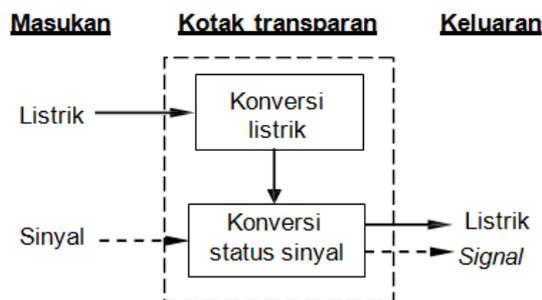
Fungsi ini memberikan gambaran suatu fungsi sistem dalam melakukan fungsi kontrol secara keseluruhan. Skema fungsi ini terlihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Fungsi keseluruhan sistem kontrol

2. Subfungsi sistem kontrol

Subfungsi sistem kontrol ini memberikan gambaran suatu fungsi kontrol proses pengelangan benda kerja. Masukan berupa *signal* yang berfungsi untuk mengatur listrik yang menggerakkan mekanisme sistem kontrol ini (Gambar 11).



Gambar 11. Subfungsi mekanisme sistem kontrol.

3. Menetapkan prinsip kerja subfungsi sistem kontrol.

Pada subfungsi sistem ini terdapat beberapa sistem kontrol yang digunakan untuk mengoperasikan fungsi proses mekanisme mesin tekan paku keling. Tiga alternatif pilihan tersebut ditunjukkan pada Tabel 9 dibawah ini.

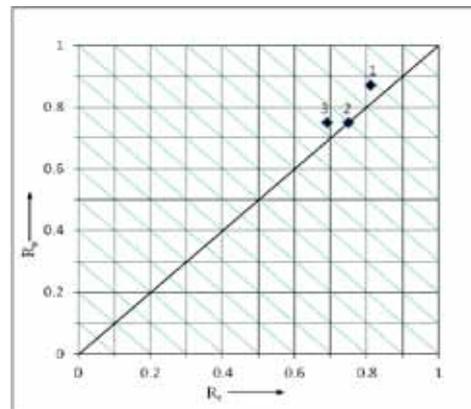
Tabel 9. Alternatif prinsip kerja subfungsi sistem kontrol

Fungsi	Solusi		
	1	2	3
Sistem kontrol	Programmable Logic Controller (PLC)	Microcontroller	Proportional Integral Derivative (PID)

Pembangunan kombinasi prinsip kerja tidak dilakukan analisis karena sistem kontrol prinsip kerja sudah terintegrasi dalam satuan unit sistem, sehingga kebutuhan sistem kontrol yang sesuai dengan kebutuhan secara teknik dan ekonomi dapat langsung dilakukan penilaian.

4. Penilaian sistem kontrol

Penilaian sistem kontrol secara teknik dilakukan dengan melihat kemudahan operasi dan kemampuan kerja yang dapat dilakukan. Penilaian dari segi ekonomi mempertimbangkan harga unit kontrol serta kemudahan pengadaannya. Pilihan yang sesuai dengan kebutuhan ditetapkan berdasarkan penilaian yang tertinggi (Gambar 12).



Gambar 12. Grafik perbandingan nilai R_t dengan nilai R_e .

Berdasarkan Gambar 12 yang menyatakan perbandingan nilai teknik dan nilai ekonomi yang menggunakan metode garis lurus maka mekanisme rangka dipilih kombinasi 1 dengan nilai yang paling tinggi dibandingkan dengan kombinasi lainnya. Pada kombinasi ini sistem kontrol menggunakan PLC (*Programmable Logic Controller*).

Solusi pilihan mekanisme mesin tekan paku keling

Gabungan hasil pilihan kombinasi prinsip kerja dari setiap mekanisme yang merupakan pilihan yang terbaik digunakan

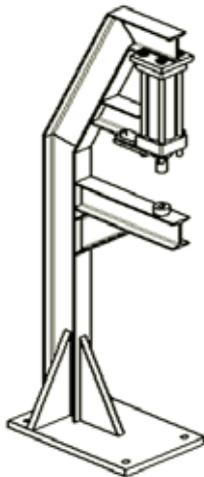
untuk membangun suatu konsep mekanis dari perancangan konseptual. Pilihan kombinasi tersebut ditunjukkan pada tabel 10.

Tabel 10. Solusi pilihan mekanisme mesin tekan paku keling.

Solusi		
Mekanisme gerak lengan silinder	Mekanisme struktur rangka	Mekanisme sistem kontrol
Gerak lengan silinder ke bawah 	Dengan penyangga tunggal, dudukan dies tegak lurus tiang penyangga 	Programmable Logic Controller (PLC) 

Membangun konsep

Kombinasi dari solusi yang sudah terpilih kemudian dipakai untuk membangun konsep mekanis, sehingga mekanisme yang terbentuk merupakan solusi yang terpilih dari beberapa kombinasi yang sudah disesuaikan dengan kebutuhan spesifikasi perancangan mesin tekan paku keling.



Gambar 13. Konsep mekanisme mesin tekan paku keling.

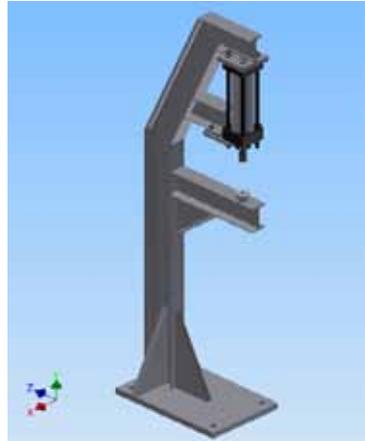
Evaluasi konsep

Evaluasi terhadap konsep yang terbangun dari kombinasi solusi pilihan dilakukan berdasarkan permasalahan yang diidentifikasi pada spesifikasi perancangan.

Solusi konsep

Solusi konsep dapat diperoleh dari hasil evaluasi konsep yang terdiri dari beberapa kriteria. Solusi konsep dari perancangan konseptual mesin tekan paku keling ini digambarkan secara keseluruhan

untuk dapat memberikan gambaran fungsi dalam susunan konsep mekanisme konstruksi mesin tekan paku keling seperti yang ditunjukkan pada Gambar 14 di bawah ini.



Gambar 14. Solusi konsep mesin tekan paku keling.

Hasil uji tarik pengelangan

Tabel 11. Hasil uji tarik pengelangan

Specimen	Diameter 3	Diameter 4	Diameter 5
Specimen 1	9,63 kg/mm ²	15,04 kg/mm ²	19,11 kg/mm ²
Specimen 2	9,77 kg/mm ²	14,49 kg/mm ²	18,60 kg/mm ²

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang sudah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain konsep perancangan yang dibangun sudah memenuhi semua kebutuhan dan prinsip kerja dari mesin tekan paku keling yang dihasilkan. Proses pengelangan dengan menggunakan mesin tekan paku keling dapat meningkatkan kapasitas produksi dibandingkan dengan proses pengelangan secara manual.

Dari hasil uji kuat tarik pengelangan dengan variasi besarnya diameter paku keling 3, 4, dan 5 mm, diperoleh nilai kekuatan tarik rata-rata masing-masing sebesar 9,70 kg/mm², 14,77 kg/mm², dan 18,86 kg/mm². Dari nilai ini maka pengelangan pada pegangan panci dinyatakan aman untuk menerima beban yang diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

Linsey, J., S., Green, M., G., Wie, M., V., Wood, K., L., dan Stone, R. 2005. Functional representation in conceptual design: A first study in experimental design and evaluation. *Proceedings of the 2005 American society for*

*engineering education annual
conference & exposition.*

- Magrab, E., B., Gupta, S. K., McCluskey, F., P. dan Sandborn P., A. 2010. Integrated product and process design and development: The product realization process. *CRC Press, Taylor and Francis Group*. Boca Raton.
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., dan Grote, K.H. 2007. Engineering design: Systematic approach. Ed. Ke-3. *Springer*. London.

- Raffaelli, R., Germani, M., Garziosi, S. dan Mandorli, F. 2007. Development of multi layer change propagation tool for modular products. *International conference on engineering design*. Paris. *ICED*. 07/307.
- Stone, R., B. dan Wood, K., L. 2000. Development of functional basis for design. *Journal of Mechanical Design*. 122 (4) 359-370.