

PERANCANGAN JIG PENGUJIAN KEBOCORAN PIPA CAIRAN PENDINGIN PADA MESIN PICK UP 1500CC

Ramelan^{1,a}, dan Djoko W. Karmiadji^{2,b*}

^{1,2}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta

ABSTRAK. Proses pengujian kebocoran pipa cairan pendingin pada line produksi di PT XYZ saat ini masih dilakukan dengan metode manual. Lamanya waktu proses pengecaman produk saat proses pengujian kebocoran menjadi latar belakang inovasi pada perancangan *jig* baru. Penelitian ini difokuskan pada perancangan sistem pengecaman (*clamping*) produk pada *jig*. Tekanan kerja pengujian kebocoran *cap water outlet* adalah sebesar 0.3 MPa. Metode perancangan yang digunakan adalah VDI 2221. Pemilihan material merupakan bagian penting yang mempengaruhi berhasil atau tidak suatu hasil rancangan. Dengan mempertimbangkan kekuatan material dan ketersediaan material dipasaran, maka dipilih *Structural Steel* (ASTM A36) untuk desain pengecam. Analisis kekuatan pengecam dilakukan menggunakan metode pembebanan statis dengan *software Solidworks 2015*. Berdasarkan hasil perhitungan, beban terbesar yang diterima pengecam adalah 55,35 MPa. Dengan membandingkan hasil perhitungan dan simulasi beban statis diketahui bahwa nilai beban yang diterima pengecam lebih kecil daripada *yield strength* material *Structural Steel* (ASTM A36) yaitu 250 MPa, sehingga desain pengecam untuk *jig* ini aman. Untuk tujuan pengembangan inovasi, konsep *jig* ini juga dapat digunakan untuk pengujian kebocoran pada produk lainnya.

Kata kunci— *Jig Leak Test, VDI 2221, ASTM A36*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

PT. XYZ merupakan perusahaan industri otomotif yang bisnis utamanya adalah *aluminium die casting*. Salah satu jenis produknya adalah *cap water outlet*, yang merupakan komponen dari sistem pendingin pada kendaraan jenis mini truk 1500cc. *Cap water outlet* berfungsi sebagai saluran keluar cairan pendingin dari mesin menuju radiator. Oleh karena fungsinya yang penting, dalam proses produksi dilakukan pengujian kebocoran (*leak test*).

Alat pengecam pada proses pengujian kebocoran dipabrik masih konvensional dan proses pengujiannya dilakukan secara manual. Proses ini membutuhkan waktu yang lama dan kekuatan pengecamannya tidak sesuai dengan yang diharapkan (kurang kuat). Dengan kondisi ini kapasitas produksi terkendala oleh proses pengujian kebocoran, sehingga tidak dapat memenuhi permintaan pelanggan.

Untuk mengurangi kendala proses pengujian kebocoran produk *cap water outlet*, diperlukan inovasi *jig* yang dapat digunakan secara otomatis. Diantara parameter - parameter yang diperlukan dalam desain *jig* pengujian kebocoran adalah tekanan pengujian, luas area pengecaman, dimensi pengecam, kekuatan material pengecam dan waktu pengecaman. Menurut Syahril Ardi [1] dalam penelitiannya yang berjudul “Desain Sistem Kendali Mesin *Air Leak Test* Menggunakan Sistem Kendali *PLC* Omron *CJ2M* di *HVAC* (*Heating, Ventilating, and Air Conditioning*) Line 6, hasil penelitiannya mampu meningkatkan kapasitas produksi komponen *HVAC*.

Prayoga Saeful Amran [2] pada penelitiannya mengenai Perencanaan Konstruksi pada *Clamping Unit* untuk Mesin Cetak Injeksi Plastik, dalam penelitian tersebut mesin injeksi plastik didesain menggunakan penggerak hidrolik. Penelitian mengenai desain *jig* untuk pengujian kebocoran pada komponen saluran pendingin mesin mini truk 1500cc tidak dibahas dalam kedua penelitian sebelumnya dan konsep desainnya tidak menggunakan VDI 2221.

Oleh sebab itu inovasi *jig* pengujian kebocoran diperlukan, sehingga kendala waktu pengujian dapat dipersingkat dan diperoleh fungsi *jig* yang optimal.

Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari desain *jig* ini adalah pertama, merancang inovasi baru *jig* pengujian kebocoran *cap water outlet*. Kedua, mengetahui besaran gaya yang dibutuhkan untuk pengecaman dan ukuran diameter minimum silinder yang digunakan. Ketiga, memperoleh desain pengecam *jig* yang kuat dari hasil analisis *software solidworks*.

Cakupan Penelitian

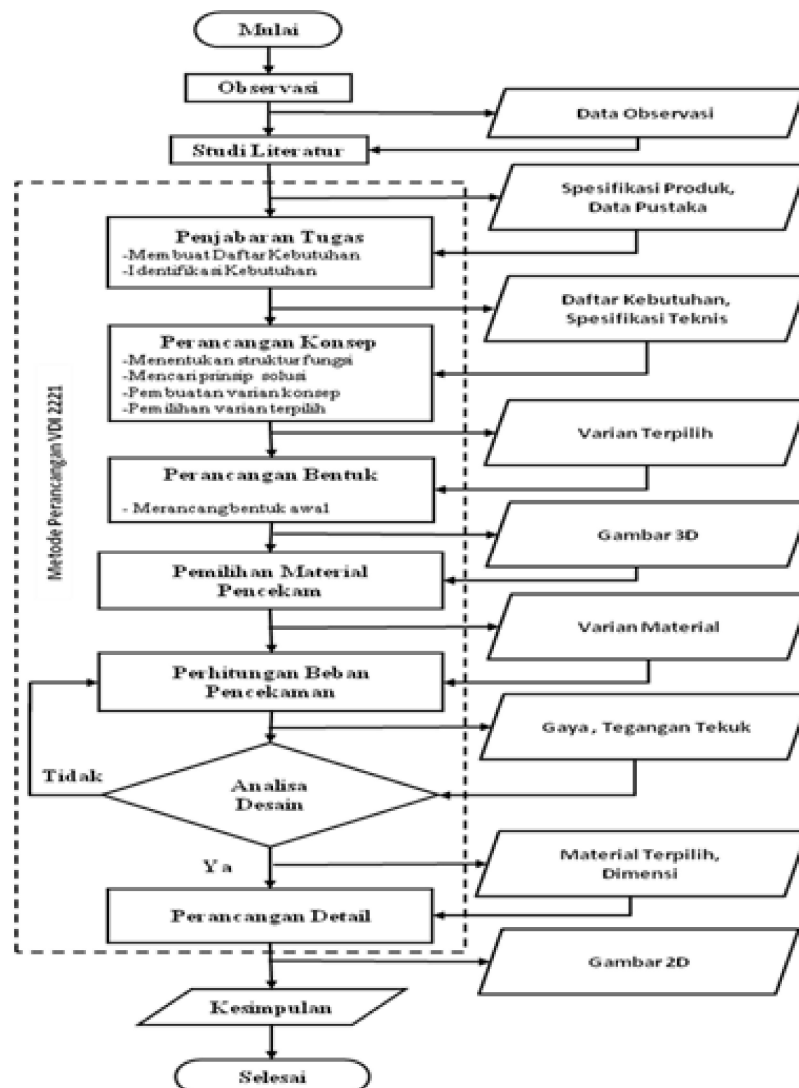
Dalam proses pembahasannya, penelitian ini diberikan beberapa batasan - batasan diantaranya: metode desain *jig* untuk proses pengujian kebocoran ini dengan *VDI 2221* dan pada penelitian ini difokuskan pada desain pencekam *jig*.

METODOLOGI

Pada penelitian ini, metode perancangan *jig* pengujian kebocoran yang digunakan adalah *VDI 2221*. Berdasarkan studi literatur, Rudi Kurniawan Arief [3] pada penelitiannya yang berjudul "Metode Desain *VDI 2221* untuk Mendesain *SKID MPFM Single Line*" dinyatakan bahwa dengan melalui metode *VDI 2221* dapat dihasilkan desain produk yang sesuai dengan kebutuhan seperti dimensi yang kecil, bobot yang ringan dan konstruksi mesin yang kokoh.

Metode *VDI 2221* juga secara detail dijabarkan dalam buku "Engineering Design" yang ditulis oleh Gerhard pahl dan Wolfgang Beitz [4]. Menurut buku "Engineering Design", Gerhard Pahl dan Wolfgang Beitz membagi beberapa tahapan dalam membuat konsep desain yaitu : Penjabaran Tugas (Clarifying the Task), Perancangan Konsep (Conceptual Design), Perancangan Bentuk (Embodiment Design), Perancangan Detail (Detail Design).

Metodologi penelitian dalam mendesain *jig* untuk proses pengujian kebocoran cap water outlet dapat dilihat melalui diagram alir pada gambar 1 dan dijabarkan menjadi tahapan - tahapan : observasi, studi literatur, penjabaran tugas, perancangan konsep, perancangan bentuk, pemilihan material pencekam, perhitungan beban pencekaman dan analisis kekuatan desain pencekam melalui software *solidworks 2015*, perancangan detail dan kesimpulan.



Gambar 36. Diagram alir penelitian

Tahapan penelitian dimulai dengan observasi dan studi literatur, dari tahapan ini akan diperoleh data spesifikasi produk seperti : Material, Tekanan Pengujian, Luas Area, Kekuatan material, Lokasi Pencekaman dan parameter lainnya. Selanjutnya pada tahapan penjabaran tugas, daftar kebutuhan dan spesifikasi produk dijabarkan lebih detail dalam bentuk daftar spesifikasi teknis. Kemudian pada tahapan perancangan konsep akan diperoleh satu varian konsep perancangan. Konsep perancangan pada varian terpilih selanjutnya dibuatkan gambar 3D .

Data Observasi Lapangan

Data observasi di area line produksi cap water outlet pada proses pengujian kebocoran ditunjukkan pada tabel 1. Data tersebut terdiri dari spesifikasi produk dan aplikasi pengujian kebocoran cap water outlet di line produksi. Penting sekali dalam merancang jig dengan mempertimbangkan kebutuhan, sehingga produk hasil perancangan dapat menjadi solusi atas permasalahan yang dijelaskan pada latar belakang pada bab pendahuluan.

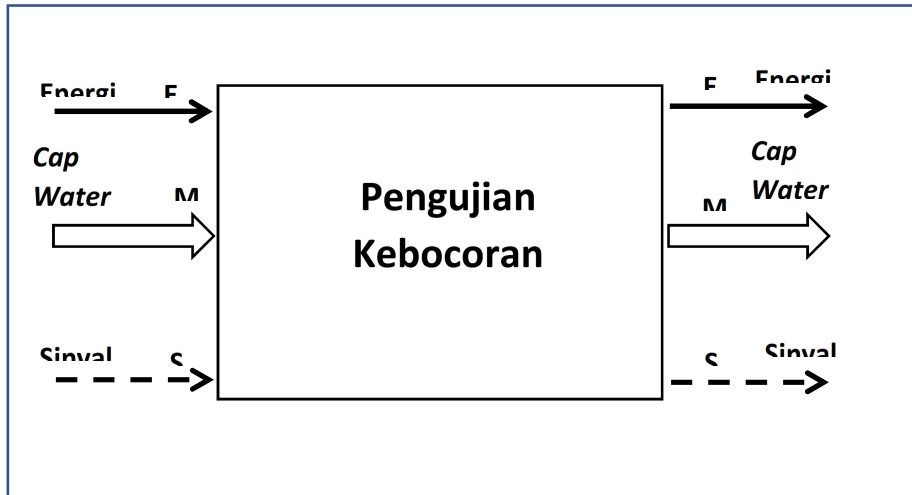
Berdasarkan ketersediaan layout jig, dimensi jig yang dibutuhkan tidak boleh melebihi $1m \times 0,5m \times 0,5m$. Proses pengecaman pada jig pengujian kebocoran saat ini menggunakan baut dan secara manual, sehingga pada inovasi perancangan jig yang baru diharapkan bisa secara otomatis. Tekanan pengujian adalah 0,3 MPa yang disesuaikan dengan standar pengujian pada drawing part. Target cycle time proses pengecaman dan pengujian kebocoran adalah 84 detik.

Tabel 1. Daftar Temuan Observasi Line Pengujian Kebocoran *Cap water outlet*

No.	Temuan Lapangan	Keterangan	Kebutuhan
1	<i>Layout Jig</i>	Line proses pengujian kebocoran <i>Cap Water Outlet</i> . Area yang disiapkan untuk jig ($p \times l \times t = 1m \times 0,5m \times 0,5m$)	Dimensi <i>Jig</i> tidak melebihi <i>layout</i> yang ada
2	<i>Jig Awal</i>	Metode pengecaman menggunakan baut	Proses pengecaman bisa secara otomatis
3	Metode Pengujian Kebocoran	Metode pengujian kebocoran dengan <i>Bubble Test</i> , Pengamatan Visual oleh operator	Metode pengujian kebocoran menggunakan <i>Differential Pressure Sensor</i> (otomatis)
4	Tekanan Pengujian	0,3 MPa	Menyesuaikan standar tekanan pengujian kebocoran <i>cap water outlet</i>
5	Lokasi Bocor	Di area <i>body cap water outlet</i> , disebabkan <i>flowline</i>	Cacat bocor dapat tertangkap dan tidak terkirim ke <i>customer</i>
6	<i>Cycle Time</i>	272 detik	<i>Cycle time</i> bisa dipercepat menjadi 84 detik
7	Kapasitas	247pcs/hari	Target kapasitas belum tercapai yaitu 800 pcs/hari
8	Waktu Produksi	3 <i>shift</i>	3 <i>shift</i>
9	Jumlah Operator	1 Orang/ <i>shift</i>	1 Orang/ <i>shift</i>

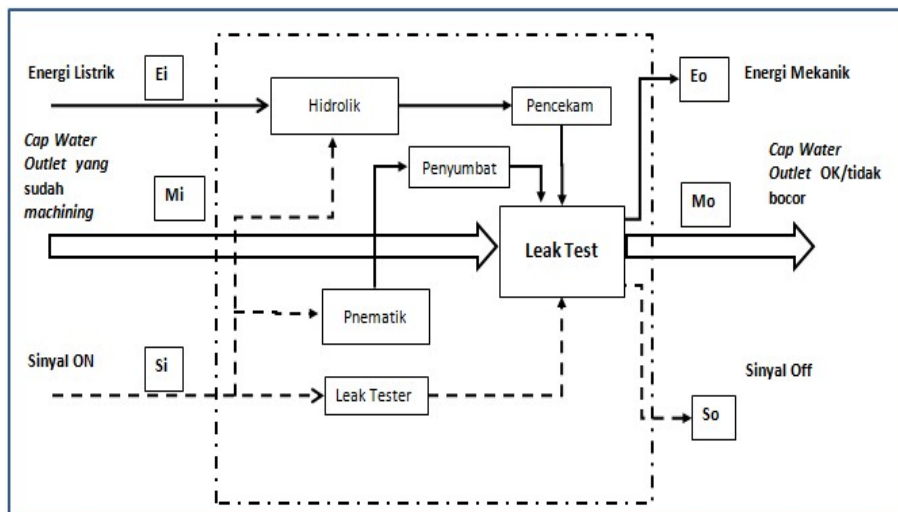
Struktur Fungsi

Struktur fungsi digambarkan melalui diagram yang menjelaskan hubungan input dan output dari aliran material, energi dan sinyal. Fungsi dalam penggambarannya terdiri dari 2 unsur : Fungsi keseluruhan dan Sub fungsi keseluruhan. Fungsi keseluruhan dari proses pengujian kebocoran cap water outlet adalah menguji kebocoran. Proses pengujian kebocoran terdiri atas beberapa sub fungsi yaitu : sub fungsi pengecam, fungsi pemampat lubang dan sub fungsi mendeteksi kebocoran.



Gambar 2. Diagram Fungsi Keseluruhan Pengujian Kebocoran [4]

Pada gambar 2 dijelaskan mengenai diagram fungsi keseluruhan dari pengujian kebocoran. Energi input berupa energi listrik kemudian dirubah menjadi energi mekanik sebagai energi output. Material input adalah komponen cap water outlet yang sudah melewati proses machining dan proses pencucian. Material outputnya berupa cap water outlet yang sudah diverifikasi OK atau tidak bocor. Sedangkan sinyal input dan sinyal outputnya berupa sinyal ON/OFF untuk memulai dan menghentikan proses pengujian kebocoran.



Gambar 3. Diagram Sub-Fungsi Pengujian Kebocoran [4]

Sedangkan pada gambar 3 dijelaskan mengenai diagram sub fungsi dari pengujian kebocoran. Sub - sub fungsinya terdiri dari hidrolik, penyumbat lubang, pengecam benda kerja, dan pendeteksi kebocoran.










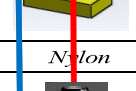
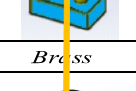
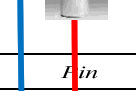

Dalam penelitian ini difokuskan pada perancangan jig pengujian kebocoran, sehingga sub fungsi pengecam dijabarkan lagi menjadi sub fungsi clamping dan penyumbat lubang.


Prinsip Solusi

Dalam fungsi keseluruhan dari proses pengujian kebocoran, prinsip - prinsip solusi utama yang perlu dicari meliputi sub fungsi pengecam (*clamping*), sub fungsi pemampat lubang, dan sub fungsi pendeteksi kebocoran (*leak tester*). Penggabungan prinsip - prinsip solusi dilakukan dengan membuat beberapa varian solusi yang kemudian dipilih varian solusi yang paling tepat yang dapat menjawab kebutuhan dari perancangan jig untuk proses pengujian kebocoran.

Pada tabel 4 dijelaskan beberapa prinsip solusi untuk perancangan jig pengujian kebocoran cap water outlet. Dalam mencari prinsip solusi, masing masing sub fungsi diberikan tiga solusi.

Tabel 2. Pemilihan Kombinasi Solusi dari Jig Pengujian Kebocoran [4]

No	Sub Fungsi	Solusi		
		Solusi 1	Solusi 2	Solusi 3
1	Sumber penggerak pencekam			
		Hidrolik	Pneumatik	
2	Sumber penggerak pemampat			
		Hidrolik	Pneumatik	
3	Pencekaman			
		Link Clamp	Swing Clamp	
4	Pemampat Lubang			
		Urethan	O-Ring	Silicon Sheet Rubber
5	Pad Clamp			
		Nylon	Brass	
6	Penepat Part			
		Pin	Rough Guide	



Setelah mencari prinsip solusi, langkah selanjutnya membuat kombinasi dari prinsip solusi menjadi 3 varian seperti yang dijabarkan pada tabel 3.7. Urutan dari setiap varian adalah sebagai berikut :

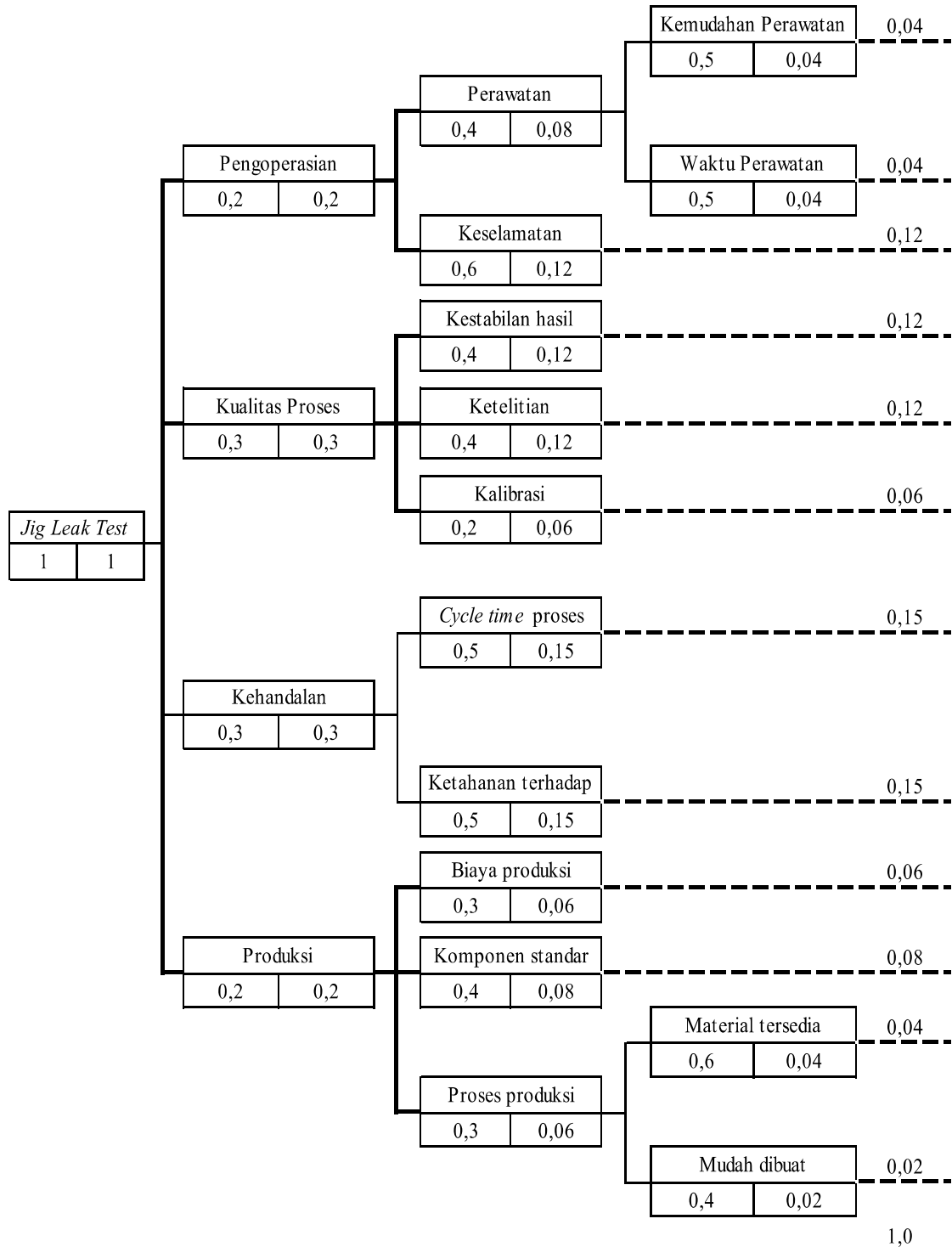
Varian 1 (V1) : 1-1, 2-1, 3-1, 4-3, 5-2, 6-2

Varian 2 (V2) : 1-1, 2-2, 3-1, 4-2, 5-1, 6-1

Varian 3 (V3) : 1-2, 2-2, 3-2, 4-1, 5-1, 6-1

Pemilihan Varian

Pemilihan varian terbaik dilakukan melalui pembobotan hasil yang ditunjukkan pada gambar 4. Dengan metode ini akan mempermudah dalam melakukan penilaian terhadap beberapa varian yang ada. Sehingga nantinya didapatkan satu varian terbaik yang memenuhi kebutuhan yang mampu menjawab permasalahan pada desain jig sebelumnya.



Gambar 4. Diagram Pembobotan Evaluasi Varian [4]

Penilaian pada diagram pembobotan didasarkan pada metode VDI 2221 [4] dengan mempertimbangkan aspek - aspek kebutuhan desain yang meliputi : pengoperasian, kualitas proses, kehandalan, dan produksi. Berdasarkan hasil pembobotan, maka didapatkan peringkat varian jig yaitu

Peringkat 1 : Varian 2 = 2,12

Peringkat 2 : Varian 3 = 2,48

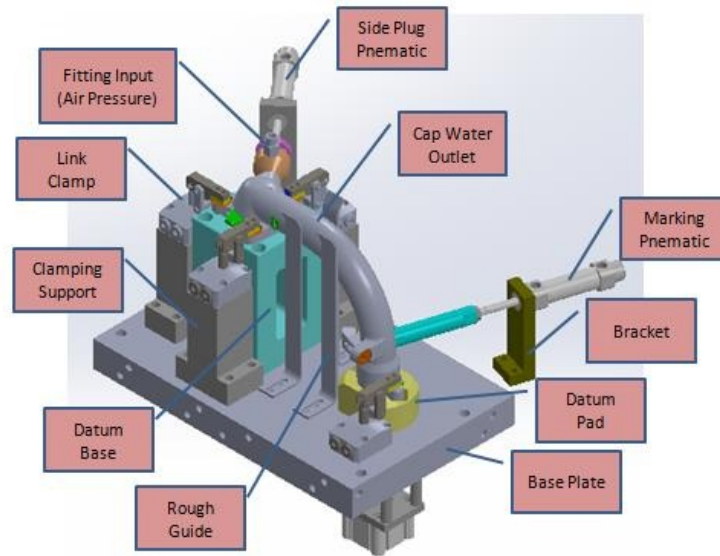
Peringkat 3 : Varian 1 = 1,97

Varian yang terbaik ditentukan berdasarkan nilai yang tertinggi seperti yang ditunjukkan pada tabel 3. Maka varian 2 adalah varian yang dipilih karena memperoleh peringkat tertinggi yaitu 2,48

Tabel 3. Kriteria Pembobotan Varian 2 [4]

No	Kriteria Evaluasi	B	Parameter	Varian 2		
				H	M	BM
1	Kemudahan perawatan	0,04	Luas area	Cukup	2	0,08
2	Waktu perawatan	0,04	Waktu perawatan	Baik	3	0,12
3	Keselamatan	0,12	Keamanan fungsi mekanik	Cukup	2	0,24
4	Kestabilan hasil	0,12	<i>Repeat ability</i>	Baik	3	0,36
5	Ketelitian	0,12	Tingkat deteksi kebocoran (<i>leak rate</i>)	Baik	3	0,36
6	Kalibrasi	0,06	Waktu kalibrasi	Cukup	2	0,12
7	<i>Cycle time</i> proses	0,15	<i>Cycle time</i>	Baik	3	0,45
8	Ketahanan terhadap tekanan	0,15	Gaya tekan <i>clamping</i>	Cukup	2	0,30
9	Biaya produksi	0,06	Harga	Baik	3	0,18
10	Komponen standar	0,08	Jumlah Komponen	Cukup	2	0,16
11	Material tersedia	0,04	Jumlah dipasaran	Cukup	2	0,07
12	Mudah dibuat	0,02	Waktu produksi	Cukup	2	0,04
Total		1,0	Total			2,48

Berdasarkan pemilihan varian jig, varian yang terpilih adalah varian 2 (gambar 5). Pencekamannya didesain dengan konsep otomatis, sehingga diperlukan perangkat hidrolik seperti : tangki oli, filter, pompa hidrolik, regulator tekanan, kontrol valve, dan sistem pipa/selang. Sistem hidrolik mempunyai keunggulan menghasilkan tenaga yang besar. Pemilihan sistem hidrolik sebagai penggerak pada pencekam sesuai dengan pembahasan mengenai hidrolik pada bab landasan teori. Sedangkan pada konsep penyumbat lubang digunakan sistem pneumatik dengan o-ring sebagai sealnya.



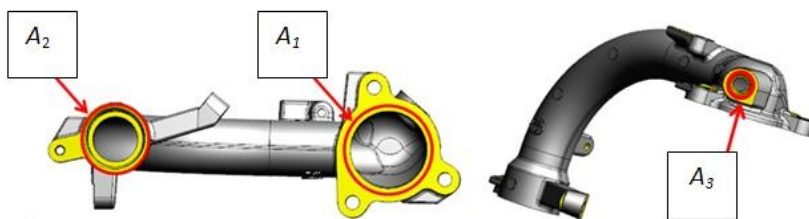
Gambar 5. Jig Pengujian Kebocoran *Cap water outlet*

HASIL

Desain jig pengujian kebocoran yang dipilih adalah varian 2. Tenaga penggerak pencekam digunakan silinder hidrolis dan penggerak untuk penutup lubang dengan silinder pneumatik. Agar dapat beroperasi secara otomatis jig ini didukung dengan perangkat sistem kontrol. Dengan desain tersebut proses pengujian kebocoran dan pencekaman benda kerja dapat dioperasikan secara otomatis [1].

Perhitungan Distribusi Gaya Per Area Luasan

Luas area produk diperlukan untuk perhitungan kekuatan pencekaman benda kerja. Profil areanya berupa lubang berbentuk lingkaran seperti yang ditunjukkan pada gambar 6 dan data luas area pengujian dijelaskan pada tabel 4.

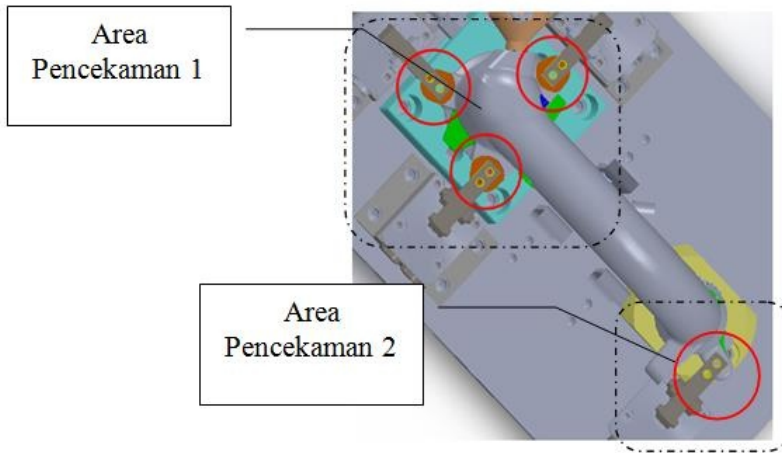


Gambar 6. Area Lubang A_1, A_2 dan A_3 *Cap water outlet*

Tabel 4. Data Luas Area Pengujian Produk [5]

Data spesifikasi luas area <i>cap water outlet</i>		
	Dimensi	Satuan
Luas area lubang ke <i>Cyl Head</i> (A_1)	1661,06	mm ²
Luas area lubang Pipa (A_2)	907,46	mm ²
Luas area lubang sensor (A_3)	143,07	mm ²

Perhitungan kebutuhan gaya untuk pencekaman merupakan hal yang utama. Karena pencekaman merupakan fungsi penting dari *jig*. Perhitungan gaya dibutuhkan untuk menghitung dimensi silinder hidrolik pada pencekam.



Gambar 7. Lokasi Pencekaman *Jig* Pengujian Kebocoran *Cap water outlet*

Untuk memudahkan dalam perhitungan satuan MPa untuk tekanan kerja dikonversi ke dalam satuan N/mm². Maka dapat dihitung gaya pencekaman area 1 [6] yaitu :

$$\begin{aligned}
 F_1 &= (P \times A_1) \times FS \\
 &= (0,3 \text{ N/mm}^2 \times 1661,06 \text{ mm}^2) \times 1,6 \\
 &= 797,31 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Dari gambar 7 lokasi pencekaman dibagi menjadi 3, maka gaya masing masing lokasinya (F_{cl}) dapat diketahui :

$$\begin{aligned}
 F_{cl} &= F : 3 \\
 &= 797,31 \text{ N} : 3 \\
 &= 265,77 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk lokasi pencekaman 2, gaya pencekamannya dapat diketahui :

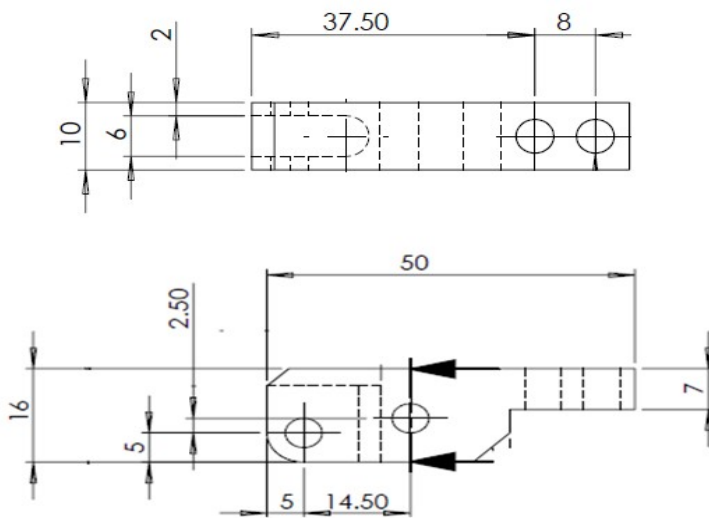
$$\begin{aligned}
 F_{c2} &= (P \times A_2) \times FS \\
 &= (0,3 \text{ N/mm}^2 \times 907,46 \text{ mm}^2) \times 1,6 \\
 &= 435,58 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Distribusi Gaya Per Area Luasan

Lever clamp memiliki geometri berupa batang pejal (*rectangle*). Dimensi *lever clamp* yang ditunjukkan pada gambar 8. Sedangkan spesifikasi desain *lever clamp* seperti yang ditunjukkan pada tabel 5.

Tabel 5. Data Spesifikasi *Lever Clamp*

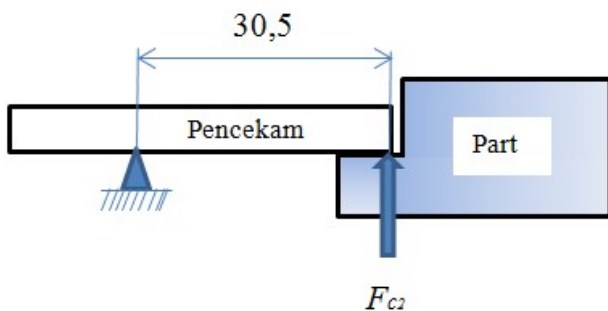
No	Simbol	Spesifikasi	Dimensi	Satuan
1	b	Lebar	10	mm
2	h	Tinggi	12	mm
3	F_{c1}	Gaya pencekaman area 1	265,77	N
4	F_{c2}	Gaya pencekaman area 2	435,58	N
5	l	Jarak titik tumpu dengan beban	30,5	mm



Gambar 8. Dimensi Pencekam

Tegangan Tekuk Pada Pencekam

Pada perhitungan kekuatan pencekam, beban yang terjadi adalah tegangan tekuk akibat gaya pencekaman pada benda kerja. Tegangan yang terjadi dibagi berdasarkan area pencekaman. Pada gambar 9 dijelaskan mengenai gaya yang diterima material pencekam oleh gaya (F_{c2}) dengan jarak tumpuan (l) 30,5 mm, sehingga menyebabkan momen tekuk (M_{b2}). Maka perhitungan momen tekuknya adalah :



Gambar 9. Ilustrasi Gaya Pada Material Pencekam

$$M_{b2} = F_{c2} \times l$$

$$M_{b2} = 435,58\text{N} \times 30,5 \text{ mm}$$

$$M_{b2} = 13285,19 \text{ Nmm}$$

Setelah momen tekuk (M_{b2}) diperoleh, selanjutnya menghitung momen tahanan polar (Z). Setiap bentuk penampang benda memiliki momen tahanan polar yang berbeda [7]. Karena bentuk penampang *lever clamp* berupa batang pejal, maka rumus menghitung section modulus (Z) adalah

$$Z = \frac{bh^2}{6}$$

$$Z = \frac{10 \text{ mm} \times 12^2 \text{ mm}^2}{6}$$

$$Z = 240 \text{ mm}^3$$

Dalam hal ini, momen tahanan polarnya (Z) memiliki nilai yang sama yaitu 240 mm^3 . Sehingga tegangan tekuk (σ_{b2}) yang diterima *lever clamp* juga dapat diketahui.

$$\sigma_{b2} = \frac{M_{b2}}{Z}$$

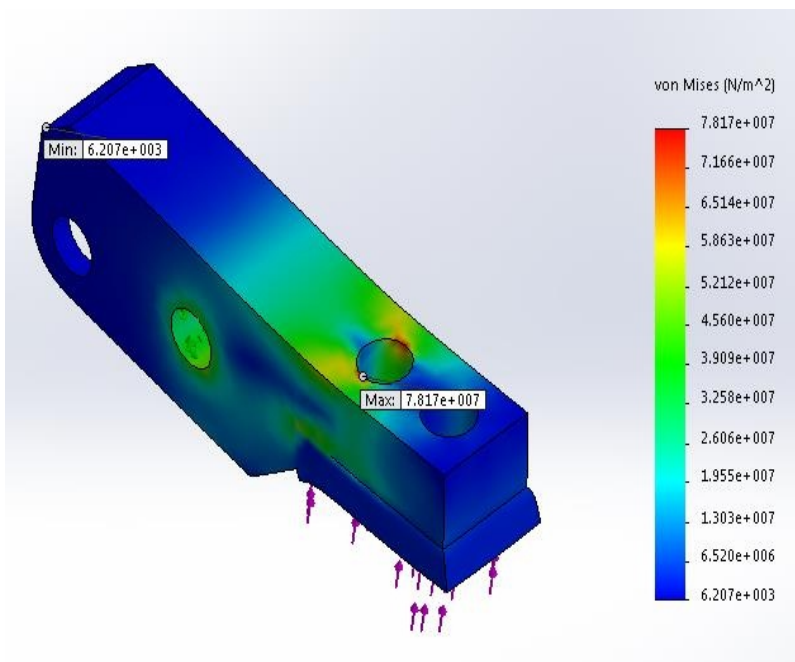
$$\sigma_{b2} = \frac{13285,19 \text{ Nmm}}{240 \text{ mm}^3}$$

$$\sigma_{b2} = 55,35 \text{ N/mm}^2$$

Simulasi Pembebanan Statis pada Pencekaman

Setelah perhitungan gaya pencekaman dan tegangan tekuk (σ_b) pada pencekam diperoleh, selanjutnya dilakukan analisis pembebanan melalui metode simulasi menggunakan *software solidworks 2015*. Menurut Robert L. Mott [8], *von mises stresses* biasanya digunakan untuk menganalisis kegagalan pada model desain. *Von mises stresses* ditulis dengan simbol (σ'), dan kegagalan dapat diprediksi jika nilai *von mises stresses* lebih besar dari pada *yield strength* material.

Gambar 10 adalah hasil simulasi pembebanan material ASTM A36. Pada gambar terdapat grafik warna yang terletak disisi kanan gambar. Grafik tersebut merupakan nilai *von mises stresses*. Area yang berwarna kuning tersebut merupakan area kritis pencekam dengan tegangan yang terjadi adalah 58,63 MPa. Dan dari grafik juga dapat diketahui bahwa *von mises stresses* maksimum yang terjadi adalah 78,17 MPa.



Gambar 10. Hasil Simulasi Material *Structural Steel* ASTM A36

Tabel 6. Data Hasil Simulasi

Nama Material	Kode	Properties		FS
		Max. Von Mises Stresses (MPa)	Yield Strength (MPa)	
Struktural Steel	ASTM A36	78,17	250	3,20

Tingkat keamanan dari desain dan material dapat diketahui dengan cara membagi nilai *yield strength* dengan *maximum von mises stress*. Material struktural steel untuk pencekam dinyatakan aman karena *maximum von mises stresses* yang terjadi masih dibawah nilai *yield strength* materialnya.

KESIMPULAN

Berdasarkan uraian dari penelitian tentang desain jig pengujian kebocoran cap water outlet untuk mesin mini truk 1500cc, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Konsep desain jig terpilih adalah varian 2, metode pencekaman menggunakan silinder hidrolis model link clamp dan penutup lubang sensor dan lubang pipa untuk pengujian kebocoran menggunakan silinder pneumatik. Agar dapat beroperasi secara otomatis jig ini didukung dengan perangkat sistem kontrol.
2. Dengan adanya inovasi jig dengan desain pencekaman otomatis maka cycle time proses dapat dipercepat menjadi 84 detik. Dengan demikian kapasitas pengujian kebocoran dapat meningkat dari 265 pcs/hari menjadi 857 pcs/hari.
3. Hasil perhitungan gaya pencekaman yang dibutuhkan untuk proses pengujian kebocoran adalah 265.77 N untuk area pencekaman 1 (A1) dan 435. 58 N untuk area pencekaman 2 (A2).
4. Hasil perhitungan tegangan tekuk (σ_{b2}) terbesar yang diterima pencekam adalah 55,35 MPa terjadi pada area lubang pipa (A2).
5. Desain pencekam dengan material ASTM A36 dinyatakan aman, karena nilai *maximum von mises stresses* yang terjadi masih dibawah *yield strength*-nya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Ardi, “Disain Sistem Kendali Mesin *Air leak test* Menggunakan Sistem Kendali Plc Omron Cj2M di HVAC (*Heating, Ventilating, and Air Conditioning*) Line 6,” Politeknik Manufaktur Astra, Jakarta, 2017.
- [2] P. S. Amran, “Perencanaan Konstruksi Sistem Hidrolis Pada Clamping Unit Untuk Mesin Cetakan Injeksi Plastik Kapasitas 700 ton,” *J. Tek. Mesin ITI*, vol. 1, no. 2, p. 59, 2017.
- [3] R. K. Arief, “Metode Desain VDI 2221 Untuk Merancang SKID MPFM Single Line,” *Rang Tek.*, vol. 1, no. 2, p. 260, 2018.
- [4] G. Pahl, W. Beitz, J. Feldhusen, and K. H. Grote, *Engineering-Design-A-Systematic-Approach*, Third. London: Springer, 2007.
- [5] P. S. Indomobil, “Cap water outlet.” [Online]. Available: <https://www.suzuki.co.id/eparts/engine/127/5/21820>. [Accessed: 10-Jul-2019].
- [6] A. Parr, *Hydraulics and pneumatics: A technician’s and engineer’s guide - 2nd Edition*, Third. Elsevier Ltd., 2006.
- [7] R. . Khurmi and J. K. Gupta, *A Textbook of Machine Design*, First., vol. 45, no. 12. New Delhi: Eurasia Publishing House (PVT.) LTD., 2005.
- [8] M. Robert L., *Machine elements in mechanical design*, Fourth., vol. 20, no. 2. New Jersey: Person Education, 2004.