

Analisis Struktur Bangunan Rumah Tinggal di Desa Jumoyo yang Berisiko Terhadap Banjir Lahar Dingin Gunung Merapi

Analysis of Residential Low-Rise Buildings Structure in Jumoyo Village Under Lahar Flood Risk from Mount Merapi

Sofyan Sahuri Syarif, Taufiq Ilham Maulana

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Abstrak. Desa Jumoyo merupakan daerah rawan bencana yang salah satunya disebabkan oleh banjir lahar dingin. Banjir lahar dingin dari erupsi Gunung Merapi telah menyebabkan kerusakan bangunan pada pemukiman penduduk, infrastruktur, dan lahan pertanian. Hal ini juga mengakibatkan peningkatan resiko pada keselamatan nyawa manusia yang tinggal di bangunan. Oleh karena itu, bangunan rumah harus mampu memberikan rasa aman bagi penghuninya. Penelitian ini membahas tentang analisis ketahanan bangunan rumah tinggal terhadap banjir lahar dingin yang disusun dalam dua tahapan. Tahap pertama, bangunan rumah tinggal dan penghuninya dianalisa dengan berdasarkan elevasi dari garis kontur dengan menggunakan *software* QGIS yang bersifat *open source* dan *user friendly*. Bangunan yang dianalisa berupa bangunan rumah tinggal 1 lantai dan 2 lantai. Berdasarkan hasil survei, penghuni bangunan 1 lantai diasumsikan sebanyak 4 orang untuk bangunan $< 72 \text{ m}^2$, 8 orang untuk bangunan $\geq 72 \text{ m}^2$, dan 6 orang untuk bangunan 2 lantai. Tahap kedua, bangunan rumah tinggal dianalisa kegagalan elemen strukturnya terhadap tekanan banjir lahar dingin dengan menggunakan *software* SAP2000. Hasil dari tahap kedua didapatkan jumlah bangunan dan penghuninya yang beresiko. Jumlah bangunan yang beresiko sebanyak 103 dan jumlah penghuni bangunan diperkirakan sebanyak 664 orang. Tahap kedua didapatkan grafik jumlah kegagalan elemen struktur bangunan rumah tinggal 1 lantai dan 2 lantai yang ditentukan oleh ukuran kolom dan balok, seta tinggi tekanan banjir lahar dingin.

Kata kunci: bangunan rumah tinggal, banjir lahar dingin, Desa Jumoyo, kegagalan struktur

Abstract. *Jumoyo Village is prone disaster area which caused by lahar flood. Lahar flood material from Merapi mountain eruption damaged many house in inhabitan residents, infrastructure, and farms. This disaster also threaten the lives of people who live in the building. Becasue of that, the building must give the safe feeling for the resident. This research will analyze about the endurance of resident building against lahar flood which consist of two step. First step is to analyze the building residence and inhabistans based on elevation from contur line use QGIS software, which is open source and user friendly. The building which will analyze is first floor and second floor building residence. Based on survey result, Inhabitans of fisrt floor building is as assumed about 4 people for building $< 72 \text{ m}^2$, 8 people for building $\geq 72 \text{ m}^2$, and 6 people for second floor building. Second step is to analyze the structur building residence failure toward pressure from lahar flood using SAP2000. From the second step is get result about the number of buildings and inhabitans, that can affected. The number of the building that can be affected is moe less about 103, and the number of inhabitant is more less about 664 people. The second step is get result about the number graph of building structure failure in fisrt floor and second floor building which caused by the size of coloumn and bar, and also the pressure from lahar.*

Key words: building resident, Jumyo Village, lahar flood, structure failure

1. Pendahuluan

Secara geografis, Kabupaten Magelang merupakan daerah rawan bencana yang salah satunya disebabkan oleh banjir lahar dingin. Banjir lahar dingin dari erupsi Gunung Merapi pada tahun 2010 telah menyebabkan kerusakan bangunan pada permukiman

penduduk, infrastruktur, dan lahan pertanian. Keruntuhan bangunan rumah tinggal yang diakibatkan oleh bencana banjir lahar dingin cukup besar. Oleh karena itu, bangunan rumah tinggal harus direncanakan untuk dapat memberikan rasa aman. Penelitian ini membahas tentang analisis ketahanan

bangunan rumah tinggal terhadap banjir lahar dingin. Penelitian ini melakukan analisis persebaran bangunan rumah tinggal di Desa Jumoyo yang beresiko terhadap banjir lahar dingin. Penelitian ini juga menganalisis kegagalan elemen struktur bangunan rumah tinggal terhadap tekanan banjir lahar dingin.

Beberapa peneliti telah melakukan penelitian tentang aliran banjir, bangunan rumah tinggal, dan kawasan Desa Jumoyo dan sungai Putih. Penelitian-penelitian tersebut sebagai berikut.

Penelitian Tentang Aliran Banjir

Cui, dkk (2015) melakukan analisis eksperimental pada kekuatan dampak aliran debris kental menggunakan miniature *flume*. Percobaan miniatur *flume* dilakukan untuk mengukur kekuatan tekanan aliran debris kental dengan kedalaman aliran 7,2-11,2 cm dan kecepatan 2,4-5,2 m/s. Proses tekanan aliran debris dapat dibagi menjadi tiga fase dengan menganalisis variasi sinyal tekanan dan mengatur aliran. Tiga fase tersebut adalah dampak kuat yang tiba-tiba dari awal aliran debris, tekanan dinamis terus menerus dari tengah dan sedikit tekanan statis pada akhir. Jalayer, dkk (2016) melakukan penelitian mengenai analisis kembali kerusakan bangunan ber dinding batu bata yang disebabkan oleh aliran debris. Tujuan penelitian ini adalah membandingkan pola kerusakan pada bangunan yang disebabkan oleh aliran banjir di lapangan dengan kegagalan struktur menggunakan pemodelan bangunan 2 dimensi. Kondisi bangunan yang dimodelkan berupa pelat lantai, panel dinding ortogonal, pondasi dan bukaan seperti pintu dan jendela. Hasil dari penelitian ini menunjukkan kerusakan pada model bangunan 2D sama dengan kerusakan bangunan di lapangan. Yulinsa (2015) melakukan penelitian tentang analisis garis ular untuk system peringatan aliran lahar yang dilakukan di sungai Putih. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan kriteria sinyal peringatan dini dengan mempertimbangkan karakteristik curah hujan di daerah tangkapan Sungai Putih yang dinyatakan oleh "garis ular" dan untuk mengevaluasi tingkat keberhasilan garis ular sebagai penentu peringatan.

Penelitian Tentang Bangunan Rumah Tinggal

Li, dkk (2017) melakukan penelitian tentang respons dinamik struktur batu bata yang dipengaruhi oleh aliran debris. Penelitian ini bertujuan untuk menyajikan struktur pasangan batu bata dengan resistensi yang kuat terhadap aliran debris dengan menggunakan dinding yang dipasang dengan kawat penjepit, dan diisi dengan batu bata. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kawat yang dipasang menyilang mampu menghentikan batuan dalam aliran debris dan menghilangkan energi yang membuat deformasi. Li, dkk (2018) melanjutkan penelitiannya tentang studi parametrik pada respon dinamis dari Struktur batu bata dengan *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) di bawah dampak aliran debris. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menyelidiki pengaruh parameter yang berbeda dengan kinerja FRP pada struktur batu bata di bawah aliran debris menggunakan model elemen hingga dengan menggunakan perangkat lunak LS-DYNA. Zeng, dkk (2014) melakukan penelitian tentang kegagalan kolom beton bertulang akibat aliran debris. Tujuan penelitian ini adalah untuk memperkirakan kecepatan kritis aliran debris ketika kolom terkena aliran debris dan partikelnya menggunakan teori material dan mekanik struktural. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis aliran debris, ukuran partikel dalam aliran, dan lokasi mempengaruhi kondisi kritis. Pratama dan Elvira (2013) melakukan penelitian tentang analisis kegagalan struktur bangunan rumah tinggal dengan metode elemen hingga linear. Tujuan dari penelitian ini adalah membuat model rumah tinggal dua lantai secara 3D (bangunan *eksisting*) dengan metode elemen hingga. Analisis dibuat dengan pemodelan dua dimensi (elemen *shell*). Pemodelan rumah tinggal meliputi balok, kolom, pelat lantai, dinding bata, kusen dan tulangan balok. Beban yang direncanakan adalah beban gravitasi dan beban lateral (gempa). Hasil yang diperoleh adalah terjadi kegagalan pada beberapa daerah balok, dinding, dan lantai, dengan indikasi dari besarnya tegangan yang terjadi telah melebihi batasan kuat tekan beton.

Penelitian Tentang Kawasan Desa Jumoyo dan Sungai Putih

Kumalawati. dkk (2013) melakukan penelitian tentang evaluasi pengembangan wilayah permukiman berdasarkan pemetaan kerusakan permukiman akibat banjir lahar di kali Putih, Penelitian ini bertujuan untuk melakukan penilaian tingkat kerusakan permukiman yang terkena banjir lahar, menganalisis tingkat kerusakan permukiman akibat banjir lahar di daerah penelitian, dan menganalisis pengalokasian ruang pembangunan pemukiman berbasis tingkat kerusakan permukiman pasca banjir lahar. Metode yang digunakan adalah *GPS Tracking* untuk mengetahui luapan banjir lahar dan klasifikasi tingkat kerusakan permukiman berdasar kriteria yang telah ditetapkan. Kumalawati dkk. (2013) melanjutkan penelitiannya tentang valuasi ekonomi tingkat kerusakan bangunan permukiman akibat banjir lahar di kali Putih. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi zonasi daerah yang terkena banjir lahar dingin dan jumlah rumah yang rusak, serta membuat penilaian ekonomi kerusakan bangunan akibat banjir lahar dingin. Penelitian dilakukan dengan melakukan survei fisik yaitu berdasarkan meluapnya aliran di kali Putih dan administratif zonasi yang berdasarkan pada tiap kecamatan dengan mengambil sampel yang diwakili oleh responden dengan melakukan *Focus Group Discussion* (FGD). Saputra (2013) melakukan penelitian tentang evaluasi sistem mitigasi bencana terhadap aliran lahar sungai Putih. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kapasitas sistem mitigasi bencana bagi penambang pasir di Sungai Putih yang melakukan evakuasi sendiri. Evaluasi dilakukan terhadap sistem mitigasi struktural (sabo dam) dan non-struktural (sistem peringatan dini, konseling, dan evakuasi).

2. Metode Penelitian

Penelitian ini disusun dalam dua tahapan utama. Tahap pertama, bangunan rumah tinggal di Desa Jumoyo dianalisis situasi dan kondisinya berdasarkan peta satelit *Google Earth* dan peta Rupa Bumi Indonesia. Analisis ini diproses dalam program komputer yang berbasis *Geographic Information System* (GIS), dengan menggunakan *software*

Quantum GIS. *Quantum GIS* (QGIS) merupakan *software* digitasi untuk data spasial keruangan yang bersifat *open source* dan *user friendly*. Tahap kedua, bangunan rumah tinggal yang beresiko dianalisis kegagalan strukturnya terhadap tekanan banjir lahar dingin dengan menggunakan *software* SAP2000 versi 21.

3. Pengumpulan Data dan Analisis

Banjir Lahar Dingin

Lahar dingin atau lahar hujan adalah lahar yang terjadi apabila endapan material lepas hasil erupsi gunung api yang diendapkan pada puncak dan lereng, terangkat oleh hujan atau air permukaan (Kumalawati 2015).

Bangunan Rumah Tinggal

Menurut Undang-Undang Nomor 1 Tahun 2011, rumah adalah bangunan gedung yang berfungsi sebagai tempat tinggal yang layak huni, sarana pembinaan keluarga, cerminan harkat dan martabat penghuninya, serta aset bagi pemiliknya. Penelitian ini menggunakan dua model bangunan rumah tinggal yaitu bangunan 1 lantai dan 2 lantai. Bangunan rumah tinggal 1 lantai berukuran 6 x 12 meter dengan jarak antar kolom selebar 3 meter dan tinggi kolom 3 meter. Bangunan rumah tinggal 2 lantai berukuran 6 x 9 meter dengan jarak antar kolom selebar 3 meter dan tinggi antar kolom 3 meter.

Bangunan rumah tinggal memiliki beberapa jenis elemen yang sering digunakan, diantaranya adalah pelat lantai, balok, kolom, dinding dan pondasi. Balok adalah elemen horizontal ataupun miring yang panjang dengan ukuran lebar serta tinggi yang terbatas. Balok berfungsi untuk menyalurkan beban dari pelat (Setiawan, 2016). Kolom adalah salah satu komponen struktur vertikal yang secara khusus difungsikan untuk memikul beban aksial. Kolom memikul beban vertikal yang berasal dari pelat lantai atau atap dan disalurkan ke pondasi (Setiawan, 2016).

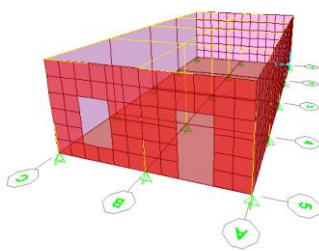
Bangunan rumah tinggal 1 lantai dan 2 lantai memiliki ukuran kolom dan balok yang sama. Kolom dan balok bangunan rumah tinggal diasumsikan dalam empat ukuran yang disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1 Data ukuran kolom dan balok

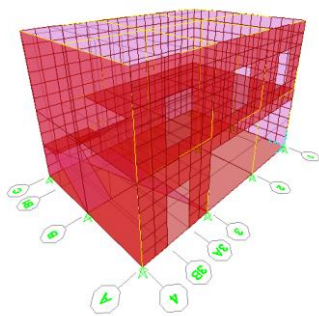
No.	Dimensi Kolom	Dimensi Balok
1.	20 x 20 cm	15 x 20 cm
2.	25 x 25 cm	20 x 25 cm
3.	30 x 30 cm	25 x 30 cm
4.	35 x 35 cm	30 x 35 cm

Tulangan yang digunakan berdasarkan SNI 2052 2014 dengan menggunakan tulangan BjTP 24 yang memiliki tegangan leleh minimum (f_y) sebesar 235 Mpa dan tegangan putus minimum (f_u) sebesar 380 MPa, sedangkan mutu beton (f'_c) yang digunakan sebesar 20 MPa. Bangunan rumah tinggal 1 lantai menggunakan tulangan utama D12 mm dan sengkang D10 mm, sedangkan bangunan 2 lantai menggunakan tulangan utama D16 mm dan sengkang D10 mm.

Dinding pada bangunan rumah tinggal menggunakan pasangan jenis bata beton (batako) yang memiliki tebal 15 cm. Bata beton yang digunakan berdasarkan SNI 03-0349-1989 yang merupakan bata beton kelas III yang memiliki kuat tekan (f'_c) 40 kg/cm² atau setara dengan 3,922 MPa. Dinding bangunan diasumsikan menyatu dengan balok dan kolom, sehingga penelitian ini hanya melakukan analisis pada struktur balok dan kolom.



(a)



(b)

Gambar 1 Bangunan rumah tinggal
(a) 1 lantai, (b) 2 lantai.

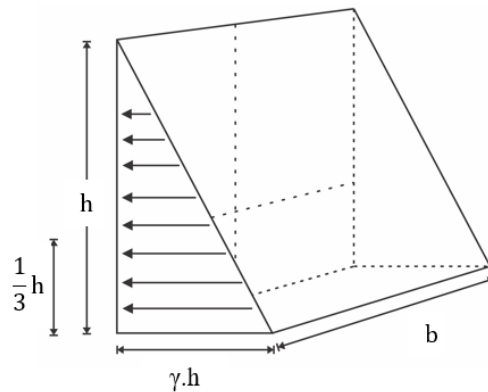
Beban Bangunan

Beban adalah gaya luar yang bekerja pada suatu struktur bangunan. Beban yang diaplikasikan pada model bangunan rumah tinggal berdasarkan SNI 1727-2013 tentang beban minimum untuk perancangan gedung dan struktur lain yang meliputi beban mati dan beban hidup. Beban mati adalah berat dari semua bagian dari suatu bangunan yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, yang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari bangunan itu. Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu bangunan, dan ke dalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut.

Penelitian ini menggunakan SNI 1727-2013 tentang beban minimum untuk perancangan gedung dan struktur lain yang digunakan sebagai pedoman untuk menentukan besar asumsi beban pada bangunan. Beban atap bangunan rumah tinggal diasumsikan sebesar 200 kg/m² dan beban hidup sebesar 100 kg/m², sedangkan beban mati untuk lantai sebesar 200 kg/m² dan beban hidup pada lantai sebesar 200 kg/m².

Tekanan Lahar Dingin

Akibat dorongan material lahar dingin pada struktur bangunan maka akan mendapat tekanan berupa tekanan lateral. Besar tekanan ini di definisikan sebagai gaya tiap satuan luas. Tekanan lahar dingin pada bidang vertikal diasumsikan sama dengan sebuah bangun prisma segitiga yang dibentuk oleh volume tekanan.



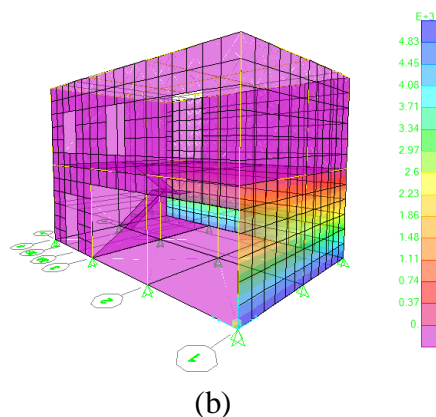
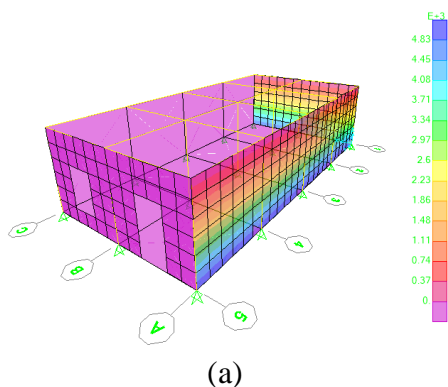
Gambar 2 Tekanan membentuk bangun prisma segitiga

Beban lahar dingin diasumsikan sama dengan tekanan pada zat cair dan zat padat, karena material lahar dingin didominasi oleh campuran air dan pasir. Beban lahar dingin ini sebagai beban statis sehingga kecepatan aliran banjir lahar dingin diabaikan. Beban lahar dingin sesuai dengan bobot isi pasir dari merapi yang berada di Sungai Putih. Menurut data dari penelitian yang telah dilakukan oleh Endroyo (2007), bobot isi pasir merapi yang terdapat di sungai Putih pada rerata musim penghujan sebesar 1934 gr/dm^3 . Ketinggian tekanan banjir lahar dingin diasumsikan dalam 6 tahap ketinggian seperti pada Tabel 2.

Tabel 2 Ketinggian banjir lahar dingin.

Tahap	Ketinggian (m)
1	0,5
2	1
3	1,5
4	2
5	2,5
6	3

Besar tekanan banjir lahar dingin pada model bangunan rumah tinggal 1 lantai dan 2 lantai.



Gambar 3 Tekanan banjir lahar dingin 3 m pada bangunan rumah tinggal (a) 1 lantai, (b) 2 lantai.

Kombinasi Beban

Kombinasi pembebanan (*load combination*) merupakan kombinasi dari beberapa beban yang dapat bekerja secara bersamaan. Kombinasi pembebanan ini disebabkan oleh bekerjanya beban mati, beban hidup, dan beban lahar dingin. Nilai-nilai tersebut dikalikan dengan suatu factor yang disebut faktor beban, tujuannya agar struktur dan komponennya memenuhi syarat kekuatan dan layak pakai terhadap berbagai kombinasi beban. Beban bangunan rumah tinggal dalam penelitian ini didefinisikan sebagai beban mati (D), beban hidup (L), dan beban lahar dingin (S). Komponen pembebanan pada struktur dapat dikombinasikan sebagai berikut:

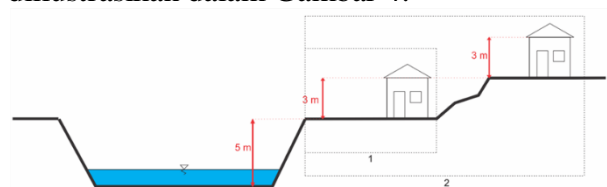
- 1,4D
- 1,2D + 1,6S
- 1D + 1L + 1S

4. Hasil dan Pembahasan

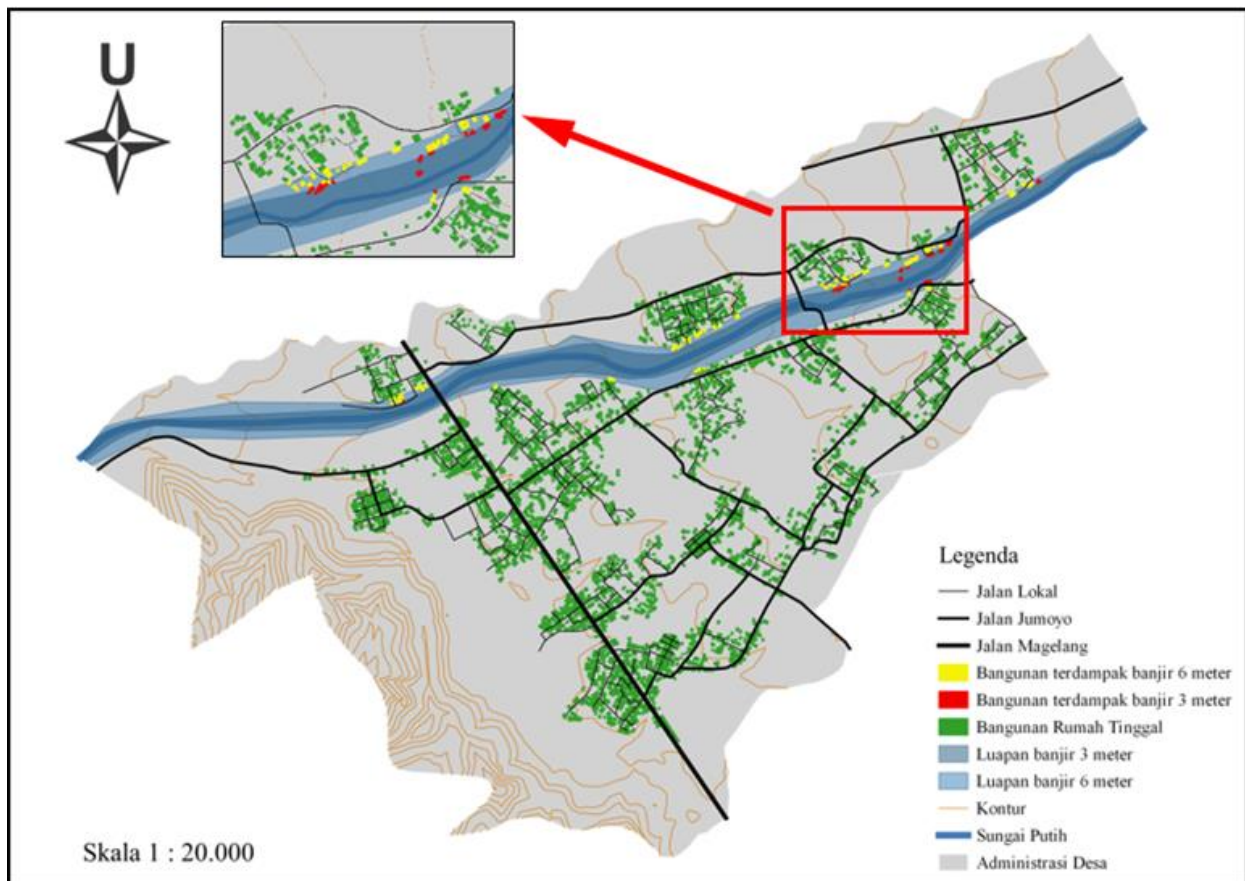
Resiko Bangunan Rumah Tinggal Terhadap Banjir Lahar Dingin

Hasil dari pemodelan peta Desa Jumoyo berdasarkan elevasi dari garis kontur dapat diketahui banyaknya bangunan rumah tinggal yang beresiko terkena banjir lahar dingin. Bangunan yang beresiko terkena banjir berada di sepanjang bantaran sungai Putih yang disajikan pada Gambar 5.

Banjir lahar dingin berdasarkan elevasi garis kontur dalam peta yang telah dibuat menggunakan program QGIS terdapat dua tahap ketinggian 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.



Gambar 4 Resiko bangunan di bantaran sungai



Gambar 5 Peta bangunan rumah tinggal yang beresiko terdampak banjir lahar dingin

Berdasarkan Gambar 4, 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.

Berdasarkan hasil survei, jumlah orang yang tinggal dalam satu bangunan rumah tinggal 1 lantai dibedakan berdasarkan jumlah keluarga yang tinggal di bangunan dan berdasarkan luas bangunan tersebut. 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 dengan jumlah penghuni 8 orang memiliki luas bangunan $\geq 72 \text{ m}^2$. Bangunan rumah tinggal 2 lantai tidak dibedakan berdasarkan jumlah keluarga ataupun luas bangunan. Bangunan rumah tinggal 2 lantai dihuni oleh satu keluarga yang terdiri dari 6 orang.

Hasil dari pemodelan peta Desa Jumoyo berdasarkan elevasi dari garis kontur dapat diketahui jumlah bangunan rumah tinggal yang beresiko terkena banjir lahar dingin. Jumlah bangunan rumah tinggal yang beresiko dan jumlah penghuni bangunan yang beresiko disajikan dalam Tabel 3 dan Tabel 4. Bangunan rumah tinggal yang beresiko terdampak banjir lahar dingin dengan ketinggian 3 meter sebanyak 21 rumah, sedangkan bangunan yang beresiko terdampak banjir dengan ketinggian 6 meter sebanyak 103 rumah. Jumlah penghuni bangunan rumah tinggal yang beresiko terdampak banjir lahar dingin pada ketinggian 3 meter diperkirakan sebanyak 116 orang, sedangkan jumlah penghuni bangunan yang beresiko terdampak banjir dengan ketinggian 6 meter diperkirakan sebanyak 664 orang.

Tabel 3 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

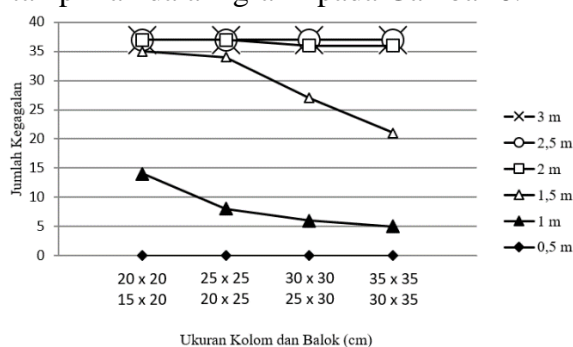
Tabel 4 Jumlah penghuni yang beresiko terdampak banjir lahar dingin

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

Analisis 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.

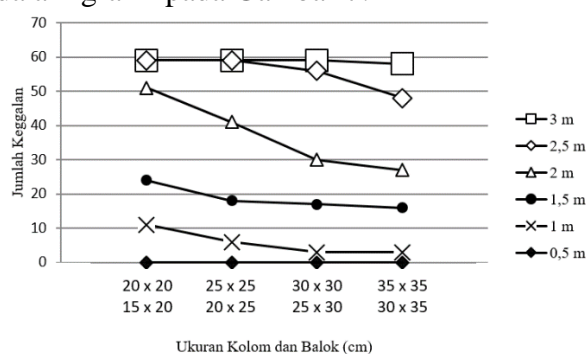
Bangunan rumah tinggal 1 lantai dalam penelitian ini berukuran 12 x 6 m. Luas bangunan rumah tinggal tersebut yaitu 72 m². Jumlah total elemen pada struktur bangunan ini sebanyak 37. Jumlah kegagalan struktur bangunan rumah tinggal 1 lantai dari hasil analisis menggunakan program SAP2000 ditampilkan dalam grafik pada Gambar 6.



Gambar 6 Grafik kegagalan struktur bangunan rumah tinggal 1 lantai

Bangunan rumah tinggal 2 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 2 lantai ditampilkan dalam grafik pada Gambar 7.



Gambar 7 Grafik kegagalan struktur bangunan rumah tinggal 2 lantai

Grafik kegagalan elemen struktur bangunan rumah tinggal 1 lantai dan 2 lantai menunjukkan jumlah kegagalanelemen 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 sedikit 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 lainya yaitu meningkatkan kualitas material penyusun

dinding yaitu dengan mengganti bata beton (batako) menjadi beton ringan.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dapat disimpulkan bahwa :

- a. Bangunan rumah tinggal yang beresiko terdampak banjir lahar dingin pada ketinggian 3 m sebanyak 21 rumah dengan jumlah penghuni sebanyak 116 orang. Bangunan rumah tinggal yang beresiko terdampak banjir lahar dingin pada ketinggian 6 m sebanyak 103 rumah dengan jumlah penghuni sebanyak 664 orang.
- b. Jumlah kegagalan struktur pada bangunan rumah tinggal 1 lantai ataupun 2 lantai tergantung ukuran balok dan kolom serta ketinggian banjir lahar dingin. Ukuran balok dan kolom yang semakin besar dengan ketinggian banjir yang rendah maka jumlah kegagalan strukturnya semakin berkurang. Kegagalan struktur paling sedikit yaitu pada bangunan rumah tinggal dengan ketinggian banjir lahar dingin 0,5 meter, sedangkan kegagalan struktur paling banyak yaitu pada ketinggian banjir lahar dingin 3 meter.

6. Daftar Pustaka

- BSN. 2014. SNI 2052:2014: Baja tulangan beton. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- BSN. 1989. SNI 03-0349-1989: Bata Beton Untuk Pasangan Dinding. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- BSN. 2013. SNI 1727-2013: Beban Minimum Untuk Perancangan Gedung Dan Struktur Lain. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Cui, Peng, Zeng, Chao, dan Lei, Yu. 2015. Experimental Analysis on the Impact Force of Viscous Debris Flow. *Earth Surface Processes and Landforms*, 40. 12. 1644–1655.
- Endroyo, Bambang. 2007. Kualitas Pasir Muntilan (Jawa Tengah) Ditinjau dari Tempat Pengambilan dan Musim Pengambilan. *Wahana Teknik Sipil*, 12. 1. 1-8.
- Jalayer, F. Aronica, G.T. Recupero, A. Carozza, S. dan Manfredi, G. 2016. Debris Flow Damage Incurred To Buildings: An In Situ Back Analysis. *Journal of Flood Risk Management*, 11. 2. 646-662.
- Kumalawati, Rosalina. Rijal, Seftiawan Samsu. Rijanta. Sartohadi, Jujun. dan Pradipto, Rimawan. 2013. Evaluasi Pengembangan Wilayah Permukiman Berdasarkan Pemetaan Kerusakan Permukiman Akibat Banjir Lahar di Kali Putih, Kabupaten Magelang. *Tataloka*, 15. 1. 13-27.
- Kumalawati, Rosalina. Rijanta, R. Sartohadi, Junun. Pradipto, Rimawan. dan Rijal, Seftiawan Samsu. 2013. Valuasi Ekonomi Tingkat Kerusakan Bangunan Permukiman Akibat Banjir Lahar Di Kali Putih Kabupaten Magelang. *Jurnal Bumi Lestari*, 13. 2. 341-354.
- Kumalawati, Rosalina. 2015. Pengelolaan Bencana Lahar Gunung Api Merapi. Yogyakarta: Penerbit Ombak.
- Li, Peizhen. Li, Tangzhenhao. Lu, Zheng. dan Li, Jin. 2017. Study on Dynamic Response of Novel Masonry Structures Impacted by Debris Flow. *Journal Sustainability*, 9. 7. 1-22.
- Li, Peizhen. Li, Tangzhenhao. Lu, Zheng. dan Li, Jin. 2018. Parametric Study on Dynamic Response of FRP Masonry Structures under the Impacts of Debris Flow. *Hindawi Shock and Vibration*, 10. 1155. 1-20.
- Pranata, Yosafat Aji dan Elvira, Leny. 2013. Analisis Kegagalan Struktur Bangunan Rumah Tinggal Dengan Metode Elemen Hingga Linier. *Jurnal Teknik Sipil*, 12. 3. 161-172.
- Saputra, T. Maksimal. 2013. Evaluation of Disaster Mitigation System Against Lahar Flow of Putih River, Mt. Merapi Area. *Civil Engineering Forum*, 22. 3. 1423-1431.
- Setiawan, Agus. 2016. Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasar SNI 287:2013. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2011 tentang Perumahan dan Kawasan Permukiman.
- Widowati, Adi Putri Anisa. 2017. Hydraulic and Hydrologic Modeling of Steep Channel of Putih River, Magelang District, Central Java Province,

- Indonesia. *Civil Engineering Forum*, 3. 3. 125-134.
- Yulinsa, Nina. 2015. Snake Line Analysis for Lahar Flow Warning System (Case Study in Putih River, Mount Merapi). *Civil Engineering Forum*, 1. 1. 37-42.
- Zeng, Chao. Cui, Peng. Su, Zhiman. Lei, Yu. dan Chen, Rong. 2014. Failure Modes of Reinforced Concrete Columns of Buildings Under Debris Flow Impact. *Landslides*, 12. 3. 561–571.