

BAB II

STUDI LITERATUR

2.1 Umum

Baja ringan yang istilah asingnya disebut *Cold Formed Steel* adalah produk profil baja yang dibentuk dari lembaran baja pelat tipis dengan ketebalan umumnya berkisar antara 0,5 mm sampai dengan 3,2 mm. Pembentukannya dilakukan dengan menekuk pelat baja strip melalui alat cetak yang berupa *roll* dalam keadaan temperatur biasa (suhu ruang). Pelat baja yang akan dicetak sebelumnya sudah dilapisi dengan lapisan galvanis atau alumunium untuk mencegah korosi. Dengan dibentuknya pelat baja strip tersebut menjadi batang dengan penampang berbentuk C, U atau Z membuatnya mampu dipakai sebagai batang penerima beban seperti batang baja profil umumnya. Penampang berbentuk C dan Z umumnya dipakai untuk elemen batang struktur rangka atap atau rangka kuda-kuda, dimana sambungan batang atau jointnya dilakukan dengan menempelkan badan dari batang-batangnya yang disatukan dengan skrup. Sedangkan penampang berbentuk topi yang dinamakan *hat section* dipakai untuk gording. Berikut ini adalah gambar dari penampang tersebut diatas.



Gambar 2.1 Profil Baja Ringan

2.2 Sifat-Sifat Material dan Penampang

Guna memenuhi efisiensi dalam pemakaian bahan, maka diproduksi penampang dengan berbagai jenis ketebalan dan berbagai macam dimensi. Hasil eksperimen uji tarik menunjukkan bahwa elemen yang lebih tipis memiliki tegangan leleh yang lebih besar dibandingkan dengan yang tebal. Hal ini karena pada proses pendinginan pelat baja, pelat yang lebih tipis mendingin lebih cepat dengan pembentukan struktur yang lebih halus dibandingkan dengan pelat yang tebal. Penelitian yang dilakukan oleh Mahmood, et. Al, (2005) terhadap kuat tarik pelat yang diambil dari penampang dengan tebal 0,6 mm dan 1 mm menunjukkan hasil seperti pada tabel berikut ;

Tabel 2.1 Hasil uji tarik elemen pelat dari batang CFS

Penampang	σ_{yex} (Mpa)	σ_{uex} (Mpa)	σ_{yn} (Mpa)	σ_{un} (Mpa)	ϵ_y (%)	ϵ_u (%)
Tebal 0,6mm	344	380	300	324	0,17	16.5
Tebal 1,0 mm	300	360	250	306	0,15	20

Menurut Setiyarto (Majalah Ilmiah Unikom, Vol. 10) tujuan uji tarik pelat baja ringan untuk mendapatkan properti material (hubungan tegangan regangan) dari baja ringan berpenampang lip channel. Bentuk dan ukuran spesimen uji tarik menyesuaikan dengan ketentuan yang ada pada ASTM A370 –03a (*Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products*). Hubungan tegangan-regangan yang diperoleh dari eksperimental ini dinamakan *Engineering Stress Strain*.

2.3 Konstruksi Baja Ringan

Macam-macam jenis pemakaian untuk konstruksi kap gedung, industri, pertokoan, garasi dan perumahan serta lantai, untuk bangunan khusus dengan

menggunakan profil baja ringan dapat direncanakan sampai pada batas menurut keinginan perencana.

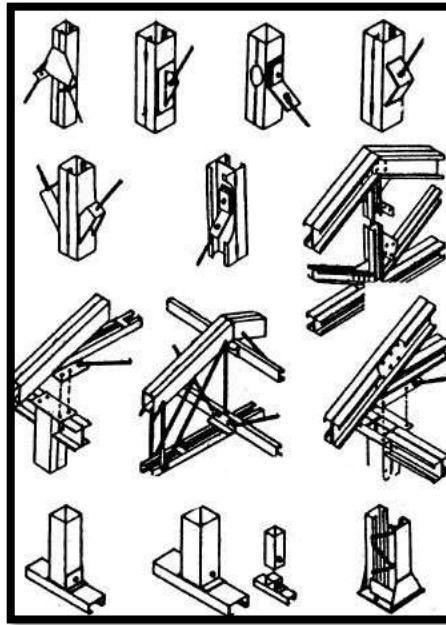
Keuntungan dari konstruksi baja ringan adalah:

- Karena bobotnya ringan mudah diangkat, hal ini mengurangi biaya transport dengan pengurangan berat 25% - 30%.
- Pemasangannya tidak membutuhkan alat-alat yang besar.
- Dapat menahan beban serta tegangan yang lebih besar.
- Dapat menahan tekanan yang berlebihan dan puntiran.
- Bangunan dapat seragam dan sempurna sehingga mempunyai kekuatan mekanis yang seragam pula, ukuran serta bentuknya dapat dibuat seteliti mungkin.

Kerugian dari konstruksi baja ringan adalah :

- Sistem struktur rangka baja ringan tersusun rapat, padat dan terlihat ramai, terhubung & terkait satu dengan lainnya, sehingga kurang menarik jika diexpose.
- Membutuhkan perhitungan yang benar-benar matang, karena sistem strukturnya yang seperti rangka ruang tersebut maka bila ada salah satu bagian struktur yang salah hitung, salah pasang, akan membuat perlemahan sehingga dapat menyebabkan kegagalan total.
- Rangka atap baja ringan tidak se-fleksibel kayu yang dapat dipotong dan dibentuk berbagai profil.
- Dibutuhkan keahlian khusus untuk menghitung kebutuhan baja ringan, oleh karena itu tidak semua orang bisa menghitungnya.

Macam konstruksi *Lip Channel*:



Gambar 2.2 Macam Konstruksi *Lip Channel*

(Sumber: *Pengetahuan Teknik Bangunan, Drs. Daryanto*)

2.4 Cara Membentuk Profil Baja Ringan

Pembentukan baja ringan adalah dengan proses pengerolan canai dingin (*cold rolling*). *Cold rolling* adalah operasi pencanaian yang dilakukan pada temperatur kamar atau di bawah temperatur rekristalisasi, suhu rekristalisasi yang dimaksud adalah suhu pada saat bahan logam akan mengalami perubahan struktur mikro. *Cold rolling* umumnya dilakukan setelah proses rolling panas. *Rolling* dingin menyebabkan terjadinya mekanisme penguatan pada benda kerja yang diikuti dengan turunnya keuletan. Benda kerja menjadi lebih kuat, lebih keras dan lebih rapuh. Pada proses pencanaian dingin, tegangan alir benda kerja menjadi semakin meningkat.

2.5 Ukuran Baja Ringan

Macam – macam ukuran baja ringan yang ada dipasaran.

JENIS BAJA RINGAN	TIPE/UKURAN
Kanal C 0,65	0,65 mm
Kanal C 0,70	0,70 mm
Kanal C 0,75	0,75 mm
Kanal C 1,00	1,00 mm
Reng Baja Ringan 0,25	0,25 mm
Reng Baja Ringan 0,30	0,30 mm
Reng Baja Ringan 0,35	0,35 mm
Reng Baja Ringan 0,40	0,40 mm
Hollow 0,30	15 x 30 x 0,30
Hollow 0,30	30 x 30 x 0,30

Gambar 2.3 Ukuran Baja Ringan

(Sumber: <https://solusikonstruksi.com>)

2.6 Kuat Tekan Elemen Batang Baja Ringan

Elemen batang dari struktur rangka baja ringan dalam menerima beban tekan dapat mengalami tekuk lokal, distorsional atau tekuk global. Tekuk lokal adalah tekuk pada pelat yang berbatasan dengan sayap pengaku, tekuk distorsional adalah tekuk pada elemen sayap yang disertai dengan rotasi terhadap garis pertemuan dengan badan. Tekuk global (tekuk Euler) menyertakan translasi seluruh elemen penampang, yang jika diikuti dengan rotasi maka dinamakan tekuk Lentur-Torsi.

Kwon dan Hancock (1992) melaporkan bahwa penampang canal tipis atau bentuk lain yang memiliki sumbu simetri tunggal, seperti penampang topi dapat mengalami tekuk distorsional ketika menerima gaya normal tekan.

2.7 Metode SNI 7971-2013

Standar Nasional Indonesia SNI 7971-2013 adalah peraturan untuk merencanakan elemen struktur dengan menggunakan baja canai dingin (*cold form steel*) atau yang dikenal sebagai baja ringan. Untuk menghitung kapasitas tekan elemen batang baja ringan dibahas dalam BAB 3 Pasal 3.4 SNI 7971:2013.

2.7.1 Menentukan Kapasitas Tekan Batang Baja Ringan

Dalam menentukan kapasitas tekan baja ringan diambil nilai terkecil dari persamaan (2.1) dan persamaan (2.2).

$$N_s = A_e f_y \dots\dots\dots (2.1)$$

$$N_c = A_e f_n \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

N_s = Kapasitas penampang nominal dari komponen struktur dalam tekan

A_e = Luas efektif saat tegangan leleh

f_y = Tegangan leleh

N_c = Kapasitas komponen struktur nominal dari komponen struktur dalam tekan

A_e = Luas efektif saat tegangan kritis

f_n = Tegangan kritis

2.7.2 Menentukan Nilai Tegangan Kritis

Nilai tegangan kritis f_n ditentukan berdasarkan persamaan dibawah ini. Apabila nilai $\lambda_c \leq 1,5$ maka f_n dihitung dari persamaan (2.3), tetapi jika $\lambda_c > 1,5$ maka f_n dihitung dari persamaan (2.4).

$$\lambda_c \leq 1,5 : f_n = (0,658^{\lambda_c^2}) f_y \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\lambda_c > 1,5 : f_n = \left(\frac{0,877}{\lambda_c^2}\right) f_y \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

λ_c = Kelangsingan nondimensi yang digunakan untuk menentukan f_n

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{f_y}{f_{oc}}} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana:

f_{oc} = Tegangan tekuk lentur, torsi, dan lentur-torsi elastis

Sebelum menghitung nilai f_{oc} , terlebih dulu menghitung nilai f_{ox} , f_{oy} , dan f_{oz} dari persamaan dibawah ini:

$$f_{ox} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{l_{ex}}{r_x}\right)^2} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$f_{oy} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{l_{ey}}{r_y}\right)^2} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$f_{oz} = \frac{GJ \left(1 + \frac{\pi^2 EI_w}{GJ l_{ez}^2}\right)}{A r_{o1}^2} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana:

l_{ex}, l_{ey}, l_{ez} = Panjang efektif untuk tekuk terhadap sumbu x, y, dan torsi

r = Radius girasi penampang utuh, tidak direduksi

E = Modulus elastisitas penampang (200000 Mpa)

A = Luas penampang

r_x, r_y = Radius girasi penampang terhadap sumbu x dan sumbu y

G = Modulus elastisitas geser (80.000 Mpa)

J = Konstanta torsi untuk penampang

I_w = Konstanta punter lengkung untuk penampang

f_{ox} = Tegangan tekuk elastis pada komponen struktur tekan yang dibebani secara aksial untuk tekuk lentur terhadap sumbu x

f_{oy} = Tegangan tekuk elastis pada komponen struktur tekan yang dibebani secara aksial untuk tekuk lentur terhadap sumbu y

f_{oz} = Tegangan tekuk elastis pada komponen struktur tekan yang dibebani secara aksial untuk tekuk torsi

Setelah dilakukan perhitungan pada persamaan (2.6) sampai persamaan (2.8),

diambil nilai $f_{oc1} = f_{oy}$

Lalu nilai f_{oc2} dihitung dari persamaan (2.9) dibawah ini.

$$f_{oc2} = \frac{1}{2\beta} \left[(f_{ox} + f_{oz}) - \sqrt{(f_{ox} + f_{oz})^2 - 4\beta f_{ox} f_{oz}} \right] \dots \dots \dots (2.9)$$

$$\beta = \left[1 - \left(\frac{x_o}{r_{o1}} \right)^2 \right] \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana:

r_{o1} = Radius girasi polar penampang terhadap pusat geser

Kemudian di dapat nilai f_{oc} dari nilai terkecil antara f_{oc1} dan f_{oc2} .

2.7.3 Menentukan Luas Efektif

Untuk menentukan kapasitas tekan batang baja ringan, selain membutuhkan nilai tegangan kritis (f_n) dan nilai tegangan leleh (f_y), diperlukan juga nilai luas efektif (A_e) baik terhadap tegangan kritis maupun tegangan leleh.

Untuk menentukan nilai luas efektif perlu dihitung lebar efektif terhadap *web* (badan), *lip*, dan *flange* (sayap) penampang. Rumus umum untuk menentukan lebar efektif adalah sebagai berikut:

$$\lambda \leq 0,673 : b_e = b \dots \dots \dots (2.11)$$

$$\lambda > 0,673 : b_e = \rho b \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana:

λ = Rasio kelangsingan

ρ = Faktor lebar efektif

b = Lebar rata dari elemen tidak termasuk lengkungan

Faktor lebar efektif dihitung dengan persamaan (2.13) berikut:

$$\rho = \frac{1 - \frac{0,22}{\lambda}}{\lambda} \leq 1,0 \dots \dots \dots (2.13)$$

Rasio kelangsingan (λ) harus ditentukan sebagai berikut:

$$\lambda = \left(\frac{1,052}{\sqrt{k}} \right) \left(\frac{b_o}{t} \right) \left(\sqrt{\frac{f^*}{E}} \right) \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana:

b_o = Lebar rata total dari elemen dengan pengaku

k = Koefisien tekuk pelat

Variabel b_o dapat berubah sesuai dengan perhitungan yang dilakukan, maka:

1. Jika perhitungan di lakukan untuk web, b_o menjadi b_w dan output nya menghasilkan b_{ew} (lebar efektif web)
2. Jika perhitungan di lakukan untuk lip, b_o menjadi b_l dan output nya menghasilkan b_{el} (lebar efektif lip)
3. Jika perhitungan di lakukan untuk flange, b_o menjadi b_f dan outputnya menghasilkan b_{ef} (lebar efektif flange)

Nilai k (Koefisien tekuk pelat) berbeda untuk tiap perhitungan lebar efektif terhadap web, lip, dan flange. Nilai k disyaratkan sebagai berikut:

1. $k = 4$ untuk perhitungan lebar efektif web
2. $k = k_u = 0,43$ untuk perhitungan lebar efektif lip
3. k untuk perhitungan lebar efektif flange perlu dilakukan perhitungan tersendiri

Sebelum melakukan perhitungan nilai k untuk perhitungan lebar efektif flange, perlu dilakukan perhitungan sebagai berikut:

1. Rasio antara lebar-rata flange terhadap ketebalan

$$\frac{b_f}{t} < 60 \dots\dots\dots (2.15)$$

2. Rasio antara lebar-rata web terhadap ketebalan

$$\frac{b_w}{t} < 200 \dots\dots\dots (2.16)$$

3. Menentukan factor kelangsingan

$$s = 1,28 \sqrt{\frac{E}{f^*}} \dots\dots\dots (2.17)$$

4. Momen inersia dari pengaku utuh terhadap sumbu titik beratnya yang sejajar dengan elemen yang akan di perkaku

$$I_s = \frac{d^3 t}{12} \dots\dots\dots (2.18)$$

5. Momen inersia pengaku yang cukup

Untuk menentukan nilai ini, dibagi menjadi tiga kasus

- $\frac{b}{t} \leq \frac{S}{3}$ maka flange sepenuhnya efektif tanpa pengaku
- $\frac{S}{3} < \frac{b}{t} < S$ maka flange sepenuhnya efektif dengan $I_s \geq I_a$

$$I_a = 399 t^4 \left(\frac{b_f}{t} - \sqrt{\frac{k_u}{4}} \right)^3 \dots\dots\dots (2.19)$$

- $\frac{b}{t} \geq S$ maka flange tidak sepenuhnya efektif

$$I_a = t^4 \left(115 \frac{b_f}{t} + 5 \right) \dots\dots\dots (2.20)$$

6. Nilai n (eksponen)

$$n = \left[0,852 - \frac{b_f/t}{4S} \right] \geq \frac{1}{3} \dots\dots\dots (2.21)$$

7. Nilai k

Untuk menentukan nilai k maka harus dilakukan perhitungan beruntun seperti dibawah ini:

$$\bullet \quad k_a = 5,25 - 5 \left(\frac{d_L}{b_f} \right) \leq 4,0 \dots\dots\dots (2.22)$$

$$\bullet \quad C_2 = \frac{I_s}{I_a} \leq 1,0 \dots\dots\dots (2.23)$$

$$\bullet \quad C_1 = 2 - C_2 \dots\dots\dots (2.24)$$

$$\bullet \quad k = C_2^n (k_a - k_u) + k_u \dots\dots\dots (2.25)$$

Untuk menentukan kapasitas tekan nominal penampang atau komponen struktur, f^* dalam perhitungan harus diambil sebagai berikut:

1. Bila kapasitas penampang nominal (N_s) dari komponen struktur dalam tekan dihitung berdasarkan pelelehan awal seperti yang ditentukan dalam persamaan, maka f^* harus sama dengan f_y
2. Bila kapasitas komponen struktur nominal (N_c) dari komponen struktur dalam tekan dihitung berdasarkan tekuk lentur, tekuk torsi atau tekuk lentur-torsi, maka f^* harus sama dengan f_n

Rumus luas efektif dari masing-masing bentuk profil berbeda. Rumus ini tergantung dari lebar efektif setiap komponen penampang dan propertis penampang.

1. Untuk profil single lip channel, luas efektif dihitung sebagai:

$$A_e = t(b_{ew} + 2b_{ef} + 4u + 2d_s) \dots\dots\dots (2.26)$$

Dimana:

b_{ew} = Lebar efektif web

b_{ef} = Lebar efektif flange

u = Panjang busur

2. Untuk profil double lip channel (box), luas efektif dihitung sebagai:

$$A_e = 4u \left(\frac{t_b + t_d}{2} \right) + 2b_{ef}t_b + 2b_{ew}t_d \dots \dots \dots (2.27)$$

Dimana:

t_b = Tebal sayap (untuk box)

t_d = Tebal badan (untuk box)

2.8 Propertis Penampang Baja ringan

Perhitungan propertis penampang dilakukan sebagai tahap awal perhitungan kapasitas tekan baja ringan. Rumus-rumus yang digunakan untuk perhitungan propertis penampang baja ringan merujuk pada “ *Design of Cold Formed Steel Structures* “ edisi ketiga.

Perhitungan propertis penampang untuk profil *single lip channel* berbeda dengan perhitungan propertis penampang untuk profil *double lip channel* (box).

2.8.1 Propertis Penampang Single Lip Channel

Perhitungan propertis penampang untuk single lip channel harus dihitung berdasarkan rumus-rumus dibawah ini:

- Radius Sudut

$$r = r_i + \frac{t}{2} \dots \dots \dots (2.28)$$

Dimana :

r_i = Radius dalam bengkokan

- Panjang Busur

$$u = 1,57 r \dots \dots \dots (2.29)$$

Dimana:

r = Radius Sudut

- Jarak Centroid Dari Pusat Jari-jari

$$c = 0,637 r \dots\dots\dots (2.30)$$

- Lebar Rata Elemen Flange Tanpa Lengkungan

$$b_f = B - 2(r_i + t) \dots\dots\dots (2.31)$$

- Lebar Rata Elemen Web Tanpa Lengkungan

$$b_w = D - 2(r_i + t) \dots\dots\dots (2.32)$$

- Lebar Rata Elemen Lipp Tanpa Lengkungan

$$b_l = d_L - (r_i + t) \dots\dots\dots (2.33)$$

Dimana :

B = Lebar total penampang

D = Tinggi total penampang

d_L = Tinggi total lipp

t = Tebal penampang

- Luas Penampang

$$A = t(2b_f + b_w + 4u + 2b_l) \dots\dots\dots (2.34)$$

- Momen Inersia Terhadap Sumbu X

$$I_x = 2t \left[2u \left(\frac{b_w}{2} + c \right)^2 + b_f \left(\frac{D}{2} - \frac{t}{2} \right)^2 + b_l \left[\frac{D}{2} - (r_i + t) - \frac{b_l}{2} \right]^2 \right] + t \frac{b_w^3}{12} \dots\dots\dots (3.35)$$

- Jarak dari web ke titik berat

$$x_c = \left[\frac{t}{2} b_w + 2u(t + r_i - c) + 2u(B - r_i - t + c) + 2b_f \left(\frac{B}{2} \right) + 2b_l \left(B - \frac{t}{2} \right) \right] \frac{t}{A} \dots\dots\dots (2.36)$$

- Momen Inersia Terhadap Sumbu Y

$$I_y = \left[\left(\frac{t}{2} \right)^2 b_w + 2u(t + r_i - c)^2 + 2u(B - r_i - t + c)^2 + 2b_f \left(\frac{B}{2} \right)^2 + 2b_l \left(B - \frac{t}{2} \right)^2 \right] t + 2t \frac{b_f^3}{12} - Ax_c^2 \dots\dots\dots (2.37)$$

- Inersia Torsi

$$J = \frac{At^2}{3} \dots\dots\dots (2.38)$$

- Rumus Pusat Geser dan Konstanta Lengkung

$$a = D - t \dots\dots\dots (2.39)$$

$$b = B - t \dots\dots\dots (2.40)$$

$$c = d_L - \frac{t}{2} \dots\dots\dots (2.41)$$

$$I_{xs} = 2t \left[b \left(\frac{a}{2} \right)^2 + c \left(\frac{a}{2} - \frac{c}{2} \right)^2 \right] + t \frac{a^3}{12} + 2t \frac{c^3}{12} \dots\dots\dots (2.42)$$

$$m_s = \frac{a^2 b^2 t}{I_{xs}} \left(\frac{1}{4} + \frac{c}{2b} - \frac{2}{3} \frac{c^3}{a^2 b} \right) \dots\dots\dots (2.43)$$

$$\bar{x} = \frac{b(b+2c)}{a+2b+2c} \dots\dots\dots (2.44)$$

$$x_{os} = m_s + \bar{x} \dots\dots\dots (2.45)$$

- Konstanta pilin untuk penampang

$$I_w = \frac{b^2 t}{6} (4c^3 + 6ac^2 + 3a^2 c + a^2 b) - m_s^2 I_{xs} \dots (2.46)$$

- Radius girasi penampang terhadap sumbu y

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \dots \dots \dots (2.47)$$

- Radius girasi penampang terhadap sumbu x

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} \dots \dots \dots (2.48)$$

- Radius girasi polar penampang terhadap pusat geser

$$r_{o1} = \sqrt{\frac{I_x + I_y}{A} + x_{os}^2} \dots \dots \dots (2.49)$$

2.8.2 Propertis Penampang Double Lip Channel

- Radius Sudut

$$r = r_i + \frac{t_d + t_b}{2} \dots \dots \dots (2.50)$$

- Lebar Rata Elemen Flange Tanpa Lengkungan

$$b_f = B - 2(r_i + t_d) \dots \dots \dots (2.51)$$

- Lebar Rata Elemen Web Tanpa Lengkungan

$$b_w = D - 2(r_i + t_b) \dots \dots \dots (2.52)$$

- Luas Penampang

$$A = 4u \left(\frac{t_b + t_d}{2} \right) + 2b_f t_b + 2b_w t_d \dots \dots \dots (2.53)$$

- Momen Inersia Sumbu X

$$I_x = 2t_d \frac{b_w^3}{12} + 2b_f \frac{t_b^3}{12} + 2b_f t_b \left(\frac{D}{2} - \frac{t_b}{2} \right)^2 + 4u \left(\frac{t_b + t_d}{2} \right) \left(\frac{b_w}{2} + c \right)^2 \dots \dots \dots (2.54)$$

- Momen Inersia Sumbu Y

$$I_y = 2t_b \frac{b_f^3}{12} + 2b_w \frac{t_d^3}{12} + 2b_w t_d \left(\frac{B}{2} - \frac{t_d}{2} \right)^2 + 4u \left(\frac{t_b + t_d}{2} \right) \left(\frac{b_f}{2} + c \right)^2 \dots \dots \dots (2.55)$$

2.9 Spesifikasi AISI 2007: Evaluasi Hasil Uji

Berdasarkan AISI (*American Iron and Steel Institute*) 2007, pengujian yang dilakukan untuk memenuhi prosedur harus memenuhi persyaratan berikut :

- Pengujian dilakukan paling sedikit menggunakan 3 (tiga) buah benda uji.
- Selisih dari setiap benda uji terhadap rata-rata yang didapat dibatasi maksimum $\pm 15\%$.
- Jika poin b tidak terpenuhi maka benda uji perlu ditambah, setidaknya sampai persyaratan pada poin b terpenuhi.