

**PERENCANAAN ATAP GUDANG MATERIAL PT.Uxxx
DENGAN STRUKTUR BAJA METODE LOAD AND
RESISTANCE FACTOR DESIGN (LRFD)
BERDASARKAN SNI 1729:2020**

Yok Ibrahim¹, Hasti Suprihatin², Irawan Agustiar³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gresik

Email: yokibrahimm77@gmail.com, hasti.suprihatin007@gmail.com,
ungres.irawan87@gmail.com

Abstract

This study aims to design the roof structure of a material warehouse for PT. Uxxx using a steel structure with the Load and Resistance Factor Design (LRFD) method based on SNI 1729:2020. The research focuses on determining the appropriate steel profile dimensions for the roof frame, selecting the roof covering material, and producing detailed design drawings. The structural analysis considers vertical loads (dead load, live load, and rain load) and horizontal loads (wind and seismic loads) in accordance with SNI 1727:2020 and SNI 1726:2019. The analysis was conducted using STAAD.Pro software to evaluate the structural performance under various load combinations. The results show that the proposed steel profiles Light Lip Channel 150x65x20x3.2 for purlins, WF 300x150x6.5x9 for rafters, and WF 350x175x7x11 for columns meet the strength and serviceability requirements. Additionally, UPVC (Unplasticized Polyvinyl Chloride) is recommended as the roof covering due to its durability, weather resistance, thermal insulation, and lightweight properties, which align with the structural and functional needs of the warehouse. This research contributes to the field of civil engineering by demonstrating the application of modern steel design methods (LRFD) in industrial buildings. The findings provide practical solutions for efficient, safe, and economical roof structures, ensuring optimal performance under operational and environmental conditions.

Keywords: LRFD method, STAAD.Pro , Steel Structure

Pendahuluan

Dalam konstruksi modern, struktur baja telah menjadi pilihan utama untuk berbagai proyek pembangunan, termasuk gedung dan infrastruktur pendukung bisnis. Pertumbuhan ekonomi yang pesat turut mendorong kebutuhan akan fasilitas seperti gudang, terutama bagi perusahaan ritel yang membutuhkan ruang penyimpanan untuk produk sebelum didistribusikan ke cabang cabangnya. Untuk memenuhi kebutuhan ini, konstruksi Gable Frame dengan material baja profil Wide Flange (WF) sering digunakan karena kemampuannya menopang bentang yang lebar tanpa memerlukan banyak penyangga di tengah ruangan. Baja memiliki banyak keunggulan dibandingkan material lain, antara lain proses pemasangan yang cepat, ketahanan terhadap cuaca ekstrem, serta sifatnya yang tahan karat, anti rayap, dan tidak mudah keropos, dapat digunakan untuk berbagai jenis konstruksi, mulai dari atap rumah hingga bangunan besar seperti pabrik, gudang, dan bahkan terminal bandara dengan bentang yang sangat lebar. Penerapan struktur baja dengan menggunakan profil WF dirancang untuk menahan berbagai beban yaitu beban atap, angin dan pekerja. Konstruksi gable frame dipilih karena memberikan ruang lebih luas dibandingkan rangka konvensional, sekaligus mempercepat proses pembangunan. Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah: (1) Berapa dimensi profil baja yang dibutuhkan pada rangka atap pada gudang material PT.Uxxx, (2) Bagaimana jenis penutup atap pada gudang material PT.Uxxx, (3)

Bagaimana gambar detail hasil perencanaan struktur baja bangunan atas Gudang Material PT.Uxxx. Tujuan dari perencanaan bangunan atas gudang material PT.Uxxx dengan struktur baja metode Load and Resistance Factor Design (LRFD) berdasarkan SNI 1729-2020 ini adalah: (1) Mengetahui dimensi profil baja yg dibutuhkan pada rangka atap pada gudang material PT.Uxxx, (2) Mengetahui jenis penutup atap pada gudang material PT.Uxxx, (3) Mengetahui gambar detail hasil perencanaan struktur baja bangunan atas Gudang Material PT.Uxxx. Metode untuk perencanaan struktur baja menggunakan metode Load and Resistance Factor Design (LRFD) dengan mengacu SNI 1729-2020 dan untuk memastikan perhitungan menggunakan perangkat lunak STAAD Pro

Penggunaan SNI 1729:2020 sudah diterapkan pada desain elemen struktur baja bangunan gedung 5 lantai [1]. Struktur baja juga digunakan untuk RSUD dr. Achmad Diponegoro Putussibau Kalimantan Barat karena struktur baja ini tahan gempa yang sesuai dengan kondisi daerah Putussibau yang rawan gempa [2]. Penggunaan baja canai dingin sering digunakan sebagai struktur atap dalam perencanaannya, biasanya pemodelan struktur rangka atap dilakukan secara sederhana, yakni dengan menganggapnya sebagai rangka batang *flexible* [3]. Konstruksi atap baja Wide Flange WF mendukung beban penutup atap, beban berat sendiri, beban beban sekunder seperti beban angin, beban pekerja dan beban lainnya [4]. Desain gudang industri peternakan unggas dengan struktur baja bentang portal 18 m Jarak antar kolom dibuat lebar yang cukup besar, hal ini karena material baja juga memiliki kekakuan sekitar 10x lipat dari kekakuan beton [5].

Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode analisis numerik untuk merancang struktur bangunan secara objektif dan terukur. Pendekatan ini dipilih karena mampu menghasilkan data yang faktual dan dapat diverifikasi melalui perhitungan teknik yang ketat.

Penelitian dilaksanakan di PT. Uxxx, sebuah perusahaan konstruksi yang berlokasi di Surabaya, Jawa Timur. Lokasi ini dipilih karena adanya kebutuhan nyata perusahaan terhadap desain atap gudang yang efisien, serta tersedianya data teknis seperti shop drawing dan spesifikasi material, yang memungkinkan penerapan metode LRFD secara praktis sesuai SNI 1729:2020. Secara metodologis, penelitian diawali dengan studi literatur, dilanjutkan dengan analisis pembebanan (beban mati, hidup, angin, dan gempa) berdasarkan SNI, kemudian dilakukan pemodelan struktur menggunakan perangkat lunak STAAD.Pro. Selanjutnya, dilakukan analisis dan evaluasi kinerja struktur baja menggunakan metode LRFD untuk memverifikasi kekuatan dan stabilitas elemen-elemen utama, seperti balok dan kolom. Penelitian ditutup dengan pembahasan dan simpulan yang menyajikan rekomendasi desain struktural berbasis data teknis dan standar yang berlaku.

23 | Yok Ibrahim, Perencanaan Atap Gudang Material PT. Uxxx Dengan Struktur Baja Metode Load And Resistance Factor Design (LRFD)

Tekanan tiup angin = 40 kg/m^2

Koefisien tekanan tiup angin 1

$$\begin{aligned} k_1 &= 0,02\alpha - 0,4 \\ &= 0,02 \times 15 - 0,4 \\ &= -0,1 \end{aligned}$$

$$k_2 = -0,4$$

$$W_1 = -0,1 \times 40 \times 1,2 = -4,8 \text{ kg/m}$$

$$W_2 = -0,4 \times 40 \times 1,2 = -19,2 \text{ kg/m}$$

Perhitungan Momen

1. Beban Mati

$$\begin{aligned} M_x &= 1/8 \times q_m \times \cos \alpha \times l^2 \\ &= 1/8 \times 19,7 \times \cos 15^\circ \times 6^2 \\ &= 85,63 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_y &= 1/8 \times q_m \times \sin \alpha \times l^2 \\ &= 1/8 \times 19,7 \times \sin 15^\circ \times 6^2 \\ &= 22,94 \text{ kgm} \end{aligned}$$

2. Beban Hidup

Akibat beban pekerja

$$\begin{aligned} M_x &= 1/4 \times P \times \cos \alpha \times l \\ &= 1/4 \times 100 \times \cos 15^\circ \times 6 \\ &= 144,89 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_y &= 1/4 \times P \times \sin \alpha \times l \\ &= 1/4 \times 100 \times \sin 15^\circ \times 6 \\ &= 38,82 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Akibat beban hidup merata air hujan

$$\begin{aligned} M_x &= 1/8 \times q_h \times \cos \alpha \times l^2 \\ &= 1/8 \times 24 \times \cos 15^\circ \times 6^2 \\ &= 104,32 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_y &= 1/8 \times q_h \times \sin \alpha \times l^2 \\ &= 1/8 \times 24 \times \sin 15^\circ \times 6^2 \\ &= 27,95 \text{ kgm} \end{aligned}$$

3. Beban Angin

$$\begin{aligned} M_{x1} &= 1/8 \times W_1 \times l^2 \\ &= 1/8 \times -4,8 \times 6^2 \\ &= -21,6 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{x2} &= 1/8 \times W_2 \times l^2 \\ &= 1/8 \times -19,2 \times 6^2 \\ &= -86,4 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{y1} &= 1/8 \times W_1 \times l^2 \\ &= 1/8 \times -4,8 \times 6^2 \\ &= -21,6 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{y2} &= 1/8 \times W_2 \times l^2 \\ &= 1/8 \times -19,2 \times 6^2 \\ &= -86,4 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Kombinasi Pembebanan

1. Kombinasi Pembebanan Arah X

$$M_{ux} = 1,4D = 1,4 \times 85,63 = 119,88 \text{ kgm}$$

$$M_{ux} = 1,2D + 1,6L = 1,2 \times 85,63 + 1,6 \times 144,89 = 334,58 \text{ kgm}$$

$$M_{ux} = 1,2D + 0,5L + 1,3W = 1,2 \times 85,63 + 0,5 \times 144,89 + 0 = 175,2 \text{ kgm}$$

2. Kombinasi Pembebanan Arah Y

$$M_{uy} = 1,4D = 1,4 \times 22,94 = 32,12 \text{ kgm}$$

$$M_{uy} = 1,2D + 1,6L = 1,2 \times 22,94 + 1,6 \times 38,82 = 89,64 \text{ kgm}$$

$$M_{uy} = 1,2D + 0,5L + 1,3W = 1,2 \times 22,94 + 0,5 \times 38,82 + 0 = 46,94 \text{ kgm}$$

Sebagai lateral restrain dari rafter, gording menerima gaya normal rafter. Asumsi rafter memakai WF 300.150.6,5.9.

1. Pembebanan akibat beban mati

$$\sigma = 240 \text{ MPa} = 2400 \text{ kg/m}^2 = 0,24 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{ijin} = \frac{\sigma}{1,5} = \frac{2400}{1,5} = 1600 \text{ kg/cm}^2$$

$$A_{sayap} = 15 \times 0,9 = 13,5 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} P'' &= 0,01 \times A_{sayap} \times \sigma_{ijin} \\ &= 0,01 \times 13,5 \times 1600 \\ &= 216 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P' &= P'' + 0,005 \times n \times q \times d_k \times d_g \\ &= 216 + 0,005 \times 3 \times 19,7 \times 6 \times 1,2 \\ &= 218,13 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$R_a = 112,56 \text{ kg}$$

$$R_b = 112,56 \text{ kg}$$

2. Pembebanan akibat beban angin pada dinding

$$P = 0,5 \times 0,9 \times A \times 40, \text{ dimana:}$$

$$0,5 = \text{koefisien angin dinding vertical gedung tertutup (PPIUG pasal 4.3.2)}$$

$$40 = \text{tekanan tiup minimum (PPIUG pasal 4.2.2)}$$

$$0,5 = \text{distribusi gaya ke atap}$$

$$\sum V = 0$$

$$\begin{aligned} R_a &= P_1 + P_2 + P_3 + P_4 \\ &= 385,47 + 833,73 + 917,47 + 490,13 \\ &= 2626,8 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_b &= P_5 + P_6 + P_7 + P_8 \\ &= 385,47 + 833,73 + 917,47 + 490,13 \\ &= 2626,8 \text{ kg} \end{aligned}$$

3. Kombinasi pembebanan

$$N_u = 1,4D = 1,4 \times 112,56 = 157,58 \text{ kg}$$

$$N_u = 1,2D + 1,6L = 1,2 \times 112,56 + 1,6 \times 0 = 135,07 \text{ kg}$$

$$N_u = 1,2D + 0,5L + 1,3W = 1,2 \times 112,56 + 0,5 \times 0 + 1,3 \times 2626,8 = 3549,91 \text{ kg} = 35,5 \text{ kN}$$

Cek Kapasitas Penampang Profil Lip Channel 150.50.20.3,2

1. Kapasitas nominal lentur

Berdasarkan kekompakan penampang

- a. Sayap

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{65}{3,2} = 20,31$$

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{240}} = 10,97$$

$$\lambda_r = \frac{370}{\sqrt{f_y - f_r}} = \frac{370}{\sqrt{240 - 70}} = 28,38$$

$$\lambda_p < \lambda < \lambda_r \text{ (penampang tidak kompak)}$$

- b. Badan

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{150 - 2 \times 3,2}{3,2} = 44,88$$

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1680}{\sqrt{240}} = 108,44$$

$$\lambda < \lambda_p \text{ (penampang kompak)}$$

Penampang tersebut merupakan penampang yang kompak terhadap web local buckling tetapi tidak kompak terhadap flange local buckling. Untuk itu kapasitas lentur penampang perlu dicek terhadap flange local buckling.

- a. Arah X

$$\begin{aligned}
 M_r &= S_x \times (f_y - f_r) \\
 &= 37,4 \times (240 - 70) \\
 &= 6358 \text{ Nm} \\
 M_{px} &= Z_x \times f_y \\
 &= 37,4 \times 240 \\
 &= 8976 \text{ Nm} \\
 M_{nx} &= M_r + (M_{px} - M_r) \left(\frac{\lambda_r - \lambda}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \\
 &= 6358 + (8976 - 6358) \left(\frac{28,38 - 20,31}{28,38 - 10,97} \right) \\
 &= 7572,51 \text{ Nm} = 7,57 \text{ kNm} \\
 \phi M_{nx} &= 0,9 \times M_{nx} \\
 &= 6,81 > M_{ux}
 \end{aligned}$$

2. Arah Y

$$\begin{aligned}
 M_r &= S_y \times (f_y - f_r) \\
 &= 8,19 \times (240 - 70) \\
 &= 1392,3 \text{ Nm} \\
 M_{py} &= Z_y \times f_y \\
 &= 8,19 \times 240 \\
 &= 1965,6 \text{ Nm} \\
 M_{ny} &= M_r + (M_{py} - M_r) \left(\frac{\lambda_r - \lambda}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \\
 &= 1392,3 + (1965,6 - 1392,3) \left(\frac{28,38 - 44,88}{28,38 - 108,44} \right) \\
 &= 1510,16 \text{ Nm} = 1,51 \text{ kNm} \\
 \phi M_{ny} &= 0,9 \times M_{ny} \\
 &= 1,51 > M_{uy}
 \end{aligned}$$

2. Lateral Torsion Buckling

$$L_p = 1,76 \times i_y \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \times 28,3 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{240}} = 1437,83 \text{ mm}$$

Karena $L > L_p$ maka perlu dihitung besarnya L_r untuk menentukan perhitungan besarnya M_n .

$$f_L = f_y - f_r = 240 - 70 = 170 \text{ MPa}$$

$$E = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$$

$$G = \left(\frac{E}{2(1+\mu)} \right) = 76923,03 \text{ Mpa}$$

Light Lip Channel 150.65.20.3,2

$$A = 150, B = 65, C = 20, t = 3,2$$

$$\begin{aligned}
 J &= \frac{2}{3} \times B \times t^3 + \frac{1}{3}(A - 2t) t^3 + \frac{2}{3}(C - t) t^3 \\
 &= \frac{2}{3} \times 65 \times 3,2^3 + \frac{1}{3}(150 - 6,4) 3,2^3 + \frac{2}{3}(20 - 3,2) 3,2^3 \\
 &= 3355,44 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$A = 956,7 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 X_1 &= \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{E G J A}{2}} = \frac{\pi}{37400} \sqrt{\frac{2 \times 10^5 \times 76923 \times 3355,44 \times 956,7}{2}} \\
 &= 9328,97 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_w &= \frac{1}{4} \times I_y \times (h - 2t)^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times 28,3 \times 10^4 \times (150 - 6,4)^2 \\
 &= 1,46 \times 10^9 \text{ mm}^6
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_2 &= 4 \times \frac{I_w}{I_y} \times \left(\frac{S_x}{G J} \right)^2 = 4 \times \frac{1,46 \times 10^9}{28,3 \times 10^4} \times \left(\frac{37400}{76923,08 \times 3355,44} \right)^2 \\
 &= 4,33 \times 10^{-4} \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$L_r = i_y \times \frac{X_1}{f_L} \times \sqrt{1 + X_2 + f_L^2}$$

$$= 28,3 \times \frac{9328,97}{170} \times \sqrt{1 + 3,33 \times 10^{-4} + 170^2}$$

$$= 20248,8 \text{ mm}$$

$L_p < L < L_r$ sehingga termasuk bentang menengah

$$M_A = M_C = 3qL^2/32$$

$$M_B = M_{\max} = qL^2/8$$

$$C_b = \frac{12,5 M_{\max}}{2,5 M_{\max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \leq 2,3$$

$$= \frac{12,5(\frac{1}{8})}{2,5(\frac{1}{8}) + 3(\frac{3}{32}) + 4(\frac{1}{8}) + 3(\frac{3}{32})} \leq 2,3$$

$$= 1,14$$

$$M_n = C_b \times (M_r + \frac{(M_p - M_r) \times (L_r - L)}{L_r - L_p})$$

$$= 2221,24 \text{ Nm} = 22,21 \text{ kNm}$$

$$\phi M_{nx} = 0,9 \times M_{nx}$$

$$= 0,9 \times 22,21$$

$$= 19,99 \text{ kNm} > M_{ux} \text{ (OK)}$$

3. Kapasitas nominal tekan

$$\lambda_{cx} = \frac{L_y}{\pi \times i_x} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{6000}{\pi \times 28} \times \sqrt{\frac{240}{2 \times 10^5}} = 2,36$$

$$\lambda_{cy} = \frac{L_x}{\pi \times i_y} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{3000}{\pi \times 28,3} \times \sqrt{\frac{240}{2 \times 10^5}} = 0,78$$

$$\text{Diambil } \lambda_c = \lambda_{c \max} = 2,36$$

$$\omega = 1,43 / (1,6 - 0,67 \lambda_c)$$

$$= 1,43 / (1,6 - 0,67 \times 2,36)$$

$$= 76,06$$

$$\phi N_n = 0,85 \times A_g \times f_y / \omega$$

$$= 0,85 \times 956,7 \times 240 / 76,06$$

$$= 2565,96 \text{ N} = 2,57 \text{ kN}$$

4. Kapasitas nominal tarik

$$\phi N_n = 0,85 \times A_g \times f_y$$

$$= 0,85 \times 956,7 \times 240 \times 10^{-3}$$

$$= 195,17 \text{ kN}$$

Rumus Interaksi Aksial dan Lentur

a. Untuk pembebanan 1.4D

$$\frac{N_u}{\phi N_n} = \frac{157,58}{195,17} = 0,8 > 0,2$$

$$\frac{N_u}{\phi N_n} + \frac{8}{9} \times \left(\frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \right) \leq 1$$

$$0,8 + \frac{8}{9} \times \left(\frac{0,12}{8,694} + \frac{0,032}{2,394} \right) \leq 1$$

$$0,82 \leq 1 \text{ (OK)}$$

b. Untuk pembebanan 1.2D+1.6L

$$\frac{N_u}{\phi N_n} = \frac{157,58}{195,17} = 0,8 > 0,2$$

$$\frac{N_u}{\phi N_n} + \frac{8}{9} \times \left(\frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \right) \leq 1$$

$$0,8 + \frac{8}{9} \times \left(\frac{0,34}{8,694} + \frac{0,09}{2,394} \right) \leq 1$$

$$0,87 \leq 1 \text{ (OK)}$$

c. Untuk pembebanan 1.2D+0.5L+1.3W

$$\frac{N_u}{\phi N_n} = \frac{157,58}{195,17} = 0,8 > 0,2$$

$$\frac{Nu}{\phi N_n} + \frac{8}{9} \times \left(\frac{M_{ux}}{\phi b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi b M_{ny}} \right) \leq 1$$

$$0,8 + \frac{8}{9} \times \left(\frac{0,18}{8,694} + \frac{0,05}{2,394} \right) \leq 1$$

$$0,84 \leq 1 (OK)$$

Pemeriksaan Lendutan

Lendutan maksimum yang diijinkan:

$$\delta_{x \max} = \frac{L}{240} = \frac{6000}{240} = 25 \text{ mm}$$

$$\delta_{y \max} = \frac{L}{240} = \frac{3000}{240} = 12,5 \text{ mm}$$

$$\text{Resultan } \delta = \sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2} = \sqrt{25^2 + 12,5^2} = 27,95 \text{ mm}$$

Lendutan yang terjadi:

a. Arah X (Lx=6000 mm)

$$\delta = \frac{5qL^4}{384EI_x} + \frac{PLk^3}{48EI_x}$$

$$= \frac{5 \times 0,676 \times \cos 15^\circ \times 6000^4}{384 \times 200000 \times 2800000} + \frac{1000 \times \cos 15^\circ \times 6000^3}{48 \times 200000 \times 2800000} = 27,44 \text{ mm}$$

b. Arah Y (Lx=3000 mm)

$$\delta = \frac{5qL^4}{384EI_x} + \frac{PLk^3}{48EI_x}$$

$$= \frac{5 \times 0,676 \times \cos 15^\circ \times 3000^4}{384 \times 200000 \times 2800000} + \frac{1000 \times \cos 15^\circ \times 3000^3}{48 \times 200000 \times 2800000} = 2,2 \text{ mm}$$

$$\delta = \sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2} = \sqrt{27,44^2 + 2,2^2} = 27,53 \text{ mm} < \delta_{\max} (OK)$$

Profil Light Lip Channel 150x65x20x3.2 dapat digunakan sebagai gording.

Perhitungan Sagrod

Jarak antar sangord	= 2 m
Jarak antar gording	= 1,2 m
Jumlah gording	= 11 buah
Qm	= 19,698 kg/m
P	= 100 kg
α	= 15°

Perhitungan Beban

a. Beban Mati (Tm)

$$\begin{aligned} q_{my} &= q_m \times \sin \alpha \times \text{jumlah gording} \\ &= 19,698 \times \sin 15^\circ \times 11 \\ &= 56,08 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{my} &= q_{my} \times \text{jarak antar sagrod} \\ &= 56,08 \times 2 \\ &= 112,16 \text{ kg} \end{aligned}$$

b. Beban Hidup (Th)

- Beban air hujan

$$\begin{aligned} q_{hy} &= q_h \times \sin \alpha \times \text{jumlah gording} \\ &= 20 \times \sin 15^\circ \times 11 \\ &= 56,94 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Sh1 &= q_{hy} \times \text{jarak antar sagrod} \\ &= 56,94 \times 2 \\ &= 113,88 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Beban pekerja

$$\begin{aligned} Sh2 &= P \times \sin \alpha \times \text{jumlah pekerja} \\ &= 100 \times \sin 15^\circ \times 5 \\ &= 129,41 \text{ kg} \end{aligned}$$

Digunakan Th maksimum = 129,41 kg

c. Beban angin = 0

Kombinasi Pembebanan

$$Nu = 1,2D + 1,6L = 1,2 \times 112,16 + 1,6 \times 129,41 = 341,65 \text{ kg}$$

$$Nu = 1,4D = 1,4 \times 112,16 = 157,02 \text{ kg}$$

Digunakan Nu = 341,65 kg

Perhitungan Batang Tarik

$$Nu = 341,65 \text{ kg} = 3,42 \text{ kN}$$

Digunakan baja polos Ø8 mm

$$\begin{aligned} A &= 0,85 \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= 0,85 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 8^2 \\ &= 42,73 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek kapasitas penampang

a. Kondisi leleh

$$Nu \leq \phi \times f_y \times A$$

$$3,42 \leq 0,9 \times 240 \times 42,73 \times 10^{-3}$$

$$3,42 \leq 9,23 \text{ (OK)}$$

b. Kondisi fraktur

$$Nu \leq \phi \times f_y \times A$$

$$3,42 \leq 0,75 \times 370 \times 42,73 \times 10^{-3}$$

$$3,42 \leq 11,86 \text{ (OK)}$$

Besi polos Ø8 mm dapat digunakan untuk sagrod.

$$\sum V = 0$$

$$\begin{aligned} Ra &= P1 + P2 + P3 + P4 \\ &= 385,47 + 833,73 + 917,47 + 490,13 \\ &= 2626,8 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Rb &= P5 + P6 + P7 + P8 \\ &= 385,47 + 833,73 + 917,47 + 490,13 \\ &= 2626,8 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= (Ra - B1) / \cos 34,77^\circ \\ &= (2626,8 - 385,47) / \cos 34,77^\circ \\ &= 2728,51 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kombinasi Pembebanan

$$\begin{aligned} Nu &= 2728,51 \text{ kg} \\ &= 27,28 \text{ kN} \end{aligned}$$

Perhitungan Batang Tarik

Digunakan baja polos diameter 16 mm

$$\begin{aligned} A &= 0,85 \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= 0,85 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 \\ &= 170,9 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek Kapasitas Penampang

a. Kondisi Leleh

$$Nu \leq \phi N_n$$

$$Nu \leq \phi \times f_y \times A$$

$$27,28 \leq 0,9 \times 240 \times 170,9$$

$$27,28 \leq 36,91 \text{ kN (OK)}$$

b. Kondisi Fraktur

$$Nu \leq \phi N_n$$

$$Nu \leq \phi \times f_y \times A$$

$$27,28 \leq 0,75 \times 370 \times 170,9$$

$$27,28 \leq 47,42 \text{ kN (OK)}$$

Baja polos diameter 16 mm dapat digunakan sebagai ikatan angin atap.

Perhitungan Rafter

Direncanakan dengan WF 300 x 150 x 6.5 x 9

h	= 300 mm
b	= 150 mm
tw	= 6,5 mm
tf	= 9 mm
A	= 4678 mm ²
I _x	= 7210 cm ⁴
I _y	= 508 cm ⁴
i _x	= 124 mm
i _y	= 32,9 mm
S _x	= 481 cm ³
S _y	= 67,7 cm ³
Z _x	= 548.34 cm ³
Z _y	= 77,18 cm ³
q	= 36,7 kg/m
r	= 13 mm

Pembebanan

Dari output Staad Pro, diperoleh

M _t	= 665000 kg.cm
M _s	= 665000 kg.cm
N _t	= 5192 kg
N _s	= 5192 kg

Cek Kapasitas Penampang

1. Momen Lentur

a. Sayap

$$\lambda = b / t = 75 / 9 = 8.33$$

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{240}} = 10,97$$

$$\lambda < \lambda_p \text{ (penampang kompak)}$$

b. Badan

$$\lambda = h / tw = \frac{300 - 2 \times (9 + 13)}{6.5} = 39,38$$

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{240}} = 108,44$$

$$\lambda < \lambda_p \text{ (penampang kompak)}$$

$$M_{nx} = M_{px} = Z_x \cdot f_y = 548.34 \times 240 = 131,6 \text{ kNm}$$

$$\phi M_{nx} = 0,9 \times 131,6 = 118,44 \text{ kNm} > M_u \text{ (OK)}$$

2. Terhadap lateral torsional buckling

$$L_p = 1,76 \times i_y \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \times 32,9 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{240}} = 1671,5 \text{ mm}$$

$$L < L_p$$

$$M_r = S_x (f_y - f_r) = 481000 \times 170 = 81,77 \text{ kNm}$$

$$M_p = Z_x \times f_y = 548340 \times 240 = 131,6$$

Menghitung C_b

$$M_{max} = 6,65 \text{ kNm}$$

$$M_a = 0 \text{ kNm}$$

$$M_b = 4,88 \text{ kNm}$$

$$M_c = 9,76 \text{ kNm}$$

$$C_b = \frac{12,5M_{max}}{2,5M_{max}+3M_a+4M_b+3M_c}$$

$$= \frac{12,5 \times 6,65}{2,5 \times 6,65 + 3 \times 0 + 4 \times 4,88 + 3 \times 9,76}$$

$$= 1,27$$

$$M_n = C_b \times (M_r + \frac{(M_p - M_r)(L_r - L)}{L_r - L_p})$$

$$= 149,32 \text{ kNm}$$

$$\phi M_{nx} = 0,9 \times M_{nx} = 0,9 \times 149,32 = 134,4 \text{ kNm} > M_{ux} \text{ (OK)}$$

3. Kapasitas Nominal Tekan

$$\lambda_{cx} = \frac{L_x}{\pi i_x} \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

$$= \frac{1200}{\pi 124} \sqrt{\frac{240}{2 \times 10^5}}$$

$$= 0,11$$

$$\lambda_{cy} = \frac{L_y}{\pi i_y} \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

$$= \frac{150}{\pi 32,9} \sqrt{\frac{240}{2 \times 10^5}}$$

$$= 0,05$$

Digunakan $\lambda_c = 0,11$

$$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c} = 0,94$$

$$\phi N_n = 0,85 \times A_g \times \frac{f_y}{\omega} = 0,85 \times 4678 \times \frac{240}{0,94}$$

$$= 1015225,5 \text{ N}$$

$$= 1015,23 \text{ kN} > N_u$$

4. Terhadap Gaya Geser

$$k_n = 5 + 5 / (A/h)^2$$

$$= 5 + 5 / (1500/300)^2$$

$$= 5,2$$

Diperiksa:

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,1 \sqrt{\frac{k_n \times E}{f_y}}$$

$$39,38 \leq 1,1 \sqrt{\frac{5,2 \times 2 \times 10^5}{240}}$$

$$39,38 \leq 72,4 \text{ (OK)}$$

$$\phi V_n = 0,9 \times 0,6 \times f_y \times A_w$$

$$= 0,9 \times 0,6 \times 240 \times 4678$$

$$= 606,24 \text{ kN} > 30 \text{ kN}$$

Rumus Interaksi

1. Kombinasi Beban Aksial Lentur

$$\frac{N_u}{\phi N_n} = \frac{42}{1015,23} = 0,04 < 0,2$$

$$\frac{N_u}{2\phi N_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi b M_{ny}} \right) \leq 1$$

$$\frac{0,04}{2} + \left(\frac{66,5}{134,44} + 0 \right) \leq 1$$

$$0,52 \leq 1$$

2. Kombinasi Geser Lentur

$$\frac{M_u}{\phi M_n} + 0,625 \times \frac{V_u}{\phi V_n} \leq 1,375$$

$$\frac{66,2}{134,44} + 0,625 \times \frac{32,4}{606,26} \leq 1,375$$

$$0,53 \leq 1$$

Lendutan

Lendutan maksimal kombinasi $1.2D + 1.6L = 15 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}\delta_{\max} &= L / 240 \\ &= 25881 / 240 \\ &= 107,8 \text{ mm} > 15 \text{ mm (OK)}\end{aligned}$$

Profil baja WF 300 x 150 x 6.5 x 9 dapat digunakan sebagai rafter.

Perhitungan Kolom

Direncanakan dengan profil WF 350 x 175 x 7 x 11

$$\begin{aligned}h &= 350 \text{ mm} \\ b &= 175 \text{ mm} \\ t_w &= 7 \text{ mm} \\ t_f &= 11 \text{ mm} \\ A &= 6314 \text{ mm}^2 \\ I_x &= 13600 \text{ cm}^4 \\ I_y &= 984 \text{ cm}^4 \\ i_x &= 147 \text{ mm} \\ i_y &= 39,5 \text{ mm} \\ Z_x &= 775 \text{ cm}^3 \\ Z_y &= 112 \text{ cm}^3 \\ q &= 49,6 \text{ kg/m} \\ r &= 14 \text{ mm} \\ S_x &= 777,14 \text{ cm}^3 \\ S_y &= 112,46 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

Pembebanan

Dari output Staad Pro, diperoleh:

$$\begin{aligned}M_t &= 993000 \text{ kg.cm} \\ M_s &= 993000 \text{ kg.cm} \\ N_t &= 4581 \text{ kg} \\ N_s &= 4581 \text{ kg} \\ L &= 6000 \text{ mm}\end{aligned}$$

Kapasitas Penampang Kolom

1. Momen Lentur

a. Sayap

$$\lambda = b / t = 175 / 11 = 15,9$$

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{240}} = 10,97$$

$$\lambda > \lambda_p$$

b. Badan

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{350 - 2 \times (11 + 14)}{7} = 42,86$$

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{240}} = 108,44$$

$$\lambda < \lambda_p$$

$$M_n = M_{px} = Z_x \times f_y = 775 \times 240 = 186 \text{ kNm}$$

$$\phi M_{nx} = 0,9 \times 186 = 167,4 \text{ kNm} > 99,3 \text{ kNm (OK)}$$

2. Cek terhadap lateral torsional buckling

$$\begin{aligned}L_p &= 1,76 \times i_y \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 1,76 \times 39,5 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{240}} \\ &= 2006,87 \text{ mm}\end{aligned}$$

$L > L_p$ maka perlu menghitung L_r

$$f_l = f_y - f_r = 170 \text{ MPa}$$

$$E = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$$

$$G = \frac{E}{2(1+0.3)} = \frac{2 \times 10^5}{2(1+0.3)} = 76923,08 \text{ MPa}$$

$$J = 98714,75 \text{ mm}^4$$

$$X1 = \frac{\pi}{Sx} \sqrt{\frac{EGJA}{2}} = \frac{\pi}{777140} \sqrt{\frac{200000 \times 76923,08 \times 98714,75 \times 6314}{2}}$$

$$= 8851,61 \text{ MPa}$$

$$I_w = 100995,5 \times 10^6 \text{ mm}^6$$

$$X2 = 4 \times \frac{I_w}{I_y} \times \left(\frac{Sx}{GJ}\right)^2 = 4 \times \frac{100995,5 \times 10^6}{9840000} \times \left(\frac{777140}{76923,08 \times 98714,75}\right)^2$$

$$= 4,3 \times 10^{-4} \text{ mm}$$

$$L_r = i_y \times \frac{X1}{f_l} \times \sqrt{1 + \sqrt{1 + X2 \times f_l^2}}$$

$$= 39,5 \times \frac{8851,61}{170} \times \sqrt{1 + \sqrt{1 + 4,3 \times 10^{-4} \times 170^2}}$$

$$= 4441,84 \text{ mm}$$

$L > L_r$ (bentang Panjang)

$$M_r = S_x (f_y - f_r) = 777140 \times 170 = 132,11 \text{ kNm}$$

$$M_p = Z_x \times f_y = 77500 \times 240 = 18,6 \text{ kNm}$$

Menghitung C_b

$$M_{\max} = 9,93 \text{ kNm}$$

$$M_a = 0 \text{ kNm}$$

$$M_b = 4,88 \text{ kNm}$$

$$M_c = 9,76 \text{ kNm}$$

$$C_b = \frac{12,5 M_{\max}}{2,5 M_{\max} + 3 M_a + 4 M_b + 3 M_c}$$

$$= \frac{12,5 \times 9,93}{2,5 \times 9,93 + 3 \times 0 + 4 \times 4,88 + 3 \times 9,76}$$

$$= 1,69$$

$$M_n = C_b \times \left(M_r + \frac{(M_p - M_r) \times (L_r - L)}{L_r - L_p} \right)$$

$$= 1,69 \times \left(132,11 + \frac{(18,6 - 132,11) \times (4441,84 - 6000)}{4441,84 - 2006,87} \right)$$

$$= 346,02 \text{ kNm}$$

$$\phi M_{nx} = 0,9 \times M_{nx}$$

$$= 0,9 \times 346,02$$

$$= 311,42 \text{ kNm}$$

$\phi M_{nx} > M_{ux}$ (OK)

3. Kapasitas Nominal Tekan

$$\lambda_{cx} = \frac{L_x}{\pi i_x} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{6000}{\pi 147} \sqrt{\frac{240}{2 \times 10^5}} = 0,45$$

$$\lambda_{cy} = \frac{L_y}{\pi i_y} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{6000}{\pi 39,5} \sqrt{\frac{240}{2 \times 10^5}} = 1,68$$

Digunakan $\lambda_c = 1,68$

$$\omega = \frac{1.43}{1.6 - 0.67 \lambda_c} = \frac{1.43}{1.6 - 0.67 \times 1,68} = 3,01$$

$$\phi N_n = 0,85 \times A_g \times \frac{f_y}{\omega} = 0,85 \times 6314 \times \frac{240}{3,01}$$

$$= 427925,58 \text{ N} = 427,9 \text{ kN} > N_u$$

4. Terhadap Gaya Geser

$$K_n = 5 + 5 / (A/h)^2$$

$$= 5 + 5 / (1500/300)^2$$

$$= 5,2$$

Diperiksa:

$$\frac{h}{tw} \leq 1,1 \sqrt{\frac{Kn \times E}{fy}}$$

$$42,86 \leq 1,1 \sqrt{\frac{5,2 \times 2 \times 10^5}{240}}$$

$$42,86 \leq 72,41 \text{ (OK)}$$

$$\phi V_n = 0,9 \times 0,6 \times f_y \times A_w$$

$$= 0,9 \times 0,6 \times 240 \times 6314$$

$$= 818,3 \text{ kN} > V_u$$

Kapasitas Penampang Kolom

1. Kombinasi Beban Aksial Lentur

$$\frac{Nu}{\phi N_n} = \frac{39}{427,9} = 0,09 < 0,2$$

$$\frac{Nu}{2\phi N_n} + \left(\frac{Mux}{\phi b M_{nx}} + \frac{Muy}{\phi b M_{ny}} \right) \leq 1$$

$$\frac{0,09}{2} + \left(\frac{99,3}{311,42} + 0 \right) \leq 1$$

$$0,36 \leq 1 \text{ (OK)}$$

3. Kombinasi Geser Lentur

$$\frac{Mu}{\phi Mn} + 0,625 \times \frac{Vu}{\phi V_n} \leq 1,375$$

$$\frac{99,3}{311,42} + 0,625 \times \frac{33}{818,3} \leq 1,375$$

$$0,34 \leq 1$$

Lendutan

Lendutan maksimal kombinasi 1.2D + 1.6L = 28,7 mm

$$\delta_{\max} = L / 240$$

$$= 10000 / 240$$

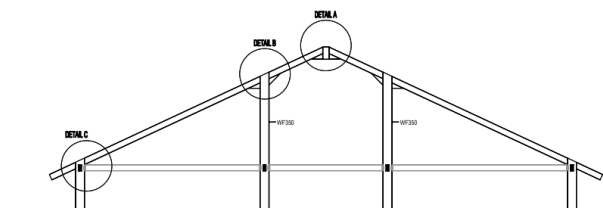
$$= 41 \text{ mm} > 28,7 \text{ mm (OK)}$$

Profil baja WF 350 x 175 x 7 x 11 dapat digunakan sebagai kolom.

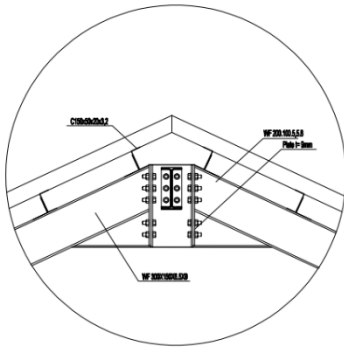
Penutup Atap

Penelitian ini memilih atap UPVC untuk gudang PT. Uxxx karena keunggulan teknis dan ekonomisnya. Material polimer ini memiliki sifat ringan (8-10 kg/m²), tahan korosi, dan masa pakai panjang (>50 tahun), cocok dipadukan dengan struktur baja LRFD. Kelebihannya mencakup: (1) Ketahanan cuaca ekstrem dengan koefisien muai termal 0.06 mm/m°C; (2) Isolasi termal (konduktivitas 0.16 W/mK) dan akustik; (3) Pemasangan cepat (40% lebih cepat dari metal deck); (4) Warna tahan UV dengan nilai SRI >78. Dari aspek struktural, bobot ringan UPVC mengurangi beban mati 30-40% dibanding seng, memenuhi persyaratan SNI 1729:2020 untuk struktur baja. Sistem pengikat modularnya memastikan distribusi beban merata dengan kapasitas angkat hingga 150 kg/m². Material ini juga ramah lingkungan dengan kandungan daur ulang 30% dan bebas timbal, menjadikannya solusi berkelanjutan untuk bangunan industri.

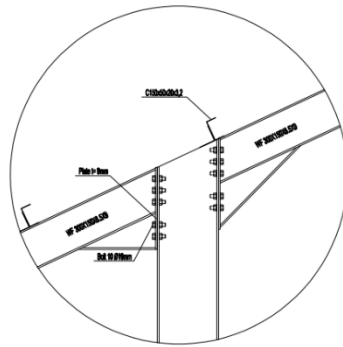
Gambar Detail Hasil Perencanaan



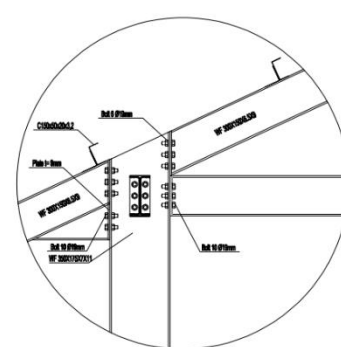
Gambar 1. Section



Gambar 2. Detail A



Gambar 3. Detail B



Gambar 4. Detail C

Kesimpulan

Berdasarkan analisis struktur yang telah dilakukan, penelitian ini menyimpulkan beberapa temuan penting mengenai perencanaan atap gudang PT. Uxxx. Untuk sistem rangka atap, digunakan profil baja spesifik yang memenuhi standar SNI 1729:2020, yaitu Light Lip Channel 150x65x20x3,2 mm untuk gording, WF 300x150x6,5x9 mm untuk rafter, dan WF 350x175x7x11 mm untuk kolom, yang kesemuanya telah terverifikasi mampu menahan berbagai kombinasi beban yang bekerja. Sistem pengikat menggunakan baja polos diameter 8 mm dan 16 mm yang memenuhi persyaratan tarik. Atap UPVC direkomendasikan sebagai material penutup karena keunggulannya dalam ketahanan cuaca, isolasi termal dan akustik, serta kemudahan pemasangan dan perawatan, sekaligus ramah lingkungan dengan umur pakai panjang. Hasil akhir perencanaan menghasilkan dokumen teknis lengkap meliputi gambar detail rafter dan sambungan, yang seluruhnya telah memenuhi standar keamanan dan kinerja struktural sesuai peraturan bangunan gedung di Indonesia. Solusi desain yang dihasilkan menawarkan keseimbangan optimal antara kekuatan struktur, efisiensi biaya, dan daya tahan jangka panjang untuk mendukung operasional gudang material.

Referensi

- [1] M. Maizuar, S. R. Indah, T. Mudi Hafli, and B. Burhanuddin, "Studi Desain Elemen Struktur Baja Berdasarkan SNI 1729 : 2015 dan SNI 1729 : 2020," *Malikussaleh J. Mech. Sci. Technol.*, vol. 6, no. 2, p. 6, 2022, doi: 10.29103/mjmst.v6i2.7079.
- [2] S. Awaldiansyah, M. Yusuf, and Y. Lestyowati, "DESAIN STRUKTUR BAJA TAHAN GEMPA GEDUNG RAWAT INAP DAN IGD RSUD dr. A. DIPONEGORO–PUTUSSIBAU, KALIMANTAN BARAT," *JeLAST J. PWK, Laut, Sipil ...*, pp. 1–11, 2020, [Online]. Available: <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/JMHMS/article/view/69049>
- [3] R. A. D. Latumeten, A. A. A, H. Santoso, and I. Muljati, "2 . 1 . Perencanaan Struktur Rangka Atap Baja Canai Dingin = kapasitas penampang nominal dari komponen struktur dalam tarik ? ??? , ? ??? = kapasitas momen leleh penampang nominal dari penampang utuh terhadap sumbu x dan y ? ? ? , ? ? ? = kapa," pp. 1–8, 2013.
- [4] L. Darmiyanti, A. P. Rodji, and A. Mumtaz, "PERENCANAAN STRUKTUR ATAP FROFIL BAJA WF," *J. Sustain. Civ. Eng.*, vol. 4, no. 02, Oct. 2022, doi: 10.47080/josce.v4i02.2258.
- [5] S. Subagyo, N. Nurokhman, and I. Suharyanto, "Analisis Struktur Atas Rangka Baja Pada Bangunan Industri Peternakan Unggas," *CivETech*, vol. 4, no. 2, pp. 65–77, 2022, doi: 10.47200/civetech.v4i2.1304.

- [6] Badan Standardisasi Nasional, “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung Sebagai Revisi Dari Standar Nasional Indonesia,” *Sni 1726-2019*, no. 8, p. 254, 2019, [Online]. Available: www.bsn.go.id
- [7] Anonim, “SNI 1729 Tahun 2020 Tentang Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural,” *Badan Stand. Nas.*, no. 8, p. 311, 2020.
- [8] Badan Standardisasi Indonesia, “SNI 1727:2020 Beban desain minimum dan Kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain,” *Jakarta*, no. 8, pp. 1–336, 2020.
- [9] P. Struktur and B. Industri, “Totok Andi Prasetyo Perencanaan Struktur Bangunan Industri Lengkap dengan Crane”.
- [10] Setiyawan, “Struktur Baja,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013.