

# ALTERNATIF PEMAKAIAN STRUKTUR GABLE FRAME DENGAN MENGGUNAKAN BETON PRATEKAN PRACETAK

Prasetio Sudjarwo

Dosen Fakultas Teknik Sipil & Perencanaan, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra

Nurchahyono Hendrawan, David Hendrata

Alumni Fakultas Teknik Sipil & Perencanaan, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra

## ABSTRAK

Sebagai alternatif stuktur *gable frame* dapat dibuat dari beton struktural, tetapi masalah utama yang dihadapi adalah berat sendiri beton yang besar terutama untuk bentang yang besar. Pemakaian beton pratekan, yang mampu memikul momen yang lebih besar dengan penampang yang lebih kecil dapat mengatasi hal ini. Keuntungan lain dari beton adalah ketahanan terhadap korosi dan upah pemeliharaan yang rendah. Makalah ini membandingkan 11 buah struktur *gable frame* yang direncanakan dengan menggunakan baja dengan beton pratekan pracetak. Perbandingan harga yang dilakukan membuktikan bahwa struktur *gable frame* beton pratekan pracetak lebih ekonomis dibandingkan dengan struktur *gable frame* baja. Keuntungan yang didapatkan dari penggunaan beton pratekan pracetak adalah harga material beton yang jauh lebih murah dari baja.

Kata kunci: beton pratekan pracetak, *gable frame*.

## ABSTRACT

*An alternative to a gable frame structural material is structural concrete, but the main problem is the big self-weight of concrete especially for a long span gable frame. Prestressed concrete that can resist bigger moment using smaller section can be used to overcome the self-weight problem. Other benefit of using prestressed concrete is its corrosion resistance and low maintenance cost. In this study 11 gable frames designed using steel are compared with the ones using precast prestressed concrete. The cost comparison shows that the precast prestressed concrete gable frames are cheaper than the steel gable frame. The advantage of precast prestressed concrete gable frame mainly comes from the cheap concrete material.*

*Keywords: precast prestressed concrete, gable frame.*

## PENDAHULUAN

Struktur *gable frame* di Indonesia umumnya direncanakan menggunakan baja (biasanya profil WF). Penggunaan struktur baja memerlukan biaya pemeliharaan agar tidak cepat rusak akibat korosi.

Harga material baja yang relatif mahal, apalagi setelah Indonesia mengalami krisis moneter, menyebabkan biaya pembuatan *gable frame* dengan struktur baja juga meningkat.

---

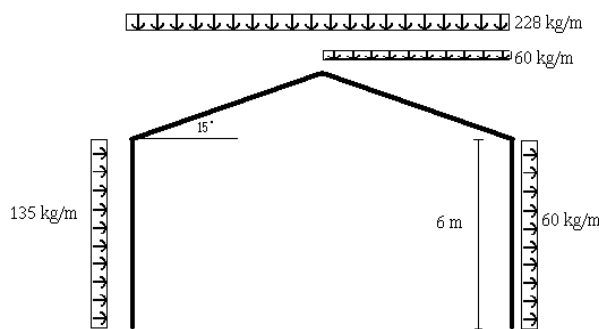
**Catatan:** Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 November 2001. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Dimensi Teknik Sipil Volume 4, Nomor 1 Maret 2002.

Sebagai alternatif, *gable frame* dapat direncanakan dengan menggunakan beton bertulang yang tidak memerlukan biaya pemeliharaan yang besar seperti struktur baja. Kesukaran penggunaan struktur beton bertulang terletak pada berat sendiri beton bertulang yang relatif lebih besar untuk menahan momen yang sama bila dibandingkan dengan struktur baja. Hal ini dapat diatasi dengan menggunakan beton pratekan.

Penelitian ini membandingkan biaya struktur *gable frame* baja dengan struktur *gable frame* beton pratekan pracetak. Sebagai perbandingan ditinjau 11 buah *gable frame* dengan bentang 10 sampai dengan 30 m

## PEMBEBANAN

Perhitungan pembebanan pada *gording* dan struktur *gable frame* didasarkan pada Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung, 1983 [1]. Beban hidup pada sebuah *gable frame* adalah 228 kg/m' beban ini bersama-sama dengan beban angin ditunjukkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Pembebanan *Gable Frame*

Kombinasi pembebanan yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Beban Tetap 1,2 D + 1,6 L
- Beban Sementara  
0,75 (1,2D + 1,6L + 1,6W) atau 0,9D + 1,3W
- Beban Retak D + L + W

Dimana D adalah beban mati, L beban hidup, dan w adalah beban angin. Beban retak digunakan sebagai pembanding dengan kemampuan momen retak bahan.

## PENAMPANG KOLOM DAN RAFTER

Perencanaan elemen struktur beton pratekan pracetak [2,3,4,5] dilakukan menggunakan mutu beton K500 dan baja prategang 1860 MPa. Contoh perhitungan penampang dapat dilihat dalam lampiran, sedangkan hasil perhitungan penampang *gable frame* pratekan pracetak ditunjukkan dalam Tabel 1. Untuk *rafter* dan kolom digunakan ukuran penampang yang sama, yaitu penampang I yang sepanjang 2h pada ujung-ujungnya dibuat pejal. Tabel 1, menunjukkan hasil perhitungan ukuran penampang beton pracetak pratekan untuk bentang 10 sampai 30 m, dimana h adalah tinggi badan, b adalah lebar sayap. Seluruh penampang ini mempunyai tebal sayap yang sama yaitu 7 cm dan tebal badan yang sama yaitu 6 cm.

Tabel 1. Ukuran Penampang Beton Pratekan Pracetak

Bentang	h	b	L	Tendon	Momen				Geser	
					Aktual		Batas		Aktual	Batas
			Pejal	$\frac{3}{8}$ in	M	Mcr	M	Mcr		
M	cm	cm	cm	buah	Tm	tm	tm	tm	ton	ton
10	25	18	50	4	2.34	2.06	3.43	1.80	1.80	3.0
12	25	18	50	4	3.39	2.73	3.43	1.80	2.12	3.0
14	35	18	70	4	4.87	3.74	5.26	2.86	2.60	4.3
16	35	20	70	6	6.39	4.72	7.62	3.9	2.90	4.2
18	40	20	80	6	8.14	5.91	8.99	4.64	3.30	4.8
20	45	25	90	6	10.60	7.45	10.58	5.92	3.80	5.3
22	45	30	90	8	13.50	9.48	13.98	7.77	4.44	5.2
24	45	30	90	10	15.70	10.93	17.08	0.13	4.77	5.2
26	50	30	100	10	18.20	12.54	19.37	10.29	5.60	5.8
28	50	30	100	12	20.70	14.19	22.79	11.77	6.50	5.8
30	55	30	110	12	23.70	16.19	25.54	13.11	7.50	6.4

Kombinasi tegangan yang terjadi pada beton pratekan adalah:

$$f = \frac{F}{A} \pm \frac{F.e.y}{I} \pm \frac{M.y}{I}$$

Nilai tegangan keruntuhan  $f_r$  pada Peraturan ACI adalah  $0,5 \sqrt{f'_c}$ . Jika  $f_r$  adalah tegangan keruntuhan, maka

$$\frac{I}{y} (f_r + f_{pe} + f_{ex}) = M_{er}$$

Nilai pendekatan berikut untuk tegangan baja pada kapasitas momen batas balok dapat digunakan pada balok terekat:

$$f_{ps} = f_{pu} (1 - 0,5 \rho_p f_{pu} / f'_c)$$

Perhitungan momen penahan batas relatif dapat dilakukan sebagai berikut.

$$C' = T' = A_{ps} f_{ps}$$

$$M_n = A_{ps} f_{ps} (d - a/2)$$

$$M_u = \Phi M_n \quad \Phi = 0,9$$

Rumus untuk gaya geser batas yang diberikan oleh Peraturan ACI adalah sebagai berikut:

$$V_c = V_n = (0,29 \sqrt{f'_c} + 0,3 f_{pc}) b_w d$$

Untuk pengontrolan maka:

$$V_u \leq \Phi V_n \quad \Phi = 0,85$$

Jika  $V_u \leq \Phi V_n$ , maka sengkang yang dipakai adalah sengkang praktis yaitu  $\emptyset 8-200$ .

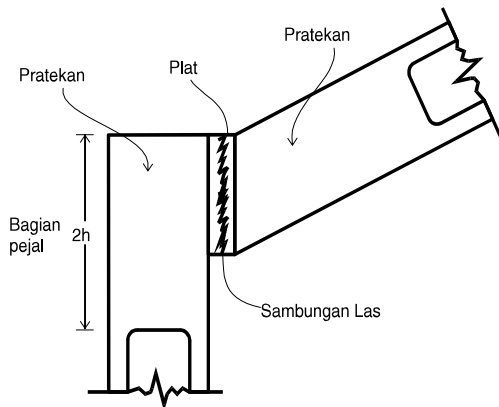
Penampang baja WF seperti ditunjukkan dalam Tabel 2, diambil dari perhitungan yang dilakukan oleh Yahya dan Hendri [6] yang mempelajari efisiensi pemakaian baja WF dalam perencanaan *gable frame*.

**Tabel 2. Ukuran Penampang Baja WF**

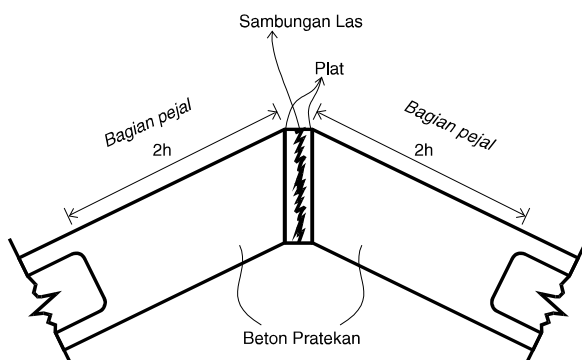
Bentang m	Rafter	Kolom
10	200.100.4.5.7	350.175.6.9
12	200.100.4.5.7	350.175.6.9
14	200.200.5.5.8	350.175.6.9
16	250.125.5.8	350.175.7.11
18	250.125.5.8	400.200.7.11
20	300.150.5.5.8	400.200.7.11
22	300.150.5.5.8	400.200.8.13
24	350.175.6.9	450.200.9.14
26	350.175.6.9	500.200.10.16
28	350.175.6.9	500.200.11.19
30	350.175.7.11	600.200.12.20

### ANALISA UKURAN PLAT, ANGKER DAN SAMBUNGAN

Sambungan yang dipakai untuk menyambung antara kolom dan rafter beton adalah sambungan las. Sambungan las ini didesain melebihi tegangan yang diizinkan, karena keruntuhan yang terjadi diharapkan tidak terjadi pada sambungan. Ukuran plat rafter didesain lebih kecil daripada plat kolom agar dapat dilakukan pengelasan pada sisi-sisinya. Untuk seluruh sambungan beton prestress digunakan las setebal 7 mm pada sekeliling plat.



**Gambar 2. Sambungan antara Kolom dan Rafter Beton Pratekan**



**Gambar 3. Sambungan Rafter-Rafter**

### ANALISA BIAYA

Harga yang dipakai untuk menghitung harga material baja WF yaitu seharga 3500 rupiah/kilo. Untuk upah kerja diperkirakan sebesar 1000 rupiah/kilo. Hasil analisa biaya ditunjukkan dalam Tabel 3.

**Tabel 3. Biaya Gable Frame Baja WF (material + ongkos kerja)**

Bentang m	Rafter Biaya (Rp)	Kolom Biaya (Rp)	Upah Kerja + Las	Total Harga
10	659,471	1,738,800	685,220	3,083,491
12	791,365	1,738,800	722,904	3,253,069
14	1,080,518	1,738,800	805,519	3,624,837
16	1,489,969	2,083,200	1,020,906	4,594,075
18	1,676,216	2,377,200	1,158,119	5,211,534
20	2,319,019	2,377,200	1,341,777	6,037,995
22	2,550,921	2,772,000	1,520,834	6,843,755
24	3,600,276	3,192,000	1,940,650	8,732,927
26	3,900,299	3,763,200	2,189,571	9,853,071
28	4,200,323	4,326,000	2,436,092	10,962,415
30	5,391,718	5,040,000	2,980,491	13,412,209

Harga beton pratekan per m<sup>3</sup> adalah Rp 1.200.000. Harga ini sudah termasuk biaya beton K500, tendon 3/8 in, cetakan beton, ongkos pegawai, pemakaian listrik pabrik, transportasi & keuntungan. Hasil analisa biaya ditunjukkan dalam Tabel 4.

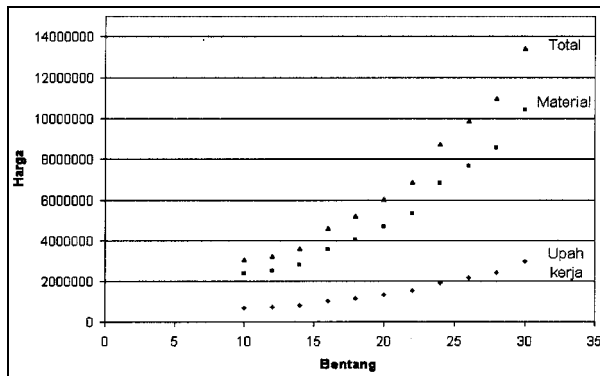
**Tabel 4. Biaya untuk Beton Pratekan Pracetak (material + sambungan, upah)**

Bentang m	Rafter Biaya (Rp)	Kolom Biaya (Rp)	Upah Kerja + Las	Total Harga
10	595,349	592,270	634,280	1,821,899
12	747,961	648,557	691,960	2,088,477
14	953,188	782,990	922,211	2,658,388
16	1,200,213	903,726	1,070,166	3,174,105
18	1,408,219	995,092	1,233,566	3,636,878
20	2,015,410	1,364,488	1,721,819	5,101,716
22	2,601,027	1,701,681	2,088,751	6,391,459
24	2,863,200	1,819,955	2,232,626	6,915,781
26	3,226,525	1,986,066	2,538,916	7,751,507
28	3,541,509	2,152,814	2,738,790	8,433,114
30	3,883,699	2,297,303	3,029,655	9,210,657

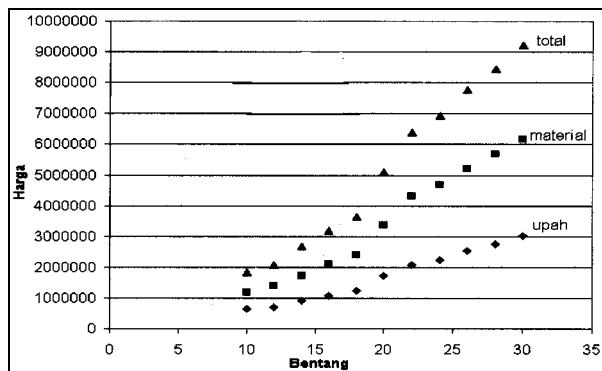
Perbandingan harga *gable frame* baja dengan *gable frame* beton pratekan pracetak ditunjukkan dalam Tabel 5.

**Tabel 5. Perbandingan Harga antara Gable Frame Baja WF dengan Gable Frame Beton Pratekan**

Bentang m	Harga Gable Frame Baja WF	Harga Gable Frame Beton Pratekan
10	3,083,491	1,821,899
12	3,253,069	2,088,477
14	3,624,837	2,658,388
16	4,594,075	3,174,105
18	5,211,534	3,636,878
20	6,037,995	5,101,716
22	6,843,755	6,391,459
24	8,732,927	6,915,781
26	9,853,071	7,751,507
28	10,962,415	8,433,114
30	13,412,209	9,210,657



Gambar 4. Grafik Perbandingan Harga dan Bentang Gable Frame Baja



Gambar 5. Grafik Perbandingan Harga dan Bentang Gable Frame Beton Pratekan

## KESIMPULAN DAN SARAN

Dari perbandingan di atas terlihat bahwa biaya total untuk beton pracetak pratekan lebih murah dibandingkan dengan biaya total untuk baja WF. Pada Gable Frame dengan elemen baja WF, biaya terbesar terletak pada material baja itu sendiri (Gambar 4). Sedangkan pada Gable Frame dengan beton pratekan pracetak, upah kerja mencapai 1/3 biaya total (Gambar 5).

Ukuran penampang beton pratekan ini masih dapat dibuat lebih ekonomis lagi dengan :

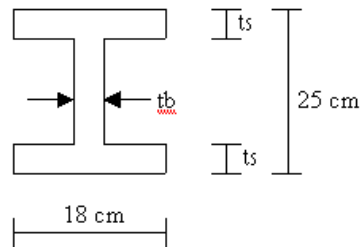
1. menerapkan sistem tirus. Tetapi yang harus diperhatikan adalah :
  - system tirus ini sebaiknya hanya diterapkan pada tinggi penampang (h) saja sedangkan untuk lebar sayap tidak perlu, sehingga tidak mempersulit pengaturan letak tendon pratekan.
  - pada puncak Struktur Gable Frame, harus diperhatikan momen yang terjadi jangan sampai melebihi batas yang dapat dipikul penampang. Sebagai alternatif, pada puncak Struktur Gable Frame dapat diberi sendi.
2. Pada daerah-daerah yang mengalami momen yang besar, diberi perkuatan tambahan, misalnya dengan peninggian (*haunch*).

## DAFTAR PUSTAKA

1. Direktorat Penyelidikan Masalah, *Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung*, yayasan LPMB, cetakan II, Bandung, 1983.
2. Lin, T.Y. and Burns, N.H., *Desain Struktur Beton Prategang*, edisi III, alih bahasa oleh Indrawan, D., Erlangga, Jakarta, 1996.
3. Nilson, A. H., *Design Of Prestressed Concrete*, John Wiley & Sons, edisi I, New York, 1978.
4. Warwaruk, J., Sozen M.A., *Strength And Behavior In Flexure Of Prestressed Concrete*, John Wiley and Sons Inc., edisi II, New York, 1962.
5. Libby, J. R., *Modern Prestressed Concrete*, Litton Educational Publishing Inc, cetakan II, New York, 1971.
6. Yahya, H., *Perencanaan Dan Efisiensi Pemakaian Beberapa Jenis Elemen Yang Efektif*, Skripsi ST no. 694s, Fakultas Teknik Universitas Kristen Petra, Surabaya, 1996.
7. Stanson, J. F., *Moment Resistant Connections and Simple Connections*, PCI Specially Funded R and D Program Research Project no ¼, PCI, Chicago, 1986,.
8. Departemen Pekerjaan Umum, *Standar Tatacara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, LPMB, cetakan I, Bandung, 1991.
9. Genwick, B., *Prestressed Concrete in People's Republic of China*, PCI Journal, edisi Juli-Agustus 1978, 1978.

## LAMPIRAN

### CONTOH PERHITUNGAN MOMEN BATAS, MOMEN RETAK DAN GESER



Momen batas bentang 10 m

Mutu beton yang dipakai adalah K-500

$$f_c' = 500/1,25 = 40 \text{ MPa}$$

$$t \text{ sayap} = 7 \text{ cm} \quad b = 18 \text{ cm}$$

$$t \text{ badan} = 6 \text{ cm} \quad h = 25 \text{ cm}$$

$$A = (18 \times 25) - (2 \times 12 \times 11) = 318 \text{ cm}^2$$

$$I = (1/12 \times 18 \times 25^3) - (2 \times 1/12 \times 6 \times 11^3) \\ = 22106,5 \text{ cm}^4$$

$$B.S = 2,4 \times 318 \times 10^{-4} \\ = 0,07632 \text{ t/m}$$

#### Tendon $\phi$ 3/8 in:

$$A = 54,84 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tarik max} = 10230 \text{ kg}$$

$$\text{Akibat tarikan} = 0,7 \times 10230 = 7161 \text{ kg}$$

$$f_{pu} = 10230 / (54,84) = 186,543 \text{ kg/mm}^2$$

dipakai jumlah tendon sebanyak 4 buah. Untuk pratarik, kehilangan prategangan diperkirakan 25%

$$f_{se} = 0,75 \times 71610 / 54,84 = 979,35 \text{ N/mm}^2$$

$$A_{ps} = 2 \times (54,84) = 109,68 \text{ mm}^2$$

$$\rho_p = A_{ps} / (b \times d)$$

$$= 109,68 / (180 \times 220) = 0,00283$$

$$f_{se} = 979,35 \text{ N/mm}^2 > 0,5 f_{pu}$$

sehingga:

$$f_{ps} = f_{pu} \times (1 - 0,5 \times \rho_p \times (f_{pu} / f_c')) \\ = 1865,43 (1 - 0,5 \times 0,00283 \times (1865,43 / 40)) \\ = 1742,1495 \text{ N/mm}^2$$

#### Indeks penulangan:

$$\omega_p = (\rho_p \times f_{ps}) / f_c' \\ = (0,00283 \times 1742,1495) / 40 = 0,1234 < 0,3$$

$$T = A_{ps} \times f_{ps} = 109,68 \times 1742,1495 = 191,078 \text{ KN}$$

$$a = T / (0,85 \times f_c' \times b) \\ = 191078 / (0,85 \times 40 \times 180) = 31,22 \text{ mm} < 70 \text{ mm}$$

$$M_n = T \times (d - a/2) = 191,078 \times (220 - 31,22/2) = 38,1$$

$$M_u = 0,9 \times M_n = 0,9 \times 38,1 = 34,3 \text{ KNm} = 3,43 \text{ tm}$$

#### Momen Retak:

$$f_r = 0,5 \times \sqrt{f_c'} = 0,5 \times \sqrt{40} = 3,16 \text{ Mpa}$$

$$f_{pe} = (4 \times 0,75 \times 7161) / 31800 = 6,76 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ex} = (F \times e \times c) / I \\ = (0,75 \times 7161 \times (250/2 - 30) \times (250/2)) / (22106,5 \times 10^4) \\ = 0,2733$$

$$M_{cr} = (f_r + f_{pe} + f_{ex}) \times I / y \\ = (3,16 + 6,75 + 0,273) \times 22106,5 \times 10^4 / (250/2 \times 10^7) \\ = 1,8 \text{ tm}$$

Momen yang terjadi sewaktu pengangkatan prestress:

$$M_{max} = 1/8 \times q \times l^2 = 1/2 \times q \times (1/2 \times l)^2 \\ = 1/2 \times 0,07632 \times (1/2 \times 10,4)^2 = 1,03 < M_{cr}$$

#### Geser dari balok prestress:

Gaya prategang = 5370,75 kg (setelah dikurangi kehilangan prategang 25%)

$$f_{pc} = 5370,75 / A = 5370,75 / 31800 = 1,68 \text{ Mpa}$$

$$V_{cw} = (0,29 \times \sqrt{f_c'} + 0,3 \times f_{pc}) \times b_w \times d \\ = (0,29 \times \sqrt{40} + 0,3 \times 1,68) \times 60 \times 220 \\ = 3,08 \text{ ton}$$

$V_{cw}$  yang ada lebih besar dari  $V_n = V_u / \phi$

$V_u$  diperoleh dari hasil perhitungan SAP 90

Sehingga hanya diperlukan sengkang praktis.

Sengkang yang dipakai adalah  $\phi$ 8-200 (1 buah).