

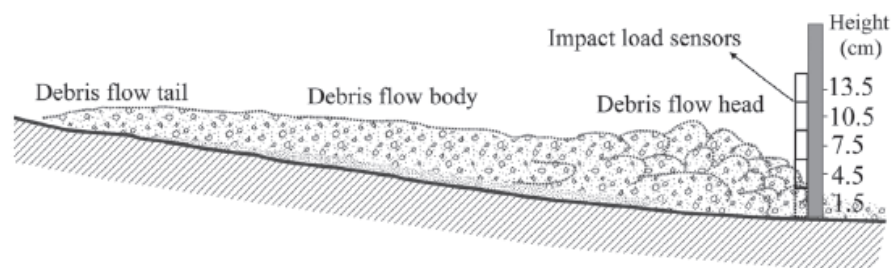
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

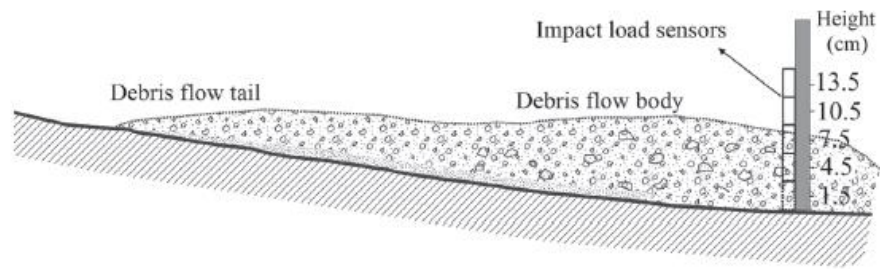
#### 2.1. Tinjauan Pustaka

##### 2.1.1. Penelitian Terdahulu tentang Banjir Lahar Dingin

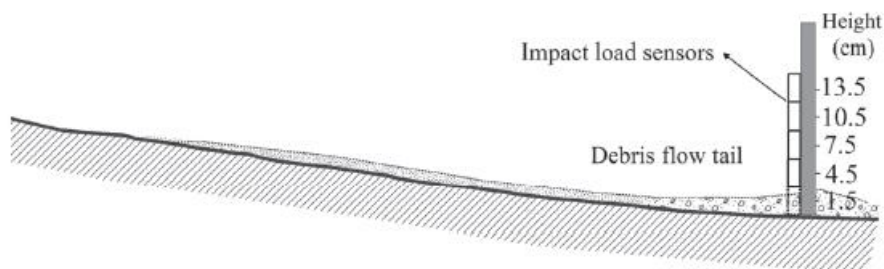
Cui. dkk (2015) melakukan analisis eksperimental pada kekuatan dampak aliran debris kental. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa kuat tekanan aliran debris dengan melakukan eksperimen menggunakan miniatur *flume*. Percobaan miniatur *flume* dilakukan untuk mengukur kekuatan tekanan aliran debris kental. Kedalaman aliran 7,2-11,2 cm, kecepatan 2,4-5,2 m/s dan kuat tekanan dicatat selama percobaan. 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. Bagian awal memiliki tekanan yang kuat dan cepat, yang ditunjukkan sebagai aliran jenis turbulen, bagian tengah mendekati aliran laminar yang stabil. Dengan demikian, proses aliran debris yang menekan struktur disederhanakan menjadi bentuk segitiga, mengabaikan tekanan akhir. Untuk mempelajari distribusi gaya dari dampak aliran debris pada kedalaman yang berbeda dan variasi dari proses dampak dari waktu ke waktu, menggunakan analisis *wavelet*. Sinyal tekanan dinamis pada aliran tampak seperti kurva halus, dan tekanan puncak adalah 12–34 kPa ketika aliran awal menghantam sensor, yaitu sekitar  $1,54 \pm 0,36$  kali, tekanan dinamis terus menerus dari aliran debris bagian tengah. Penelitian ini memperkenalkan hubungan fungsi kekuatan  $\alpha$  dan jumlah bilangan *froude* aliran debris, dan mengusulkan model universal untuk menghitung tekanan dinamis.



Gambar 2.1 Tekanan cepat dan kuat pada bagian awal aliran debris (Cui, 2015)



Gambar 2.2 Tekanan konstan pada bagian tengah aliran debris (Cui, 2015)

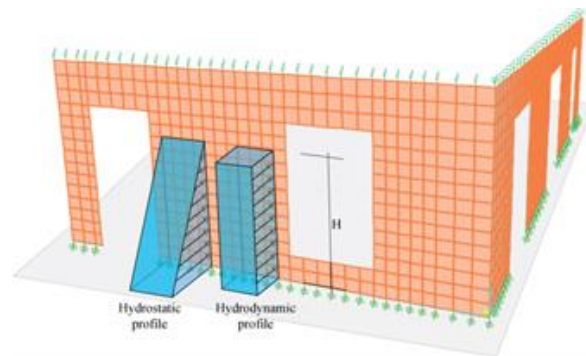


Gambar 2.3 Tekanan statis pada bagian akhir aliran debris (Cui, 2015)

Hasil penelitian ini didapatkan tekanan dari partikel yang memiliki karakteristik keacakan. Frekuensi rata-rata partikel besar yang mempengaruhi sensor adalah  $210 \pm 50$ – $287 \pm 29$  kali per detik, dan  $336 \pm 114$ – $490 \pm 69$  kali per detik untuk awal aliran debris, yang lebih besar dari pada bagian tengah aliran debris. Dampak puncak tekanan partikel pada kedalaman aliran yang berbeda adalah 40-160 kPa, yang merupakan  $3,2 \pm 1,5$  kali tekanan dampak dari lumpur di bagian bawah aliran,  $3,1 \pm 0,9$  kali aliran di tengah, dan  $3,3 \pm 0,9$  kali aliran di permukaan. Perbedaan dalam frekuensi dampak menunjukkan bahwa sebagian besar partikel besar berkonsentrasi di awal aliran debris, dan jumlah partikel di awal aliran debris meningkat dengan ketinggian. Penelitian ini mendukung studi mekanisme aliran dua fase yaitu padat dan cair, dan membantu desain rekayasa dan penilaian risiko di daerah rawan aliran debris.

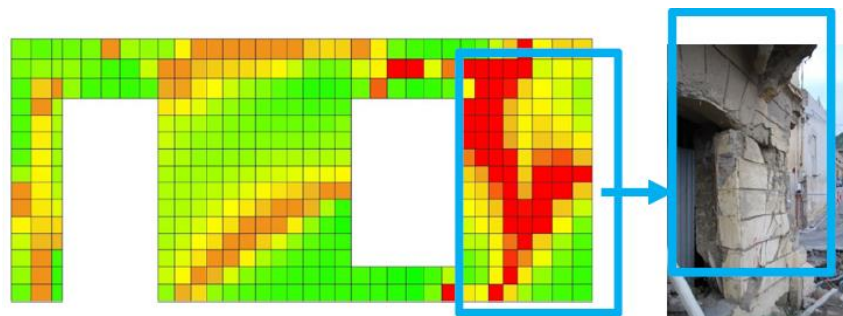
Jalayer. dkk (2016) melakukan penelitian mengenai analisis kembali kerusakan bangunan ber dinding batu yang disebabkan oleh banjir bandang/aliran debris. Tujuan penelitian ini adalah membandingkan pola kerusakan pada bangunan yang disebabkan oleh aliran banjir di lapangan dengan kegagalan struktur menggunakan pemodelan bangunan 2 dimensi. Penelitian ini menggunakan hidrograf debit banjir yang diasumsikan dalam kondisi yang tidak

diukur. Hidrograf digunakan untuk memperkirakan debit aliran dengan meningkatkan volume aliran ke volume aliran yang telah ditentukan. Difusi aliran debris disimulasikan dengan menyelesaikan persamaan diferensial untuk fase tunggal dua dimensi (2D) aliran yang menggunakan elemen *triangular mesh*, juga dengan mempertimbangkan penyaluran aliran melalui bangunan. Kerusakan pada bangunan dimodelkan menggunakan elemen *shell 2D* dan didasarkan pada tekanan aliran maksimum yang disebabkan oleh aliran debris.



Gambar 2.4 Komponen gaya hidrostatis dan hidrodinamik di dinding  
(Jalayer, 2016)

Kondisi bangunan yang dimodelkan berupa pelat lantai, panel dinding ortogonal, pondasi dan bukaan seperti pintu dan jendela. Banjir bandang menerjang sisi depan bangunan dan sisi kanan bangunan yang mengakibatkan kerusakan. Hasil dari penelitian ini menunjukkan kerusakan pada model bangunan 2D sama dengan kerusakan bangunan di lapangan. Kerusakan bangunan terletak pada bagian dinding bangunan sebelah utara dan dinding bangunan sebelah timur.

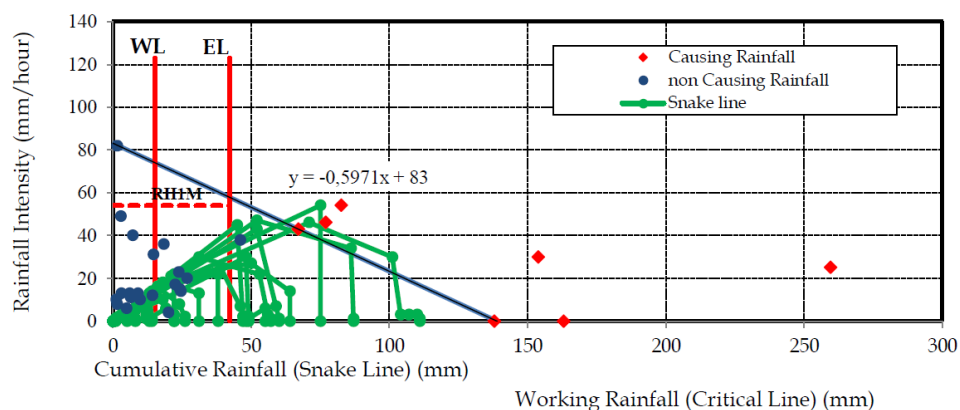


Gambar 2.5 Perbandingan antara hasil analisis dan kerusakan dinding timur  
(Jalayer, 2016)



Gambar 2.6 Perbandingan antara hasil analisis dan kerusakan dinding utara  
(Jalayer, 2016)

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 mempengaruhi terjadinya aliran lahar yang dinyatakan oleh “garis ular” dan untuk mengevaluasi tingkat keberhasilan garis ular sebagai penentu peringatan. Studi ini menggunakan referensi utama dari Pedoman Pengembangan Sistem Peringatan dan Evakuasi terhadap Bencana Sedimen di Negara Berkembang yang dirilis oleh Kementerian Pertanian, Infrastruktur dan Institut Pengembangan Infrastruktur Transportasi di Jepang. Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu pengumpulan data sekunder dalam bentuk data curah hujan, data kejadian aliran lahar, membuat grafik korelasi antara intensitas curah hujan dan curah hujan rencana, penentuan garis kritis, garis peringatan dan garis evakuasi.

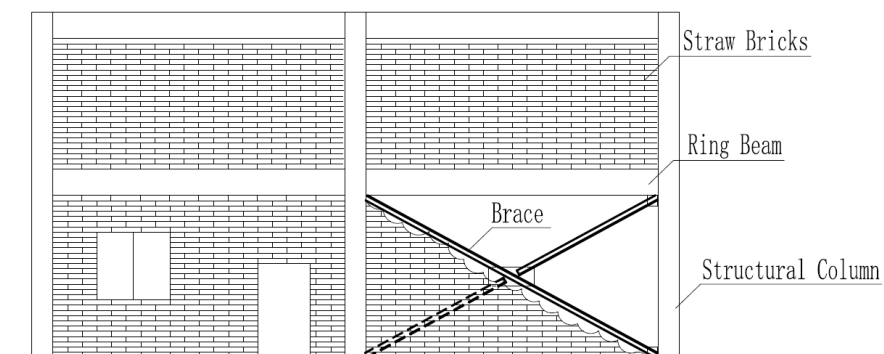


Gambar 2.7 Karakteristik garis ular di Sungai Putih (Yulinsa, 2015)

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa curah hujan standar untuk peringatan dan peringatan evakuasi di Sungai Putih adalah 22 mm dan 49 mm. Keakuratan kriteria peringatan dan kriteria evakuasi terhadap garis ular untuk garis peringatan adalah 30%, garis evakuasi adalah 61% dan garis kritis adalah 83%. Perilaku garis ular yang mengindikasikan terjadinya aliran lahar di Sungai Putih membentuk sudut  $40^\circ$  hingga  $45^\circ$ .

### 2.1.2. Penelitian Terdahulu tentang Struktur 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 merah. Struktur ini dirancang sesuai dengan konsep keberlanjutan. Untuk mempelajari respon dinamik dari struktur batu bata di bawah aliran *debris*, model elemen hingga dari struktur batu bata yang berbeda dibuat dengan menggunakan perangkat lunak LS-DYNA. Struktur batu bata ini dihitung dan dibandingkan ketika batuan dari aliran debris menyentuh bagian tengah dinding.

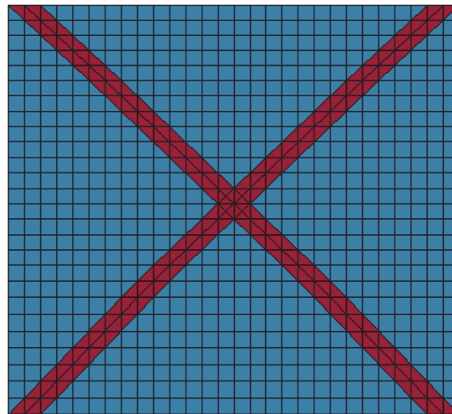


Gambar 2.8 Rencana konseptual struktur batu bata baru (Li, 2017)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekakuan di luar dinding yang terkena dampak dari penyangga silang telah meningkatkan ketahanan struktur batu bata tersebut, yang mengarah ke peningkatan resistensi terhadap dampak aliran debris secara lebih efektif. Selanjutnya, kawat mampu menghentikan batuan dalam aliran debris dan menghilangkan energi yang membuat deformasi. Kawat ini juga

meningkatkan kemampuan anti kolaps, yang mengarah ke peningkatan keselamatan kehidupan masyarakat. Struktur batu bata ini merupakan respons terhadap kebijakan dan rencana nasional, yang memainkan peran aktif dalam mempromosikan pembangunan masyarakat yang berkelanjutan

Li. dkk (2018) melakukan penelitian 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 *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) atau polimer yang diperkuat serat pada struktur batu di bawah aliran debris menggunakan model elemen hingga yang didirikan menggunakan perangkat lunak LS-DYNA. Respon struktural keseluruhan di bawah dampak dari aliran puing kental dianalisis berdasarkan pada studi parametrik mendalam tentang beberapa faktor utama (jenis serat, posisi dampak relatif, dll.).

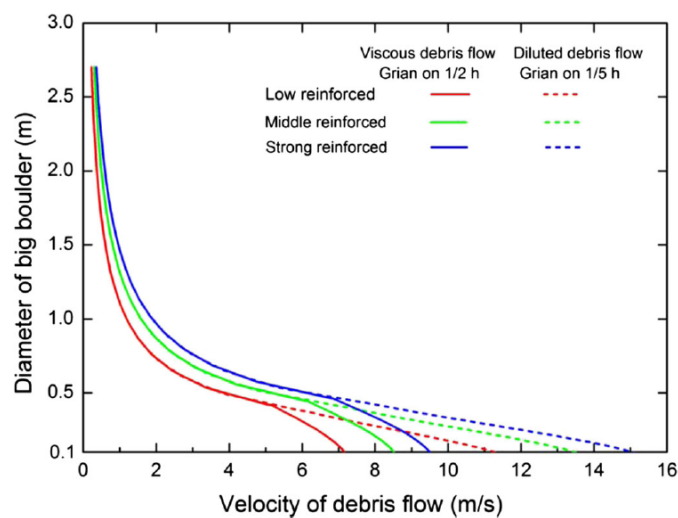


Gambar 2.9 Pengaturan model FRP (Li, 2018)

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa tipe FRP yang diagonal dan berpotongan paralel menghasilkan kinerja yang lebih baik daripada tipe horizontal. Penggunaan kain serat yang lebih luas mengarah pada minimalisasi respons struktural setelah dampaknya oleh aliran debris. Selain itu, polimer yang diperkuat serat gelas atau *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP) menghasilkan hasil terbaik di antara semua bahan yang dipelajari dalam mengurangi kerusakan lokal, sementara polimer yang diperkuat serat karbon atau *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) menghasilkan respons struktural keseluruhan yang

lebih baik. Posisi benturan di tengah dinding lebih tidak menguntungkan daripada di sudut.

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 yang rusak oleh aliran debris dan partikel menggunakan teori material dan mekanik struktural. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis aliran debris, ukuran partikel dalam aliran, dan lokasi dampak signifikan mempengaruhi kondisi kritis. Penelitian ini menunjukkan bahwa kondisi kritis kolom dapat ditunjukkan dengan pembentukan sendi plastik di sepanjang kolom dan oleh kerusakan geser di bagian kolom. Pengembangan sendi plastik terutama ditentukan oleh kecepatan aliran debris serta diameter dan dampak dari lokasi batu-batu besar. Energi aliran debris kental jauh lebih besar daripada aliran encer, dan kerusakan akan lebih parah untuk kolom di bawah pengaruh aliran kental.



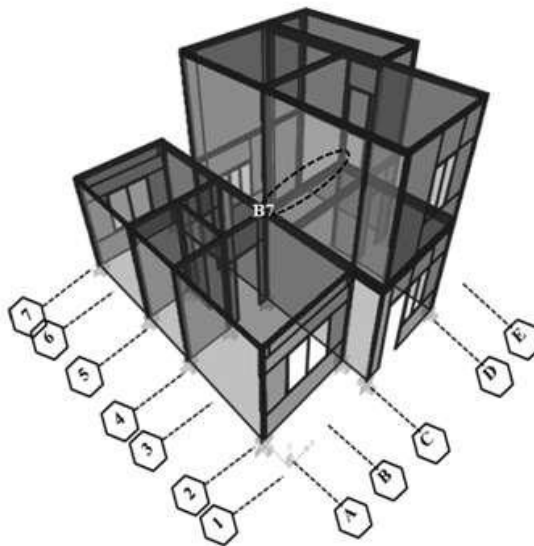
Gambar 2.10 Kondisi kritis kolom runtuh oleh geser (Zeng, 2014)

Diameter batu 0,5 m merupakan diameter penting untuk membedakan efek dari tekanan dari dampak aliran debris. Kolom akan mengalami kerusakan oleh kekuatan batu-batu besar ketika ukuran butir batu lebih besar dari 0,5 m, dan jika ukuran partikel lebih kecil dari 0,5 m, kolom yang rusak oleh kedua tekanan dinamis aliran debris dan dampak dari partikel. Kolom lebih rentan ketika batu-batu besar terkonsentrasi di satu setengah dari kedalaman maksimum untuk aliran debris kental daripada ketika mereka terkonsentrasi di 0,6 h. Untuk aliran debris



encer jenis berlumpur, kolom lebih rentan ketika batu-batu besar terkonsentrasi di  $h/3$  daripada ketika mereka terkonsentrasi di  $h/5$ .

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), sehingga dapat diketahui pengaruhnya terhadap struktur rumah tinggal. Kemudian dianalisis deformasi pada balok dan tegangan S11 yang terjadi pada balok, pelat lantai, dinding bata, kolom dan kusen.



Gambar 2.11 Skematik model 3D bangunan dengan metode elemen hingga  
(Pratama dan Elvira, 2013)

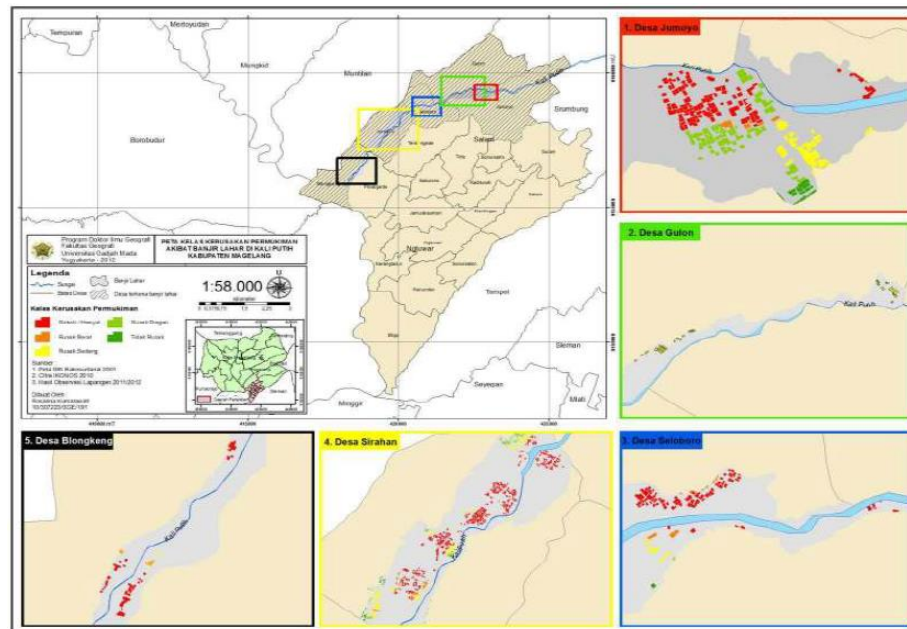
Hasil yang diperoleh dari penelitian adalah memperlihatkan bahwa lendutan yang terjadi pada semua balok masih memenuhi batasan lendutan ijin. Terjadi kegagalan pada beberapa daerah balok, dinding, dan lantai, dengan indikasi dari informasi besarnya tegangan (S11) yang terjadi telah melebihi batasan kuat tekan beton. Sedangkan hasil simulasi memperlihatkan bahwa tegangan (S22) yang terjadi pada kolom masih lebih kecil daripada nilai kuat tekan beton, sehingga kolom masih dalam kondisi kuat. Hasil simulasi memperlihatkan bahwa tegangan



yang terjadi pada kusen lebih kecil daripada nilai kuat tarik dan kuat tekan kayu jenis meranti merah, sehingga kusen masih dalam kondisi utuh. Secara umum informasi kegagalan struktur pada bagian dinding bata menggambarkan bahayanya kerusakan rumah tinggal akibat gempa.

### 2.1.3. Penelitian Terdahulu tentang Kawasan Desa Jumoyo

Kumalawati (2013) melakukan penelitian tentang evaluasi pengembangan wilayah permukiman berdasarkan pemetaan kerusakan permukiman akibat banjir lahar di kali putih, kabupaten magelang. Penelitian ini bertujuan untuk (1) melakukan penilaian tingkat kerusakan permukiman yang terkena banjir lahar, (2) menganalisis tingkat kerusakan permukiman akibat banjir lahar di daerah penelitian, dan (3) menganalisis pengalokasian ruang pembangunan permukiman berbasis tingkat kerusakan permukiman pasca banjir lahar. Metode yang digunakan adalah *GPS Tracking* untuk mengetahui luapan banjir lahar, klasifikasi tingkat kerusakan permukiman berdasar kriteria yang telah ditetapkan. Spatial autocorrelation untuk mengetahui pola kerusakan permukiman.



Gambar 2.12 Peta kelas kerusakan permukiman akibat banjir lahar  
(Kumalawati 2013)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kerusakan bangunan permukiman akibat banjir lahar tidak hanya disebabkan oleh jarak rumah terhadap sungai tetapi disebabkan oleh material bangunan permukiman tersebut. Pola spasial yang dihasilkan adalah 0,68 (mengelompok) untuk Roboh/Hanyut, 0,62 (mengelompok) untuk Rusak Berat, 1,05 (mengelompok) untuk Rusak Ringan, 0,64 (mengelompok) untuk Rusak Sedang, dan 1,21 (mengelompok) untuk Tidak Rusak.

Kumalawati dkk. (2013) melakukan penelitian tentang valuasi ekonomi tingkat kerusakan bangunan permukiman akibat banjir lahar di kali putih Kabupaten Magelang. Penelitian tersebut 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 di Kali Putih, Kabupaten Magelang. Penelitian dilakukan dengan melakukan survei berdasarkan fisik dan administratif zonasi. Survei pertama berdasarkan pada meluapnya aliran di Kali Putih, sedangkan yang kedua berdasarkan pada tiap kecamatan. Pengambilan sampel diwakili oleh 59 responden dengan melakukan *Focus Group Discussion* (FGD).

Hasil penelitian yang pertama menunjukkan luas luapan banjir lahar dingin seluas 1,785 km<sup>2</sup>. Luapan terluas terjadi di Desa Sirahan, yaitu 0,813 km<sup>2</sup> atau 45,532%, dan yang paling kecil di Desa Blongkeng, Kecamatan Ngluwar, yaitu 0,001 km<sup>2</sup> atau 0,057%. Kedua, jumlah rumah yang terkena banjir lahar dingin sebanyak 1.290 rumah. Kerusakan bangunan rumah karena runtuh / hanyut (814 rumah), rusak sedang (200 rumah), rusak berat (140 rumah), rusak parah (71 rumah), dan relatif tidak rusak (65 rumah). Permukiman yang sebagian besar terkena dampak banjir lahar dingin adalah Desa Sirahan, Kecamatan Salam, yaitu 860 rumah. Ketiga, kerugian terbesar akibat banjir lahar dingin, yaitu sekitar Rp104.000.000,00.

Tabel 2.1 Tingkat Kerugian Bangunan Permanen (Kumalawati, 2013)

No	Tingkat Kerugian	Nominal (Dalam Rupiah)
1	Rendah	< Rp 52.000.000,00
2	Sedang	Rp 52.000.000,00 - Rp 104.000.000,00
3	Tinggi	> Rp 104.000.000,00

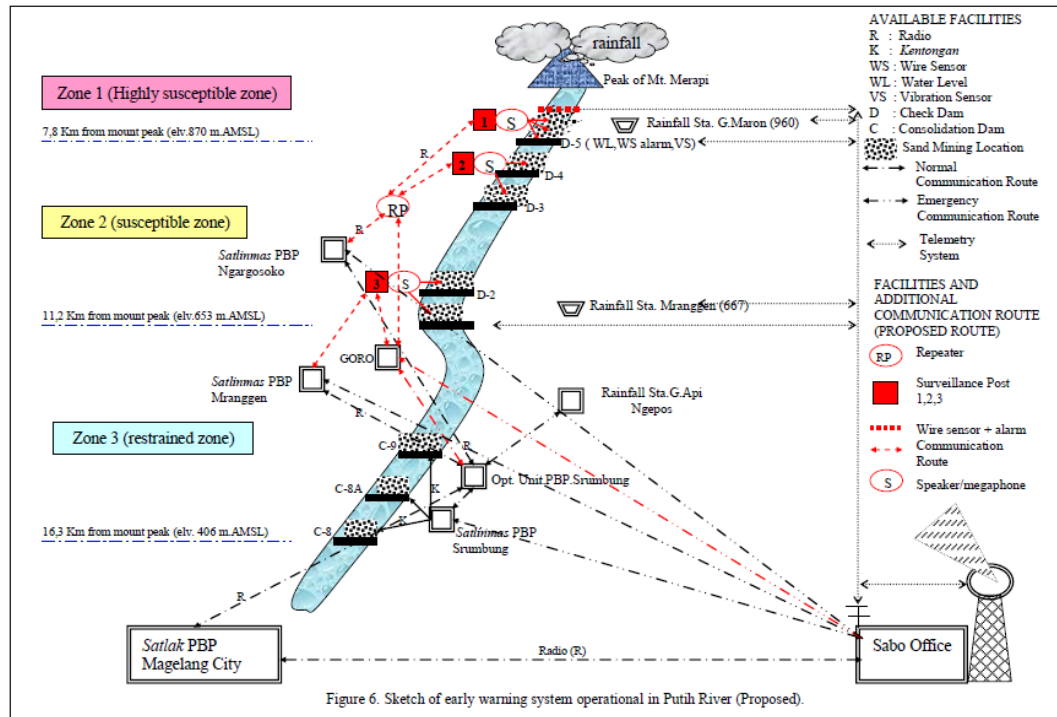
Tabel 2.2 Tingkat Kerugian Bangunan Semi Permanen (Kumalawati, 2013)

No	Tingkat Kerugian	Nominal (Dalam Rupiah)
1	Rendah	< Rp 24.000.000,00
2	Sedang	Rp 24.000.000,00 – Rp 48.000.000,00
3	Tinggi	> Rp 48.000.000,00

Tabel 2.3 Tingkat Kerugian Bangunan Non Permanen (Kumalawati, 2013)

No	Tingkat Kerugian	Nominal (Dalam Rupiah)
1	Rendah	< Rp 9.430.000,00
2	Sedang	Rp 9.430.000,00 – Rp 18.860.000,00
3	Tinggi	> Rp 18.860.000,00

Saputra (2013) melakukan penelitian tentang evaluasi sistem mitigasi bencana terhadap aliran lahar sungai Putih. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kapasitas sistem mitigasi bencana, khususnya dalam memberikan waktu evakuasi yang cukup bagi penambang pasir di Sungai Putih yang melakukan evakuasi sendiri. Evaluasi dilakukan terhadap sistem mitigasi struktural (Bendungan Sabo) dan non-struktural (sistem peringatan dini, konseling, dan evakuasi). Sistem mitigasi struktural dievaluasi dengan membandingkan ketersediaan volume kontrol Bendungan Sabo dengan beban sedimen selama banjir lahar, dan membandingkan waktu perjalanan banjir lahar dengan dan tanpa Bendungan Sabo. Sistem mitigasi non-struktural dievaluasi dengan menguji keakuratan grafik estimasi banjir lahar, dan dengan mengidentifikasi sistem peralatan peringatan dini yang dipasang di lapangan. Wawancara juga dilakukan dengan para penambang untuk melihat persepsi dan pendapat mereka terhadap mitigasi.



Gambar 2.13 Sketsa sistem operasional peringatan dini di Sungai Putih (Saputra, 2013)

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa sistem peringatan dini yang ada tidak menghasilkan waktu yang cukup bagi penambang pasir untuk menyelamatkan diri. Solusi yang diusulkan adalah membagi area tambang pasir di Sungai Putih menjadi 3 zona, masing-masing zona memiliki prosedur peringatan dini dan evakuasi yang berbeda. Hal ini diatur untuk menghindari korban ke penambang pasir.

## 2.2. Landasan Teori

### 2.2.1. 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. Kemiringan lereng merupakan salah satu indikator ancaman yang terkait dengan banjir lahar, tingkat kemiringan lereng sangat berpengaruh terhadap tingkat penampungan volume lahar. Semakin tinggi tingkat kemiringan lereng yang berarti curam, diasumsikan dapat menampung volume lahar yang masuk, sedangkan jika lerengnya landai maka banjir lahar akan

langsung diteruskan ke daerah sekitar sungai. Aliran lahar dengan massa jenis besar meluncur dengan percepatan makin besar, karena laju alirannya ditopang gaya gravitasi. Aliran tersebut biasanya berkembang pada daerah dengan perbedaan morfologi berkemiringan lereng tinggi ke landai, atau yang sering dikenal sebagai daerah tekuk lereng. Laju aliran lahar makin kencang dengan tenaga yang besar pada tipe gunungapi strato (Aisyah, 2012).

### 2.2.2. Sistem Informasi Geografi

Sistem informasi geografi merupakan suatu sistem komputer yang mempunyai empat kemampuan dalam menangani data yang bereferensi geografi, yaitu pemasukan data, manajemen data, analisis dan manipulasi data serta keluaran data. Data geografis pada umumnya disaikan dalam bentuk peta yang terdiri atas sekumpulan titik, garis, dan luasan area (Dewi, 2014).

Sebagian besar data yang akan digunakan dalam SIG merupakan data spasial yaitu sebuah data yang berorientasi geografis, memiliki sistem koordinat tertentu sebagai dasar referensinya dan mempunyai dua bagian penting yang membuatnya berbeda dari data lain, yaitu informasi lokasi (spasial) dan informasi deskriptif (*attribute*) yang dijelaskan berikut ini.

- a. Informasi lokasi atau informasi spasial. Contoh yang umum adalah informasi lintang dan bujur, termasuk diantaranya informasi datum dan proyeksi.
- b. Informasi deskriptif atau informasi non spasial. Suatu lokalitas bisa mempunyai beberapa atribut atau properti yang berkaitan dengannya, contohnya jenis bencana, kependudukan, pendapatan per tahun, dan lain-lain.

Sistem informasi geografi dapat digunakan untuk menentukan daerah yang ditinjau, misalnya permukiman/perumahan, menentukan jalur terpendek dan tercepat untuk sampai pada suatu tempat, memantau wilayah perkotaan, perkebunan atau hutan, lingkungan pegunungan atau pesisir dan masih banyak lainnya. Salah satu program komputer yang digunakan dalam menganalisis sistem informasi geografi adalah Quantum GIS.

Quantum GIS (QGIS) merupakan *software* digitasi untuk data spasial keruangan yang bersifat *open source* dan *user friendly*, dengan lisensi dibawah *GNU General Public License*. QGIS merupakan proyek tidak resmi dari *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo). QGIS dapat dijalankan pada versi sistem

operasi *Linux*, *Window* dan *Mac*, serta mendukung banyak tipe format dan fungsionalitas data vector, raster dan basis data (Kurniawan, 2016).

### **2.2.3. 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. Kriteria bangunan rumah tinggal yang dimaksud dalam penelitian ini adalah bangunan rumah yang digunakan sebagai tempat tinggal, dapat juga digunakan sebagai rumah toko (ruko), dan bukan bangunan yang digunakan sebagai tempat ibadah, sekolahan, kantor atau pabrik.

Bangunan rumah tinggal memiliki beberapa jenis elemen yang sering digunakan, diantaranya sebagai berikut:

#### **a. Rangka**

Rangka adalah gabungan elemen balok dan rangka akan membentuk sesuatu sistem struktur rangka. Sistem struktur rangka dapat merupakan struktur statis tertentu maupun statis tak tertentu (Setiawan, 2016).

#### **b. Balok**

Balok adalah elemen horizontal ataupun miring yang panjang dengan ukuran lebar serta tinggi yang terbatas. Balok berfungsi untuk menyalurkan beban dari pelat. Pada umumnya balok dicetak secara monolit dengan pelat lantai, sehingga akan membentuk balok penampang T pada balok interior dan balok penampang L pada balok-balok tepi (Setiawan, 2016).

#### **c. Kolom**

Kolom adalah salah satu komponen struktur vertikal yang secara khusus difungsikan untuk memikul beban aksial tekan dan memiliki rasio tinggi/panjang terhadap dimensi terkecilnya sebesar 3 atau lebih. Kolom memikul beban vertical yang berasal dari pelat lantai atau atap dan disalurkan ke pondasi. (Setiawan, 2016).

Secara umum kolom dapat diklarifikasikan menjadi beberapa katagori sebagai berikut (Setiawan, 2016):

- 1) Berdasarkann beban yang bekerja, kolom dapat diklarifikasikan menjadi 3 sebagai berikut.
  - a) Kolom dengan beban aksial, yaitu beban kolom dianggap bekerja melalui pusat penampang kolom.
  - b) Kolom dengan beban eksentris, yaitu beban kolom dianggap bekerja sejarak  $e$  dari pusat penampang kolom. Jarak  $e$  dapat diukur terhadap sumbu  $x$  atau  $y$ , yang menimbulkan momen terhadap sumbu  $x$  ataupun  $y$ .
  - c) Kolom dengan beban biaksial, yaitu beban bekerja pada penampang kolom, sehingga menimbulkan moment terhadap sumbu  $x$  dan  $y$  secara simultan.
- 2) Berdasarkan panjangnya, kolom dapat dibedakan menjadi kolom pendek dan kolom panjang.
  - a) Kolom pendek yaitu jenis kolom yang keruntuhnya diakibatkan oleh hancurnya beton atau luluhnya tulangan baja di bawah kapasitas ultimit dari kolom tersebut.
  - b) Kolom panjang yaitu jenis kolom yang dalam perencanaannya harus memperhitungkan rasio kelangsingan dan efek tekuk, sehingga kapasitasnya berkurang dibandingkan dengan kolom pendek.
- 3) Berdasarkan bentuk penampangnya, kolom dapat berbentuk bujur sangkar, persegi panjang, lingkaran, segi delapan, atau bentuk lainya dengan ukuran sisi ang mencukupi.
- 4) Berdasarkan jenis tulangan sengkang yang digunakan kolom dapat dibedakan sebagai berikut.
  - a) Kolom dengan sengkang persegi yang mengikat tulangan memanjang/vertical dari kolom, dan disusun dengan jarak tertentu sepanjang tinggi kolom.
  - b) Kolom dengan sengkang spiral untuk mengikat tulangan memanjang dan meningkatkan daktilitas kolom.



5) Berdasarkan materialnya, kolom dapat berupa kolom beton bertulang biasa, kolom beton prategang atau kolposit (terdiri dari beton dan profil baja). Kolom beton bertulang dengan tulangan memanjang berupa tulangan baja merupakan bentuk kolom yang paling umum dijumpai pada struktur bangunan.

Menurut Bayzoni (2016), Keruntuhan pada kolom terjadi karena besarnya regangan pada tulangan baja yang tertarik pada penampang kolom, kondisi awal keruntuhan tersebut digolongkan menjadi 3 yaitu keruntuhan tarik, keruntuhan tekan, dan keruntuhan seimbang.

#### 1) Keruntuhan Tarik

Pada kondisi ini nilai regangan beton semakin kecil  $\varepsilon_c' < 0,003$  dan nilai  $C < C_b$  sehingga gaya aksial nominal lebih kecil dari gaya aksial kondisi seimbang ( $P_n < P_{nb}$ ).

#### 2) Keruntuhan Tekan

Pada waktu runtuhnya kolom, beton akan mencapai kekuatan batasnya terlebih dahulu  $\varepsilon_c'=0,003$ , tulangan tekan  $A_s$  telah mencapai leleh ( $f_s = f_y$ ) sedangkan baja tulangan tarik belum leleh ( $\varepsilon_s < \varepsilon_y$  atau  $f_s < f_y$ ).

#### 3) Keruntuhan Seimbang

Pada kondisi ini tegangan yang terjadi pada tulangan telah mencapai leleh ( $\varepsilon_s = \varepsilon_y$ ) bersamaan pada saat material beton juga mengalami kehancuran karena regangan beton yang mencapai nilai maksimum ( $\varepsilon_c' = \varepsilon_{cu}' = 0,003$ ). Pada kondisi ini diperoleh jarak garis netral dan tepi beton tekan  $C_b$ .

Suatu metode yang digunakan untuk keperluan praktis desain adalah dengan menggambarkan diagram interaksi. Diagram interaksi yang memberikan beban runtuh dan omen runtuh dari suatu penampang kolom untuk setiap nilai eksentrisitas dari nol sampai tak hingga. Untuk setiap nilai eksentrisitas terhadap pasangan unik dari  $P_n$  dan  $M_n$  yang dapat diplot dalam suatu diagram seperti ditunjukkan pada Gambar 2.14. Pada diagram interaksi dalam Gambar 2.14 tersebut, garis radial mempresentasikan nilai eksentrisitas,  $e = M/P$ . sumbu vertical menunjukkan nilai eksentrisitas  $e = 0$  serta  $P_0$  yang

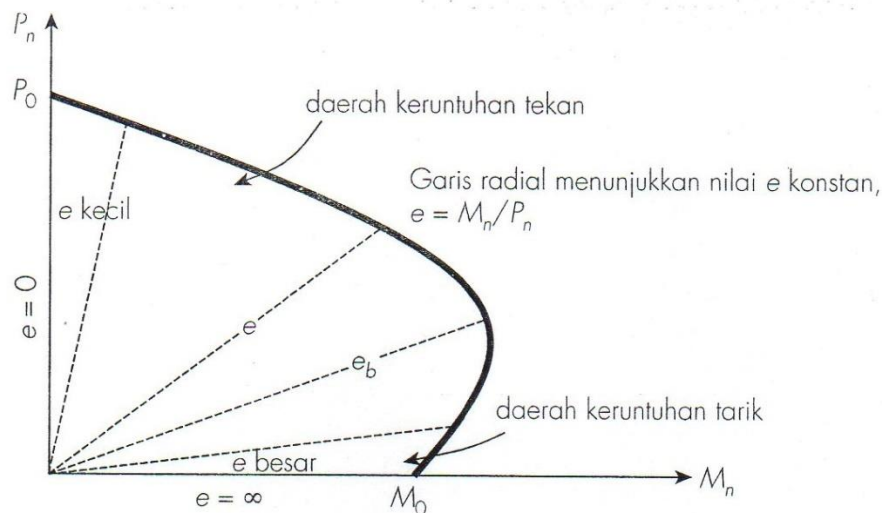
merupakan kapasitas kolom yang dibebani secara konsentris, yang dapat dihitung dari persamaan 2.1. Sumbu horizontal berhubungan dengan nilai eksentrisitas tak hingga yaitu lentur murni pada kapasitas momen  $M_0$ . Eksentrisitas yang kecil akan menghasilkan keruntuhan yang ditentukan oleh tekan beton, sedangkan eksentrisitas yang besar akan menghasilkan keruntuhan yang ditentukan oleh luluhnya tulangan tarik (Setiawan, 2016).

$$P_0 = 0,85 f'_c A_g + A_{st}(f_y - 0,85 f'_c) \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan:

$A_g$  = luas total penampang kolom

$A_{st}$  = luas total tulangan tekan memanjang



Gambar 2.14 Diagram Interaksi Kolom  $P_n$  dan  $M_n$  (Setiawan, 2016).

#### d. Dinding

Dinding adalah bagian bangunan yang sangat penting perannya bagi konstruksi bangunan. Dinding membentuk dan melindungi isi bangunan baik dari segi konstruksi maupun penampilan artistik dari bangunan. Dinding merupakan bagian dari bangunan yang dipasang secara vertikal dengan fungsi sebagai pemisah antar ruang, baik antar ruang dalam maupun ruang dalam dan luar. Terdapat 3 jenis utama dinding, yaitu: dinding bangunan, dinding pembatas/*boundary* dan dinding penahan/*retaining* (Turang, 2014).

Menurut Turang. dkk (2014), dinding dapat dibuat dari bermacam-macam material sesuai kebutuhannya, antara lain

- 1) dinding batu batuan (bata dan batako),
- 2) dinding batu alam/batu kali,
- 3) dinding kayu (kayu batang, papan dan sirap), dan
- 4) dinding beton (struktural - dinding geser dan pengisi - beton pra cetak).

e. Fondasi

Fondasi adalah elemen pemikul beban dari kolom yang kemudian menyalurkannya ke lapisan tanah keras. Pondasi beton bertulang dapat berupa pondasi pelat setempat atau pondasi lajur. Pada bangunan yang berada pada lapisan tanah dengan daya dukung jelek, terkadang digunakan sistem pondasi rakit (*raft foundation*) beton bertulang (Setiawan, 2016).

#### 2.2.4. Beban Bangunan

Beban adalah gaya luar yang bekerja pada suatu struktur. Beban yang diaplikasikan pada model bangunan rumah tinggal sebagai berikut.

a. Beban Mati

Beban mati ialah berat dari semua bagian dari suatu bangunan yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, yang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari bangunan itu. Tabel 2.4 dan Tabel 2.5 menampilkan contoh berat dari komponen bangunan penting yang digunakan untuk menentukan besarnya beban mati.

Tabel 2.4 Berat sendiri bahan bangunan (Setiawan, 2016)

Bahan Bangunan	Berat (kg/m <sup>3</sup> )
Baja	7850
Beton	2200
Beton bertulang	2400
Kayu (kelas II)	1000
Pasir (kering udara)	1600

Tabel 2.5 Berat komponen gedung (Setiawan, 2016)

Komponen Gedung	Berat (kg/m <sup>2</sup> )
Spesi dari semen, per cm tebal	21
Dinding bata merah $\frac{1}{2}$ bata	250
Penutup atap genting	50
Penutup lantai ubin semen, per cm tebal	24

b. Beban Hidup

Beban hidup ialah 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. Mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut. Contoh-contoh beban hidup berdasarkan fungsi suatu bangunan ditunjukkan dalam Tabel 2.6.

Tabel 2.6 beban hidup pada lantai bangunan (Setiawan, 2016)

Kegunaan Bangunan	Berat (kg/m <sup>2</sup> )
Lantai dan tangga rumah tinggal sederhana	125
Lantai sekolah, kantor, toko, restoran, hotel, asrama, rumah sakit	250
Lantai ruang olahraga	400
Lantai pabrik bengkel, gudang, perpustakaan, ruang arsip, toko buku, ruang mesin	400
Lantai gedung parkir bertingkat untuk lantai bawah	800

c. Beban Angin

Beban Angin ialah semua beban yang bekerja pada gedung atau bangunan yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara.

d. Beban Gempa

Beban gempa ialah semua beban static ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu. Dalam hal pengaruh gempa pada struktur gedung ditentukan berdasarkan suatu analisa dinamik, aka yang diartikan dengan beban gempa

disini adalah gaya-gaya di dalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa itu.

e. **Beban Khusus**

Beban khusus ialah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang terjadi akibat selisih suhu, pengangkatan dan pemasangan, penurunan fondasi, susut, gaya-gaya tambahan yang berasal dari beban hidup seperti gaya rem yang berasal dari keran, gaya sentrifugal dan gaya dinamis yang berasal dari mesin-mesin, serta pengaruh-pengaruh khusus lainnya.

### 2.2.5. 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. Apabila gaya sebesar  $F$  bekerja secara tegak lurus dan merata pada permukaan bidang seluas  $A$ , maka tekanan pada permukaan tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$P = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (2.2)$$

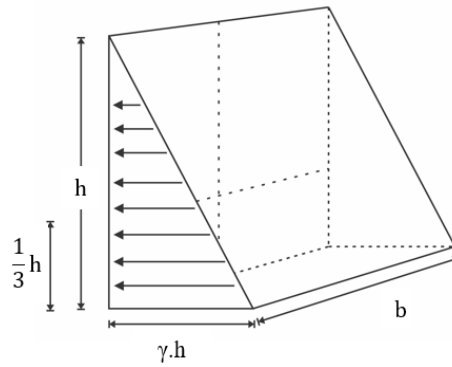
Keterangan :

$P$ =Tekanan ( $\text{kg}/\text{m}^2$  atau  $\text{kN}/\text{m}^2$ )

$F$ = gaya ( $\text{kg}$  atau  $\text{kN}$ )

$A$ = luas ( $\text{m}^2$ )

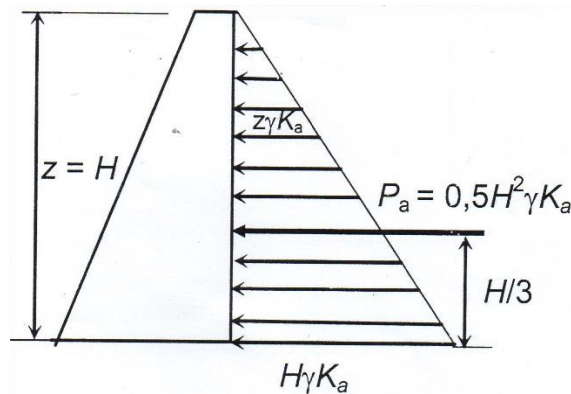
Tekanan lateral (horizontal) pada bidang vertikal diasumsikan sama dengan sebuah bangun prisma segitiga yang dibentuk oleh volume tekanan, sedangkan titik gaya bekerja melalui titik berat volume prisma segitiga yang terletak  $\frac{1}{3}$  dari tinggi bidang vertikal.



Gambar 2.15 Tekanan membentuk bangun prisma segitiga

Menurut Hardiyatmo (2014), tanah tak kohesif atau tanah granuler adalah tanah-tanah yang tidak mempunyai kohesi ( $c = 0$ ) seperti pasir dan kerikil. Bila permukaan tanah urug horizontal (Gambar 2.16), tekanan tanah aktif total ( $P_a$ ) pada dinding penahan tanah setinggi  $H$  dinyatakan oleh persamaan 2.3, dengan titik tangkap gaya pada  $1/3 H$  dari dasar dinding penahan tanah sebagai berikut.

$$P_a = 0,5 H^2 \cdot \gamma \cdot K_a \dots\dots\dots (2.3)$$



Gambar 2.16 Diagram tekanan tanah aktif (Hardiyatmo, 2014)

Distribusi tekanan pada lahar dingin dirumuskan dalam persamaan 2.4 sebagai berikut.

$$P = \frac{1}{2} \gamma \cdot h^2 \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan:

$P$ =Tekanan hidrostatik ( $\text{kg/m}^2$  atau  $\text{kN/m}^2$ )

$\gamma$ = berat jenis ( $\text{kg/m}^3$ )

$h$ = kedalaman pada titik yang ditinjau (m)

Tekanan lahar dingin diasumsikan sama dengan tekanan pada zat cair ataupun zat padat, karena material lahar dingin didominasi oleh campuran air, pasir, kerikil, batu, dan lumpur. Berat jenis material lahar dingin yaitu pasir basah (pasir jenuh air) sebesar  $1922 \text{ kg/m}^3$ , kerikil basah sebesar  $2020 \text{ kg/m}^3$ , batu padat (solid) sebesar  $2323 \text{ kg/m}^3$ , batu pecah sebesar  $1602 \text{ kg/m}^3$ , dan lumpur sebesar  $1906 \text{ kg/m}^3$ . Rata-rata dari seluruh berat jenis material lahar dingin hampir mendekati nilai dari berat jenis pasir basah, sehingga besar tekanan lahar dingin dalam penelitian ini menggunakan berat jenis pasir basah.

### 2.2.6. Kombinasi Beban

Kombinasi pembebanan (*load combination*) merupakan kombinasi dari beberapa beban yang dapat bekerja secara bersamaan. Menurut Pedoman Perencanaan Pembebanan Indonesia untuk Rumah dan Gedung (1987), ada dua kombinasi pembebanan yang perlu ditinjau pada struktur yaitu, kombinasi pembebanan tetap dan kombinasi pembebanan sementara. Kombinasi pembebanan tetap dianggap beban bekerja secara terus-menerus pada struktur selama umur rencana. Kombinasi pembebanan tetap disebabkan oleh bekerjanya beban mati dan beban hidup. Sedangkan kombinasi pembebanan sementara tidak bekerja secara terus-menerus pada struktur, tetapi pengaruhnya tetap diperhitungkan dalam analisa struktur.

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 sesuai dengan SNI 1727-2013 tentang beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain. Kombinasi pembebanan secara umum dalam SNI 1717-2013 sebagai berikut

1.  $1,4D$
2.  $1,2D + 1,6L + 0,5 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$
3.  $1,2D + 1,6 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
4.  $1,2D + 1,0W + L + 0,5 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$
5.  $1,2D + 1,0E + L + 0,2S$



6.  $0,9D + 1,0W$

7.  $0,9D + 1,0E$

### 2.2.7.SAP2000

SAP2000 atau *Structural Analysis Program* merupakan salah satu program komputer untuk keperluan analisis struktur yang cukup populer dan banyak digunakan dalam beberapa pekerjaan baik skala kecil maupun besar atau nasional maupun internasional. Program komputer ini diciptakan dan dikembangkan oleh perusahaan *Computer and Structure Inc* (CSI) di California, USA. Peluncuran program pertama kali sejak tahun 1970, dengan versi awal merupakan program berbasis teks DOS (*Disk Operating System*). *Input* dimasukkan lewat teks dengan format tertentu yang kemudian dianalisis dan bisa ditampilkan hasilnya ataupun dilakukan pemeriksaan model struktur baik dalam bentuk teks dan grafis. Walaupun demikian perubahan terhadap model tetap harus dilakukan pada teks *input data*, tidak langsung pada tampilan grafisnya (Sugito, 2013).

Setelah versi SAP90, mulai dipasarkan versi SAP2000 yang sudah berbasis grafis dan beroperasi dengan sistem *Windows*. Sistem yang sudah berbasis grafis ini membuat proses pembuatan model, pemeriksaan, penampilan hasil sampai pada perancangan dapat dilakukan secara interaktif pada layar, versi ini juga bisa menerima input data teks. Kepraktisan tersebut membuat SAP2000 menjadi lebih familier dan *user-friendly* bagi penggunaanya (Sugito, 2013). SAP2000 versi 21 sebagai salah satu program rekayasa teknik sipil yang berbeda dengan program komputer pada umumnya. Program ini digunakan untuk menciptakan dan memodifikasi model struktur serta pelaksanaan analisis dan pengecekan desain struktur dengan menggunakan konsep metode yang didukung dengan analisis statis, dinamis, linear, maupun nonlinear.