

PENGGUNAAN BAJA PROFIL BERSTANDAR ASTM DALAM DESAIN KONSTRUKSI INSTALASI NUKLIR *

Djaruddin Hasibuan **

ABSTRAK

PENGGUNAAN BAJA PROFIL BERSTANDAR ASTM DALAM DESAIN KONSTRUKSI INSTALASI NUKLIR. Dalam rangka penyebarluasan dan pemasyarakatan ilmu pengetahuan dan teknologi perancangan di Indonesia, telah disusun suatu metode "Penggunaan Baja Profil Berstandar ASTM Dalam Desain Konstruksi Instalasi Nuklir". Tulisan ini akan menguraikan penggunaan baja profil berstandar ASTM dalam desain konstruksi instalasi nuklir, yang meliputi pengenalan bentuk, proses pembuatan, keunggulan dalam penggunaan, bentuk-bentuk konstruksi, dan formula-formula baku dalam desain. Tulisan ini dibuat berdasarkan pengalaman selama mengikuti training dan partisipasi disain PISA-AP600. Dengan memahami uraian-uraian yang diajarkan, maka para perancang (*designer*) akan lebih mudah menggunakan baja profil berstandar ASTM ini dalam desain konstruksi instalasi nuklir. Sebagai acuan digunakan standar ASTM, AISC dan ANSI.

Kata kunci: Baja profil, desain.

ABSTRACT

APPLICATION OF STEEL STRUCTURE OF ASTM STANDAR IN THE DESAIN CONSTRUCTION ON NUCLEAR INSTALLATION. To publish the knowledge and engineering technology in Indonesia, the application of steel structure of ASTM standard on nuclear installation has been composed. This paper will described the application of the ASTM steel structure, over the knowing of shapes, manufacturing process, superiority in use, the shapes of construction, and standard formula in design. This paper is made base on the experience during the attend of the PISA-AP600 training. By the systematical description understood, the designer will be more easy to use the steel structure of ASTM standard in the construction of nuclear installation. As a references is used the standard of ASTM, AISC and ANSI.

Key words: Steel structure, design.

*) . Diajukan untuk diterbitkan pada "Buletin Reaktor"

**). Perencana Pusbang Teknologi Reaktor Riset-BATAN Serpong

I. PENDAHULUAN

Profil baja berstandar ASTM adalah suatu jenis profil baja dimana dimensinya telah terstandar dan kekuatannya telah diuji. Berbeda halnya dengan baja biasa yang kekuatannya tidak teruji dan dimensinya tidak terstandar. Profil baja berstandar ASTM ini banyak digunakan dalam berbagai macam konstruksi, baik dalam konstruksi bangunan-bangunan bertingkat, jembatan ataupun dalam konstruksi instalasi-instalasi pembangkit daya dan konstruksi-konstruksi lainnya yang memerlukan kekuatan yang pasti.

Demikian juga dalam instalasi nuklir, profil baja berstandar ASTM ini sangat banyak digunakan, baik sebagai kerangka pada bangunan induk, maupun sebagai material sistem bantu seperti penyangga pipa dan lain sebagainya. Hal ini dimaksudkan agar para desainer dapat mempertanggung jawabkan perhitungan-perhitungan desain yang diacu dari standar dan code yang terkait.

Berdasarkan pengalaman dalam bidang desain, penggunaan baja profil berstandar ASTM ini masih memiliki kendala karena kurangnya pemahaman tentang penggunaannya. Untuk mengatasi kendala tersebut serta untuk memperluas wawasan para desainer di Indonesia, telah diuraikan penggunaan baja profil berstandar ASTM yang didasarkan pada pengalaman selama mengikuti training PISA AP600.

Tulisan ini akan menguraikan pemahaman tentang baja profil berstandar ASTM, yang meliputi pengenalan bentuk, sifat-sifat, manfaat pemakaian, penentuan tegangan ijin maksimum, bentuk konstruksi yang mungkin, sistem sambungan dan pemeriksaan kekuatannya terhadap pembebanan yang timbul.

Dengan berpedoman pada Tabel-tabel standar yang sudah baku dalam ANSI dan AISC, maka seluruh permasalahan penggunaan baja profil berstandar ASTM dalam desain dapat diselesaikan.

II. TEORI

Pemakaian baja profil berstandar ASTM dalam desain konstruksi instalasi nuklir dapat dijumpai sangat luas, pada desain konstruksi gedung, konstruksi kerangka modul, dudukan peralatan, penyangga pipa, sistem proteksi nuklir dan lain sebagainya.

Berdasarkan letak penggunaannya, posisi baja profil berstandar ASTM dapat dipasang dalam berbagai posisi, horizontal, vertikal maupun pada posisi-posisi lain dengan membentuk sudut tertentu dengan bidang vertikal dan horizontal. Oleh karena itu bentuk pembebanan yang mungkin terjadi dapat berupa beban tarik, desak, geser, bengkok puntiran, maupun kombinasi dua atau lebih jenis pembebanan.

Ketepatan perhitungan dalam desain ditentukan oleh kelengkapan data dari baja profil berstandar ASTM tersebut yang sudah didokumentasikan, serta pernyataan-pernyataan yang tertuang dalam kriteria desain. Ketebalan profil baja jenis ini biasanya bervariasi antara 1/8 in s/d 2,5 in, sedangkan rasio perbandingan antara tinggi dan lebar penampang bervariasi antara 0,5 s/d 1^[1]. Proses pembuatannya baja berstandar ASTM ini dilakukan dengan metode penuangan dan penempaan (*cast steel and steel forging*)^[1].

Berdasarkan bentuknya, pada umumnya jenis baja profil ini dibedakan atas, *W shapes, M shapes, S shapes, HP shapes, Cannels, angles, Structural Tees, Structural tubing square, structural tubing rectangular, Steel pipe* plat dan strip. Sedangkan bentuk-bentuk lain adalah merupakan pengembangan dari bentuk-bentuk dasar yang telah diuraikan di atas, misalnya, *double angles, double channel* dan lain sebagainya. Keseluruhan bentuk baja profil ini, telah terspesifikasi dalam tegangan ijin desain dan tegangan plastik desain.

Ditinjau dari segi bentuk penampang, maka profil baja berstandar ASTM ini diklasifikasikan atas, penampang kompak (*compact section*), penampang tidak kompak (*uncompact section*) dan penampang melingkar (*slenderness*). Ketiga spesifikasi ini berguna sebagai dasar untuk menentukan jenis material yang sesuai dengan jenis pembebanan yang timbul. Misalnya untuk pembebanan yang menimbulkan tegangan lentur dan tegangan tarik biasanya digunakan bentuk *uncompact section*, sedangkan untuk pembebanan yang menimbulkan tegangan puntir digunakan bentuk *compact section* dan *slenderness*. Untuk menjamin kekuatan material, harus dipenuhi bahwa

tegangan ijin maksimum \geq tegangan yang timbul, dan sebagai acuan dalam perancangan digunakan ANSI dan AISC.

III. KEUNGGULAN DALAM PEMAKAIANNYA

Beberapa keunggulan pemakaian dari baja profil berstandar ASTM ini dalam desain konstruksi dapat dijelaskan secara rinci sebagai berikut [2].

- a) Bentuk penampang baja profil berstandar ASTM, dibuat sangat teliti dengan berbagai macam bentuk yang penggunaannya dapat disesuaikan dengan berbagai macam pembebanan yang mungkin terjadi.
- b) Berbagai bentuk baja profil berstandar ASTM ini dapat dibentuk melalui proses pembentukan dengan pengerolan, misalnya W,S dan M, yang diperuntukkan untuk beban tekanan. Hal ini penting artinya untuk desain karena bentuk yang demikian akan menghasilkan kekakuan yang tinggi.
- c) Profil baja berstandar ASTM dapat dibuat dari berbagai jenis material yang memiliki kekuatan yang cukup. Dalam hal ini baja profil berstandar ASTM, material dasarnya berupa baja dari *low* sampai dengan *high strength steels*.
- d) Semua metode sistem sambungan konvensional seperti sambungan paku keling, baut mur, las dan perpaduan antara dua atau lebih sistem sambungan tersebut dapat digunakan pada konstruksi yang menggunakan baja profil berstandar ASTM ini.
- e) Metode proses pembentukan dengan penuangan dan roll, dapat menimbulkan pengerasan setempat, sehingga dapat menimbulkan pengerasan setempat (*local work hardening*) yang dapat meningkatkan tegangan luluh (*yield strength*) dari profil dalam mendukung beban.

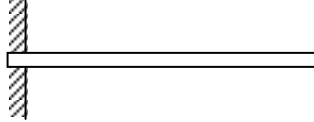
IV. METODE PENGGUNAAN

IV.1 Bentuk-bentuk konstruksi

Dalam penggunaannya baja profil berstandar ASTM dibentuk dalam berbagai macam bentuk konstruksi, seperti yang diuraikan berikut. [3]

a. Gelagar cantilever (*cantilever beam*)

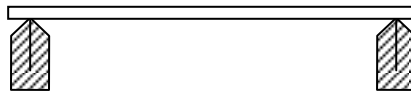
Gelagar cantilever adalah suatu gelagar yang terikat kaku pada satu ujung, dan ujung yang lain bebas, seperti diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Gelagar cantilever

b. Gelagar dengan tumpuan sederhana (*Simply supported beam*).

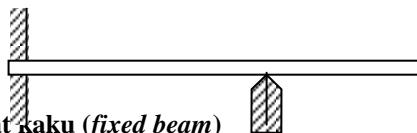
Gelagar dengan tumpuan sederhana adalah suatu gelagar yang pada kedua ujungnya ditumpu secara bebas pada kedua ujungnya, seperti diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Gelagar pendukung sederhana

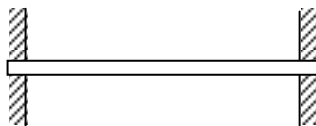
c. Gelagar tergantung (*overhanging beam*).

Gelagar tergantung adalah suatu gelagar yang terikat kaku pada salah satu ujung dan pada bagian tengah dipasang suatu tumpuan, sedangkan ujung yang lain tergantung melalui tumpuan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.



d. Gelagar terikat kaku (*fixed beam*)

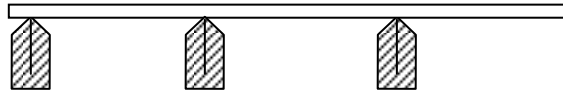
Gelagar terikat kaku adalah suatu gelagar yang pada kedua ujungnya terikat kaku, seperti diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Gelagar terikat kaku

e. Gelagar panjang (continues beam).





Gelagar panjang adalah suatu gelagar yang ditumpu lebih dari satu tumpuan, seperti diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Gelagar panjang

f. Tiang (column)

Selain penggunaan dalam arah horizontal, baja profil berstandar ASTM juga sangat banyak digunakan dalam konstruksi vertikal seperti tiang dalam berbagai bentuk kebutuhan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 6 berikut^[4]

Bentuk pengikatan tiang, dalam bentuk garis	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	 Rotasi dan translasi terikat  Rotasi bebas, translasi  Rotasi terikat, translasi  Rotasi dan translasi bebas
	Nilai K teoritis	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Nilai yang direkomendasikan untuk desain	0,65	0,80	1,0	1,2	2,10	2,0	Harga $\frac{Kl}{r}$, dapat dilihat pada Tabel C-36 dan C-50, terlampir

Gambar 6. Tiang (column), dengan faktor panjang yang efektif untuk berbagai pembebanan

IV.2. Penentuan tegangan dan momen lentur (stress and moment)

Tegangan ijin maksimum (F_t) adalah suatu besaran tegangan pada suatu material yang digunakan dalam kegiatan keteknikan. Tegangan ini tidak boleh dilampaui oleh tegangan yang timbul pada saat konstruksi mengalami pembebanan maksimum. Besarnya tegangan ijin maksimum pada setiap jenis material berbeda-beda, bergantung pada besarnya tegangan spesifik minimum ($F_y = yield\ stress$) dari masing-masing material.

Selain dipengaruhi oleh tegangan spesifik minimum dari setiap jenis material, tegangan ijin maksimum (F_t) ini juga dipengaruhi oleh jenis pembebanan yang bekerja pada material tersebut, yang diuraikan sebagai berikut^[5],

- a. Untuk baja profil berstandar ASTM yang dibebani dengan beban tarik, maka $F_t = 0,6 F_y$ Untuk bagian yang disambung dengan pin, $F_t = 0,45 F_y$.
- b. Untuk baja profil berstandar ASTM, yang dibebani dengan beban geser, maka $F_t = 0,4 F_y$.
- c. Untuk baja profil berstandar ASTM yang flens atasnya disambung dengan element lain, dan oleh karena itu pada saat yang bersamaan dapat terjadi beban geser ataupun beban kombinasi, maka $F_v = 0,30 F_U$.
dengan , $F_v =$ tegangan ijin kombinasi maksimum dan $F_U =$ tegangan tarik spesifik dari tipe baja yang dikencangkan.
- d. Untuk baja profil yang dibebani dengan beban aksial tekan (desak) yang bekerja pada seluruh penampang, tegangan aksial ijin maksimum (F_a) adalah,

$$F_a = \frac{[1 - \frac{(Kl/r)^2}{2C_c}] \cdot F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3(Kl/r)}{8C_c} - \frac{(Kl/r)^3}{8C_c^3}}, \text{ dimana } C_c = \sqrt{\frac{12\pi^2 \cdot E}{F_y}}$$

Harga Kl/r dapat dilihat pada Tabel C-36 dan C-50 (terlampir)

Untuk baja profil berstandar ASTM yang dibebani dengan beban aksial tekan, dimana harga Kl/r melebihi nilai C_c , berlaku

$$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23(Kl/r)^2}$$

Untuk plat girder kaku, yang dibebani pada seluruh penampang, $F_t = 0,60 F_y$.

Untuk bentuk-bentuk yang dirol, $F_t = 0,75 F_y$.

- e. Untuk profil baja berstandar ASTM dengan bentuk penampang kompak yang mengalami tarikan maupun desakan pada bagian serat ekstrim sebagai akibat dari pembebanan bending, $F_b = 0,66 F_y$. Jika pada baja profil berstandar ASTM tersebut, terdapat $b_f / 2t_f$ melebihi dari $65 / \sqrt{F_y}$, tetapi kurang dari

$$95 / \sqrt{F_y}, \text{ maka } F_b = [0,79 - 0,002 \left(\frac{b_f}{2t_f} \right) \sqrt{F_y}] \sqrt{F_y}, \text{ dimana } b_f = \text{lebar flens}$$

dan t_f = tebal flens.

- f. Untuk baja profil yang berbentuk tubular dengan bentangan panjang yang disambungkan pada jaringan konstruksi lainnya dan mengalami pembengkokan pada absis minornya, maka tegangan bengkok ijinnya adalah,

$$F_b = 0,66 F_y$$

- g. Untuk baja profil berstandar ASTM yang dibebani dengan kombinasi beban tekan aksial dan bending.

$$\frac{f_a}{0,60 F_y} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1,0, \text{ bila } \frac{f_a}{F_a} \geq 0,15$$

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1,0, \text{ bila } \frac{f_a}{F_a} \leq 0,15$$

dengan F_a = tegangan tekan ijin maksimum

F_b = tegangan bending ijin maksimum

$$f_a = \frac{P}{A} \text{ tegangan aksial yang timbul.}$$

F_b = tegangan bending yang timbul.

- h. Untuk baja profil berstandar ASTM yang dibebani dengan kombinasi tegangan tarik dan bending.

$$\frac{f_a}{F_t} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1,0$$

dengan f_b = tegangan bending yang timbul, dengan x dan y menunjukkan arah kerja gaya.

F_a = tegangan aksial yang timbul.

F_b = tegangan bending ijin maksimum

F_t = tegangan kombinasi ijin maksimum $\leq 0,60 F_y$

IV.3 Penentuan beban yang timbul

Semua baja struktur berstandar ASTM yang digunakan dalam instalasi niklir didesain untuk menahan beban sesuai dengan kondisi pembebanan yang diuraikan sebagai berikut^[5].

a. Beban normal.

Beban normal adalah semua beban yang timbul pada sistem, pada saat sistem beroperasi normal dan sistem dimatikan. Yang termasuk dalam pembebanan ini adalah, beban mati beserta momen dan gaya internal yang timbul sebagai akibat dari pembebanan yang diberikan, beban gesekan dan beban termal.

b. Beban lingkungan

Beban lingkungan adalah semua beban yang mungkin terjadi sebagai akibat pengaruh lingkungan pada suatu sistem. Yang termasuk dalam beban ini adalah beban sesaat yang timbul karena gempa, beban yang timbul karena hembusan angin, salju dan lain sebagainya.

c. Beban hidup

Beban hidup adalah beban yang timbul sebagai akibat dari naiknya operator di atas konstruksi pada saat pelaksanaan perawatan atau perbaikan. Biasanya beban ini diperhitungkan dengan memperkirakan berat dari dua orang operator, dimana tiap operator diperkirakan ± 80 kg.

IV.4 Desain sambungan

Desain sambungan untuk baja profil berstandar ASTM tergantung pada fungsi dari bagian yang disambung. Untuk bagian yang membutuhkan pembongkaran pada saat-saat tertentu, misalnya untuk kebutuhan perawatan biasanya digunakan sambungan baut mur atau perpaduan antara sambungan las dan sambungan baut mur. Sedangkan untuk bagian-bagian terpasang mati dan yang menghindarkan kebocoran digunakan sambungan las. Pelaksanaan sambungan pada masing-masing jenis sambungan diuraikan sebagai berikut:^[1]

a. Sambungan baut mur

Dalam pelaksanaan sambungan baut mur perlu diperhitungkan secara teliti pengurangan lubang bor untuk dudukan baut mur dari bagian yang disambungkan, serta kemampuan bahan baut terhadap besarnya tegangan geser yang mungkin terjadi pada baut pengikat.

Untuk mempermudah pelaksanaan desain serta untuk mendapatkan hasil yang sesuai, maka untuk memilih baut mur yang sesuai digunakan Tabel 1 dan Tabel 2 berikut.

Tabel 1. Tegangan tarik ijin [Kips], pada baut dan keling

Tabel 1. Tegangan tarik ijin pada penampang nominal baut dan keling									
Simbol ASTM	F _t Ksi	Diameter nominal d, [in]							
		5/8	3/4	7/8	1	1.1/8	1.1/4	1.3/8	1.1/2
		Luas penampang [in ²]							
		0,3068	0,4418	0,6013	0,7854	0,9940	1,227	1,485	1,767
Baut A307	20,0	6,1	8,8	12,0	15,7	19,9	24,5	29,7	35,3
Baut A307	44,0	13,5	19,4	26,5	34,6	43,7	54,0	65,3	77,7
Baut A307	54,0	16,6	23,9	32,5	42,4	53,7	66,3	80,2	95,4
Keling A502-1	23,0	7,1	10,2	13,8	18,1	22,9	28,2	34,2	40,6
Keling A502-2-3	29,0	8,9	12,8	22,8	22,8	28,8	35,6	43,1	51,2

Tabel 2. Tegangan tarik pada penampang nominal pengikat berulir

Simbol ASTM	F _y Ksi	F _u Ksi	F _t Ksi	Diameter nominal, d [in]							
				5/8	3/4	7/8	1	1.1/8	1.1/4	1.3/8	1.1/2
				Luas penampang [in ²]							

				0,3068	0,4418	0,6013	0,7854	0,9940	1,227	1,485	1,767
A36				5,9	6,4	11,5	15,0	19,2	23,4	28,4	33,8
A572,Gr. 50	50	65	21,5	6,6	9,5	12,9	16,9	21,4	26,4	31,9	38,0
A558	50	70	23,1	7,1	10,2	13,9	18,1	23,0	28,3	34,3	40,8
A449											
$d \leq 1$	92	120	39,6	12,1	17,5	23,8	31,1	-	-	-	-
$1 < d \leq 1.1/2$	81	105	34,7	-	-	-	-	34,5	42,6	51,5	61,3

Sumber, *Manual of Steel Construction, Allowable stress design, Ninth edition*

F_u = Tegangan tarik spesifik minimum dari material pengikat berulir.

$F_t = 0,33 F_u$ = tegangan tarik yang diijinkan pada pengikat berulir

b. Sambungan las

Dalam perancangan konstruksi yang menggunakan baja profil berstandar ASTM, sangat penting diketahui bagaimana membuat desain sambungan las yang sesuai dengan sifat-sifat bahan tersebut yang meliputi:

- **Persyaratan pengelasan**^[2]

1. Untuk material dengan ketebalan lebih kecil dari 1/4 in, tebal filler metal tidak lebih dari tebal material yang akan dilas.
2. Untuk material dengan tebal 1/4 in atau lebih, tebal filler metal tidak lebih dari tebal material di kurangi 1/16 in.
3. Untuk material yang akan disambungkan dengan tebal sampai 1/4 in ukuran minimum filler metal = 1/8 in.

- **Pemilihan filler metal dan proses pengelasan**

Untuk mendapatkan hasil sambungan las yang sesuai untuk konstruksi instalasi nuklir yang menggunakan bahan baja profil berstandar ASTM, digunakan Tabel 3.

Tabel 3. Penentuan keperluan logam pengisi las ^[1]

		Proses pengelasan
--	--	-------------------

Group	Spesifikasi baja logam dasar	<i>Shielded metal arc welding (SMAW)</i>	<i>Submerged arc welding (SAW)</i>	<i>Gas metal arc welding (GMAW)</i>	<i>Flux core arc welding (FCAW)</i>
I	ASTM A36, A53 Grade B, A500, A501, A529 A570 Grades D dan E Dan A709 Grade 36	AWS A 5.1 atau A 5.5 E60xx atau E70xx	AWS A5.17 atau A5.23 F 6 x atau E7x-E x	AWS A 5.1 8 E70S-x atau E70U-1	AWS A5-20 E60T-X (Kecuali EXXT-2 dan EXXT-3)
II	ASTM A242§, A441, A572 Grade 42-55, A588§, dan A709 Grades 50 dan 50W	AWS A51 atau AWS A5.5 E70XX	AWS A5.17 atau A5.23 F7x-EXXX	AWS A5.18 E70-X atau E70U-1	AWS A5.20 E70T-X (Kecuali E70T-2 dan E70T-3)
III	ASTM A572 Grade 60 dan 65	AWS A5.5 E80XX	AWS A5.23 F8X-EXXX	Grade E80S	Grade E80T
IV	ASTM A514 (tebal lebih dari 2 1/2 in) dan A709 Grades 100 W dan 100W (tebal 2 1/2 s/d 4 in)	AWS A5.5 E100 XX	AWS A5.23 F10X-EXXX	Grade E100S	Grade E100T
V	ASTM A514 (tebal 2 1/2 in dan dibawah) dan A709 Grades 100 dan 100W (100W (2 1/2 dan dibawah)	AWS A5.5 E110XX	AWS A5.23 F11X-EXXX	Grade E110S	Grade E110T

Penentuan tegangan ijin (*allowable stresses*) pada luasan efektif dari kumpuh las^[1].

Untuk menentukan tegangan ijin maksimum pada luasan efektif kampuh las digunakan Tabel 4.

Tabel 4. Tegangan ijin pada luasan efektif dari sambungan las.


Tipe tegangan pada luasan efektif	Tegangan ijin	Level kekuatan las yang dibutuhkan
Penetrasi sambungan las sempurna		
Tegangan tarik tegak lurus (normal) pada luasan efektif	Sama dengan logam dasar	Penyesuaian logam las harus dilakukan
Tegangan tekan tegak lurus pada luas efektif	Sama dengan logam dasar	Logam las dengan level kekuatan sama atau kurang dari logam dasar dapat digunakan.
Tegangan tarik atau tekan sejajar dengan absis las	Sama dengan logam dasar	
Tegangan gunting pada luas efektif	0,30 x kekuatan tarik nominal logam las, kecuali tegangan geser pada logam dasar tidak lebih dari 0,40 x tegangan luluh (yield strength).	
Penetrasi sambungan las sebagian		
Tegangan tekan tegak lurus pada luasan efektif	Sama dengan logam dasar untuk disain sambungan pendukung.	Logam las dengan level kekuatan sama atau kurang dari logam dasar dapat digunakan.
Tegangan tarik tegak lurus (normal) pada luasan efektif	Sama dengan logam dasar	
Tegangan tarik atau tekan sejajar dengan absis las	0,30 x kekuatan tarik nominal logam las, kecuali tegangan geser pada logam dasar tidak lebih dari 0,40 x tegangan luluh (yield strength).	
Tegangan gunting sejajar pada absis las	0,30 x kekuatan tarik nominal logam las, kecuali tegangan tarik pada logam dasar tidak lebih dari 0,60 x tegangan luluh (yield strength).	
Logam pengisi las		
Tegangan gunting pada luasan efektif	0,30 x kekuatan tarik nominal logam las, kecuali tegangan geser pada logam dasar tidak lebih dari 0,40 x tegangan luluh (yield strength).	Logam las dengan level kekuatan sama atau kurang dari logam dasar dapat digunakan.
Tarikan atau tekanan sejajar dengan absis dari las.	Sama dengan logam dasar	
Las sumbat dan las alur (<i>Plug and slot welds</i>)		

Tegangan gunting sejajar dengan luasan efektif	0,30 x kekuatan tarik nominal logam las, kecuali tegangan geser pada logam dasar tidak lebih dari 0,40 x tegangan luluh (yield strength).	Logam las dengan level kekuatan sama atau kurang dari logam dasar dapat digunakan.
--	---	--

▪ **Bentuk dan sifat-sifat kempuh las pada konstruksi baja profil berstandar ASTM**

Dalam konstruksi yang menggunakan baja profil berstandar ASTM, bentuk-bentuk kempuh las biasanya digambarkan dalam bentuk garis yang disesuaikan dengan variasi bentuk profil baja yang digunakan. Bentuk dan sifat-sifat las tersebut ditunjukkan pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Bentuk dan sifat-sifat las

Section, b = lebar, d = tinggi (kedalaman)	Centroid	Modulus section	Momen Inersia Polar
1 		$S = \frac{d^2}{6}$	$I_p = \frac{d^3}{12}$
2		$S = \frac{d^2}{3}$	$I_p = \frac{d(3b^2 + d^2)}{6}$
3		$S = b.d$	$I_p = \frac{b(3d^3 + b^2)}{6}$
4	$\bar{y} = \frac{d^2}{2(b+d)}$ $\bar{x} = \frac{b^2}{2(b+d)}$	$S = \frac{4.b.d + d^2}{6}$	$I_p = \frac{(b+d)^2 - 6b^2d^2}{12(b+d)}$
5	$\bar{x} = \frac{b^2}{2b+d}$	$S = b.d + \frac{d^2}{6}$	$I_p = \frac{8b^3 + 6bd^2 + d^3}{12} - \frac{b^4}{2b+d}$

6		$\bar{y} = \frac{d^2}{b+2d}$	$S = \frac{2.b.d + d^2}{3}$	$I_p = \frac{b^3 + 6b^2.d + 8d^3}{12} - \frac{d^4}{2d+b}$
7			$S = b.d + \frac{d^2}{3}$	$I_p = \frac{(b+d)^3}{6}$
8		$\bar{y} = \frac{d^2}{b+2d}$	$S = \frac{2b.d + d^2}{3}$	$I_p = \frac{b^3 + 8.d^3}{12} - \frac{d^4}{b+2.d}$
9			$S = b.d + \frac{d^2}{3}$	$I_p = \frac{b^3 + 3b.d^2 + d^3}{6}$
10			$S = \pi.r^2$	$I_p = 2.\pi.r^3$

▪ **Tahanan ijin kampuh las**

Dalam perhitungan kekuatan sambungan las, tahanan minimum persatuan panjang dari kampuh las dengan berbagai ketebalan ditentukan dengan menggunakan Tabel 6 dan 7 berikut.

Tabel 6. Tahanan ijin kampuh las
(Shielded Arc Welding)

Geseran ijin kampuh las [kips/in]							
Ukuran nominal[in]	Tebal efektif [in]	Tegangan tarik minimum dari kampuh las [Ksi]					
		E60XX	E70XX	E80XX	E90XX	E100XX	E110XX
1/8	0,088	1,59	1,86	2,12	2,39	2,69	2,92
3/16	0,132	2,38	2,78	3,18	3,58	3,97	4,37
1/4	0,177	3,18	3,71	4,24	4,77	5,30	5,83
5/16	0,221	3,98	4,64	5,30	5,96	6,63	7,30
3/8	0,265	4,77	5,57	6,36	7,16	7,95	8,75
7/16	0,309	5,57	6,49	7,42	8,35	9,28	10,21
1/2	0,353	6,36	7,42	8,48	9,54	10,60	11,66
9/16	0,398	7,16	8,35	9,54	10,74	11,93	13,12
5/8	0,442	7,95	9,28	10,61	11,93	13,26	14,58
11/16	0,486	8,75	10,21	10,67	13,12	14,58	16,04
3/4	0,530	9,54	11,13	12,72	14,31	15,91	17,50

Tabel 7. Tahanan ijin kampuh las

(Submerged Arc Welding)

		Geseran ijin kampuh las [kips/in]					
Ukuran nominal[in]	Tebal efektif [in]	Tegangan tarik minimum dari kampuh las [Ksi]					
		E60XX	E70XX	E80XX	E90XX	E100XX	E110XX
1/8	0,125	2,25	2,62	3,00	3,37	3,75	4,12
3/16	0,187	3,37	3,94	4,50	5,06	5,62	6,19
1/4	0,250	4,50	5,25	6,00	6,75	7,50	8,25
5/16	0,312	5,62	6,56	7,50	8,44	9,37	10,31
3/8	0,375	6,75	7,87	9,00	10,12	11,25	12,37
7/16	0,419	7,55	8,80	10,06	11,32	12,58	13,84
1/2	0,463	8,34	9,73	11,12	12,51	13,90	15,30
9/16	0,508	9,14	10,66	12,18	13,71	15,23	16,75
5/8	0,552	9,93	11,59	13,25	14,90	16,56	18,21
11/16	0,596	10,73	12,52	14,31	16,09	17,88	19,67
3/4	0,640	11,72	13,44	15,36	17,28	19,21	21,13

V. KESIMPULAN

- 1) Dari uraian-uraian yang dikemukakan di atas, dapat disimpulkan bahwa,
- 2) Penggunaan baja profil berstandar ASTM sangat banyak ditemui pada instalasi nuklir.
- 3) Keanekaragaman bentuk profil baja berstandar ASTM, serta sifat-sifatnya yang sudah teruji, membuat penggunaannya dalam desain sangat mudah dilakukan.
- 4) Beberapa keunggulan yang dapat ditemukan pada baja profil berstandar ASTM, memungkinkan penggunaannya sangat cocok dalam berbagai macam konstruksi terutama pada konstruksi-konstruksi yang membutuhkan kepastian kekuatan seperti konstruksi instalasi nuklir.
- 5) Tersedianya formula-formula dan daftar sifat-sifat yang sudah teruji akan mempermudah pelaksanaan desain dalam berbagai bentuk penggunaan.
- 6) Penerapan sistem sambungan dalam desain dapat dengan mudah disesuaikan dengan kriteria desain yang diperlukan.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- 1) Anonymous, AISC " Specification for Structural Steel Building, Allowable Stress Design And Plastic Design, June 1, 1989.

- 2) CHARLES G. SALMON and JOHN E. JOHNSON, Steel Structures, Design and Behavior, Second edition, Harper International Edition, McGraw-Hill Book Company, New York 1975.
- 3) R.S. KHURMI, Applied Mechanics and Strength of Material, Second edition, Reprinted 1981, Nirja Construction & Development Co (P) Ltd., Ram Nagar, New Delhi-110055.
- 4) AARON D. DEUCTSCHMAN, Cs, Machine Design, Theory and Practice, Macmillan Publishing Co. Inc, New York 1975.
- 5) Anonymous, American National Standard Nuclear Facilities Steel Safety-Related Structures For Design Fabrication and Erecton, 400 North Michigan, Chicago, Illinois 60611.

Tabel C-36

Tegangan ijin baja ASTM dengan tegangan luluh spesifik 36 Ksi yang mengalami tekanan

$\frac{Kl}{r}$	F_a (ksi)	$\frac{Kl}{r}$	F_a (ksi)	$\frac{Kl}{r}$	F_a (ksi)	$\frac{Kl}{r}$	F_a (ksi)		F_a (ksi)
1	21,56	41	19,11	81	15,24	121	10,14	161	5,76
2	21,52	42	19,03	82	15,13	122	9,99	162	5,69
3	21,48	43	18,95	83	15,02	123	9,85	163	5,62
4	21,44	44	18,86	84	14,90	124	9,70	164	5,55
5	21,39	45	18,78	85	14,79	125	9,55	165	5,49
6	21,56	46	18,70	86	14,67	126	9,41	166	5,42
7	21,52	47	18,61	87	14,56	127	9,26	167	5,35
8	21,48	48	18,53	88	14,44	128	9,11	168	5,29
9	21,44	49	18,44	89	14,32	129	8,97	169	5,23
10	21,39	50	18,35	90	14,20	130	8,84	170	5,17
11	21,10	51	18,26	91	14,09	131	8,70	171	5,11
12	21,05	52	18,17	92	13,97	132	8,57	172	5,05
13	21,00	53	18,08	93	13,84	133	8,44	173	4,99
14	20,95	54	17,99	94	13,72	134	8,32	174	4,93
15	20,89	55	17,90	95	13,60	135	8,19	175	4,88
16	20,83	56	17,81	96	13,48	136	8,07	176	4,82
17	20,78	57	17,71	97	13,35	137	7,96	177	4,77
18	20,72	58	17,62	98	13,23	138	7,84	178	4,71
19	20,66	59	17,53	99	13,10	139	7,73	179	4,66
20	20,60	60	17,43	100	12,98	140	7,62	180	4,61
21	20,54	61	17,33	101	12,85	141	7,51	181	4,56
22	20,48	62	17,24	102	12,72	142	7,41	182	4,51
23	20,41	63	17,14	103	12,59	143	7,30	183	4,46
24	20,35	64	17,04	104	12,47	144	7,20	184	4,41
25	20,28	65	16,94	105	12,33	145	7,10	185	4,36
26	20,22	66	16,84	106	12,20	146	7,01	186	4,32
27	20,15	67	16,74	107	12,07	147	6,91	187	4,27
28	20,08	68	16,64	108	11,94	148	6,82	188	4,23
29	20,01	69	16,53	109	11,81	149	6,73	189	4,18
30	19,94	70	16,43	110	11,67	150	6,64	190	4,14
31	19,87	71	16,33	111	11,54	151	6,55	191	4,09
32	19,80	72	16,22	112	11,40	152	6,46	192	4,05
33	19,73	73	16,12	113	11,26	153	6,38	193	4,01
34	19,65	74	16,01	114	11,13	154	6,30	194	3,97
35	19,58	75	15,90	115	10,99	155	6,22	195	3,93
36	19,50	76	15,79	116	10,85	156	6,14	196	3,89

37	19,42	77	15,69	117	10,71	157	6,06	197	3,85
38	19,35	78	15,58	118	10,57	158	5,98	198	3,81
39	19,27	79	15,47	119	10,43	159	5,91	199	3,77
40	19,19	80	15,36	120	10,28	160	5,83	200	3,73

Lampiran 1, Halaman 2 dari 2

Tabel C-50
Tegangan ijin baja ASTM dengan tegangan luluh spesifik 50 Ksi yang mengalami tekanan

$\frac{Kl}{r}$	F_a (ksi)	$\frac{Kl}{r}$	F_a (ksi)	$\frac{Kl}{r}$	F_a (ksi)	$\frac{Kl}{r}$	F_a (ksi)
1	29,94	41	25,69	81	18,81	121	10,20
2	29,87	42	25,55	82	18,61	122	10,03
3	29,80	43	25,40	83	18,41	123	9,87
4	29,73	44	25,26	84	18,20	124	9,71
5	29,66	45	25,11	85	17,99	125	9,56
6	29,58	46	24,96	86	17,79	126	9,41
7	29,50	47	24,81	87	17,58	127	9,26
8	29,42	48	24,66	88	17,37	128	9,11
9	29,34	49	24,51	89	17,15	129	8,97
10	29,26	50	24,35	90	16,94	130	8,84
11	29,17	51	24,19	91	16,72	131	8,70
12	29,08	52	24,04	92	16,50	132	8,57
13	21,00	53	23,88	93	16,29	133	8,44
14	28,99	54	23,72	94	16,06	134	8,32
15	28,90	55	23,55	95	15,84	135	8,19
16	28,71	56	23,39	96	15,62	136	8,07
17	28,61	57	23,22	97	15,39	137	7,96
18	28,51	58	23,06	98	15,17	138	7,84
19	28,40	59	22,89	99	14,94	139	7,73
20	28,30	60	22,72	100	14,71	140	7,62
21	28,19	61	22,55	101	14,47	141	7,51
22	28,08	62	22,37	102	14,24	142	7,41
23	27,97	63	22,20	103	14,00	143	7,30
24	27,86	64	22,02	104	13,77	144	7,20
25	27,75	65	21,85	105	13,53	145	7,10
26	27,63	66	21,67	106	13,29	146	7,01
27	27,52	67	21,49	107	13,04	147	6,91
28	27,40	68	21,31	108	12,80	148	6,82
29	27,28	69	21,12	109	12,57	149	6,73

30	27,15	70	20,94	110	12,34	150	6,64
31	27,03	71	20,75	111	12,12	151	6,55
32	26,90	72	20,56	112	11,90	152	6,46
33	26,77	73	20,36	113	11,69	153	6,38
34	26,64	74	20,10	114	11,49	154	6,30
35	26,51	75	19,99	115	11,29	155	6,22
36	26,36	76	19,80	116	11,10	156	6,14
37	26,25	77	19,61	117	10,91	157	6,06
38	26,11	78	19,41	118	10,72	158	5,98
39	25,97	79	19,21	119	10,55	159	5,91
40	25,83	80	19,01	120	10,37	160	5,83