

BAB IV PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Perancangan Pompa Vacuum.

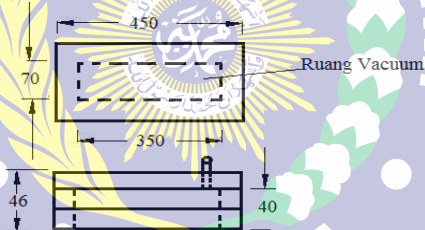
Data pompa vacuum :

- Flow rate daya pompa (Q) : 170 l/min = 10200 l/h
- Daya pompa : $\frac{3}{4}$ HP = 0,5592 kW
- Jenis pompa : Rotary vane pump
- Tekanan awal (P_0) = 1 atm = -0,2 bar
- Tekanan akhir (P_1) = -0,2 mbar

Perhitungan diperlukan untuk mengetahui waktu hisap pompa untuk start up dengan menggunakan rumus berikut (H Dorothy M.Hoffman,1998) :

$$t_1 = \frac{V}{q} \ln \frac{P_0}{P_1}$$

Dimana :



Gambar 4.1. Ruang Vacuum Pada Acrylic Vacuum Box

V : volume ruang hampa (liter)

$$V = 350 \times 70 \times 40 \text{ mm}^3 \\ = 0,98 \text{ dm}^3$$

$$= 0,98 \text{ l}$$

q : flow rate daya hisap pompa rotari (liter/s)

$$: 170 \text{ l/min}$$

P_0 : tekanan awal (bar)

$$: -0,2 \text{ bar.}$$

P_1 : tekanan akhir (mbar) : -0,2 mBar

P_u : Tekanan underpressure (mbar)
: 650 mbar

P_{air} : Tekanan udara yang terukur pada barometer (mbar)
: 950 mbar

Maka waktu hisap pompa (t) (H Dorothy M. Hoffman; Bawa Singh, 1999) :

$$\begin{aligned} t &= \frac{V}{q} \ln \frac{P_o}{P_1} \\ &= \frac{0,98}{170} \ln \frac{0,2}{0,0002} \\ &= 0,039 \text{ min} \\ &= 2,38 \text{ detik} \end{aligned}$$

Sehingga waktu pemvakuman (t) sebesar 2,38 detik
Perbedaan tekanan (ΔP) antara intake dan discharge port
(Pfeiffer Vacuum,2002) :

$$\Delta P = \frac{36000 \cdot P \cdot \eta_{mech}}{S_{th}} \text{ mbar}$$

Di mana :

P : Daya yang digunakan pompa vacuum (kW)
: 0,5592 kW

S_{th} : Laju aliran volume teoritis (m^3/h)
: 10,2 m^3/h

η_{mech} : Efisiensi mekanik pompa vacuum
: 0,85

$$\begin{aligned} \Delta P &= \frac{36000 \cdot 0,5592 \cdot 0,85}{10,2} \text{ mbar} \\ &= 1578,91 \text{ mbar} \\ &= 1,578 \text{ bar} \rightarrow 1 \text{ bar} = 750,06 \text{ torr} \\ &= 1183,59468 \text{ torr} \end{aligned}$$

Besarnya tekanan absolut (P_{abs}) :

$$\begin{aligned} P_{abs} &= p_{air} - p_u \\ &= 950 - 650 \text{ mbar} \\ &= 350 \text{ mbar.} \end{aligned}$$

Prosentase besarnya vacuum :

$$\begin{aligned} \text{Vacuum} &= \frac{P_u}{P_{air}} \cdot 100 \% \\ &= \frac{650}{950} \cdot 100 \% \\ &= 66,32 \% \end{aligned}$$

Besarnya daya hantar pada perapat sambungan adaptor nipple dapat ditentukan dengan persamaan (Suprpto & Susilo Widodo,2017) :

$$C = 3,81 \left(\frac{T}{M} \right)^{1/2} \left(\frac{D^3}{L} \right)$$

Di mana :

C : daya hantar (liter/detik)

T : temperatur gas (K)

: 303 K

M : berat molekul udara pada T

: 29 g/mol

D : Diameter selang (cm): 1,905 cm

Table 4.1. Gas density and viscosities

Gas	Formula	Molecular weight	Gas Density [2] kg/m ³	Viscosity η Pa.s
Air [1]	N ₂ + O ₂	29	1,1839	1.79 x 10 ⁻⁵
Ammonia	NH ₃	17.031	0.7449	1.01 x 10 ⁻⁵
Argon	Ar	39.948	1.723	2.24 x 10 ⁻⁵

(David Garton, Vacuum Technology and Vacuum Design Handbook for Accelerator Technicians, 2011, revision 0)

L : panjang pipa/saluran (cm)

: 200 cm

kemudian daya hantar (C) dihitung dengan persamaan (Suprpto & Susilo Widodo,2017) :

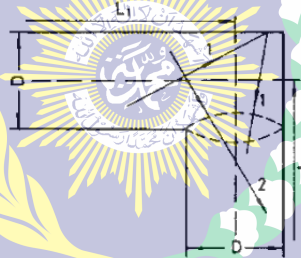
$$\begin{aligned} C &= 3,81 \left(\frac{T}{M} \right)^{1/2} \left(\frac{D^3}{L} \right) \\ &= 3,81 \left(\frac{303}{29} \right)^{1/2} \left(\frac{(1,905)^3}{200} \right) \\ &= 0,4256 \text{ liter/detik} \end{aligned}$$

Kemudian laju kebocoran dihitung dengan persamaan (Suprpto & Susilo Widodo,2017):

$$\begin{aligned}
 Q_L &= C \cdot \Delta P \\
 &= 0,4256 \text{ liter/detik. } 1183,594 \text{ torr} \\
 &= 503,854 \text{ torr.liter /detik} \\
 &= 671,984 \text{ mbar. liter /detik}
 \end{aligned}$$

Daya hantar (C) untuk gerakan molekul/atom kategori pertama yaitu molekul/atom menumbuk dinding sebelum belokan sehingga terpantul dan berbelok dapat ditentukan dengan persamaan (Suprpto & Susilo Widodo,2017):

$$\begin{aligned}
 C_1 &= 3,81 \left(\frac{T}{M}\right)^{1/2} \left(\frac{D^3}{L_1 + L_2 + 1,33 D}\right) \\
 C_1 &= 3,81 \left(\frac{303}{29}\right)^{1/2} \left(\frac{(1,905)^3}{1+2+1,33 \cdot 1,905}\right) \\
 &= 12,315 \cdot 1,2493 \\
 &= 15,3853 \text{ liter/detik}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.2. Gerakan molekul/atom pada belokan (*elbow*).

Dan untuk kategori kedua yaitu molekul/atom bergerak lurus kemudian menumbuk dinding setelah belokan sehingga terpantul setelah melalui belokan (Suprpto & Susilo Widodo,2017) :

$$\begin{aligned}
 C_2 &= 3,81 \left(\frac{T}{M}\right)^{1/2} \left(\frac{D^3}{L_1 + L_2}\right) \\
 C_2 &= 3,81 \left(\frac{303}{29}\right)^{1/2} \left(\frac{(1,905)^3}{1+2}\right) \\
 &= 12,315 \cdot 2,3044 \\
 &= 28,379 \text{ liter/detik.}
 \end{aligned}$$

Kedua perpindahan molekul/atom untuk kategori pertama dan kedua berjalan secara bersamaan atau paralel, maka daya hantarnya juga berlaku secara paralel. Sehingga untuk daya hantar keseluruhan aliran pompa di dapatkan (Suprpto & Susilo Widodo,2017) :

$$\begin{aligned}
 C' &= C + C_1 + C_2 \\
 &= 0,4256 \text{ liter/detik} + 15,3853 \text{ liter/detik} + 28,379 \\
 &\text{liter/detik} \\
 &= 44,1899 \text{ liter/detik}
 \end{aligned}$$

Sehingga daya hantar keseluruhan saluran pompa vacuum yang dihasilkan sebesar 44,1899 liter/detik.

4.2. Kerugian Aliran Fuida Dalam Selang.

Data perhitungan :

- Tempertur awal udara vacuum (T_1) : 303 K
- Panjang selang (L) : 2000 mm

Hukum Charles menyatakan bahwa volume dibagi temperatur mutlak suatu gas di dalam bejana adalah tetap (konstan) untuk jumlah gas (molekul/atom) dan tekanan dipertahankan tetap dinyatakan dalam persamaan (Suprpto & Susilo Widodo,2017) :



Gambar 4.3. Aliran Udara dalam ruang vacuum.

Di mana $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$

Volume ruang vacuum (V_1) = 0,98 l

Temperatur ruang vacuum (T_1) = 303 K

Volume udara dalam selang (V_2) = $\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (19,05)^2 \cdot 2000$
mm

= 0,569 l

Sehingga,

$$T_2 = \frac{V_2 \cdot T_1}{V_1}$$

$$= \frac{0,569 \cdot 303}{0,98}$$

$$= 176,15 \text{ K}$$



Gambar 4.4. Aliran dalam sistem vacuum.

Maka besar nilai bilangan Reynold's R_e dapat ditentukan dengan persamaan (Suprpto & Susilo Widodo, 2017) :

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu}$$

Di mana :

ρ : rapat jenis gas (kg/m^3)

v : aliran gas (m^2/s)

D : diameter pipa (m)

μ : viskositas gas (kg/m.s)

Dari interpolasi table properties udara pada temperatur $T_2 = 176,15 \text{ K}$ Diperoleh :

Table A-5 | Properties of air at atmospheric pressure.[†]

The values of μ , k , c_p , and Pr are not strongly pressure-dependent and may be used over a fairly wide range of pressures							
T, K	ρ kg/m ³	c_p kJ/kg · °C	$\mu \times 10^5$ kg/m · s	$\nu \times 10^6$ m ² /s	k W/m · °C	$\alpha \times 10^4$ m ² /s	Pr
100	3.6010	1.0266	0.6924	1.923	0.009246	0.02501	0.770
150	2.3675	1.0099	1.0283	4.343	0.013735	0.05745	0.753
200	1.7684	1.0061	1.3289	7.490	0.01809	0.10165	0.739
250	1.4128	1.0053	1.5990	11.31	0.02227	0.15675	0.722
300	1.1774	1.0057	1.8462	15.69	0.02624	0.22160	0.708
350	0.9980	1.0090	2.075	20.76	0.03003	0.2983	0.697

(Holman, Jack P., Heat Transfer, Tenth Edition, Mc-Graw Hill, New York, 2001)

Densitas udara (ρ):

$$\frac{150-176,15}{150-200} = \frac{2,3675-\rho}{2,3675-1,7684}$$

$$\frac{-26,159}{-50} = \frac{2,3675-\rho}{0,5991}$$

$$118,375 - 15,671 = 50 \rho$$

$$\rho = 2,0540 \text{ kg/m}^3$$

Dinamic viscosity (μ):

$$\frac{150-176,15}{150-200} = \frac{1,0283-\mu}{1,0283-1,3289}$$

$$0,523 = \frac{1,0283-\mu}{-0,3006}$$

$$-0,1572138 = 1,0283 - \mu$$

$$\mu = 1,1855 \cdot 10^{-5} \text{ kg/m.s}$$

Kecepatan kinematis udara (ν):

$$\frac{150-176,15}{150-200} = \frac{4,343-\nu}{4,343-7,490}$$

$$0,523 = \frac{4,343-\nu}{-3,147}$$

$$-1,645881 = 4,343 - \nu$$

$$\nu = 5,988 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

maka nilai bilangan Reynold aliran (R_e) (Ainul Ghurri,2015):

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu}$$

$$= \frac{2,0540 \cdot 0,000005988 \cdot 0,01905}{0,000011855}$$

$$= 0,0197$$

Bilangan Reynold berdasarkan nilainya dibedakan menjadi (Holman, J.P., 1997:195) :

$Re \leq 2300$ =====> Aliran laminar

$Re \geq 2300$ =====> Aliran turbulen

Sehingga aliran udara vacuum yang terjadi adalah aliran laminar.

Table 4.2. Mean Velocity for gases

Gas	Molar Mass kg/mol	Mean Velocity m/s	Mach Number
Air	0.028966	463	1.4
Ar	0.039948	394	1.2
Cl ₂	0.0709	296	

(David Garton, Vacuum Technology and Vacuum Design Handbook for Accelerator Technicians, 2011, revision 0)

Debit aliran udara vacuum dalam aliran selang adalah sama.

$$Q = A \times v$$

$$= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (0,01905)^2 \cdot 2 \cdot 463 \text{ m/s}$$

$$= 0,2637 \text{ m}^3/\text{s}$$

Laju aliran masa (*mass flow rate*) pada seksi uji juga mengikuti hukum kontinuitas, jadi laju aliran masa pada seluruh sistem terowongan adalah sama.

$$\dot{m} = \rho \times Q$$

$$= 2,0540 \text{ kg/m}^3 \times 0,2637 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$= 0,5418 \text{ kg/s}$$

Kekasaran permukaan saluran, bahan yang digunakan adalah akrilik

($\epsilon = 0 \text{ mm}$) didapat dari tabel diagram Moody (Lampiran 2).

$$\epsilon / D_h = 0 \text{ mm} / 153 \text{ mm}$$

$$= 0 \text{ mm}$$

Koefisien gesek pada selang karet nilai Re yang telah didapat adalah 0,0197 dan kekasaran permukaan adalah 0,

dari table diagram Moody, maka didapat $f = 0,0013$, sehingga :

Besarnya mayor losses (M_L) (Ainul Ghurri, 2015) :

$$\begin{aligned}M_L &= f \frac{L \cdot v}{D \cdot 2} \\&= 0,013 \frac{2 \cdot 1,5}{0,01905 \cdot 2} \\&= 0,10236 \text{ m}\end{aligned}$$

Besarnya minor losses (m_L) :

$$\begin{aligned}m_L &= f \frac{L \cdot v^2}{D \cdot 2g} \\&= 0,0013 \frac{2 \cdot (1,5)^2}{0,01905 \cdot 2 \cdot 10} \\&= 0,01535 \text{ m}\end{aligned}$$

Sehingga head losses yang terjadi pada aliran selang vacuum box (H_L) :

$$\begin{aligned}H_L &= M_L + m_L \\&= 0,10236 \text{ m} + 0,01535 \text{ m} \\&= 0,1177 \text{ m}\end{aligned}$$

4.3. Analisa Ketahanan Bending Acrylic Terhadap Beban Vacuum.

Mechanical properties Acrylic :

- Specific gravity (ρ) : 1.17–1.20 kg/m³
- Tegangan luluh acrylic : 69 Mpa = 69 N/mm²
- Ultimate Tensile Strenght (UTS) : 41,5 Mpa = 41,5 N/mm²
- Lebar Plat acrylic (l) = 170 mm
- Tebal Plat acrylic (t) = 6 mm
- Panjang plat acrylic (p) = 450 mm
- Tekanan vacuum box : 2,2 Bar = 0,022 kg/mm²

Besarnya gaya penekanan pada pelat akibat tekanan vacuum dapat diperoleh dari persamaan berikut (Kalpakjian, Schmid, 2009) :

$$P = \frac{2 \sigma_b \cdot b \cdot h^2}{3 L}$$

Di mana :

$$\sigma_b = \sigma_y = \text{Beban tekanan dari vacuum box} \\ = 0,022 \text{ kg/mm}^2$$

sehingga diperoleh :

$$P = \frac{2 \cdot 0,022 \cdot 170 \cdot (6)^2}{3 \cdot 450} \\ = 0,1994 \text{ N}$$

Besarnya gaya yang mampu diterima oleh acrylic agar tidak terjadi bending dapat dihitung melalui persamaan (Kalpakjian, Schmid, 2009) :

$$F = \frac{(UTS) \cdot l \cdot t^2}{p} \\ = \frac{(41,5 \text{ N/mm}^2) \cdot 170 \text{ mm} \cdot (6)^2 \text{ mm}^2}{450 \text{ mm}} \\ = 564,4 \text{ N}$$

Agar tidak terjadi defleksi pada plat acrylic akibat tekanan vacuum, maka tekanan yang di terima oleh acrylic tidak boleh melebihi 564,4 N karena $0,1994 \text{ N} < 564,4 \text{ N}$ maka acrylic aman.

Niai muai bahan acrylic untuk vacuum box dapat dihitung dengan rumusan (C. Giancoli, Douglas, , 2001) :

$$L_t = L_o \cdot \alpha \cdot \Delta t$$

Di mana :

L_t = panjang akhir (m)

L_o = panjang awal (m)

$$= 0,45 \text{ m}$$

α = koefisien muai panjang ($\text{m/m}^\circ\text{C}$)

$$= 6 \cdot 10^{-7} \text{ m/m}^\circ\text{C}$$

Δt = perbedaan suhu ($^\circ\text{C}$)

t_o = temperatur awal acrylic ($^\circ\text{C}$)

$$= 28 \text{ }^\circ\text{C}$$

t_1 = temperatur akhir setelah pengujian ($^\circ\text{C}$)

$$= 42 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$E = \text{Modulus elastisitas acrylic (N/mm}^2\text{)}$$

$$= 3,2 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$$

Maka,

$$L_t = 0,45 \cdot 6 \cdot 10^{-7} \text{ m/m}^\circ\text{C} \times (42^\circ\text{C} - 28^\circ\text{C}) = 0,00000378$$

Tegangan thermal yang terjadi pada acrylic (σ) (C. Giancoli, Douglas, , 2001) :

$$\sigma = E \cdot \alpha \cdot \Delta t$$

$$= 3,2 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2 \cdot 6 \cdot 10^{-7} \text{ m/m}^\circ\text{C} \cdot (42^\circ\text{C} - 28^\circ\text{C})$$

$$= 26880 \text{ N/m}^2$$

Nilai muai *acrylic* setelah pemanasan sangat kecil 0,00000378 m sehingga *acrylic* cukup aman untuk digunakan.

4.4. Analisa Hasil Pengujian.

Hasil pengujian alat dibandingkan dengan metode magnetic dan penetrant dimana indikasi dari tiap metoda pengujian :

- Metode vacuum test : gelembung sabun.
- Metode magnetic : muncul crack.
- Metode penetrant : rounded / crack.

Tabel 4.3. Hasil Pengambilan Data Panjang las Dan Waktu.

Pengujian	Area	Hasil Pengujian	Metode Pengujian (Test)		
			PT	VT	MT
1	Bilge	Panjang las	7,70	7,70	7,70
		Waktu	6,35	0,47	1,15
2	Bilge	Panjang las	9,20	9,20	9,20
		Waktu	6,28	1,20	1,30
3	Lambung	Panjang las	4,60	4,60	4,60
		Waktu	3,30	0,50	0,40
4	Lambung	Panjang las	12,66	12,66	12,66
		Waktu	8,15	1,15	1,20
5	Bilge	Panjang las	6,60	6,60	6,60
		Waktu	4,30	0,30	0,37
6	Bilge	Panjang las	15,86	15,86	15,86
		Waktu	5,15	1,30	1,40

Pengujian pertama pada area *bilge plate* dengan posisi agak tegak dari ketiga metode tersebut metode yang paling cepat waktu pengujiannya dan waktu pembacaan hasil kebocoran adalah *vacuum test*, sedangkan metode yang paling lama muncul indikasi adalah metode *penetrant Test*.

Pengujian kedua pada area *bilge plate* dengan posisi agak tegak dari ketiga metode tersebut metode yang paling cepat waktu pengujiannya dan waktu pembacaan hasil kebocoran adalah metode *penetrant test*, sedangkan metode yang paling lama membaca indikasi adalah metode *magnetic Test*.

Pengujian ketiga pada area lambung dengan posisi tegak dari ketiga metode tersebut metode yang paling cepat waktu pengujiannya dan waktu pembacaan hasil kebocoran adalah metode *vacuum test*, sedangkan metode yang paling lama membaca titik kebocoran adalah metode *Penetrant Test*.

Pada pengujian keempat pada area lambung dengan posisi tegak dari ketiga metode tersebut metode yang paling cepat waktu pengujiannya dan waktu pembacaan hasil kebocoran adalah metode *Vacuum test*, sedangkan metode yang paling lama membaca titik kebocoran adalah metode *Penetrant Test*.

Pengujian kelima pada area *bottom plate* dari ketiga metode tersebut metode yang paling cepat waktu pengujiannya dan waktu pembacaan hasil kebocoran adalah metode *vacuum test*, sedangkan metode yang paling lama membaca titik kebocoran adalah metode *magnetic test*.

Pengujian keenam pada area *bottom plate* dengan posisi mendatar dari ketiga metode tersebut metode yang paling cepat waktu pengujiannya dan waktu pembacaan hasil kebocoran adalah metode *penetrant test*, sedangkan metode yang paling lama membaca titik kebocoran adalah metode *magnetic Test*.

Table 4.4. Hasil Pengujian Kebocoran dan Indikasi.

Pengujian	Hasil Pengujian	Metode Pengujian (Test)		
		<i>Magnetic</i>	<i>Penetrant</i>	<i>Vacuum test</i>
1	Jumlah kebocoran	1	2	1
	Indikasi yang timbul	Muncul Crack	Rounded	Gelembung sabun
2	Jumlah kebocoran	1	3	2
	Indikasi yang timbul	Muncul Crack	Rounded	Gelembung sabun
3	Jumlah kebocoran	0	0	0
	Indikasi yang timbul	Muncul Crack	Rounded	Gelembung sabun
4	Jumlah kebocoran	0	0	0
	Indikasi yang timbul	Muncul Crack	Rounded	Gelembung sabun
5	Jumlah kebocoran	1	4	0
	Indikasi yang timbul	Muncul Crack	Rounded	Gelembung sabun
6	Jumlah kebocoran	0	1	0
	Indikasi yang timbul	Muncul Crack	Rounded	Gelembung sabun

Pada pengujian yang pertama pada area *bilge plate* dengan posisi agak tegak dari ketiga metode tersebut metode yang paling banyak pembacaan titik indikasi adalah metode *penetrant test*.

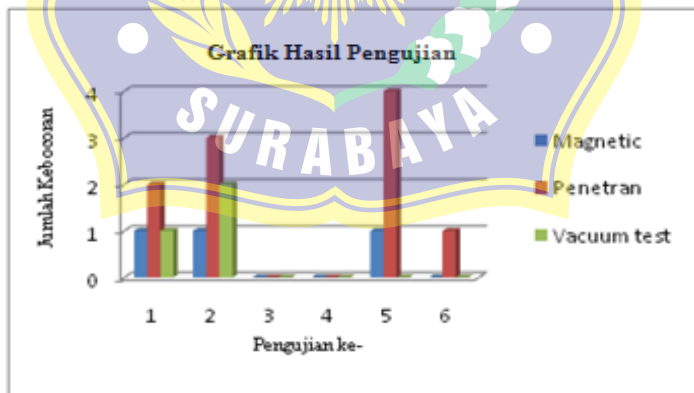
Dalam pengujian yang kedua pada area *bilge plate* dengan posisi agak tegak dari ketiga metode tersebut metode yang paling banyak pembacaan titik indikasi adalah metode *penetrant test*.

Pengujian yang ketiga pada area lambung dengan posisi tegak dari ketiga metode tersebut tidak ditemukan titik kebocoran.

Dalam pengujian yang keempat pada area lambung dengan posisi tegak dari ketiga metode tersebut tidak ditemukan titik kebocoran.

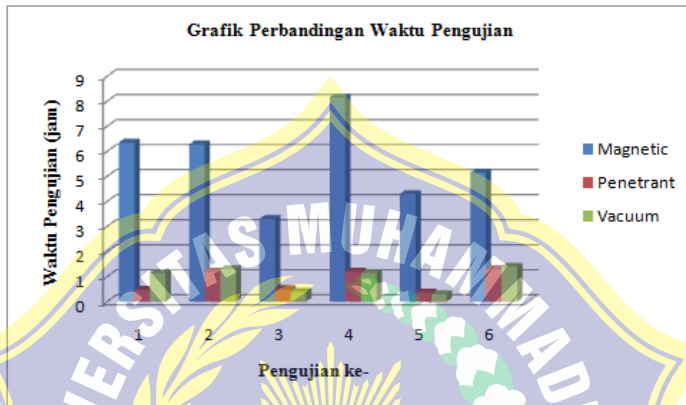
Pengujian yang kelima pada area *bottom plate* dari ketiga metode tersebut metode yang paling banyak pembacaan titik indikasi adalah metode *penetrant test*.

Pada pengujian yang keenam pada area *bottom plate* dengan posisi mendatar dari ketiga metode tersebut metode yang paling banyak pembacaan titik indikasi adalah metode *penetrant test*.



Gambar 4.5. Grafik Hasil Pengujian.

Dari hasil grafik diatas menerangkan bahwa metode pengujian kededapan pengelasan yang paling akurat dari ketiga metode tersebut dalam membaca titik kebocoran adalah metode *Penetrant Test*.



Gambar 4.6. Grafik Perbandingan Waktu Pengujian.

Dari hasil grafik diatas menerangkan bahwa metode yang paling cepat dalam pengujian dan membaca titik kebocoran adalah metode *Penetrant Test* dan *Vacuum test*.

4.5. Perbandingan Uji Alat Rancangan Dengan Metode *Penetrant, Magnetic dan Vacuum Test*.

Pada tahap ini akan dilakukan pengujian alat dilapangan dan nantinya akan ada metode pembandingan, antara metode *vacuum test* dengan metode *magnetic particle* dan *liquid penetrant test*. Dimana pada pengujian ini bertujuan untuk mengetahui metode manakah yang paling efisiensi dan maksimal untuk pengujian las pada kapal. Dan pengujian ini dilakukan pada lokasi *bottom plate* TK. Sinar Sarana Samudera 88 yang *repair* di PT. Indonesia Marina Shipyard - Gresik.

4.5.1. Dengan Metode Magnetic Particle Test.

Dalam melakukan uji *Magnetic Particle*, alat dan bahan yang harus dipersiapkan adalah:

1. MT Set yang terdiri dari (Cleaner, WCP dan 7HF).
2. Yoke dan kabel power.
3. *Field indicator*.
4. *Gauss meter* (jika punya).
5. Senter.
6. Gerinda / sikat baja.
7. Kain bersih.
8. *Roll meter*.
9. Jangka diameter.

4.5.1.1 Prosedur Pengujian *Magnetic Particle Test*.

Prosedure dalam uji *Magnetic Particle Test* :

1. *Surface preparation* (persiapan permukaan) : Membersihkan permukaan dari segala macam kotoran seperti *grease*, karat , debu, oli, dll.
2. *Equipment preparation* (persiapan alat) : Menyiapkan peralatan pengujian (yoke, field indicator, senter, gauss meter, roll meter, 7Hf, WCP, cleaner, kain, gerinda / sikat baja).
3. *Pre cleaning* : Membersihkan sisa kotoran dari permukaan dengan cleaner dan tunggu hingga permukaan kering.
4. Aplikasi WCP : Dengan cara menyemprot cairan pada permukaan benda uji yang telah dibersihkan.
5. Megnetisasi : Yoke di tempelkan ke benda uji dan di nyalakan.
6. *Magnetic particle aplication*: Dilakukan dengan metode continue, artinya setelah yoke dinyalakan dilanjutkan penyemprotan 7HF Pada benda uji yang telah teraliri magnet dengan arah vertical terhadap *welding seams*.

7. Evaluasi :Mengamati permukaan selama pengujian berlangsung pada benda uji, bila ditemukan indikasi retak ataupun indikasi rounded.
8. Demagnetisasi : Menghilangkan sisa aliran magnet yang masih tertinggal pada benda uji.
9. *Post cleaning* (pembersihan akhir) : Membersihkan benda uji dari cairan WCP dan 7HF hingga benar - benar bersih.

4.5.2. Dengan Metode Liquid Penetrant Test.

Dengan metode ini cara penggunaannya sedikit berbeda dengan biasanya, dimana aplikasi penetrant dan developer dilakukan pada satu sisi alur las yang sama. Sedangkan untuk pengujian kali ini cairan penetrant diaplikasikan pada alur las bagian dalam, untuk developer diaplikasikan pada alur las bagian luar. Yang mana metode ini hampir sama dengan metode kapur minyak (*chalk test*) yang membedakan hanya media aplikasi pengujiannya.

Dalam pengujiannya sendiri ada beberapa perlengkapan yang harus disiapkan, antara lain :

1. Penetrant Set terdiri dari (Penetrant, Cleaner/remover dan Developer).
2. Kabel power.
3. Gerinda / sikat baja.
4. Senter.
5. Roll meter.
6. Kain bersih.

4.5.2.1. Prosedur Pengujian Penetrant Test.

Prosedure dalam uji Penetrant :

1. *Surface preparation* (persiapan permukaan) :
Membersihkan permukaan luar dan dalam dari segala kotoran.
2. *Equipment preparation* (persiapan alat) :
Menyiapkan peralatan
(*penetrant, cleaner/remover, developer, senter, roll meter, kain bersih, gerinda/sikat baja*).
3. *Pre cleaning* :Membersihkan sisa kotoran/debu dari permukaan pada saat *surface preparation*.
4. Aplikasi penetrant :Dengan cara menyemprotkan cairan atau dikuas sesuai kondisi lapangan, pada alur las dalam yang telah dibersihkan.
5. Aplikasi developer: Setelah aplikasi penetrant tunggu sekitar 2 jam, kemudian aplikasikan developer secara merata pada permukaan sebaliknya/alur las bagian luar.
6. Evaluasi :Mengamati permukaan alur las luar selama pengujian berlangsung, bila ditemukan adanya indikasi retak atau *rounded*.
7. *Post cleaning* (pembersihan akhir) :
Membersihkan benda uji dari cairan developer hingga bersih.

4.5.3. Metode Vacuum Test.

Metode ini memerlukan beberapa alat dan bahan, antara lain :

1. Compressor.
2. Box vacuum acrylic.
3. Kabel power.
4. Ember dan kuas atau botol semprot yang telah diisi air sabun.
5. Senter
6. Roll meter.

4.5.3.1. Prosedur Vacuum Test.

Prosedure dalam uji Vacuum :

1. Siapkan peralatan yang akan di pakai, kabel power, senter, *vacuum pump* dan *box vacuum*, ember sebagai tempat larutan air sabun dan kuas cat.
2. Pastikan bagian disekitar kampuh las bersih.
3. Kuas area kampuh las
4. dengan air sabun.
5. Hubungkan *vacuum box* dengan *vacuum pump* dengan selang karet udara.
6. Letakkan *vacuum box* pada kampuh las yang sudah di beri air sabun, *vacuum box* ditekan sedikit agar spon dibagian *vacuum box* rapat dengan permukaan benda uji.
7. Hidupkan *vacuum pump* (sebelum meletakkan *vacuum box* pada area uji).
8. Karena adanya valve inlet dan outlet maka di dalam *vacuum box* akan menjadi hampa. Perhatikan *vacuum gauge*, jarum menunjukkan ke arah -0.2 bar atau setara dengan -0.02 Mpa.
9. Jika tekanan dalam *vacuum box* di rasa kurang maka tutuplah sedikit valve agar hisapan meningkat.

4.5.4. Analisa Pengujian.

Pada tanggal 27 Februari 2019 dilakukan pengujian *magnetic partikel test* di laboratorium uji bahan. Jenis material yang di uji Carbon steel A3 dengan dimensi 135 x 85 x 35 (mm) di las dengan proses SMAW, dengan lebar weld metal sebesar 3 mm. Dari hasil pengujian dengan metode *magnetic particle test*, banyak ditemukan indikasi pada benda kerja dengan indikasi linear atau retak. Dari sekian banyak indikasi pada benda kerja, panjang indikasi linear lebih dari 1,5 mm.

Maka dari itu, sesuai dengan ketentuan yang ditetapkan ASME Section V tentang *magnetic particle test* dimana indikasi linear yang panjangnya melebihi 1/16 Inchi (1,5mm), maka benda uji dinyatakan reject.

