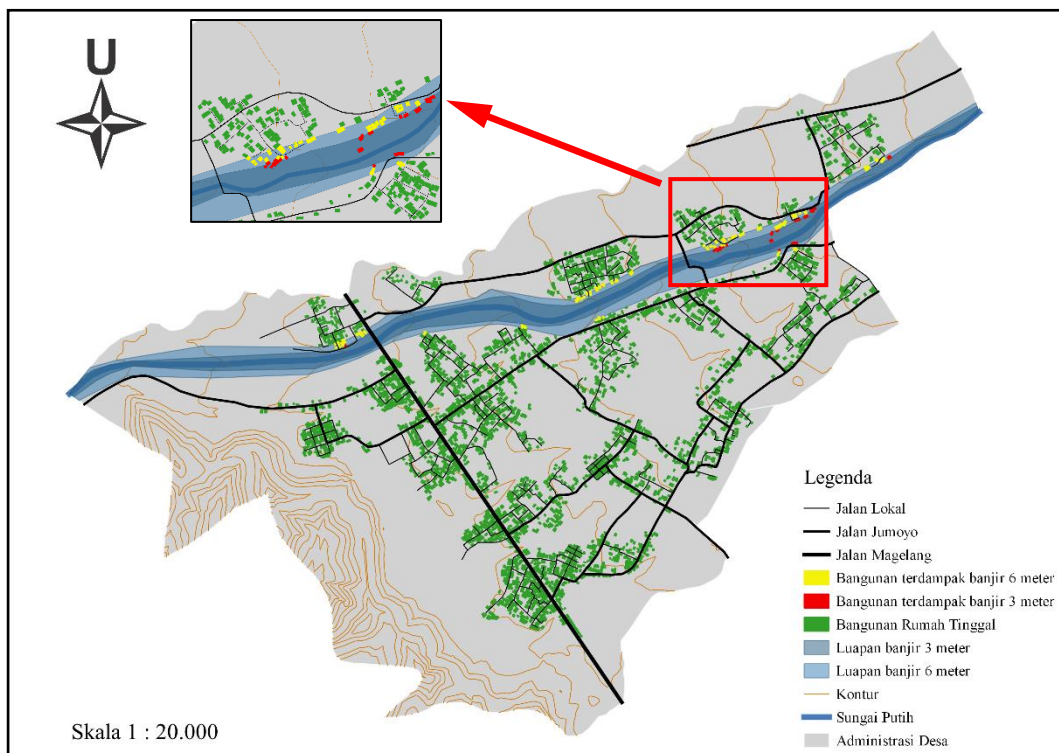


BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

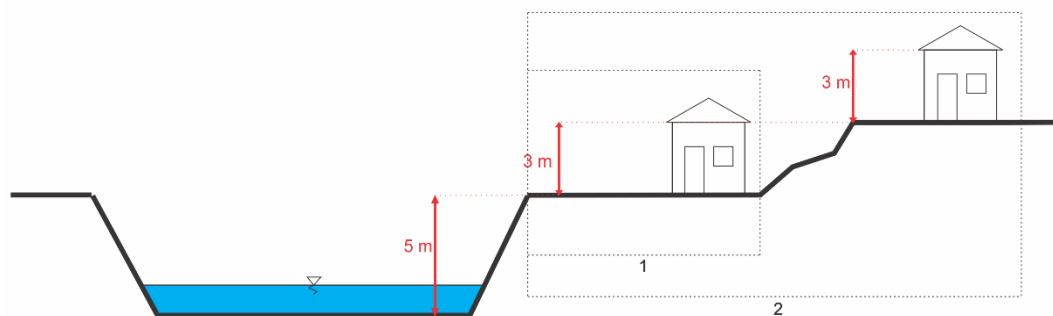
4.1. Resiko Bangunan Rumah Tinggal terhadap Banjir Lahar Dingin

Berdasarkan hasil pengamatan menggunakan peta satelit *google* dan hasil survei di lapangan, bangunan rumah tinggal di Desa Jumoyo terdapat bangunan rumah tinggal 1 lantai dan bangunan rumah tinggal 2 lantai. Persebaran bangunan rumah tinggal di Desa Jumoyo yang beresiko terkena banjir lahar dingin disajikan dalam Gambar 4.6 sebagai berikut.



Gambar 4.1 Peta resiko bangunan rumah tinggal

Banjir lahar dingin berdasarkan elevasi garis kontur dalam peta yang telah dibuat menggunakan program QGIS terdapat dua tahap banjir lahar dingin. Tahapan tersebut yaitu banjir dengan ketinggian 3 meter dan 6 meter. Resiko bangunan rumah tinggal yang beresiko terdampak banjir lahar dingin diilustrasikan dalam Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Resiko bangunan di bantaran sungai

Berdasarkan gambar tersebut, kedalaman Sungai Putih yaitu 5 m. Sungai Putih saat terjadi banjir dengan ketinggian 3 meter, aliran banjir dapat mencapai bangunan yang paling dekat dengan sungai. Saat banjir mencapai ketinggian tersebut maka bangunan yang paling bawah akan terkena aliran banjir lahar dingin. Sungai Putih saat banjir dengan ketinggian 6 meter, banjir lahar dingin dapat mencapai bangunan di atasnya.

Penelitian ini telah mengambil tiga sampel bangunan rumah tinggal di Desa Jumoyo. Berdasarkan hasil survei, jumlah orang yang tinggal dalam satu bangunan rumah tinggal 1 lantai dibedakan berdasarkan jumlah keluarga yang tinggal di rumah tersebut dan luas bangunan itu sendiri. Hal ini dikarenakan satu bangunan rumah tinggal dapat dihuni oleh satu keluarga dan dapat juga dihuni oleh dua keluarga. Bangunan rumah tinggal 1 lantai yang dihuni oleh satu keluarga dengan jumlah penghuni 4 orang memiliki luas bangunan $< 72 \text{ m}^2$, sedangkan bangunan rumah tinggal 1 lantai yang dihuni oleh 2 keluarga yang berjumlah 8 orang memiliki luas bangunan $\geq 72 \text{ m}^2$. Bangunan rumah tinggal 2 lantai tidak dibedakan berdasarkan jumlah keluarga ataupun luas bangunan. Hal ini dikarenakan dalam satu bangunan rumah tinggal dihuni oleh satu keluarga yang terdiri dari 6 orang.

Hasil dari pemodelan peta Desa Jumoyo berdasarkan elevasi dari garis kontur dapat diketahui banyaknya bangunan rumah tinggal yang beresiko terkena banjir lahar dingin. Bangunan rumah tinggal yang beresiko terkena banjir lahar dingin berada di sepanjang bantaran Sungai Putih.

Jumlah bangunan rumah tinggal yang beresiko terdampak banjir lahar dingin disajikan dalam tabel sebagai berikut.

Tabel 4.1 Jumlah bangunan rumah tinggal yang beresiko

Banjir Lahar Dingin	Jumlah bangunan rumah tinggal		
	Satu lantai		Dua Lantai
	Luas bangunan < 72 m ²	Luas bangunan ≥ 72 m ²	
Ketinggian 3 meter	13	8	0
Ketinggian 6 meter	68	33	2

Jumlah penghuni bangunan rumah tinggal yang beresiko diasumsikan berdasarkan tiga sampel yang telah didapatkan dari hasil survei di Desa Jumoyo. Jumlah penghuni dari bangunan yang beresiko disajikan dalam tabel sebagai berikut.

Tabel 4.2 Jumlah penghuni yang beresiko terdampak banjir lahar dingin

Banjir Lahar Dingin	Jumlah penghuni bangunan rumah tinggal		
	Satu lantai		Dua Lantai
	Luas bangunan < 72 m ²	Luas bangunan ≥ 72 m ²	
Ketinggian 3 meter	52 orang	64 orang	0
Ketinggian 6 meter	272 orang	264 orang	12 orang

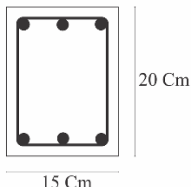
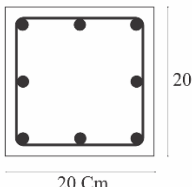
Total bangunan rumah tinggal di Desa Jumoyo sebanyak 3.596 bangunan. Jumlah bangunan rumah tinggal satu lantai sebanyak 3.522 bangunan dan bangunan rumah tinggal dua lantai sebanyak 74 bangunan. Bangunan rumah tinggal yang beresiko terdampak banjir lahar dingin pada saat banjir mencapai ketinggian 3 meter sebanyak 21 rumah, sedangkan bangunan rumah tinggal yang beresiko terdampak banjir lahar dingin pada saat banjir mencapai 6 meter sebanyak 103 rumah. Jumlah total penghuni bangunan rumah tinggal yang beresiko terdampak banjir lahar dingin pada saat banjir mencapai 3 meter

diperkirakan sebanyak 116 orang, sedangkan jumlah total penghuni bangunan rumah tinggal yang beresiko terdampak banjir lahar dingin pada saat banjir mencapai 6 meter diperkirakan sebanyak 664 orang.

4.2. Analisis Struktur Bangunan Rumah Tinggal

4.2.1. Perhitungan Kolom dan Balok Bangunan Rumah Tinggal

Perhitungan balok dan kolom bangunan rumah tinggal 1 lantai dengan ukuran balok 15 x 20 cm dan kolom 20 x 20 cm sebagai berikut.

BALOK	KOLOM
	
3D12	3D12

Gambar 4.3 Dimensi balok dan kolom

a. Perhitungan balok

Data penampang:

$$b = 15 \text{ cm} = 150 \text{ mm}$$

$$h = 20 \text{ cm} = 200 \text{ mm}$$

$$f'_c = 20 \text{ MPa}$$

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$E_s = 200000 \text{ MPa}$$

$$d_s = 30 + 10 + \frac{12}{2} = 46 \text{ mm}$$

$$d = h - d_s = 200 - 46 = 154 \text{ mm}$$

$$A_s = 3D12 = 3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 12^2 = 339,292 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} = 2 \times A_s = 2 \times 339,292 = 678,584 \text{ mm}^2$$

$$C_c = T_s$$

$$0,85 \times f'_c \times a \times b = A_s \times f_y$$

$$0,85 \times 20 \times a \times 150 = 339,292 \times 235$$

$$a = \frac{339,292 \times 235}{0,85 \times 20 \times 150} = 31,268 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= T_s \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 79733,621 \left(154 - \frac{31,268}{2} \right) \\ &= 11,032 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$a = \beta_1 \times C_d$$

$$C_d = \frac{a}{\beta_1} = \frac{62,37}{0,85} = 36,785$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times \varepsilon_c \\ &= \frac{154-36,785}{36,785} \times 0,003 \\ &= 0,009559 > 0,001175 \end{aligned}$$

Baja sudah leleh, maka $\Phi = 0,9$

$$\begin{aligned} \Phi M_n &= \Phi \times M_n \\ &= 0,9 \times 11,032 \\ &= 9,928 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Hasil dari program SAP2000 didapatkan nilai $M_u = 2,053 \text{ kNm}$, sehingga $\Phi M_n \geq M_u$

b. Perhitungan kolom

Data penampang:

$$b = 20 \text{ cm} = 200 \text{ mm}$$

$$h = 20 \text{ cm} = 200 \text{ mm}$$

$$f'_c = 20 \text{ MPa}$$

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$E_s = 200000 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_c = 0,003$$

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{235}{200000} = 0,001175$$

$$d_s = 30 + 10 + \frac{12}{2} = 46 \text{ mm}$$

$$d = h - d_s = 200 - 46 = 154 \text{ mm}$$

$$A_s = 3D12 = 3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 12^2 = 339,292 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} = 2 \times A_s = 2 \times 339,292 = 678.584 \text{ mm}^2$$

1) Kondisi sentris ($M_n=0$)

$$\begin{aligned} P_n &= (0,85 \times f'_c \times b \times h) + (A_{st} (f_y - 0,85 \times f'_c)) \\ &= (0,85 \times 20 \times 200 \times 200) + (678.584 (235 - 0,85 \times 20)) \\ &= 827,931 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi P_n &= \Phi \times P_n \\ &= 0,65 \times 827,931 \\ &= 538,155 \text{ kN} \end{aligned}$$

Maka untuk kondisi sentris didapat $P_n = 538,155 \text{ kN}$ dan $M_n = 0 \text{ kNm}$.

2) Kondisi seimbang (balance)

$$\begin{aligned} C_b &= \frac{0,003}{0,003 + \frac{f_y}{E_s}} \times d \\ &= \frac{0,003}{0,003 + \frac{235}{200000}} \times 154 \\ &= 110,658 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_b &= \beta_1 \times C_b \\ &= 0,85 \times 110,658 \\ &= 94,059 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_s &= \frac{C_b - d_s}{C_b} \times \varepsilon_c \\ &= \frac{110,658 - 46}{110,658} \times 0,003 \\ &= 0,001717 > 0,001175 \end{aligned}$$

Baja desak sudah leleh, sehingga $f_s = f_y$

$$\begin{aligned}\varepsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times \varepsilon_c \\ &= \frac{154-110,658}{110,658} \times 0,003 \\ &= 0,001175 = 0,001175\end{aligned}$$

Baja tarik sudah leleh, sehingga $f_s = f_y$

$$\begin{aligned}C_c &= 0,85 \times f'_c \times A_b \times b \\ &= 0,85 \times 20 \times 94,059 \times 200 \\ &= 319,803 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_s &= A_s (f_y - 0,85 \times f'_c) \\ &= 339,292 (235 - 0,85 \times 20) \\ &= 73,965 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_s &= A_s \times f_s \\ &= 339,292 \times 235 \\ &= 79,733 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_n &= C_c + C_s - T_s \\ &= 317,72 + 73,965 - 79,733 \\ &= 314,036 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Phi P_n &= \Phi \times P_n \\ &= 0,65 \times 314,036 \\ &= 204,123 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_n &= C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{A_b}{2}\right) + C_s \left(\frac{h}{2} - d\right) + T_s \left(\frac{h}{2} - d\right) \\ &= 319,803 \left(\frac{200}{2} - \frac{94,059}{2}\right) + 73,965 \left(\frac{200}{2} - 46\right) + 79,733 \left(\frac{200}{2} - 46\right) \\ &= 25,239 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Phi M_n &= \Phi \times M_n \\ &= 0,65 \times 25,239 \\ &= 16,405 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Maka untuk kondisi seimbang didapat $P_n = 204,123 \text{ kN}$ dan $M_n = 16,405 \text{ kNm}$.

3) Kondisi patah tarik

$$C = 0,8 \times C_b = 0,8 \times 110,658 = 88,526$$

$$Ab = 0,85 \times C = 0,85 \times 88,526 = 75,247$$

$$\begin{aligned}\varepsilon_s &= \frac{C_b - d_s}{C_b} \times \varepsilon_c \\ &= \frac{110,658 - 46}{110,658} \times 0,003 \\ &= 0,00111 < 0,001175\end{aligned}$$

Baja desak belum leleh, sehingga $f_s = \varepsilon_s \times E_s$

$$f_s = \varepsilon_s \times E_s = 0,00111 \times 200000 = 222$$

$$\begin{aligned}\varepsilon_s &= \frac{d - c}{c} \times \varepsilon_c \\ &= \frac{154 - 88,526}{88,526} \times 0,003 \\ &= 0,00221 < 0,001175\end{aligned}$$

Baja Tarik sudah leleh, sehingga $f_s = f_y$

$$\begin{aligned}C_c &= 0,85 \times f'_c \times Ab \times b \\ &= 0,85 \times 20 \times 75,247 \times 200 \\ &= 255,842 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_s &= A_s (f_s - 0,85 \times f'_c) \\ &= 339,292 (222 - 0,85 \times 20) \\ &= 73,359 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_s &= A_s \times f_y \\ &= 339,292 \times 235 \\ &= 73,359 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_n &= C_c + C_s - T_s \\ &= 255,842 + 73,359 - 73,359 \\ &= 249,468 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Phi P_n &= \Phi \times P_n \\ &= 0,65 \times 249,468 \\ &= 162,154 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= C_C \left(\frac{h}{2} - \frac{Ab}{2} \right) + C_S \left(\frac{h}{2} - d \right) + T_S \left(\frac{h}{2} - d \right) \\
 &= 255,842 \left(\frac{200}{2} - \frac{75,247}{2} \right) + 73,359 \left(\frac{200}{2} - 46 \right) + 73,359 \left(\frac{200}{2} - 46 \right) \\
 &= 24,225 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Phi M_n &= \Phi \times M_n \\
 &= 0,65 \times 24,225 \\
 &= 15,746 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Maka untuk kondisi patah tarik didapat $P_n = 162,154 \text{ kN}$ dan $M_n = 15,746 \text{ kNm}$.

4) Kondisi patah desak

$$\begin{aligned}
 C &= 1,2 \times C_b = 1,2 \times 110,658 = 132,790 \\
 Ab &= 0,85 \times C = 0,85 \times 132,790 = 112,871
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_s &= \frac{C_b - d_s}{C_b} \times \varepsilon_c \\
 &= \frac{110,658 - 46}{110,658} \times 0,003 \\
 &= 0,00193 > 0,001175
 \end{aligned}$$

Baja desak sudah leleh, sehingga $f_s = f_y$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_s &= \frac{d - c}{c} \times \varepsilon_c \\
 &= \frac{154 - 132,790}{132,790} \times 0,003 \\
 &= 0,00047 < 0,001175
 \end{aligned}$$

Baja Tarik belum leleh, sehingga $f_s = \varepsilon_s \times E_s$

$$f_s = \varepsilon_s \times E_s = 0,00047 \times 200000 = 82$$

$$\begin{aligned}
 C_C &= 0,85 \times f'_c \times Ab \times b \\
 &= 0,85 \times 20 \times 112,871 \times 200 \\
 &= 383,764 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_S &= A_s (f_y - 0,85 \times f'_c) \\
 &= 339,292 (235 - 0,85 \times 20) \\
 &= 73,965 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_S &= A_s \times f_s \\ &= 339,292 \times 82 \\ &= 32,515 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_n &= C_C + C_S - T_S \\ &= 383,764 + 73,965 - 32,515 \\ &= 425,214 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi P_n &= \Phi \times P_n \\ &= 0,65 \times 425,214 \\ &= 276,389 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= C_C \left(\frac{h}{2} - \frac{Ab}{2} \right) + C_S \left(\frac{h}{2} - d \right) + T_S \left(\frac{h}{2} - d \right) \\ &= 383,764 \left(\frac{200}{2} - \frac{112,871}{2} \right) + 73,965 \left(\frac{200}{2} - 46 \right) + 32,515 \left(\frac{200}{2} - 46 \right) \\ &= 22,468 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi M_n &= \Phi \times M_n \\ &= 0,65 \times 22,468 \\ &= 14,604 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Maka untuk kondisi patah desak didapat $P_n = 276,389 \text{ kN}$ dan $M_n = 14,604 \text{ kNm}$.

5) Kondisi momen murni ($P_n = 0$)

$$\begin{aligned} C_C &= 0,85 \times f'_c \times a \times b \\ &= 0,85 \times 20 \times a \times 200 \\ &= 3400 a \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_S &= A_s \times \frac{a-d}{a} \times \varepsilon_c \times E_s \\ &= 461,81 \times \frac{a-47}{a} \times 0,003 \times 200000 \\ &= \frac{277086 a - 11069585,7}{a} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_S &= A_s \times f_y \\ &= 461,81 \times 235 \\ &= 108,52 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$C_C + C_S - T_S = 0$$

$$3400 a + \frac{277086 a - 11069585,7}{a} + 108,52 = 0$$

$$3400 a^2 + 168560 a - 11069585,7 = 0$$

$$\frac{3400 a^2 + 168560 a - 11069585,7 = 0}{a^2 + 49,57 a + 3255,76 = 0} \quad 3400$$

$$a = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - (4 x a x c)}}{2 x a}$$

$$= \frac{-49,57 \pm \sqrt{49,57^2 - (4 x 1 x 3255,76)}}{2 x 1}$$

$$= 37,42 \text{ mm}$$

$$C = \frac{a}{\beta_1} = \frac{37,42}{0,85} = 44,02 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \frac{c - d_s}{c} \times \varepsilon_c$$

$$= \frac{44,02 - 47}{44,02} \times 0,003$$

$$= -0,00020 < 0,001175$$

Baja desak belum leleh, sehingga $f_s = \varepsilon_s \times E_s$

$$f_s = \varepsilon_s \times E_s = 0,00020 \times 200000 = -40$$

$$C_C = 0,85 \times f'_c \times a \times b$$

$$= 0,85 \times 20 \times 37,42 \times 200$$

$$= 127,22 \text{ kN}$$

$$T_S = A_s \times f_s$$

$$= 461,81 \times (-40)$$

$$= -18,47 \text{ kN}$$

$$M_n = C_C \left(h - \frac{a}{2} \right) + T_S (h - d)$$

$$= 127,22 \left(200 - \frac{37,42}{2} \right) + (-18,47 (200 - 47))$$

$$= 20,237 \text{ kNm}$$

$$\Phi M_n = \Phi \times M_n$$

$$= 0,65 \times 20,237$$

$$= 13,154 \text{ kNm}$$

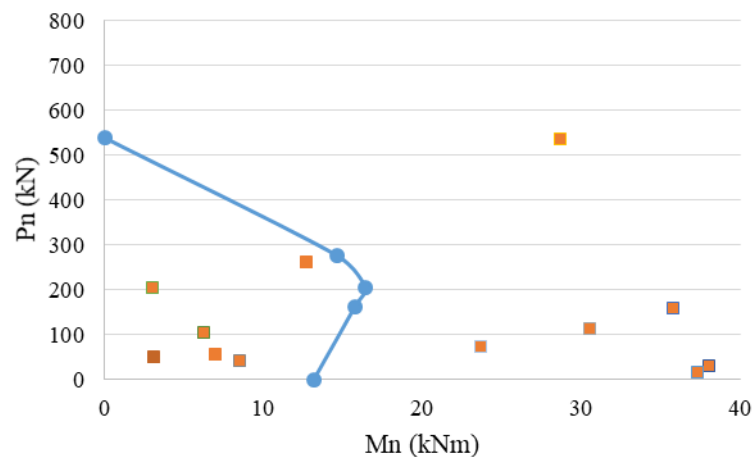
Maka untuk kondisi momen murni didapat $P_n = 0 \text{ kN}$ dan $M_n = 13,154 \text{ kNm}$.

Hasil dari lima kejadian yaitu keadaan eksentris, keadaan seimbang, keadaan momen murni, keadaan patah tarik, dan keadaan patah desak disajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil perhitungan P_n dan M_n dari lima kejadian

No	Kondisi	P_n (kN)	M_n (kNm)
1	Kondisi sentris ($M_n=0$)	538,155	0
2	Patah desak	276,389	14,604
3	Seimbang (<i>balance</i>)	204,123	16,405
4	Patah tarik	162,154	15,746
5	Momen murni ($P_n=0$)	0	13,154

Hasil analisis program SAP2000 didapatkan nilai P terbesar dan M terbesar pada setiap ketinggian banjir lahar dingin. Diagram interaksi antara lima kejadian pada kolom 20 x 20 cm dan hasil *output* dari program SAP2000 disajikan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.4 Diagram interaksi kolom 20 x 20 cm

4.2.2. Perhitungan Beban Bangunan

a. Perhitungan beban atap

Beban atap merupakan beban titik (*point*) yang dibebankan pada kolom bangunan rumah tinggal.

1) Bangunan rumah tinggal 1 lantai

$$\text{Luas bangunan} = 72 \text{ m}^2$$

$$\text{Beban mati} = 200 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Beban hidup} = 100 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Beban mati x luas bangunan} &= 200 \times 9,81 \times 72 \\ &= 141,264 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah kolom} = 15$$

$$\text{Maka, } 141,264 \text{ kN} : 15 = 9,417 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban hidup x luas bangunan} &= 100 \times 9,81 \times 72 \\ &= 70,632 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah kolom} = 15$$

$$\text{Maka, } 70,632 \text{ kN} : 15 = 4,708 \text{ kN}$$

2) Bangunan rumah tinggal 2 lantai

$$\text{Luas bangunan} = 54 \text{ m}^2$$

$$\text{Beban mati} = 200 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Beban hidup} = 100 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Beban mati x luas bangunan} &= 200 \times 9,81 \times 54 \\ &= 105,948 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah kolom} = 12$$

$$\text{Maka, } 105,948 \text{ kN} : 12 = 8,829 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban hidup x luas bangunan} &= 100 \times 9,81 \times 54 \\ &= 52,974 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah kolom} = 12$$

$$\text{Maka, } 52,974 \text{ kN} : 12 = 4,414 \text{ kN}$$

b. Perhitungan beban pada lantai

1) Bangunan rumah tinggal 1 lantai

$$\text{Luas bangunan} = 72 \text{ m}^2$$

$$\text{Beban mati} = 200 \text{ kg/m}^2$$

$$= 1,962 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned}\text{Beban hidup} &= 200 \text{ kg/m}^2 \\ &= 1,962 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

2) Bangunan rumah tinggal 2 lantai

$$\text{Luas bangunan} = 54 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned}\text{Beban mati} &= 200 \text{ kg/m}^2 \\ &= 1,962 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Beban hidup} &= 200 \text{ kg/m}^2 \\ &= 1,962 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

c. Perhitungan tekanan lahar dingin

Massa jenis pasir merapi yang berada di Sungai Putih adalah 1934 kg/m^3

$$\gamma = \rho \times \frac{g}{1000} = 1934 \times \frac{9,81}{1000} = 18,972 \text{ kN/m}^3$$

Maka, berat jenis pasir merapi sebesar $18,972 \text{ kN/m}^3$.

Perhitungan tekanan banjir lahar dingin dibagi menjadi 6 tahap ketinggian sebagai berikut.

1) Tekanan lahar dingin dengan ketinggian 0,5 m

$$\begin{aligned}P &= \frac{1}{2} \times \gamma \times h^2 \\ &= \frac{1}{2} \times 18,972 \times 0,5^2 \\ &= 2,371 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

2) Tekanan lahar dingin dengan ketinggian 1 m

$$\begin{aligned}P &= \frac{1}{2} \times \gamma \times h^2 \\ &= \frac{1}{2} \times 18,972 \times 1^2 \\ &= 9,486 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

3) Tekanan lahar dingin dengan ketinggian 1,5 m

$$\begin{aligned}P &= \frac{1}{2} \times \gamma \times h^2 \\ &= \frac{1}{2} \times 18,972 \times 1,5^2 \\ &= 21,343 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

- 4) Tekanan lahar dingin dengan ketinggian 2 m

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{2} \times \gamma \times h^2 \\ &= \frac{1}{2} \times 18,972 \times 2^2 \\ &= 37,944 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

- 5) Tekanan lahar dingin dengan ketinggian 2,5 m

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{2} \times \gamma \times h^2 \\ &= \frac{1}{2} \times 18,972 \times 2,5^2 \\ &= 59,287 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

- 6) Tekanan lahar dingin dengan ketinggian 3 m

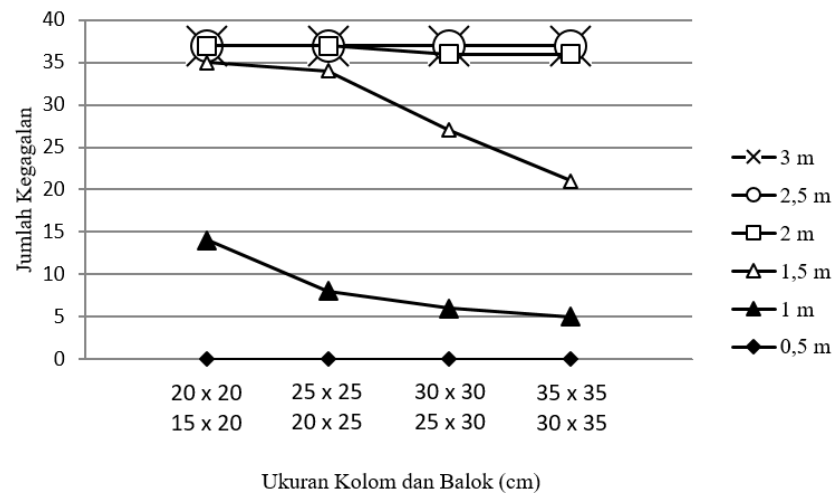
$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{2} \times \gamma \times h^2 \\ &= \frac{1}{2} \times 18,972 \times 3^2 \\ &= 85,374 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

4.2.3. Kegagalan Struktur Bangunan Rumah Tinggal

Hasil dari analisis struktur bangunan rumah tinggal menggunakan program SAP2000 versi 21 menunjukkan jumlah kegagalan elemen struktur. Kegagalan struktur pada bangunan rumah tinggal 1 lantai dan 2 lantai diakibatkan karena rasio kapasitas melebihi batas maksimum yang diizinkan. Kegagalan elemen struktur bangunan rumah tinggal 1 lantai dan bangunan rumah tinggal 2 lantai sebagai berikut.

- a. Kegagalan struktur bangunan rumah tinggal 1 lantai

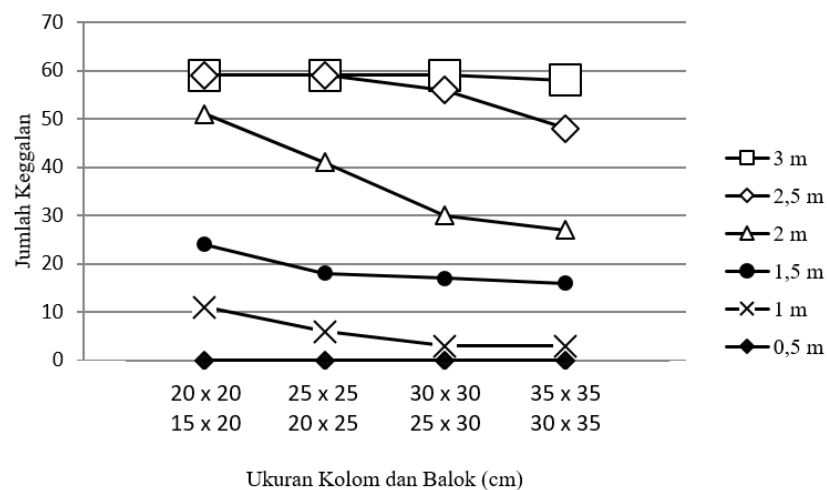
Model bangunan rumah tinggal satu lantai dalam penelitian ini berukuran 12 x 6 m. Luas bangunan rumah tinggal tersebut yaitu 72 m². Jumlah total elemen pada struktur bangunan ini sebanyak 37. Jumlah kegagalan struktur bangunan rumah tinggal satu lantai dari hasil analisis menggunakan program SAP2000 ditampilkan dalam grafik pada Gambar 4.9.



Gambar 4.5 Grafik kegagalan struktur bangunan rumah tinggal 1 lantai

b. Kegagalan struktur bangunan rumah tinggal 2 lantai

Model bangunan rumah tinggal dua lantai dalam penelitian ini berukuran 9 x 6 m. Bangunan rumah tinggal tersebut memiliki luas 54 m². Jumlah total elemen pada struktur bangunan ini sebanyak 59. Berdasarkan analisis program SAP2000, jumlah kegagalan struktur bangunan rumah tinggal dua lantai ditampilkan dalam grafik pada Gambar 4.11.



Gambar 4.6 Grafik kegagalan struktur bangunan rumah tinggal 2 lantai

Grafik kegagalan elemen struktur bangunan rumah tinggal 1 lantai dan 2 lantai menunjukkan jumlah kegagalan elemen struktur berdasarkan empat ukuran balok dan kolom. Ukuran balok dan kolom serta ketinggian lahar dingin

berpengaruh terhadap banyaknya kegagalan elemen struktur. Hal ini menunjukkan jika ukuran balok dan kolom diperbesar maka semakin berkurang jumlah kegagalan strukturnya. Grafik tersebut juga menunjukkan jika banjir lahar dingin semakin tinggi maka jumlah kegagalan elemen strukturnya semakin bertambah.

Solusi dalam mengatasi kegagalan elemen struktur yaitu memperkuat dinding bangunan rumah tinggal dengan menambahkan penyangga kawat. Penyangga kawat tersebut dipasang menyilang pada dinding antar kolom untuk meningkatkan ketahanan struktur batako. Solusi lainnya yaitu meningkatkan kualitas material penyusun dinding yaitu dengan mengganti bata beton (batako) menjadi beton ringan.