

BAJA KARBON RENDAH 0,12% C SEBAGAI MATERIAL TABUNG ALAT UKUR SUHU *FLASH POINT* TERHADAP KENAIKAN TEKANAN HASIL PEMBAKARAN PROPELAN

Syahrizal Sinaga¹, Djoko Andrijono², Basuki Widodo³

Abstraksi

Alat ukur suhu titik nyala propelan merupakan suatu alat yang mampu mengukur suhu terendah dimana propelan mengeluarkan uap dan menyala (meledak). Tujuan penelitian untuk mengetahui ketebalan tabung alat ukur suhu titik nyala propelan terhadap kekuatan tarik dan kekuatan tekuk bahan tabung yang digunakan dihubungkan dengan tegangan kerja yang terjadi saat menerima tekanan hingga 200 bar hasil pembakaran propelan. Manfaat penelitian meliputi: menganalisa komposisi kimia, struktur mikro, menguji kekuatan tekuk dan kekuatan tarik dan menganalisa bahan yang digunakan untuk pembuatan tabung alat ukur suhu titik nyala propelan. Hasil penelitian bahan tabung merupakan baja karbon rendah 0,12% C dengan fasa *ferrite* (α) 60,56% dan *perlite* (α +Fe₃C) 39,42% dengan besar butir 372,77 μm^2 . Tegangan kerja yang terjadi pada bahan tabung dengan ketebalan 23 mm saat menerima tekanan 200 bar adalah 27,39 MPa (*longitudinal*) dan 109,21 MPa (*transversal*), sedangkan tegangan yang diijinkan melalui uji kekuatan tarik adalah 88,64 MPa dan 246,56 MPa uji kekuatan tekuk. Kesimpulan penelitian bahan tabung merupakan baja karbon rendah dengan fasa α 60,56% dan α +Fe₃C 39,42% dengan besar butir rata-rata 372,77 μm^2 , kekuatan tarik bahan tabung 425,51 MPa, sehingga tegangan ijin bahan dengan pembebanan tarik adalah 88,64 MPa, kekuatan tekuk bahan tabung 2047,51 MPa, sehingga tegangan ijin bahan dengan pembebanan tekuk 426,56 MPa. Dengan ketebalan tabung 23 mm tegangan kerja yang terjadi adalah 27,39 MPa (*longitudinal*) dan 109,21 MPa (*transversal*). Ketebalan tabung yang ideal jika dihubungkan dengan tekanan maksimal 200 bar adalah 8 mm dengan tegangan kerja 314 MPa (*transversal*) dan 78,75 MPa (*longitudinal*), ketebalan tersebut dikatakan aman karena tegangan kerja lebih kecil dibanding tegangan ijin di mana tegangan ijin bahan tabung alat ukur suhu titik nyala propelan adalah 88,64 MPa (tarik) dan 426,56 MPa (tekuk).

Kata Kunci : Titik Nyala, Propelan, Baja Karbon Rendah

PENDAHULUAN

Prinsip kerja tekanan pada tabung alat ukur suhu titik nyala (*flash point*) propelan yang terbuat dari bahan baja karbon rendah (*low carbon steel*) adalah tekanan akan menekan sama besar kesegala arah karena terjadi pada ruang tertutup (gambar 1).



Gambar 1. Alat Ukur Suhu Titik Nyala Propelan

Tekanan yang terjadi di dalam ruang tertutup akan menimbulkan gaya yang bekerja pada setiap titik dinding ruang, sehingga akan mempengaruhi tegangan kerja bahan dinding ruang. Semakin besar tekanan yang terjadi di dalam ruang tertutup akan memperbesar gaya yang bekerja pada dinding ruang dan demikian juga dengan tegangan bahan tersebut, juga akan semakin besar. Apabila tegangan yang terjadi melampaui tegangan yang diijinkan akan menimbulkan deformasi plastis pada bahan tersebut. Alat ukur suhu titik nyala propelan berbentuk silinder dan memiliki ruang tertutup sebagai tempat pembakaran propelan yang berfungsi untuk mengukur temperatur

¹ Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang

² Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang

³ Dosen Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Darat

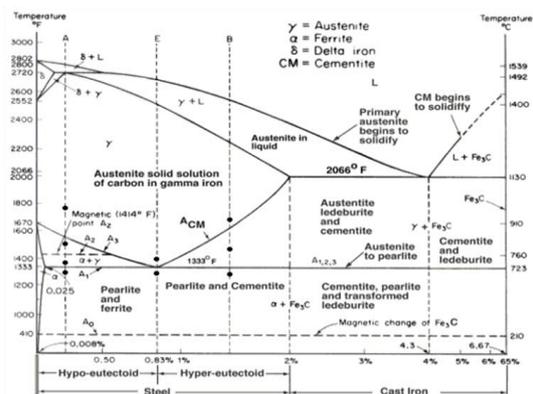
terendah suatu propelan dapat mengeluarkan uap dan terbakar atau meledak. Alat ukur suhu titik nyala propelan yang ada terdapat kelemahan dari aspek operasional yaitu ketebalan tabung hasil pengukuran sebesar 23 mm, sehingga mempengaruhi berat tabung yang mencapai 28 kg, akibatnya tidak memenuhi syarat untuk menahan tekanan maksimum 200 bar.

Untuk meningkatkan keefektifan penggunaan alat ukur suhu titik nyala propelan tersebut, maka perlu dilakukan penelitian tentang ketebalan material tabung alat ukur suhu titik nyala propelan melalui uji kekuatan tarik dan uji kekuatan tekuk agar mampu menerima tekanan maksimum yang berhubungan dengan tegangan yang terjadi pada material tabung alat ukur suhu titik nyala propelan.

KAJIAN PUSTAKA

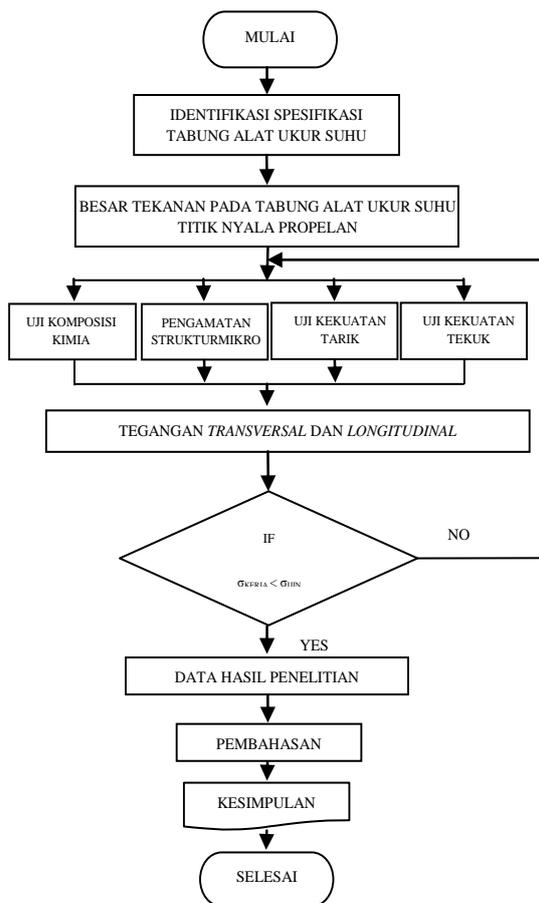
Baja (*steel*) merupakan paduan antara unsur besi (Fe) dan karbon (C) serta mengandung unsur-unsur lain seperti : (a) sulfur (S), (b) fosfor (P), (c) silikon (Si), dan, (d) mangan (Mn). Berdasarkan unsur C, baja diklasifikasikan menjadi 3 (tiga) macam terdiri dari : (a) baja karbon rendah (*low carbon steel*) mengandung 0,025% - 0,3% C mempunyai sifat lunak, mudah dibentuk, kekuatannya relatif rendah, tetapi keuletannya tinggi dan aplikasi baja karbon rendah untuk buat mur, tangki, kawat, sekrup, rangka bangunan dan rangka kendaraan, (b) baja karbon menengah (*medium carbon steel*) mengandung 0,3% - 0,6% C mempunyai sifat lebih kuat dan

keras serta dapat dikeraskan dan aplikasi baja karbon menengah untuk rel kereta Api, poros, roda gigi, alat-alat pertanian, (c) baja karbon tinggi (*high carbon steel*) mengandung 0,6% - 1,8% C mempunyai sifat lebih keras dan kuat di banding dengan baja karbon sedang, tetapi keuletan dan ketangguhannya rendah serta aplikasi baja karbon tinggi untuk mata potong mesin, perkakas, pisau. Baja menurut struktur mikro dibagi 2 (dua) macam terdiri dari: baja *hypoeutektoid* dan baja *hyper eutektoid*. Fasa baja *hypoeutektoid* apabila mengalami pendinginan lambat, maka pada temperatur kamar akan berstruktur mikro *ferrite proeutektoid* dan struktur yang berlapis-lapis (*lamellar*) terdiri dari fasa α dan Fe_3C yang disebut fasa $\alpha + Fe_3C$. Semakin tinggi unsur C pada baja, makin banyak jumlah fasa $\alpha + Fe_3C$ dibanding dengan jumlah fasa α , kelompok struktur akan terdiri dari fasa $\alpha + Fe_3C$ seluruhnya pada baja dengan komposisi *eutektoid* (baja *eutektoid*, 0,77% C) (gambar 2).



Gambar 2. Diagram Keseimbangan Fe-Fe₃C

METODOLOGI



Gambar 3. Diagram Metodologi Penelitian

Peralatan Penunjang Penelitian

- Mesin-mesin : mikroskop logam, *pregrinder*, *polishing*, *mounting press*, *film processing apparatus*, *quantometer*, *Rockwell* dan *universal testing machine*.

- Peralatan penunjang lain: jangka sorong, termokopel, keselamatan kerja, dan kertas gosok grade # 300 s.d # 1000

Variabel pengujian

- Bahan untuk pembuatan spesimen uji terbuat dari baja karbon rendah berbentuk plat dengan tebal 10 mm dan selanjutnya dibentuk spesimen uji kekuatan tarik dan uji kekuatan tekuk sesuai standar ASTM A.536 (tabel 1).

Tabel 1. Standar Spesimen Uji Kekuatan Tarik dan Uji Kekuatan Tekuk

No	Uraian	Notasi	Dimensi (mm)
1	Panjang seluruh batang uji	Lt	185
2	Panjang ukur	Lo	60
3	Panjang bagian paralel	Li	50
4	Lebar plat	A	15
5	Tebal plat	T	10
6	Lebar bagian yang dijepit	C	30
7	Panjang bagian yang dijepit	B	50
8	Jari-jari bahan	R	15

- Larutan etsa: HNO₃, 2% dan 98% alkohol.

Batasan dan Metode pengujian

- Uji komposisi kimia menggunakan mesin *quantometer* bertujuan untuk mengetahui unsur kimia dan komposisi kimia baja karbon rendah 0,16% C sebagai logam induk (*base metal*).
- Uji pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop logam bertujuan untuk mengetahui fasa, besar butir dan batas butir.

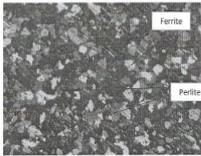
HASIL DAN PEMBAHASAN

Data

Tabel 2. Data Hasil Uji Komposisi Kimia

Unsur Kimia	C	Si	Mn	P
Komposisi Kimia (%)	0,12	0,303	0,53	0,017
Unsur Kimia	S	Si	Sn	Al
Komposisi Kimia (%)	0,02	0,0272	0,011	0,026
Unsur Kimia	Cr	Cu	Ni	Nb
Komposisi Kimia (%)	0,067	0,082	0,04	0,026
Unsur Kimia	V	Ca	Mo	B
Komposisi Kimia (%)	0,0076	0,004	0,013	0,00002
Unsur Kimia	W	N	Ti	Co
Komposisi Kimia (%)	0,0062	0,012	0,0024	0,097

Tabel 3. Data Hasil Pengamatan Struktur Mikro

No	Pembesaran	Hasil	Keterangan
1.	200X		Warna terang ferrite dan warna gelap perlite
2.	400X		Warna terang ferrite dan warna gelap perlite

Tabel 4. Data Hasil Perhitungan Besar Butir Rata-Rata dan Presentase Fasa α dan $\alpha + Fe_3C$

No	Segmen	n	z	Fm (μm^2)	D (mm)	α (%)	$\alpha + Fe_3C$ (%)
1		9	9,5	310,32	0,019	50,43	49,57
2		14	10	239,21	0,017	38,86	61,13
3		5	4,5	604,32	0,027	98,19	1,80
4		5	9,5	395,93	0,022	64,33	35,66
5		8	8	358,81	0,021	58,30	41,69
6		9	8,5	328,06	0,020	53,30	46,69
Rata-rata				372,77	0,021	60,56	39,42

Tabel 4. Data Hasil Uji Kekuatan Tarik

No	Spesimen Uji	L_0	b_0	t_0	L_r	b_r	t_r	A_0	A_r	P_{max}
		mm	kgf							
1.	low carbon steel	75,2	12,4	4,1	90,7	8,1	2,2	50,8	17,8	2250
2.	low carbon steel	75	12,8	4,1	96	8,8	1,7	52,5	14,9	2250
3.	low carbon steel	74,9	12,8	4,2	94,3	7,9	1,8	53,8	14,2	2237,5
4.	low carbon steel	75,6	12,8	4,3	93,5	7,9	1,7	55,1	13,4	2250
5.	low carbon steel	75	12,7	4,1	94,9	8,3	1,6	52,1	13,3	2250

Tabel 5. Data Hasil Perhitungan Uji Kekuatan Tarik

No	Spesimen	Tegangan Maks (σ_{maks})	Beban Patah (P_f)	Tegangan Patah (σ_f)	Regangan (ϵ)	Modulus Elastisitas (E)
		MPa	Kgf	MPa	%	MPa
1	1	442,91	1750	983,14	0,20	2214,56
2	2	428,57	1663	1116,10	0,28	1530,61
3	3	415,89	1627,27	1145,96	0,25	1605,68
4	4	408,34	1650	1231,34	0,23	1724,64
5	5	431,86	1575	1175,37	0,26	1627,61
6	Rata-2	425,51	1653,05	1130,38	0,24	1740,62

Tabel 6. Data Hasil Uji Kekuatan Tekuk

No	Spesimen Uji	P_{max} (kgf)
1.	low carbon steel	4375
2.	low carbon steel	3700
3.	low carbon steel	4675
4.	low carbon steel	4600

Tabel 7. Data Hasil Perhitungan Uji Kekuatan Tekuk

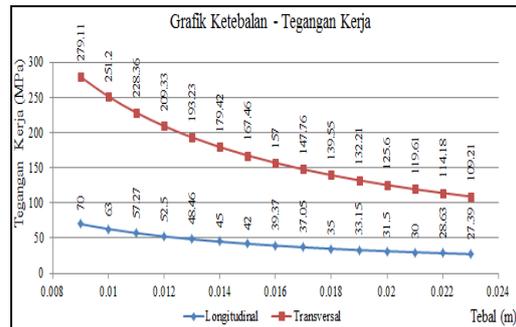
No	Spesimen	Tegangan Tekuk (σ_f)	Regangan Tekuk (ϵ_f)	Modulus Elastisitas Tekuk (Ef)
		MPa	%	MPa
1.	1	2065,21	1,18	6,07
2.	2	1746,58	1,01	6,07
3.	3	2206,83	1,26	6,07
4.	4	2171,43	1,24	6,07
	Rata-2	2047,51	1,17	6,07

Tabel 8. Data Hasil Uji Alat Ukur Suhu Titik Nyala Propelan

No	Jenis Propelan	Massa (gram)	Tekanan (Bar)	Rata-2
1.	9 mm (Mu-1 Tj)	2	32,8	Rata-rata dari 10 pengujian
2.	7,62 mm (Mu-2 Tj)	2	32,4	Rata-rata dari 10 pengujian
3.	12,7 mm (Mu-3 Tj)	2	33,2	Rata-rata dari 10 pengujian
4.	5,56 mm (Mu-5 Tj)	2	31,2	Rata-rata dari 10 pengujian

Tabel 9. Hasil Perhitungan Tegangan Bahan Tabung Alat Ukur Suhu Titik Nyala Propelan

No	Tekanan (bar)	Ketebalan (m)	Tegangan Kerja (MPa)		Keterangan
			Longitudinal	Transversal	
1.	200	0,023	27,39	109,21	σ_{ijin} bahan = 88,64 MPa (pembebanan tarik) dan 426,56 MPa (pembebanan tekuk)
2.	200	0,022	28,63	114,18	
3.	200	0,021	30,00	119,61	
4.	200	0,020	31,50	125,60	
5.	200	0,019	33,15	132,21	
6.	200	0,018	35,00	139,55	
7.	200	0,017	37,05	147,76	
8.	200	0,016	39,37	157,00	
9.	200	0,015	42,00	167,46	
10.	200	0,014	45,00	179,42	
11.	200	0,013	48,46	193,23	
12.	200	0,012	52,50	209,33	
13.	200	0,011	57,27	228,36	
14.	200	0,010	63,00	251,20	
15.	200	0,009	70,00	279,11	



Gambar 4. Grafik Hubungan Antara Ketebalan Tabung dengan Tegangan Kerja

Pembahasan

Hasil uji komposisi kimia bahan tabung alat ukur suhu titik nyala propelan dengan unsur karbon (C) 0,12% (tabel 2), maka bahan tabung tersebut termasuk jenis baja karbon rendah (*low carbon steel*) atau disebut baja karbon biasa (*plain carbon steel*). Baja karbon rendah merupakan jenis logam besi (*ferrous metal*) yang umumnya digunakan untuk pembuatan seperti : (a) mur,

(b) baut, (c) plat, (d) kawat, (e) sekrup, (f) rangka bangunan, (g) tabung, dan (h) rangka kendaraan. Baja karbon rendah dengan 0,12% C sifat kekerasan (*hardness properties*) dan kekuatan (*strength*) rendah, tetapi sifat keuletannya (*ductility properties*) tinggi. Unsur 0,017% P (tabel 1) sangat rendah, sehingga baja karbon rendah tidak rapuh (*brittle*), unsur P lebih dari 0,047% pada baja karbon rendah menjadi rapuh (Polukhin, 1977) dan unsur 0,021% S (tabel 2) merupakan unsur yang sangat merugikan pada baja karbon rendah, unsur S lebih dari 0,04% pada baja karbon rendah menjadi rapuh (Polukhin, 1977). Unsur 0,53% Mn (tabel 2) dapat mengikat unsur C sehingga membentuk karbida mangan (Mn_3C) yang dapat meningkatkan kekuatan baja karbon rendah, sehingga unsur Mn terhadap unsur S harus dijaga dengan perbandingan antara 10 : 1 (Anonim). Unsur 0,272% Si (tabel 2) tidak dapat meningkatkan sifat kekuatan baja karbon rendah, karena unsur Si lebih 0,1% (Anonim dan Polukhin, 1977). Unsur 0,272% Si dan 0,53% Mn pada baja karbon rendah merupakan unsur bersifat deoksidasi yang dapat menurunkan oksigen. Unsur-unsur lain pada baja karbon rendah seperti: timah putih (Sn), aluminium (Al), khrom (Cr), tembaga (Cu), nikel (Ni), niobium (Nb), vanadium (V), kalsium (Ca), molybdenum (Mo), boron (B), wolfram (W), nitrogen (N), titanium (Ti), cobalt (Co) merupakan unsur ikutan atau pengotor (*impurity*). Berdasarkan diagram keseimbangan Fe-Fe₃C (gambar 2), unsur 0,12% C pada baja karbon rendah,

maka termasuk baja hipoeutektoid (*hypoeutectoid steel*) ($< 0,83\% C$) yang mempunyai fasa α sifatnya lunak, ulet dan fasa $\alpha + Fe_3C$ sifatnya keras, kuat, dan getas (Avner, 1987). Hasil pengamatan struktur mikro bahan tabung alat ukur suhu titik nyala propelan yang terbuat dari baja karbon rendah mempunyai fasa α (warna terang) dan $\alpha + Fe_3C$ (warna gelap) (tabel 2). Fasa α di mana ruang antar atomnya kecil dan rapat, sehingga akan sedikit menampung atom C. Fasa α mempunyai sel satuan Kubus Pemusatan Ruang (KPR) atau *Body Centered Cubic* (BCC) terbentuk pada temperatur di bawah $910^{\circ}C$ dan sifat fasa α keuletan tinggi dan kekerasannya rendah. BCC merupakan larutan padat (*solid solution*) terdiri atas beberapa atom C yang ada pada besi murni (*pure iron*) dan kelarutan unsur C pada fasa α maksimum 0,025% yang terjadi di bawah temperatur $723^{\circ}C$, tetapi pada temperatur ruang kelarutan unsur C sekitar 0,008%. Fasa $\alpha + Fe_3C$ merupakan campuran yang homogen antara kristal-kristal halus fasa α dan kristal-kristal Fe₃C mengandung 0,8% C terbentuk pada suhu $723^{\circ}C$ dengan sel satuan BCC dan fasa $\alpha + Fe_3C$ mempunyai sifat keras dan getas. Hasil perhitungan dengan metode lingkaran besar butir rata-rata struktur bahan tabung alat ukur suhu titik nyala propelan adalah $372,77 \mu m^2$ (tabel 4). Mengandung fasa α sebesar 60,56% dan fasa $\alpha + Fe_3C$ sebesar 39,42%. Dari hasil perhitungan tersebut diketahui bahwa fasa α lebih banyak dibandingkan dengan $\alpha + Fe_3C$, sehingga sifat mekanik dari bahan tabung alat

ukur suhu titik nyala propelan memiliki keuletan yang tinggi. Akibat sifat keuletan yang tinggi, maka baja karbon rendah mudah untuk dilakukan proses pembentukan (*forming procees*), khususnya pada proses pembuatan tabung alat ukur suhu titik nyala propelan. Kekuatan tarik bahan tabung alat ukur suhu titik nyala propelan (tabel 5) diperoleh tegangan maksimum 425,51 MPa. Sedangkan nilai faktor keamanan bahan baja karbon rendah (*low carbon steel*) yang digunakan adalah 4,8, maka besar tegangan tarik yang diijinkan untuk bahan tabung alat ukur suhu titik nyala propelan adalah 88,64 MPa. Kekuatan tekuk bahan tabung alat ukur suhu titik nyala propelan (tabel 7) diperoleh tegangan maksimum 2047,51 Mpa, sedangkan nilai faktor keamanan bahan baja karbon rendah (*low carbon steel*) yang digunakan adalah 4,8, maka besarnya tegangan tekuk yang diijinkan untuk bahan tabung alat ukur suhu titik nyala propelan adalah 246,56 MPa. Hasil perhitungan untuk ketebalan bahan tabung 23 mm tegangan kerja yang terjadi adalah 27,39 MPa (*longitudinal*) dan 109,21 MPa (*transversal*), sedangkan tegangan yang diijinkan adalah 88,64 MPa (tarik) dan 246,56 MPa (tekuk), sehingga untuk ketebalan tabung yang ideal jika dihubungkan dengan tekanan maksimum 200 bar, diameter dalam 80 mm dan tinggi 150 mm adalah 11 mm dengan tegangan kerja 228,36 Mpa (*transversal*) dan 57,27 MPa (*longitudinal*), karena dengan ketebalan tersebut, memenuhi syarat untuk menerima

tegangan kerja lebih kecil dibanding tegangan yang diijinkan (gambar 4).

SIMPULAN

- a. Bahan tabung alat ukur suhu titik nyala propelan merupakan baja karbon rendah dengan 0,12% C sifat kekerasan, kekuatan semakin menurun tetapi sifat keuletannya semakin meningkat. Akibat sifat keuletan yang tinggi, mudah untuk proses pembentukan, khususnya pada proses pembuatan tabung alat ukur suhu titik nyala propelan.
- b. Bahan tabung alat ukur suhu titik nyala propelan yang merupakan baja karbon rendah mempunyai fasa α 60,56% dan $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ 39,42% dengan besar butir rata-rata $372,77 \mu\text{m}^2$.
- c. Kekuatan tarik bahan tabung alat ukur suhu titik nyala propelan adalah 425,51 MPa, sehingga tegangan ijin bahan dengan pembebanan tarik adalah 88,64 MPa.
- d. Kekuatan tekuk bahan tabung alat ukur suhu titik nyala propelan 2047,51 MPa, sehingga tegangan ijin bahan dengan pembebanan tekuk adalah 246,56 MPa.
- e. Dengan ketebalan tabung 23 mm tegangan kerja yang terjadi adalah 27,39 MPa (*longitudinal*) dan 109,21 MPa (*transversal*).
- f. Ketebalan tabung yang ideal jika dihubungkan dengan tekanan maksimal 200 bar adalah 11 mm dengan tegangan kerja 228,36 MPa (*transversal*) dan 57,27 MPa (*longitudinal*), dengan ketebalan tersebut dapat dikatakan aman karena

tegangan kerja lebih kecil dibanding tegangan yang diijinkan di mana untuk tegangan ijin bahan tabung alat ukur suhu titik nyala propelan adalah 88,64 MPa (tarik) dan 246,56 MPa (tekuk).

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, *Effects of Mn, P, S, Si & V on the Mechanical Properties of Steel*, <http://www.leonghuat.com/articles/element>
- Avner, S.H., 1987. *Introduction to Physical Metallurgy*, Singapore: Graw Hill International.
- <http://boocah.blogspot.com/2013/09/pengujian-struktur-mikro.html>, diakses tanggal 30 Maret 2015
- http://caritah.blogspot.com/2012/07/baja-karbon_08.html, diakses tanggal 30 Maret 2015
- http://examindo.blogspot.com/2013/02/jenis-tegangan-pada-sistem-perpipaan_23.html#U-1VEyi9pMQ, diakses tanggal 15 Maret 2014
- Polukhin, P. 1977. *Metal Process Engineering*. Fourth Printing. Mir Publishers: Moscow.
- <http://reskioga.blogspot.com/2012/10/pengujian-lengkung-bend-test.html>, diakses tanggal 23 April 2015
- V.Dobrovolsky, *Machine Element*, Zubovsky Boulevard, Moscow, U.S.S.R., <http://www.scribd.com/doc/151721174/FaktorKeamanan#scribd>
- <http://www.scribd.com/doc/100884951/Pengaruh-Unsur-Paduan-Terhadap-Baja#scribd>
- Environmental Sciences*. Vol. 29: 75-88.
- Rochim, Taufiq, 2007. **Teori dan Teknologi Proses Pemesinan**. Laboratorium Teknik Produksi dan Metrologi Industri, Jurusan Teknik Mesin, FTI, ITB, Bandung.

