



Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (PROTEKSI)

Vol. 4 No. 2 Desember (2022)

The Commencement of PROTEKSI

- **Pemodelan Fisik Konstruksi Kelompok Tiang dalam Mereduksi Aliran Super Kritis di Hilir Pintu Air Tipe Flap**
I Made Kamiana, Dwi Anung Nindito, Ayuni Wulandari
- **Analisis Stabilitas Lereng Batuan dengan Pendekatan Kriteria Keruntuhan Hoek-Brown dan Mohr Coulomb Menggunakan Metode Numerik Plaxis 2D**
Desti Santi Pratiwi, Yuki Achmad Yakim, Aldo Mahaputra
- **Analisis Risiko Kecelakaan Kerja pada Proyek Apartemen Klaska Residence Surabaya**
Maulidya Octaviani Bustamin, Wisnu Abiarto Nugroho, Ursula Uba Kuroumang
- **Penambahan Kapur Sebagai Stabilisasi Tanah Ekspansif untuk Lapisan Tanah Dasar (Subgrade)**
Nur Andajani, Yogie Risdianto
- **Penggunaan Limbah Batang Eceng Gondok untuk Beton Fiber**
Safrin Zuraidah, K Budi Hastono, Elisabet Trisnawati, Sumaryam
- **Identifikasi Risiko Pembangunan Ruko dari Aspek Ekonomi, Finansial, dan Pemasaran**
Puguh Novi Prasetyono, Hasan Dani
- **Desain Struktur Bangunan Baja Tahan Gempa Menggunakan SNI 1729:2020**
Berkat Cipta Zega, Feriza Nadiar, Puguh Novi Prasetyono, Arik Triarso
- **Pengaplikasian Serbuk Cangkang Telur sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen terhadap Kuat Tekan Beton**
Yudi Ashariyanto, Anita Intan Nura Diana, Dwi Deshariyanto
- **Analisa Tahapan Kegiatan Mendesak Air Baku Sumber Pitu**
Wiel Musyawiri Suryana, Kristian M. Warella, Anna Rosytha

Published by:
Jurusan Teknik Sipil
Gedung A4, Fakultas Teknik
Universitas Negeri Surabaya
Kampus Ketintang
Jln. Ketintang, Surabaya, 60231



Kata Pengantar

Jurnal Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (PROTEKSI) Universitas Negeri Surabaya (UNESA) ini telah mendapatkan e-ISSN dari LIPI dan Proteksi saat ini menduduki peringkat SINTA 4 (Indeks Sains dan Teknologi) [ranked SINTA 4 \(Science and Technology Index\) published in Director Decree SK no. 158/E/KPT/2021.](#) Proteksi menerbitkan Volume 4, Nomor 2, Desember 2022. Penerbitan jurnal ini dimaksudkan untuk memberikan informasi ilmiah mengenai perkembangan ilmu teknik sipil yang meliputi hasil penelitian, kajian pustaka dan telaah kritis pada kasus-kasus ilmu ketekniksipil. Pada Volume 4, Nomor 2 ini menerbitkan 9 judul artikel ilmiah yang kami sajikan. Penulis pada Volume 4, Nomor 2 ini merupakan sivitas akademika dari dalam maupun luar Universitas Negeri Surabaya. Redaksi mengucapkan terima kasih kepada para mitra bestari dan penyunting yang telah menyediakan waktunya untuk menyunting naskah artikel yang dimuat. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada para penulis dan semua pihak yang telah membantu hingga terbitnya jurnal ini. Kami sangat mengharapkan peran aktif semua pihak sebagai penulis artikel, baik dari lingkungan akademisi maupun praktisi dan lain-lain khususnya bidang teknik sipil. Semoga materi yang disampaikan dapat berguna bagi pembaca dan pengembangan ilmu pengetahuan secara umum. Kritik dan saran sangat redaksi harapkan untuk perbaikan penerbitan berikutnya. Terimakasih dan Selamat Membaca.

Volume 4, No. 2, Desember 2022

E-ISSN : 2655-6421

Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (PROTEKSI)

Pimpinan Redaksi :

Dr. Gde Agus Yudha P.A., ST., MT. (UNESA)

Managing Editor :

R. Endro Wibisono, S.Pd., M.T. (UNESA)

Dewan Penasihat Editor :

Prof. Dr. E. Titiek Winanti, MS. (UNESA)

Prof. Dr. Ir. H. Kusnan, SE., MM., MT. (UNESA)

Prof. Dr. Erina Rahmadyanti, ST., MT. (UNESA)

Dr. Ir. H. Dadang Supriyatno, MT. (UNESA)

Arie Wardhono, ST., M.MT., MT., Ph.D. (UNESA)

Editor :

Meity Wulandari S.T., M.T. (UNESA)

Hendro Sutowijoyo (Universitas Narotama)

Dr. Ir. Hitapriya Suprayitno, M.Eng. (ITS)

Anita Intan Nura Diana, S.T., M.T. (UNIJA)

Putu Aryastana. S.T., M.Eng. M.Si. (WARMADDEWA)

Kencana Verawati, S.S.T., M.M.Tr. (UNJ)

Vivian Karim Ladesi, S.T., M.T. (UNJ)

Mitra Bestari :

Ir. Sri Sunarjono, MT., Ph.D (UMS Surakarta)

Mochamad Solikin, ST., MT., Ph.D (UMS Surakarta)

Budi Yulianto ST., MSc., Ph.D (UNS)

Tri Joko Wahyu Adi, ST., MT., Ph.D (ITS)

Ferry Hermawan ST., MT., Ph.D (UNDIP)

Dr. Winoto Hadi, S.T., M.T.

Dr. Ir. Adi Prawito, M.T. (UNNAR)

Alamat Penerbit :

Jurusan Teknik Sipil

Gedung A4, Fakultas Teknik

Universitas Negeri Surabaya

Telp. (031) 8280009

Website: <https://journal.unesa.ac.id/index.php/proteksi/index>

Email : proteksi@unesa.ac.id

Frekuensi terbit setahun 2 kali (Juni dan Desember)

Jurnal Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil merupakan suatu wadah karya tulis ilmiah para dosen dan praktisi yang bergerak dibidang teknik sipil meliputi struktur, lingkungan, rekayasa jalan, rekayasa tanah, rekayasa air, manajemen kontruksi sebagai perwujudan tri darma perguruan tinggi.

DAFTAR ISI

PROTEKSI

Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil

Halaman Judul	i
Kata Pengantar.....	ii
Susunan Dewan Redaksi	iii
Daftar Isi.....	iv
Petunjuk Penulisan	v

Pemodelan Fisik Konstruksi Kelompok Tiang dalam Mereduksi Aliran Super Kritis di Hilir Pintu Air Tipe Flap

I Made Kamiana, Dwi Anung Nindito, Ayuni Wulandari67-73

Analisis Stabilitas Lereng Batuan dengan Pendekatan Kriteria Keruntuhan Hoek-Brown dan Mohr Coulomb Menggunakan Metode Numerik Plaxis 2D

Desti Santi Pratiwi, Yuki Achmad Yakin, Aldo Mahaputra.....74-81

Analisis Risiko Kecelakaan Kerja pada Proyek Apartemen Klaska Residence Surabaya

Maulidya Octaviani Bustamin, Wisnu Abiarto Nugroho, Ursula Uba Kuroumang82-89

Penambahan Kapur Sebagai Stabilisasi Tanah Ekspansif untuk Lapisan Tanah Dasar (Subgrade)

Nur Andajani, Yogie Risdianto.....90-95

Penggunaan Limbah Batang Eceng Gondok untuk Beton Fiber

Safrin Zuraidah, K Budi Hastono, Elisabet Trisnawati, Sumaryam.....96-101

Identifikasi Risiko Pembangunan Ruko dari Aspek Ekonomi, Finansial, dan Pemasaran

Puguh Novi Prasetyono, Hasan Dani.....102-107

Desain Struktur Bangunan Baja Tahan Gempa Menggunakan SNI 1729:2020

Berkat Cipta Zega, Feriza Nadiar, Puguh Novi Prasetyono, Arik Triarso.....108-113

Pengaplikasian Serbuk Cangkang Telur sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen terhadap Kuat Tekan Beton

Yudi Ashariyanto, Anita Intan Nura Diana, Dwi Deshariyanto114-119

Analisa Tahapan Kegiatan Mendesak Air Baku Sumber Pitu

Wiel Musyawiri Suryana, Kristian M. Warella, Anna Rosytha.....120-125

Judul Jurnal: Pedoman Penulisan Artikel Pada Jurnal Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (PROTEKSI)

*Journal Title in English: Guidelines for Writing Articles in Journal Publication
Research Orientation of Civil Engineering (Proteksi)*

Nama Pengarang Tanpa Gelar¹

¹Cantumkan alamat institusi dan alamat e-mail yang bisa dihubungi, secara lengkap dan jelas. Contoh :
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Jln. Ketintang Surabaya. Telp: (031)
1234567. Email : proteksi@unesa.ac.id

Abstrak

Abstrak dan kata kunci ditulis dalam Bahasa Indonesia dan Bahasa Inggris. Apabila artikel menggunakan Bahasa Indonesia, maka abstrak yang ditampilkan terlebih dahulu adalah abstrak yang berbahasa Indonesia begitupun sebaliknya. Abstrak ditulis secara ringkas dengan memuat masalah penelitian, tujuan, metode, hasil dan kesimpulan dalam 1 (satu) paragraph dan tidak lebih dari 200 kata. Gunakan font times new roman, format italic, ukuran 10 point, dan dalam format spasi tunggal.

Kata Kunci: Berikan 3-5 kata kunci berdasarkan urutan alphabetic; kata kunci dipisahkan dengan titik koma

Abstract

Abstract and keyword should be written both in English and Bahasa Indonesia. The version that appears first will be of the same language used in writing the manuscript. Abstract should be written in straightforward sentences consisting research problem and or purpose, method, result and conclusion in 1(one) paragraph and not exceed 200 words. Please use italics regular 10 point times new romanfont, in a single space format.

Keywords: Attach 3 to 5 keywords in alphabetical order; keywords separated by semi-colon

PENDAHULUAN

Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (Proteksi) adalah wadah bagi para akademisi untuk mempublikasikan kegiatan penelitian ilmiah/riset di bidang Civil Engineering. Proteksi diterbitkan oleh Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya – Indonesia dengan periode penerbitan dua kali dalam setahun.

Artikel-artikel yang diterbitkan pada Proteksi melalui proses penyuntingan dan penilaian secara ketat dari pihak ketiga yang tergabung sebagai mitra bestari. Proses penyuntingan ini bertujuan untuk memastikan tingkat akurasi isi artikel serta memberikan jaminan kebenaran informasi seperti yang diharapkan oleh pembaca.

Artikel yang diterbitkan di Proteksi dapat diakses secara online dan dapat didownload. Redaksi Proteksi menerima artikel hasil penelitian dari para peneliti, dosen, mahasiswa maupun praktisi, baik dalam bahasa Inggris maupun dalam bahasa Indonesia.

Format Gaya Selingkung

Format gaya selingkung jurnal Proteksi digunakan untuk menjaga konsistensi tampilan jurnal. Untuk memberikan kemudahan dan efisiensi dalam memformat penulisan, gunakan *template* ini dengan mengkopi, mendownload dan atau meminta email *attachment* dari redaksi, kemudian menggantinya dengan materi penulis sendiri. Berkas (file) *template* ini akan memuat beberapa gaya pemformatan tertentu.

<https://doi.org/10.26740/proteksi.vxxn.px-x>

Bahasa, Gaya Penulisan dan Isi

Penulisan artikel minimum dalam 6 halaman. Jumlah halaman artikel diusahakangenap (8, 10 atau 12 halaman). Urutan penulisan yang diharuskan adalah sebagai berikut; pendahuluan yang memuat masalah yang diangkat termasuk teori/literatur mutakhir yang mendasari arah penyelesaian masalah, metode yang digunakan, hasil dan pembahasan dan diakhiri simpulan, saran dan atau rekomendasi. Apabila diperlukan untuk menyampaikan ucapan terimakasih kepada pihak yang mendukung penelitian, maka ditempatkan sebelum referensi. Penulisan referensi diletakkan paling akhir. Referensi yang ditulis haruslah yang diacu pada seluruh tulisan, dan sebaliknya, literatur yang dikutip dalam tulisan harus dinyatakan dalam daftar referensi.

Untuk lebih meningkatkan kualitas artikel, dianjurkan agar penulis memanfaatkan hasil kajian pustaka untuk mendukung argumentasi, baik dalam pendahuluan (uraian mengapa perlunya penelitian dilakukan) dan dalam pembahasan (uraian perbandingan dengan temuan-temuan penelitian sebelumnya/teori yang ada). Dalam penulisan gunakan gaya langsung dan singkat. Hindarkan kalimat-kalimat yang kompleks dan ambigu. Definisikan secara singkat semua istilah teknik yang mungkin belum umum untuk pembaca. Jelaskan singkatan yang digunakan pada awal kemunculan. Misalnya: '*Optimum Moisture Content (OMC)*'. Jelaskan acuan lokal yang dipakai (istilah-istilah yang tidak semua orang tahu pada suatu pulau tertentu).

Ukuran Kertas, Margin dan Kolom Artikel dicetak dalam kertas ukuran A4(21x29.7cm). Margin atas, bawah, kanan dan kiri masing-masing adalah 2 cm. Penulisan artikel (kecuali abstrak) dilakukan pada 2 kolom. Lebar kolom adalah 8.15 cm dengan jarak antar kolom 0.7 cm. Paragraf diketik dengan alinyemen *justified*. Antar judul bab, sub bab dengan paragraf di bawahnya tidak diberi jarak. Antar paragraf diberi jarak 1 spasi baris.

Format Tabel

Tabel harus diterangkan dalam batang tubuh. Tabel dibuat dalam ukuran huruf yang lebih kecil daripada batang tubuh. Tabel hanya menggunakan border horizontal di tepi atas, bawah dan batas judul kolom, tanpa border vertikal (lihat Tabel 1). Judul tabel ada di atas tabel, menggunakan Times New Roman (TNR) 11, hanging pada 1.5 cm. Tabel yang diperbesar boleh 2 kolom penuh dan diletakkan

pada bagian atas atau bagian bawah suatu halaman. Lihat Tabel 2.

Format Gambar

Semua gambar harus dijelaskan dalam paragraf. Tampilan gambar harus jelas (lihat Gambar 1), tulisan-tulisan harus terbaca. Gambar dapat diperbesar menjadi 2 kolom penuh dan diletakkan pada awal bagian atas atau bagian bawah suatu halaman. Lihat Gambar 2. Gambar berupa foto berwarna harus cukup jelas dicetak dalam warna hitam putih/*Grayscale*.

Tabel 1. Ukuran dan jenis huruf untuk bagian-bagian dalam artikel di jurnal Proteksi

Bagian	Huruf	Point	Keterangan
Judul	Arial narrow	16	Huruf besar, bold, spasi baris 1, justified
Nama pengarang	TNR	12	Title case, bold, spasi baris 1, center
Footnote	TNR	9	Sentence case, spasi baris 1, justified, hanging 0,5 cm
Abstrak, Kata kunci	TNR	10	Sentence case, italic, spasi baris 1, justified
Judul Bab	TNR	12	Huruf besar, bold, spasi baris 1, rata kiri
Judul Sub bab	TNR	11	Title case, bold, spasi baris 1, rata kiri
Paragraf	TNR	11	Sentence case, spasi baris 1, setelah paragraf diberi jarak spasi 1 spasi, justified

Tabel 2. Contoh tabel ukuran besar

Bagian	Huruf	Point	Keterangan
Judul Tabel	TNR	11	Sentence case, spasi baris 1, hanging 1,5 cm
Isi Tabel	TNR	8-10	Sentence case, spasi baris 1
Judul Gambar	TNR	11	Sentence case, spasi baris 1, tengah



Gambar 1. *Indirect Tensile Stiffness Modulus (ITSM) test*

<https://doi.org/10.26740/proteksi.vvnx.px-x>

Format Persamaan

Persamaan yang sudah biasa digunakan di dunia teknik sipil, tidak perlu dicantumkan dalam artikel. Persamaan-persamaan yang secara langsung mendukung dan merupakan hasil penelitian mutakhir yang dicantumkan, ditulis dengan menggunakan *Microsoft Equation* dan diberi nomor. Penomoran dilakukan dengan tabulasi kanan pada 7.75 cm dengan didahului titik-titik. Contoh dapat dilihat pada Persamaan [1].

$$n = \frac{z_{(\alpha/2)}^2 + \sigma^2}{B^2} \dots\dots\dots[1]$$

Semua singkatan dalam persamaan harus dijelaskan dengan kalimat, contoh: n adalah jumlah simulasi yang diperlukan; Z nilai invers dari distribusi normal; σ standar deviasi dan B adalah interval kesalahan (*margin of error*)

Atau dengan cara sbb:
 keterangan :

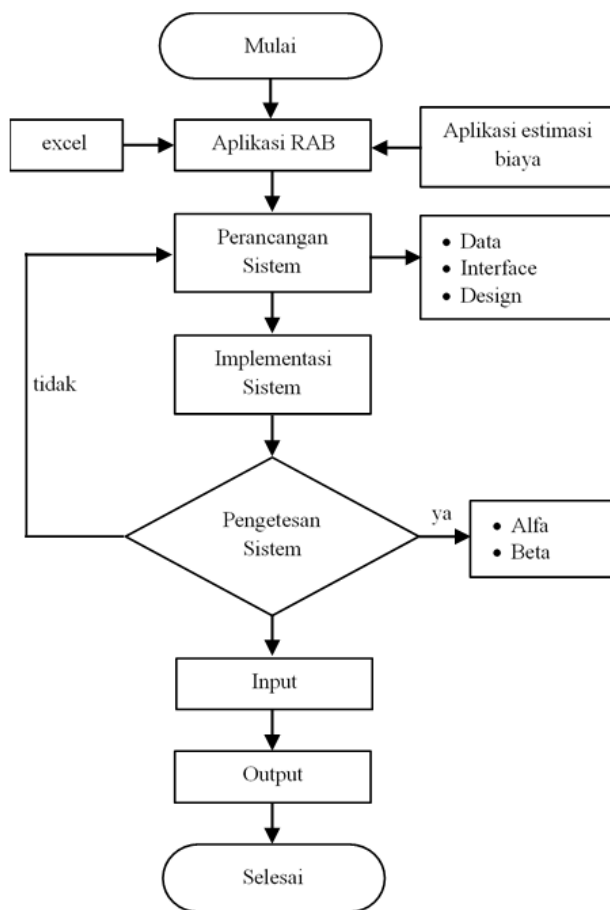
- n = jumlah simulasi yang diperlukan
- Z = nilai invers dari distribusi normal
- σ = standar deviasi
- B = interval kesalahan (*margin of error*)

METODE

Uraikan metode penelitian yang digunakan dengan ringkas. Untuk metode yang tidak umum, uraikan dengan rinci. Prosedur yang digunakan dalam penelitian dapat digambarkan misalkan dalam bentuk antara lain:

- Diagram alir
- Gambar
- Diagram lain yang menunjang.

Contoh diagram alur dapat dilihat pada gambar 2 sebagai berikut.



Gambar 2. Diagram Alir Perancangan Aplikasi Perhitungan RAB

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dapat dinyatakan dalam narasi, tabulasi, grafik, dan atau gambar. Usahakan untuk menampilkan dengan ringkas dan sekomprensif mungkin. Pembahasan harus terfokus pada hasil dan bagaimana hasil tersebut dapat menjawab masalah yang diangkat.

KESIMPULAN

Simpulkan apa yang telah dihasilkan dalam riset, bukan semata-mata apa yang dibayangkan akan dilakukan. Nyatakan dengan jelas apa kontribusi (unik) yang diberikan dalam bidang kajian ini. Simpulan dinyatakan dalam bentuk narasi.

REFERENSI

Referensi yang digunakan sebagian besar merupakan pustaka primer (hasil penelitian) dan bersifat mutakhir (10 th terakhir). Referensi dicantumkan *Hanging* 1 cm, diurutkan secara Alfabetis. Format penulisan referensi adalah sebagai berikut : nama penulis. Tahun. judul artikel (ditulis tegak dengan diawali dan diakhiri tanda "dobel-apostrop"), nama jurnal/majalah (ditulis miring), volume/Jilid, nomor terbit, bulan terbit, nomor permulaan dan akhir artikel, penerbit, tempat terbit. Contoh:

British Standard. 2003. "(BS) 4987-1: Coated Macadam (asphalt concrete) for roads and other paved areas".

Nichols J.C. and Lay J., 2002, "Crushed Glass in Macadam for Binder Course and Road Base Layers", *Proceedings of 4th European Symposium on Performance of*

Bituminous and Hydraulic Materials in Pavements, BITMAT 4, University of Nottingham, U.K., 11-12 April 2002, pp. 197-212, A.A.Balkema Publishers, Netherlands.

Sear, L.K.A., 2001, "*The Properties and Use of Coal Fly Ash*", Thomas Telford Ltd. London.

Sear, L.K.A., 2006, "Blocks Made in UK – 100 % Utilization of Bottom Ash", *ECOBAConferencePaper, United Kingdom QualityAshAssociation(UKQAA)*, <http://www.ukqaa.org.uk/Papers/ECOBAConferenceFBAinblock-Sear.pdf>. accessed: 08-02-06.

Smith, E.A., 1983, "Buckling of Four Equal-Leg Angle Cruciform Columns", *Journal of Structural Engineering*. ASCE. Vol. 109 No.2 Feb.

*Panjang kolom di halaman terakhir kurang lebih harus sama,
Template penulisan ini dapat diakses di: <https://journal.unesa.ac.id/index.php/proteksi/index>*

Pemodelan Fisik Konstruksi Kelompok Tiang dalam Mereduksi Aliran Super Kritis di Hilir Pintu Air Tipe Flap

Physical Modeling of Pile Group Construction in Reducing Super Critical Flow at Downstream of Flap Gate

I Made Kamiana¹, Dwi Anung Nindito², Ayuni Wulandari³

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya, Jln. Yos Sudarso. Email : kamianamade62@gmail.com

²Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya, Jln. Yos Sudarso. Email : dwi_anungnindito@eng.upr.ac.id

³Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya, Jln. Yos Sudarso. Email : ayuniw12@gmail.com

Abstrak

Aliran super kritis di hilir pintu air dapat menjadi salah satu penyebab gerusan pada saluran. Oleh karena itu, sebelum masuk ke saluran, aliran harus dalam kondisi sub kritis. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kemampuan konstruksi kelompok tiang dalam mereduksi aliran super kritis di hilir pintu air tipe flap. Penelitian dilakukan dengan cara pemodelan fisik di laboratorium. Model konstruksi kelompok tiang yang diuji terdiri dari enam variasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa enam variasi model konstruksi kelompok tiang mampu mereduksi aliran super kritis di hilir model pintu air tipe flap menjadi aliran sub kritis. Variasi yang paling efektif adalah Variasi IV. Pada variasi IV, model tiang dipasang paralel, tinggi model tiang 24 kali diameter model tiang, jarak antar model tiang 1/8 lebar flume, panjang model konstruksi kelompok tiang 1,95 kali jarak antara model konstruksi kelompok tiang dan model pintu air tipe flap. Variasi model tiang dalam penelitian ini hanya pada tinggi dan formasi. Oleh karena itu, penelitian ini masih perlu dikembangkan dengan variasi jenis material, diameter, dan kerapatan model tiang.

Kata Kunci: Aliran super kritis; bilangan froude; konstruksi kelompok tiang; pemodelan fisik; pintu air

Abstract

Before entering the channel, the supercritical flow at downstream of the flap gate must be in subcritical flow, so that it does not become one of the causes of scour. This research aims to analyze the ability of pile group construction in reducing supercritical flow at downstream of the flap gate and using six variations of the physical model of pile group construction in the laboratory. The results showed that the six variations of the tested pile group construction model were able to reduce the supercritical flow to a subcritical flow. The most effective variation is variation IV. In variation IV, the pile model is installed in parallel, the height of the pile model is 24 x the diameter of the pile model, the distance between the pile models is 1/8 the flume width, and the length of the pile group construction model is 1.95 x the distance between the pile group construction model and the flap gate model. In this research, the variation of the pile model is only in height and formation. So, it is necessary to develop variations in the type of material, diameter, and density of the pile model in the next research.

Keywords: Supercritical flow; froude number; pile group construction; physical modeling; flap gate

PENDAHULUAN

Pintu air merupakan bangunan air yang berfungsi untuk mengatur debit, misalnya debit di saluran irigasi, saluran drainase, dan debit di sungai (Fahmiahans dkk, 2018; Fitriansyah dkk, 2021).

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi aliran melalui pintu air, antara lain: tinggi bukaan pintu air, tinggi muka air di hulu pintu air, dan tinggi muka air di hilir loncatan hidraulik (Fahmiahans dkk, 2018; Rustiati dan Suciani, 2022).

Aliran di hilir pintu air dikelompokkan menjadi dua yaitu aliran bebas dan aliran tenggelam

<https://doi.org/10.26740/proteksi.v4n2.p67-73>

(Ghaderi dkk, 2020). Peristiwa loncatan hidraulik di hilir pintu air dapat terjadi baik dalam kondisi aliran bebas maupun aliran tenggelam (Ghaderi dkk, 2020).

Loncatan hidraulik terjadi pada aliran berubah tiba-tiba dari aliran super kritis menjadi aliran sub kritis (Eltoukhy dan Alsaydalani, 2019). Aliran super kritis adalah aliran dengan bilangan Froude lebih besar dari 1 ($F_r > 1$). Aliran sub kritis adalah aliran dengan bilangan Froude lebih kecil dari 1 ($F_r < 1$) (Fahmiahansan dkk, 2018).

Apabila aliran super kritis terjadi di hilir pintu air yang dasar salurannya berupa material halus maka dapat mengakibatkan gerusan lokal (Pudyono dan Sunik, 2013). Gerusan lokal dapat mengakibatkan kerusakan dan kegagalan bangunan air, termasuk didalamnya kerusakan dan kegagalan pintu air (Aamir dkk, 2022; Ibrahim dkk, 2022).

Untuk menghindari gerusan lokal di hilir pintu air maka sebelum masuk ke saluran, aliran super kritis diubah terlebih dahulu menjadi aliran sub kritis. Cara untuk mengubah aliran super kritis menjadi aliran sub kritis adalah dengan memasang konstruksi peredam atau pereduksi energi, misalnya berupa kolam olak dan blok penghalang aliran (Pudyono dan Sunik, 2013; Kim dkk, 2015; Urbański dkk, 2020).

Pudyono dan Sunik (2013) melakukan penelitian pemodelan kolam olak di hilir pintu air. Model kolam olak dilengkapi dengan blok-blok penghalang aliran di lantai kolam olak (*baffle blocks*) dan blok-blok penghalang di ujung lantai kolam olak (*endsill*). Penelitian bertujuan untuk meninjau kecepatan aliran di hilir pintu air sebelum dan sesudah pemasangan kolam olak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa setelah pemasangan kolam olak, kecepatan aliran di hilir pintu air berkurang dan terjadi aliran bolak-balik serta kondisi aliran berubah dari super kritis menjadi kritis kemudian berubah lagi menjadi sub kritis.

Kim dkk (2015) melakukan penelitian pemodelan pereduksi energi di hilir pintu air geser tegak. Model pereduksi energi yang digunakan berupa blok penghalang yang masif. Blok penghalang dipasang melintang pada jarak tertentu dari pintu air. Tinggi blok penghalang bervariasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, blok penghalang mampu mereduksi 50% aliran super kritis apabila tinggi blok penghalang sebesar 10% rata-rata kedalaman aliran dan jarak pemasangannya dari pintu geser tegak sebesar 70% rata-rata kedalaman aliran.

Dalam penelitian ini, pereduksi aliran super kritis dimodelkan dalam bentuk konstruksi kelompok tiang atau serupa model vegetasi rigid dalam penelitian yang dilakukan oleh Zhu dkk (2014).

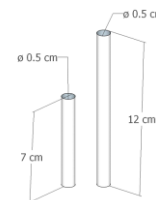
Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kemampuan model konstruksi kelompok tiang dalam mereduksi aliran super kritis di hilir model pintu air, dan menganalisis pemasangan model konstruksi kelompok tiang yang paling efektif.

METODE

Pembuatan Model

Pemodelan dilakukan dengan model fisik di Laboratorium Hidrolika dan Hidrologi Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya.

Dimensi *flume* yang digunakan dalam pemodelan sebagai berikut: panjang 6 m, lebar 0,20 m, dan tinggi 0,38 m. Dasar *flume* dibuat dari kayu, dan dinding dibuat dari kaca. Model pintu air yang digunakan dalam penelitian ini adalah model pintu air otomatis tipe flap atau *flap gate* (Adib dkk, 2015). Oleh karena *flume* dan model pintu air otomatis tipe flap sudah tersedia, maka dalam penelitian ini hanya diperlukan pembuatan model konstruksi kelompok tiang. Model tiang dibuat dari kayu galam. Penampang dan tinggi model tiang dapat dilihat pada Gambar 1. Diameter model tiang 0,5 cm; tinggi model tiang 7 cm (12 x diameter model tiang) dan 12 cm (24 x diameter model tiang). Model tiang dipasang paralel seperti terlihat pada Gambar 2.

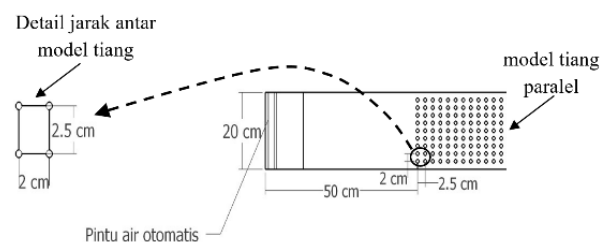


Gambar 1. Diameter model tiang dan tinggi model tiang

Keterangan Gambar 1:

ϕ : diameter model tiang = 0,5 cm

t : tinggi model tiang (7 cm dan 12 cm)



Gambar 2. Tampak atas pemasangan model tiang paralel pada *flume*, dan jarak antar model tiang

Keterangan Gambar 2:

Angka 20 cm : lebar *flume*

Angka 50 cm : jarak model konstruksi tiang dari model pintu air

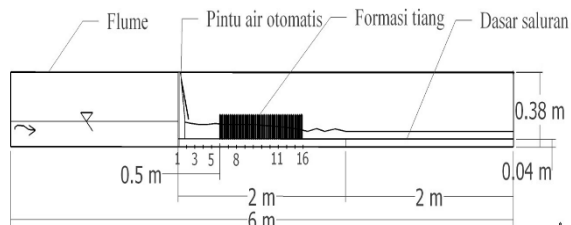
Angka 2 cm : jarak antar model tiang dalam arah memanjang *flume*

Angka 2,5 cm : jarak antar model tiang dalam arah melintang *flume* (1/8 lebar *flume*)

Pemasangan model konstruksi kelompok tiang pada *flume* dapat dilihat pada Tabel 1 dan pada Gambar 3 sampai dengan Gambar 6.

Tabel 1. Variasi model tiang dan cara pemasangan

Variasi model tiang	Cara pemasangan
Variasi I dengan $t = 7$ cm	Lihat Gambar 4
Variasi IV dengan $t = 12$ cm	Lihat Gambar 4
Variasi II dengan $t = 7$ cm	Lihat Gambar 5
Variasi V dengan $t = 12$ cm	Lihat Gambar 5
Variasi III dengan $t = 7$ cm	Lihat Gambar 6
Variasi VI dengan $t = 12$ cm	Lihat Gambar 6



Gambar 3. Tampak samping *flume*, model pintu air otomatis tipe flap, model konstruksi kelompok tiang, dan lokasi 16 titik pengukuran kedalaman aliran

Keterangan Gambar 3:

Angka 6 m : panjang total *flume*

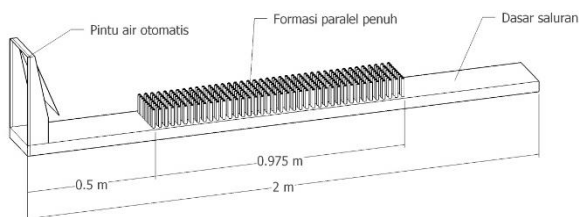
Angka 0,5 m : jarak model konstruksi kelompok tiang dari model pintu air

Angka 2 m : panjang dasar *flume* yang dibuat dari kayu

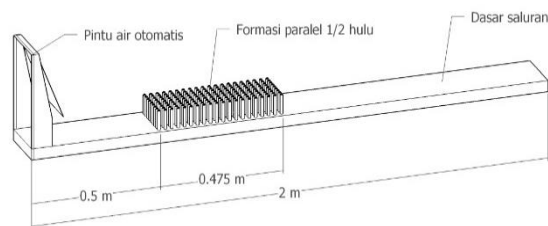
Angka 0,04 m : tebal kayu sebagai dasar *flume*

Angka 0,38 m : tinggi *flume* dari dasar

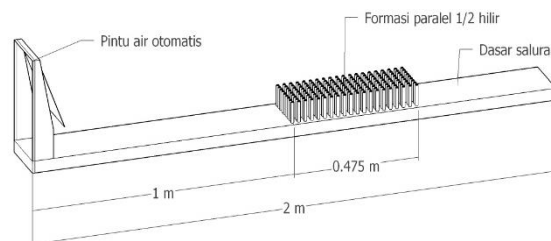
Angka 1... 16 : lokasi titik pengukuran kedalaman aliran



Gambar 4. Detail pemasangan model tiang variasi I dan variasi IV



Gambar 5. Detail pemasangan model tiang variasi II dan variasi V



Gambar 6. Detail pemasangan model tiang variasi III dan variasi VI

Keterangan Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6:

Angka 2 m : panjang dasar *flume* yang ditinjau

Angka 0,5 m : jarak model konstruksi tiang dari model pintu air pada variasi I, II, IV, dan variasi V

Angka 1 m : jarak model konstruksi tiang dari model pintu air pada variasi III dan variasi VI

Angka 0,975 m : panjang model model konstruksi tiang pada model variasi I dan IV

Angka 0,475 m : panjang model model konstruksi tiang pada model variasi II, III, V, dan VI

Pengumpulan Data

Data dikumpulkan dengan cara pengukuran dan cara perhitungan. Data yang diperoleh dengan cara pengukuran yaitu data kedalaman aliran dan lebar dasar *flume*. Pengumpulan data kedalaman aliran dilakukan pada saat pengaliran debit melalui model pintu air otomatis tipe flap tanpa dan dengan 6 variasi model konstruksi kelompok tiang. Pengaliran debit dilakukan dalam dua variasi yaitu $Q_1 = 0,00129 \text{ m}^3/\text{dt}$ dan $Q_2 = 0,00512 \text{ m}^3/\text{dt}$.

Data yang diperoleh dengan cara perhitungan adalah data luas penampang basah dan kecepatan aliran rata-rata penampang. Dalam Todar dkk (2021), kecepatan aliran di saluran terbuka dihitung dengan Persamaan Manning. Tetapi, dalam penelitian ini kecepatan aliran pada *flume* dihitung berdasarkan adaptasi dari Persamaan Kontinuitas (Kamiana dan Jaya, 2019). Persamaan yang dimaksud itu adalah Persamaan [1].

$$V = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots[1]$$

Keterangan:

- V : kecepatan aliran rata-rata penampang (m/dt)
- Q : debit (m³/dt), data Q diperoleh dengan pengukuran volumetrik
- A : luas penampang basah (m²) = y x b, dimana y adalah kedalaman aliran (m) dan b adalah lebar flume (m).

Analisis Data

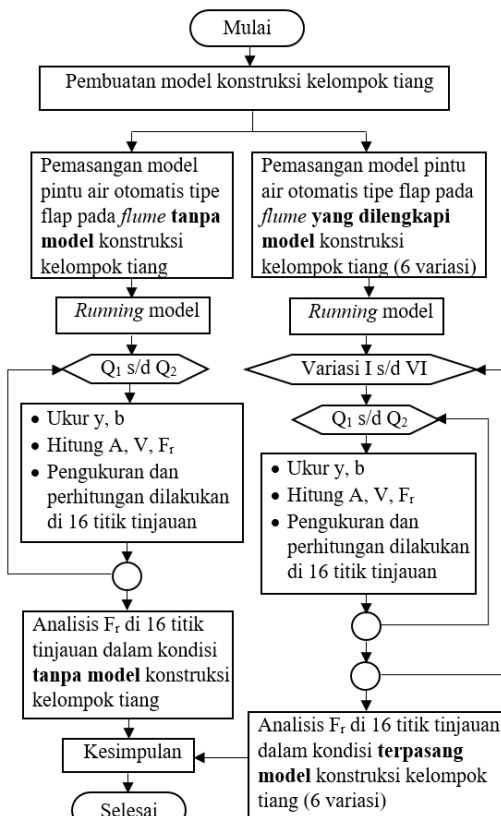
Data yang diperoleh selanjutnya digunakan sebagai data masukan dalam perhitungan bilangan Froude pada 16 titik tinjauan. Oleh karena flume yang digunakan dalam penelitian ini berpenampang persegi, maka bilangan Froude dihitung berdasarkan Persamaan [2] (Fahmiahsan dkk, 2018).

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{g y}} \dots\dots\dots[2]$$

Keterangan:

- F_r : bilangan Froude
- V : kecepatan aliran rata-rata penampang (m/dt)
- g : percepatan gravitasi (m/dt²)
- y : kedalaman aliran (m)

Hasil perhitungan bilangan Froude pada 16 titik tinjauan, kemudian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Bagan alir penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 7.

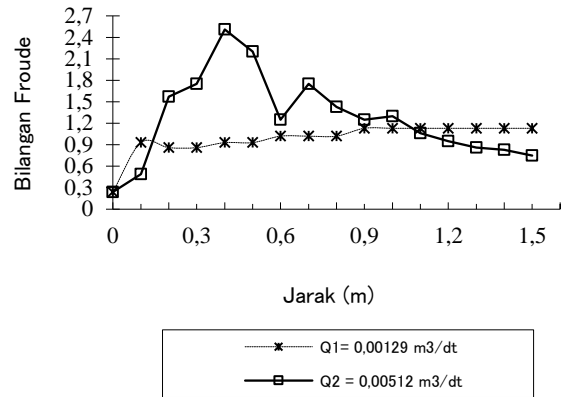


Gambar 7. Bagan Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Aliran tanpa model konstruksi kelompok tiang

Kondisi aliran di hilir model pintu air otomatis tipe flap tanpa model konstruksi kelompok tiang disajikan dalam bentuk grafik seperti terlihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Bilangan Froude (F_r) pada 16 titik tinjauan tanpa model konstruksi kelompok tiang

Lokasi titik-titik tinjauan pada Gambar 8, penjelasannya sebagai berikut: titik 0 atau titik tinjauan ke-1 terletak 10 cm di hulu model pintu air, titik 1 atau titik tinjauan ke-2 terletak pada posisi model pintu air, titik 2 atau titik tinjauan ke-3 terletak 10 cm di hilir model pintu air, titik 3 atau titik tinjauan ke-4 berlokasi 20 cm di hilir model pintu air, demikian seterusnya sampai titik tinjauan ke-16 yang terletak 1,4 m di hilir model pintu air.

Secara umum mengenai kondisi aliran pada Gambar 8 sebagai berikut: (i) Pada pengaliran dengan debit Q₁, aliran di hulu dan di posisi pintu air adalah sub kritis. Setelah melewati model pintu air, aliran cenderung menjadi super kritis dan tidak terdapat loncatan hidraulik. (ii) Pada pengaliran dengan debit Q₂, aliran di hulu dan di posisi model pintu air adalah sub kritis. Setelah melewati model pintu air, aliran berubah menjadi super kritis, kemudian di hilirnya menjadi sub kritis, sehingga terjadi loncatan hidraulik. Kondisi aliran seperti ini juga terdapat dalam salah satu hasil pengujian pengaliran oleh Pudyono dan Sunik (2013) maupun oleh Kim dkk (2015).

Berdasarkan Gambar 8, juga dapat dijelaskan kondisi aliran lebih rinci pada 16 titik tinjauan sebagai berikut:

1. Kondisi pengaliran dengan debit Q₁

Di titik tinjauan ke-1 atau pada jarak 0,1 m di hulu model pintu air sampai dengan titik tinjauan ke-6 atau pada jarak 0,4 m di hilir model pintu air, nilai bilangan Froude < 1 (sub kritis). Mulai dari titik tinjauan ke-7, atau mulai dari titik tinjauan dengan

jarak 0,5 m di hilir model pintu air sampai dengan titik tinjauan ke-16 atau titik tinjauan dengan jarak 1,4 m di hilir model pintu air, nilai bilangan Froude > 1 (super kritis).

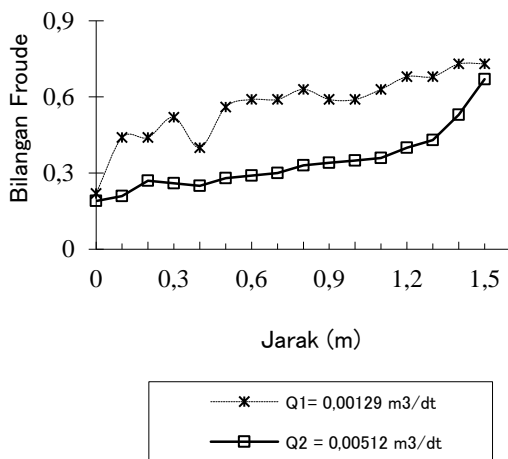
Pada pengaliran dengan debit Q_1 , nilai bilangan Froude terkecil 0,24 yang terjadi pada titik tinjauan ke-1 atau pada titik tinjauan yang berjarak 0,1 m di hulu model pintu air. Sedangkan nilai bilangan Froude terbesar 1,13 yang terjadi pada titik tinjauan ke-16 atau pada titik tinjauan yang berjarak 1,4 m di hilir model pintu air.

2. Kondisi pengaliran dengan debit Q_2

Di titik tinjauan ke-1 atau pada jarak 0,1 m di hulu model pintu air dan di titik tinjauan ke-2 atau pada posisi pintu air, nilai bilangan Froude < 1 (sub kritis). Mulai titik tinjauan ke-3, nilai bilangan Froude meningkat menjadi > 1 (super kritis). Peningkatan nilai bilangan Froude ini mencapai puncaknya pada titik tinjauan ke-5 atau pada titik tinjauan yang berjarak 0,3 m di hilir model pintu air. Mulai dari titik tinjauan ke-14 sampai dengan titik tinjauan ke-16, atau mulai dari jarak 1,2 m sampai dengan jarak 1,4 m di hilir model pintu air, nilai bilangan Froude berubah menjadi < 1 (sub kritis). Hal ini menunjukkan bahwa, pada pengaliran dengan debit Q_2 loncatan hidraulik terjadi mulai dari titik tinjauan ke-5 sampai dengan titik tinjauan ke-14.

Aliran dengan model konstruksi kelompok tiang

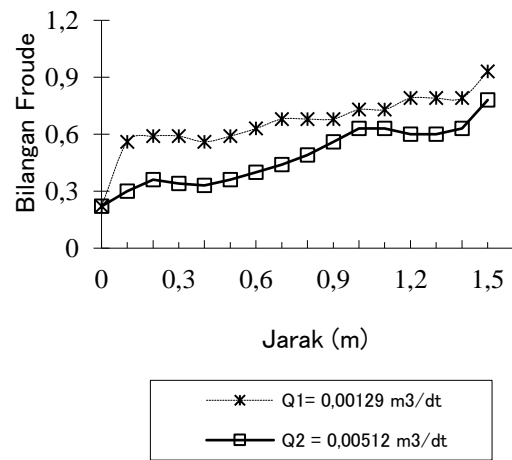
Gambar 9 sampai dengan Gambar 14 menunjukkan kondisi aliran pada 16 titik tinjauan di hulu dan hilir model pintu air otomatis tipe flap.



Gambar 9. Bilangan Froude (F_r) setelah dipasang model konstruksi kelompok tiang variasi I

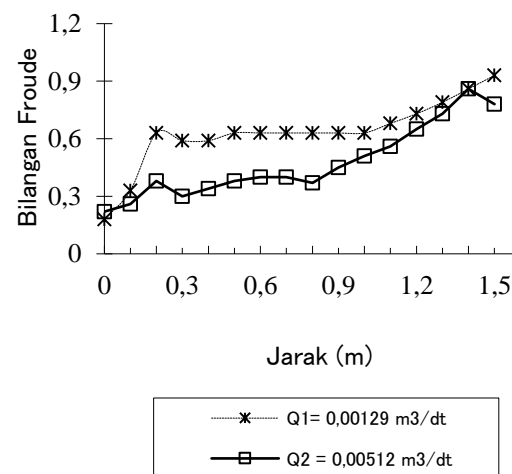
Berdasarkan Gambar 9 dapat dilihat bahwa setelah pemasangan model konstruksi kelompok tiang variasi I di hilir model pintu air, bilangan Froude pada titik tinjauan ke-3 sampai dengan titik tinjauan ke-16 berubah menjadi lebih kecil dari satu. Artinya, aliran di hilir model pintu air menjadi dalam

kondisi sub kritis setelah pemasangan model konstruksi tiang variasi I. Bilangan Froude terbesar terdapat pada titik tinjauan ke-16, yaitu $F_r = 0,67$ pada saat Q_2 dan $F_r = 0,73$ pada saat Q_1 .



Gambar 10. Bilangan Froude (F_r) setelah dipasang model konstruksi kelompok tiang variasi II

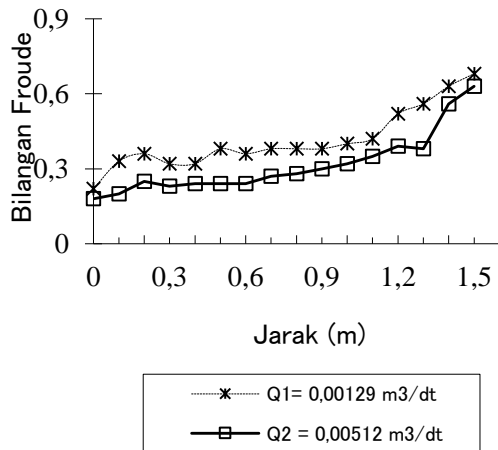
Berdasarkan Gambar 10, dapat dilihat bahwa setelah pemasangan model konstruksi kelompok tiang variasi II di hilir model pintu air, bilangan Froude pada titik tinjauan ke-3 sampai dengan titik tinjauan ke-16 berubah menjadi lebih kecil dari satu. Artinya, aliran di hilir model pintu air berubah menjadi sub kritis setelah pemasangan model konstruksi tiang variasi II. Bilangan Froude terbesar terdapat pada titik tinjauan ke-16, yaitu $F_r = 0,78$ pada saat Q_2 dan $F_r = 0,93$ pada saat Q_1 . Bilangan Froude terbesar pada variasi II ini lebih besar dari bilangan Froude terbesar pada variasi I.



Gambar 11. Bilangan Froude (F_r) setelah dipasang model konstruksi kelompok tiang variasi III

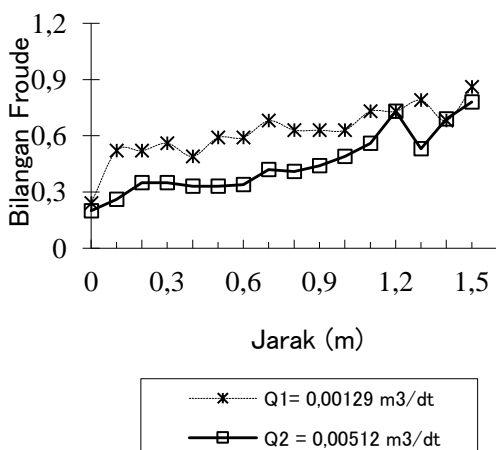
Berdasarkan Gambar 11, dapat dilihat bahwa setelah pemasangan model konstruksi kelompok

tiang variasi III, kondisi bilangan Froude pada titik tinjauan ke-3 sampai dengan titik tinjauan ke-16 sama dengan kondisi bilangan Froude setelah pemasangan model konstruksi kelompok tiang variasi I dan II, yaitu terjadi pengecilan bilangan Froude hingga lebih kecil dari satu. Bilangan Froude terbesar pada variasi III sama dengan bilangan Froude terbesar pada variasi II.



Gambar 12. Bilangan Froude (F_r) setelah dipasang model konstruksi kelompok tiang variasi IV

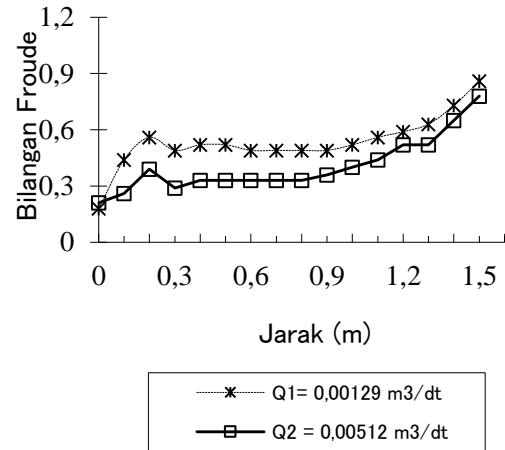
Bilangan Froude setelah pemasangan model konstruksi kelompok tiang variasi IV yang ditunjukkan pada Gambar 12 juga sama dengan yang ditunjukkan pada Gambar 9, 10, Gambar 11, yakni bilangan Froude menjadi lebih kecil dari satu. Bilangan Froude terbesar pada variasi IV terdapat pada titik tinjauan ke-16, yaitu $F_r = 0,63$ pada saat Q_2 dan $F_r = 0,68$ pada saat Q_1 .



Gambar 13. Bilangan Froude (F_r) setelah dipasang model konstruksi kelompok tiang variasi V

Sama halnya dengan setelah pemasangan model konstruksi kelompok tiang variasi I, II, III, dan IV,

bilangan Froude pada titik tinjauan setelah pemasangan model konstruksi kelompok tiang variasi V, juga mengecil menjadi lebih kecil dari satu. Bilangan Froude terbesar pada variasi V terdapat pada titik tinjauan ke-16, yaitu $F_r = 0,78$ pada saat Q_2 dan $F_r = 0,86$ pada saat Q_1 .



Gambar 14. Bilangan Froude (F_r) setelah dipasang model konstruksi kelompok tiang variasi VI

Berdasarkan Gambar 14, pada variasi VI, bilangan Froude pada titik tinjauan ke-3 sampai dengan ke-16 juga mengecil menjadi lebih kecil dari satu. Bilangan Froude terbesar pada variasi VI sama dengan pada variasi V.

Apabila dirangkum dari Gambar 9 sampai dengan Gambar 14 dapat dijelaskan bahwa:

1. Setelah pemasangan model konstruksi kelompok tiang, bilangan Froude pada setiap titik tinjauan di hilir model pintu air menjadi lebih kecil dari satu, atau aliran menjadi sub kritis.
2. Penurunan bilangan Froude tidak sama antar variasi model konstruksi kelompok tiang.
3. Variasi model konstruksi kelompok tiang yang paling efektif dalam menurunkan bilangan Froude di hilir model pintu air adalah variasi IV.

Hasil penelitian ini memiliki kesamaan dengan hasil penelitian Pudyono dan Sunik (2013), Kim dkk (2015), Aydin dan Ulu (2017), dan Ghaderi dkk (2020), yang pada intinya menyatakan bahwa:

1. Pemasangan penghalang aliran di hilir pintu air, dapat menurunkan kecepatan aliran, memperpendek panjang loncatan hidraulik, dan meningkatkan kedalaman aliran di akhir loncatan hidraulik. Dengan kata lain, penghalang aliran dapat mereduksi aliran super kritis.
2. Efektivitas penghalang aliran dalam mereduksi aliran super kritis bergantung pada beberapa faktor, antara lain: dimensi, bentuk, formasi, dan lokasi pemasangan penghalang aliran.

KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa enam variasi model konstruksi kelompok tiang yang diuji, yaitu: variasi I, II, III, IV, V, dan VI, mampu mereduksi aliran super kritis di hilir model pintu air tipe flap menjadi aliran sub kritis.

Model konstruksi kelompok tiang yang paling efektif dalam mereduksi aliran super kritis menjadi sub kritis di hilir model pintu air tipe flap adalah model konstruksi kelompok tiang variasi IV.

Bentuk model konstruksi kelompok tiang variasi IV, sebagai berikut: (i) model tiang dipasang paralel; (ii) tinggi model tiang 24 kali diameter model tiang; (iii) jarak antar model tiang 1/8 lebar *flume*; (iv) panjang pemasangan model konstruksi kelompok tiang 1,95 kali jarak pemasangan model konstruksi kelompok tiang dari model pintu air tipe flap.

REFERENSI

- Aamir, M., Ahmad, Z., Pandey, M., Khan, A. M., Aldrees, A., Mohamed, A. 2022. "The Effect of Rough Rigid Apron on Scour Downstream of Sluice Gates", *Water*. Vol 14. No. 14.
- Adib, M.R.M., Amirza, A.R.M., Wardah, T., Junaidah, A. 2015. "Effectiveness Using Circular Fibre Steel Flap Gate as a Control Structure Towards the Hydraulic Characteristics in Open Channel", *Soft Soil Engineering International Conference*, IOP Publishing, pp. 1-9.
- Aydin, M.C., Ulu, A.E. 2017. "Numerical Modelling of Sluice Gates with Different Baffle Types Under Submerged Flow Conditions", *Journal of Science and Technology*. Vol. 7 No. 1.
- Eltoukhy, M.A.R., Alsaydalani, M.O.A. 2019. "Hydraulic Jump Characteristics Downstream of a Sluice Gate with an Orifice", *International Journal of Scientific & Engineering Research*. Vol. 10 No. 10.
- Fahmiahsan, R., Mudjiatko, Rinaldi. 2018. "Fenomena Hidrolis pada Pintu Sorong", *Jom FTEKNIK*. Vol. 5 No. 1.
- Fitriansyah, M., Setiawan, I., Ridhani, M.Y. 2021. "Perencanaan Desain Pintu Air Otomatis Sebagai Upaya Mitigasi Genangan Akibat Pasang Air Sungai (Jl. Belitung Kota Banjarmasin)", *Jurnal Konstruksia*. Vol. 13 No. 1.
- Ghaderi, A., Dasineh, M., Aristodemo, F., Ghahramanzadeh, A. 2020. "Characteristics of Free and Submerged Hydraulic Jumps Over Different Macroroughnesses", *Journal of Hydroinformatics*. Vol. 22 No. 6.
- Ibrahim, M.M., Helmy, A., Alafrawi, M.A., El-Hazek, A.N. 2022. "Using Nanomaterial to Minimize the Local Scour Downstream of Sluice Gate", *Alexandria Engineering Journal*. Vol. 61 No. 4.
- Kamiana, I.M., Jaya, A.R. 2019. "Koefisien Manning Saluran Drainase di Ruas Jalan Bapuyu dan Jalan Lele Kota Palangka Raya", *Prosiding SNST ke-10 Tahun 2019*, Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim, pp.37-42.
- Kim, Y., Choi, G., Park, H., Byeon, S. 2015. "Hydraulic Jump and Energy Dissipation with Sluice Gate", *Water*. Vol. 7. No. 9.
- Pudyo, Sunik. 2013. "Penentuan Kedalaman dan Pola Gerusan Akibat Aliran Superkritik di Hilir Pintu Air Menggunakan End Sill dan Baffle Block dengan Simulasi Model Integrasi Numerik", *Jurnal Rekayasa Sipil*. Vol. 7 No. 2.
- Rustiati, N.B., Suciani, N. 2022. "Kajian Pola Aliran di Hilir Pintu Sorong dengan Material Dasar Saluran Pasir Lempung", *Rekonstruksi Tadulako*. Vol. 3 No 1.
- Todar, E.Y., Nomeritae, Kamiana, I.M. 2021. "Perubahan Parameter Hidrolis pada Drainase Primer dengan Dinding Alami Akibat Sampah Padat", *Proteksi*, Vol. 3 No. 2.
- Urbański, J., Kiraga, M., Bajkowski, S. 2020. "The Impact of Energy Dissipation Devices on The Size of Local Scour Beds on The Sluice Gate Model", *Archives of Civil Engineering*. Vol. 66 No. 4.
- Zhu, C., Hao, W., Chang, X. 2014. "Vertical Velocity Distribution in Open-Channel Flow with Rigid Vegetation", *The Scientific World Journal*. Vol. 2014 No. 3.

Analisis Stabilitas Lereng Batuan dengan Pendekatan Kriteria Keruntuhan Hoek-Brown dan Mohr Coulomb Menggunakan Metode Numerik Plaxis 2D

Rock Slope Stability Analysis with the Hoek-Brown and Mohr Coulomb Collapse Criteria Approach using the 2D Plaxis Numerical Method

Desti Santi Pratiwi¹, Yuki Achmad Yakin¹, Aldo Mahaputra¹

¹ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Bandung, Jln. PHH. Mustopha No.23 Bandung. Telp: (022) 7272215. Email: destisantipratiwi@itenas.ac.id

Abstrak

Stabilitas lereng merupakan salah satu faktor penting yang harus diperhatikan dalam merancang suatu lereng batuan. Aktivitas penggalian dalam massa batuan dapat mengakibatkan terjadinya kelongsoran atau keseimbangan lereng terganggu. Analisis stabilitas lereng batuan dapat dipengaruhi oleh tiga faktor seperti kekuatan massa batuan, faktor kerusakan akibat peledakan dan geometri lereng. Pada penelitian ini akan dilakukan perbandingan analisis lereng batuan menggunakan model material Hoek-Brown (HB) dan Mohr-Coulomb (MC) berdasarkan persamaan Hoek-Brown Tahun 2002. Klasifikasi massa batuan akan menggunakan sistem *Rock Mass Rating* (RMR) dan *Geological Strength Index* (GSI). Metode Elemen Hingga pada program Plaxis 2D digunakan untuk menentukan nilai faktor keamanan. Hasil analisis menunjukkan bahwa selisih perbedaan nilai faktor keamanan antara model HB dan MC tidak signifikan. Nilai perbedaan paling besar yaitu 10%. Selain itu, antara kedua model ini menghasilkan bidang gelincir yang mirip. Sehingga dapat disimpulkan bahwa persamaan Hoek-Brown Tahun 2002 dapat digunakan sebagai korelasi parameter Mohr-Coulomb.

Kata Kunci: Hoek-brown; kriteria keruntuhan; lereng batuan; mohr-coulomb; plaxis 2D

Abstract

Slope stability is one of the important factors that must be considered in designing a rock slope. Excavation activities in rock mass cause landslides or disturb the slope balance. Analysis of rock slope stability can be influenced by three factor such as the rock mass strength, the damage caused by blasting and the slope geometry. In this study, a comparison of rock slope analysis will be carried out using the Hoek-Brown (HB) and Mohr-Coulomb (MC) material models based on Hoek-Brown equation in 2002. The classification of rock mass uses the Rock Mass Rating (RMR) and Geological Strength Index (GSI) system. The Finite Element Method in the Plaxis 2D software is used to determine the safety factor. The analysis results showed that the difference in the safety factor between Hoek-Brown and Mohr-Coulomb models was not significant. The biggest difference value is 10%. Moreover, the two models produce a similar failure surface. It can be concluded that Hoek-Brown (2002) equation can be used as a correlation parameter for Mohr-Coulomb.

Keywords: Hoek-brown; failure criterion; rock slope; mohr-coulomb; plaxis 2D.

PENDAHULUAN

Banyaknya lereng batuan di Indonesia, yang dapat kita jumpai di jalan raya maupun daerah permukiman, menyebabkan perlunya analisis kestabilan lereng yang akurat. Analisis kestabilan lereng dilakukan agar dapat mengurangi risiko kelongsoran yang mengakibatkan korban jiwa. Kelongsoran dapat diprediksi berdasarkan nilai faktor keamanan (FK). Jika nilai faktor keamanan

lebih kecil dari 1, maka lereng akan mengalami kelongsoran. Pada SNI 8460 Tahun 2017 dikatakan bahwa untuk lereng batuan nilai faktor keamanan yang disyaratkan yaitu sebesar 1.5.

Pada analisis stabilitas lereng batuan sudah banyak metode yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai faktor keamanan, salah satunya yaitu Metode Elemen Hingga. Program PLAXIS yang berbasis Metode Elemen Hingga sudah sering

digunakan untuk menganalisis kasus-kasus geoteknik.

Pada Program PLAXIS, pemodelan material batuan dapat didekati dengan model material Hoek-Brown (HB) maupun Mohr-Coulomb (MC). Parameter yang digunakan pada kedua model tersebut jelas berbeda. Umumnya model HB digunakan untuk memodelkan material batuan, sedangkan model MC dapat digunakan untuk memodelkan tanah ataupun batuan. Korelasi parameter batuan MC dapat diperoleh berdasarkan parameter batuan HB.

Penelitian-penelitian yang terkait mengenai analisis stabilitas lereng batuan menggunakan model HB sudah banyak dilakukan, seperti perbandingan model Limit-Equalibrium, numerik dan fisik dari stabilitas lereng dinding pun sudah dilakukan oleh Alejano dkk (2011). Lin dan Chen (2017) melakukan analisis balik pada lereng homogen di area kritisnya, serta beberapa peneliti telah melakukan analisis stabilitas lereng batuan menggunakan metode Strength Reduction (Jiang dkk, 2015; Ledesma dkk, 2016). Selain itu, beberapa peneliti melakukan perbandingan antara analisis stabilitas lereng model numerik menggunakan HB dan MC (Chen dan Lin, 2018; Shen dan Karakus, 2012a; Lee dkk, 2012). Andajani dan Triarso melakukan analisis korelasi antara parameter Indeks Plastisitas dengan sudut geser tanah dengan penambahan kapur terhadap stabilitas daya dukung fondasi dangkal (2020).

Pada penelitian ini akan memodelkan lereng batuan Diorit dengan menggunakan parameter MC dan HB pada Program PLAXIS 2D. Parameter MC akan ditentukan menggunakan rumus empirik berdasarkan parameter HB yang diketahui (Hoek, 2002). Hasil analisis yang didapatkan yaitu berupa nilai Faktor Keamanan (FK) dan selanjutnya akan dibandingkan. Tujuan dari penelitian ini yaitu mengetahui seberapa besar perbandingan hasil analisis dari pemodelan lereng dengan menggunakan parameter MC dan HB serta memvalidasi pendekatan persamaan untuk memperoleh parameter MC melalui *Hoek-Brown Failure Criterion* (Hoek, 2002).

METODE

Bagan alir merupakan suatu alur kegiatan yang akan dilakukan pada penelitian ini. Bagan alir dari penelitian ini mengacu pada ruang lingkup penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 1.

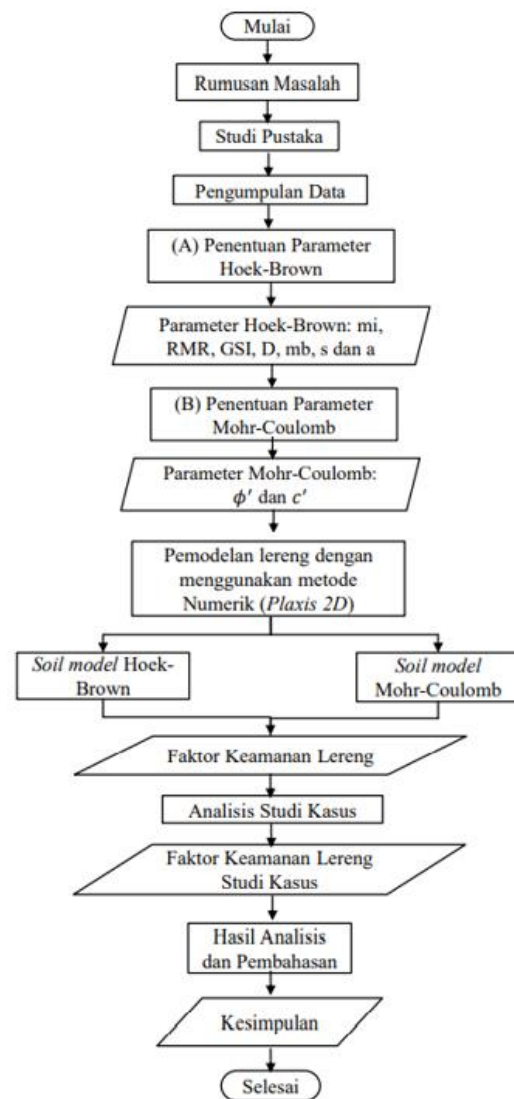
Kriteria Keruntuhan Batuan

Hoek dan Brown (1980) mengusulkan sebuah metode untuk mendapatkan kekuatan massa batuan

terkekarkan. Kriteria keruntuhan diturunkan dari hasil penelitian keruntuhan batuan utuh oleh Hoek (1968) dan studi model dari perilaku kekar massa batuan oleh Brown (1970). Akan tetapi, kriteria keruntuhan ini pun mengalami beberapa kali modifikasi dan pengembangan klasifikasi. Pada tahun 1994, Hoek melakukan pengembangan klasifikasi baru yang disebut *Geological Strength Index* (GSI), kemudian dimodifikasi (Hoek, dkk., 2002). Kriteria ini kemudian dikenal dengan *Generalize Hoek-Brown Criterion* melalui Persamaan 1 berikut ini.

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}'} + s \right)^a \dots\dots\dots[1]$$

- Halmana:
 σ_1' dan σ_3' = nilai tegangan efektif maksimum dan minimum saat batuan mengalami keruntuhan
 σ_{ci} = nilai kuat tekan massa batuan
 m_b, s dan a = nilai konstanta untuk massa batuan



Gambar 1. Bagan alir penelitian

Geological Strength Index (GSI)

Dalam mencari nilai *Geological Strength Index* (GSI) dapat dilakukan dengan dua cara yaitu dengan melakukan pengamatan di lapangan (seperti pada Gambar 2) atau menghitung berdasarkan nilai *Rock Mass Rating* (RMR) seperti pada Persamaan 2 (Hoek dkk, 1994).

$$GSI = RMR - 5 \dots\dots\dots[2]$$

Setelah nilai GSI didapatkan, parameter-parameter yang menggambarkan karakteristik massa batuan dapat dihitung dengan Persamaan 3 hingga Persamaan 5.

$$m_b = m_i \exp \left[\frac{GSI-100}{28-14D} \right] \dots\dots\dots[3]$$

$$s = \exp \left[\frac{GSI-100}{9-3D} \right] \dots\dots\dots[4]$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left[e^{-\frac{GSI}{15}} - e^{-\frac{20}{3}} \right] \dots\dots\dots[5]$$

Untuk parameter m_b , s dan a dibutuhkan konstanta m_i dan D . konstanta m_i ditentukan berdasarkan jenis batuan (sedimen, malihan dan beku) sedangkan konstanta D adalah faktor kerusakan yang tergantung pada kerusakan massa batuan akibat penggalian atau peledakan. Nilai konstanta m_i dan D dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.

Rock Mass Rating (RMR)

Nilai RMR dapat ditentukan berdasarkan persamaan yang telah dibuat oleh Bieniawski Tahun 1989. Pada penentuan nilai RMR dibutuhkan beberapa parameter, yaitu nilai kuat tekan batuan (UCS), nilai RQD yang diperkenalkan oleh Deere (1964), jarak diskontinuitas, kondisi diskontinuitas, dan kondisi muka air tanah. Setelah mendapatkan parameter tersebut, selanjutnya menentukan nilai bobot dari masing-masing parameter dan akhirnya dapat menentukan nilai RMR.

Modulus Deformasi

Modulus defromasi dapat dihitung menggunakan persamaan Hoek-Brown berdasarkan nilai faktor efek kerusakan akibat ledakan (D) dan tekanan relaksasi. Perhitungan Modulus deformasi dibagi menjadi dua tergantung dari nilai kuat tekan massa batuan (σ_{ci}). Jika nilai $\sigma_{ci} \leq 100$ Mpa maka gunakan Persamaan 6, sedangkan jika nilai $\sigma_{ci} > 100$ Mpa maka gunakan Persamaan 7.

$$E_m(GPa) = \left(1 - \frac{D}{2}\right) \times \sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}} \times 10^{\left(\frac{GSI-10}{40}\right)} \dots\dots\dots[6]$$

$$E_m(GPa) = \left(1 - \frac{D}{2}\right) \times 10^{\left(\frac{GSI-10}{40}\right)} \dots\dots\dots[7]$$

Halmana:

- σ_{ci} = nilai kuat tekan massa batuan
- D = faktor efek kerusakan akibat ledakan
- GSI = *Geological Strength Index*

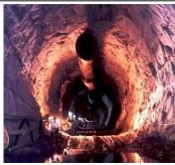

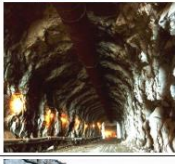
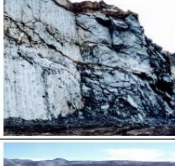

STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY			
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90			
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	70			
	VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets	50			
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity	30			
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	20			
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	N/A	N/A		10
		80	60	40	20

Gambar 2. Nilai GSI berdasarkan pengamatan geologi di lapangan (Sumber: Hoek, 2006)

Rock type	Class	Group	Texture				
			Coarse	Medium	Fine	Very fine	
SEDIMENTARY	Clastic		Conglomerates (21 ± 3)	Sandstones (17 ± 4)	Siltstones (7 ± 2)	Claystones (4 ± 2)	
			Breccias (19 ± 5)		Greywackes (18 ± 3)	Shales (6 ± 2)	
						Marls (7 ± 2)	
	Non-Clastic	Carbonates	Crystalline Limestone (12 ± 3)	Sparitic Limestones (10 ± 2)	Micritic Limestones (9 ± 2)	Dolomites (9 ± 3)	
		Evaporites		Gypsum (8 ± 2)	Anhydrite (12 ± 2)		
	Organic				Chalk (7 ± 2)		
METAMORPHIC	Non Foliated		Marble (9 ± 3)	Hornfels (19 ± 4)	Quartzites (20 ± 3)		
	Slightly foliated		Migmatite (29 ± 3)	Amphibolites (26 ± 6)			
	Foliated*		Gneiss (28 ± 5)	Schists (12 ± 3)	Phyllites (7 ± 3)	Slates (7 ± 4)	
IGNEOUS	Plutonic	Light	Granite (32 ± 3)	Diorite (25 ± 5)	Granodiorite (29 ± 3)		
		Dark	Gabbro (27 ± 3)	Norite (20 ± 5)	Dolerite (16 ± 5)		
	Hypabyssal		Porphyries (20 ± 5)		Diabase (15 ± 5)	Peridotite (25 ± 5)	
	Volcanic	Lava		Rhyolite (25 ± 5)	Andesite (25 ± 5)	Dacite (25 ± 3)	Basalt (25 ± 5)
		Pyroclastic		Agglomerate (19 ± 3)	Breccia (19 ± 5)	Tuff (13 ± 5)	Obsidian (19 ± 3)

Gambar 3. Nilai konstanta m_i (Sumber: Hoek, 2006)

<https://doi.org/10.26740/proteksi.v4n2.p74-81>

Appearance of rock mass	Description of rock mass	Suggested value of D
	Excellent quality controlled blasting or excavation by Tunnel Boring Machine results in minimal disturbance to the confined rock mass surrounding a tunnel.	D = 0
	Mechanical or hand excavation in poor quality rock masses (no blasting) results in minimal disturbance to the surrounding rock mass. Where squeezing problems result in significant floor heave, disturbance can be severe unless a temporary invert, as shown in the photograph, is placed.	D = 0 D = 0.5 No invert
	Very poor quality blasting in a hard rock tunnel results in severe local damage, extending 2 or 3 m, in the surrounding rock mass.	D = 0.8
	Small scale blasting in civil engineering slopes results in modest rock mass damage, particularly if controlled blasting is used as shown on the left hand side of the photograph. However, stress relief results in some disturbance.	D = 0.7 Good blasting D = 1.0 Poor blasting
	Very large open pit mine slopes suffer significant disturbance due to heavy production blasting and also due to stress relief from overburden removal. In some softer rocks excavation can be carried out by ripping and dozing and the degree of damage to the slopes is less.	D = 1.0 Production blasting D = 0.7 Mechanical excavation

Gambar 4. Faktor kerusakan (D) (Sumber: Hoek, 2002)

Pendekatan Persamaan Mohr-Coulomb

Kekuatan geser dari massa batuan pada permukaan geser yang diungkapkan oleh kriteria keruntuhan MC perlu pendekatan atau kesetaraan untuk menentukan sudut geser dalam (ϕ') dan kohesi (c') antara kriteria keruntuhan HB dan MC untuk menganalisis stabilitas suatu lereng. Hoek (2002) memberikan persamaan untuk mencari kriteria keruntuhan HB dan kriteria keruntuhan MC seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 8 hingga Persamaan 10.

$$\sigma'_1 = \frac{2c' \cos \phi'}{1 - \sin \phi'} + \frac{1 + \sin \phi'}{1 - \sin \phi'} \sigma'_3 \dots \dots \dots [8]$$

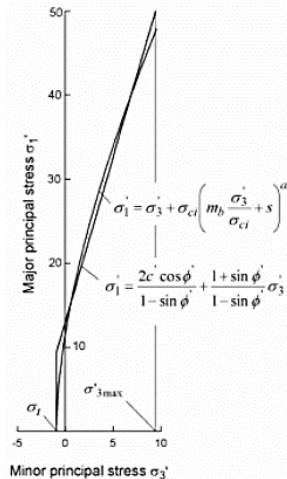
$$\phi' = \sin^{-1} \left[\frac{6am_b(s+m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a)+6am_b(s+m_b\sigma'_{3n})^{a-1}} \right] \dots \dots \dots [9]$$

$$c' = \frac{\sigma_{ci} [(1+2a)s+(1-a)m_b\sigma'_{3n}](s+m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a)\sqrt{1+(6am_b(s+m_b\sigma'_{3n})^{a-1})/(1+a)(2+a)}} \dots \dots [10]$$

Keterangan:
 σ'_1 dan σ'_3 = nilai tegangan efektif maksimum dan minimum saat batuan mengalami keruntuhan

σ_{ci} = nilai kuat tekan
 m_b, s dan a = nilai konstanta untuk massa batuan
 ϕ' = nilai kuat geser dalam
 c' = nilai kohesi

Persamaan 9 merupakan definisi dari grafik hubungan *major principal stress* dan *minor principal stress* antara keruntuhan HB dan MC yang ditunjukkan pada Gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5. Hubungan *major dan minor principal stress* dari HB dan MC (Sumber: Hoek, 2002)

Analisis Stabilitas Lereng dengan Metode Numerik

Pada analisis stabilitas lereng batuan dapat menggunakan berbagai metode mulai dari yang sederhana hingga rumit. Dalam penelitian ini, penulis meninjau kestabilan lereng dengan Metode Elemen Hingga menggunakan Program PLAXIS 2D. PLAXIS 2D adalah salah satu perangkat lunak yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dalam bidang geoteknik. PLAXIS 2D dikembangkan melalui pendekatan prinsip Finite Element Method (Metode Elemen Hingga) untuk membuat model lereng dan menganalisis hingga mendekati kondisi sebenarnya. Pada penelitian ini, PLAXIS 2D digunakan untuk mendapatkan nilai Faktor Keamanan (FK).

Metode yang digunakan untuk mendapatkan nilai FK yaitu Metode Pengurangan Kekuatan Geser (Strength Reduction Method). Menurut Brinkgreve (2016), metode ini memiliki prinsip mereduksi nilai kuat geser tanah berupa nilai kohesi (c) dan sudut geser (ϕ) secara bertahap hingga terjadi keruntuhan. Persamaan yang digunakan untuk mencari nilai FK ditunjukkan pada Persamaan 11 dan 12 di bawah ini.

$$c_f = \frac{c}{SRF} \dots \dots \dots [11]$$

$$\phi_f = \tan^{-1}\left(\frac{\tan\phi}{SRF}\right) \dots\dots\dots [12]$$

Penentuan Parameter Pemodelan

Data yang telah didapatkan di lapangan selanjutnya akan dilakukan pengujian di laboratorium untuk mendapatkan parameter-parameter yang dibutuhkan. Hasil uji laboratorium material batuan tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji Laboratorium Material Batuan

Parameter	Satuan	Nilai
γ_{unsat}	gr/cm ³	26,41
γ_{sat}	gr/cm ³	26,56
E	kg/cm ²	34400
σ_c	kg/m ²	477,699

Analisis stabilitas lereng batuan pada penelitian ini didasarkan pada *Hoek-Brown Failure Criterion* (2002). Kriteria keruntuhan HB ini digunakan untuk mendapatkan parameter MC yaitu nilai sudut geser dalam (ϕ') dan nilai kohesi (c') dengan menggunakan parameter nilai m_b , s dan a . Parameter tersebut didapat dengan menggunakan parameter nilai GSI, RMR, nilai m_i dan faktor kerusakan (D). Klasifikasi massa batuan dengan RMR dapat dilihat pada Tabel 2.

Dari hasil pengklasifikasian massa batuan menggunakan metode RMR didapatkan nilai RMR 52. Nilai RMR digunakan untuk menghitung *Geological Strength Index* (GSI) dengan cara pengurangan 5 dari nilai RMR, sehingga nilai GSI adalah 47. Parameter-parameter yang telah didapatkan selanjutnya dapat digunakan untuk mengetahui nilai sudut geser dalam (ϕ') dan nilai kohesi (c').

Tabel 2. Pengklasifikasian massa batuan dengan menggunakan sistem RMR

Parameter	Nilai	Bobot
Strength	65 MPa	7
RQD	35 %	8
Spacing of discontinuities	0,08 m	8
Condition of dscontinuities	Panjang 8 m, terbuka 0,2 mm, sedikit kasar, lapuk sedang	14
Keairan	kering	15
Jumlah Bobot		52

(Sumber: Bieniawski, 1979)

Pada proses menentukan parameter sudut geser dan kohesi digunakan Persamaan Hoek (2002). Parameter yang dibutuhkan dalam persamaan yaitu nilai m_b , s , a , σ_c , E_m , σ'_{cm} , dan σ'_{3n} . Rekapitulasi nilai parameter-parameter yang dibutuhkan untuk

mencari parameter MC ditunjukkan pada Tabel 3 di bawah ini.

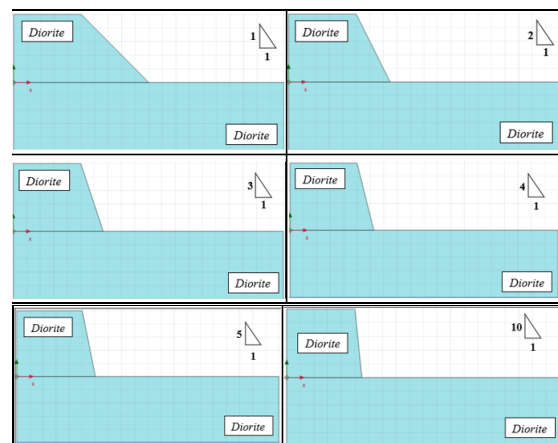
Tabel 3. Parameter yang Dibutuhkan untuk Korelasi

Parameter	Satuan	Nilai
m_b	-	1,63086
s	-	0,00046
a	-	0,50705
σ_c	kN/m ²	953,267
σ_t	kN/m ²	-13,555
σ'_{cm}	kN/m ²	7.787,72
σ'_{3n}	kN/m ²	0,00289

Tahapan Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Program Plaxis 2D

Analisis stabilitas lereng batuan dilakukan dengan menggunakan Program PLAXIS 2D. Tahapan yang dilakukan untuk menganalisis stabilitas lereng batuan yaitu sebagai berikut:

1. Membuat geometri pemodelan lereng batuan dengan kemiringan 1:1, 2:1, 3:1, 4:1, 5:1 dan 10:1 (Gambar 6) pada Program PLAXIS 2D.
2. Memasukkan parameter tanah dan batuan yang telah dianalisis. Parameter tanah didapatkan dari analisis pendekatan Hoek-Brown 2002.
3. Melakukan tahapan analisis, yaitu *Gravity Loading* dan *Safety Analysis*. Pada tahap *Gravity Loading*, tegangan awal yang diperhitungkan yakni berat tanah di atasnya. Sedangkan pada tahap *Safety Analysis*, nilai FK dicari menggunakan Metode Pengurangan Kekuatan Geser (*Strength Reduction Method*).
4. Hasil analisis berupa nilai Faktor Keamanan/*Safety Factor* (SF) akan dibandingkan antara Model HB dan MC.



Gambar 6. Pemodean geometri lereng pada Plaxis 2D dengan berbagai kemiringan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter MC yang telah didapatkan berdasarkan Persamaan 10 dan 11 (Hoek, 2002), yaitu nilai kohesi sebesar 125,2 kN/m² dan nilai sudut geser sebesar 63,90. Rekapitulasi parameter yang digunakan dalam analisis ditunjukkan pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4. Parameter Hoek-Brown

Parameter	Satuan	Nilai
γ_{sat}	kN/m ³	26,046
γ_{unsat}	kN/m ³	25,899
E_m	kN/m ²	118.372,51
ν	-	0,2
σ_{ci}	kN/m ²	46.846,269
m_i	-	30
GSI	-	47
D	-	0,7
m_b	-	1,63086

Tabel 5. Parameter Mohr-Coulomb

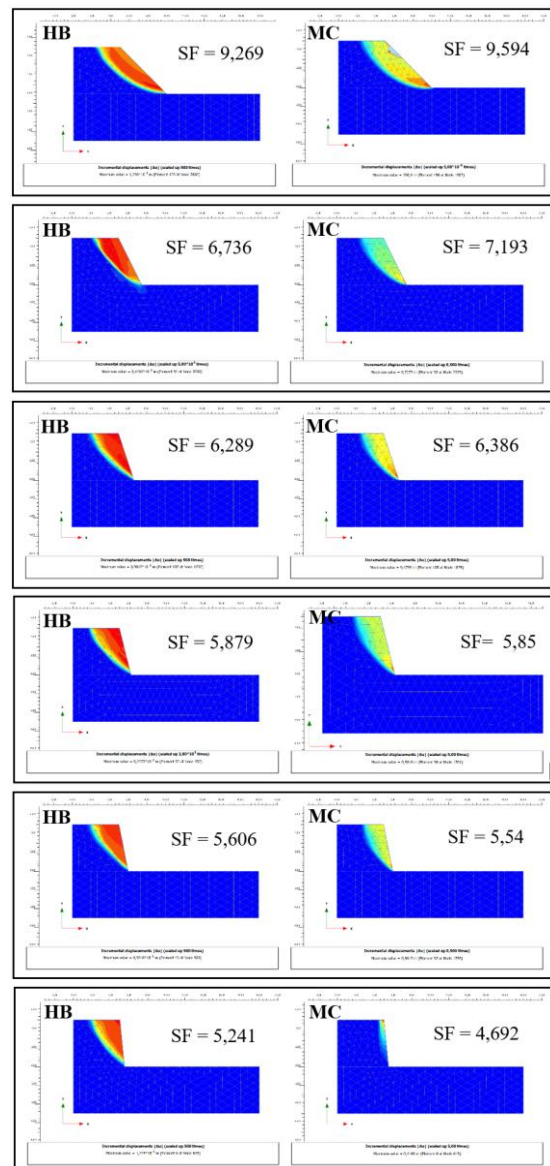
Parameter	Satuan	Nilai
γ_{sat}	kN/m ³	26,046
γ_{unsat}	kN/m ³	25,899
E_m	kN/m ²	118.372,51
ν	-	0,2
ϕ'	o	63,888
c'	kN/m ²	125,251

Hasil analisis berupa skema bidang gelincir pada pemodelan HB dan MC ditunjukkan pada Gambar 7. Berdasarkan gambar tersebut dapat dilihat bahwa kedalaman dan bentuk bidang gelincir antara model HB dan MC relatif mirip kecuali pada kemiringan 10V:1H. Pada kemiringan 10V:1H, pemodelan MC menunjukkan bidang gelincir berupa keruntuhan permukaan saja, sedangkan pemodelan HB menunjukkan gambar keruntuhan rotasi.

Hasil analisis berupa rekapitulasi nilai faktor keamanan ditunjukkan pada Tabel 6, sedangkan grafik hubungan antara kemiringan dengan nilai faktor keamanan ditunjukkan pada Gambar 8. Pada Tabel 6 dapat dilihat bahwa nilai faktor keamanan antar model HB dan MC memiliki nilai yang mirip. Pada lereng dengan kemiringan 1:1 hingga 5:1 persentase perbandingan perbedaan nilai faktor keamanan antara model HB dan MC yaitu masih di bawah 10%, yakni 3.6% untuk kemiringan 1:1, 6.8% untuk kemiringan 2:1, 1.6% untuk kemiringan 3:1, 1.2% untuk kemiringan 4:1, dan 1.1% untuk kemiringan 5:1. Sedangkan untuk kemiringan 10:1, persentase perbedaannya yaitu sebesar 10.5%.

Pada Gambar 8 menunjukkan grafik hubungan antara kemiringan lereng dengan nilai faktor keamanan. Pada grafik dapat dilihat bahwa untuk model HB dan MC memiliki bentuk yang cenderung

mirip, terutama di kemiringan 4:1. Pada kemiringan 1:1 hingga 3:1, nilai SF pada pemodelan MC lebih besar dibandingkan dengan nilai SF pada pemodelan HB. Sedangkan untuk kemiringan 4:1 hingga 10:1, nilai SF pada pemodelan HB lebih besar dibandingkan modelan MC. Berdasarkan kemiringan, model HB mengalami penurunan nilai faktor keamanan sebesar 43%, sedangkan model MC sebesar 51%.



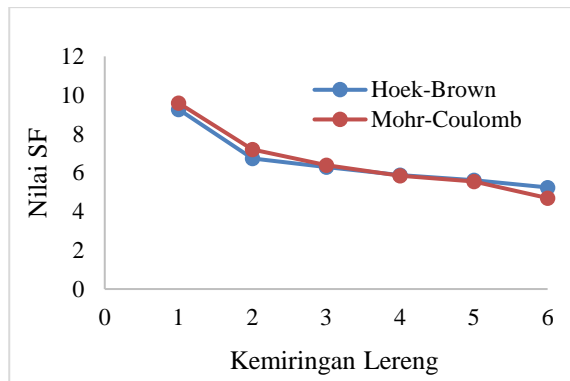
Gambar 7. Distribusi bidang gelincir pada pemodelan HB dan MC

Tabel 6. Rekapitulasi Hasil Nilai Faktor Keamanan

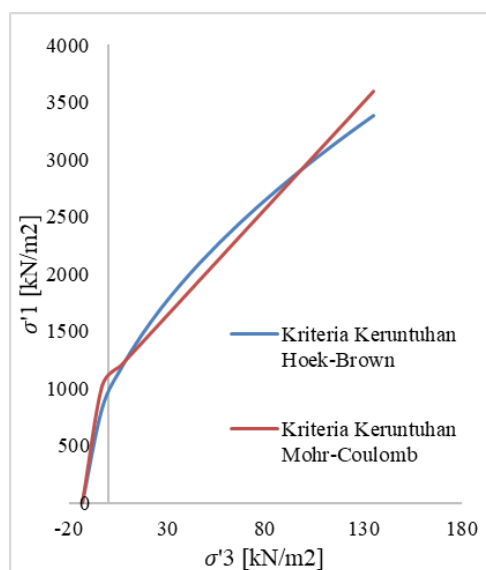
Model	Kemiringan					
	1:1	2:1	3:1	4:1	5:1	10:1
HB	9,26	6,73	6,28	5,87	5,60	5,24
MC	9,59	7,19	6,38	5,8	5,54	4,69

Hasil analisis berupa hubungan tegangan major dan minor antara keruntuhan HB dan MC disajikan pada Gambar 9. Berdasarkan Gambar 9,

grafik kriteria keruntuhan HB ditunjukkan dengan garis warna biru memiliki sifat non-linier sedangkan untuk grafik kriteria keruntuhan MB yang ditunjukkan dengan garis warna oranye memiliki sifat linier. Grafik hubungan antara kedua kriteria keruntuhan tersebut telah sesuai dengan Hoek-Brown *Failure Criterion* (2002).



Gambar 8. Grafik hubungan antara kemiringan lereng dengan nilai faktor keamanan



Gambar 9. Hubungan major dan minor antara kriteria keruntuhan Hoek-Brown dengan kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb

KESIMPULAN

Setelah dilakukan analisis dari pemodelan stabilitas lereng batuan menggunakan pemodelan numerik dapat disimpulkan bahwa persamaan Hoek-Brown Failure Tahun 2002 dapat digunakan sebagai pendekatan untuk menentukan parameter MC berdasarkan parameter HB. Nilai faktor keamanan yang dihasilkan pemodelan HB dan MC memiliki kecenderungan yang mirip, adapun persentase perbedaannya yaitu di bawah 10%. Selain itu,

persentase penurunan nilai faktor keamanan antara lereng dengan kemiringan 1:1 dan 10:1 adalah sebesar 43% untuk model HB dan 51% untuk model MC.

Hubungan major dan minor antara kriteria keruntuhan Hoek-Brown dengan kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb telah sesuai dengan Hoek-Brown Failure Criterion (2002). Setelah melakukan analisis terhadap semua jenis pemodelan, dapat disimpulkan bahwa Hoek-Brown *Failure Criterion* (2002) dapat dijadikan acuan dalam mencari parameter batuan untuk soil model Mohr-Coulomb.

REFERENSI

- Alejano, L. R., Ferrero, A. M., Ramírez-Oyanguren, P., Fernández, M. I. A. 2011. Comparison of limit-equilibrium, numerical and physical models of wall slope stability. *Int J Rock Mech Min Sci*, 48, 16–26.
- Andajani, N., Triarso, A. 2020. Korelasi Antara Parameter Indeks Plastisitas dengan Sudut Gese Tanah dengan Penambahan Kapur Terhadap Stabilisasi Daya Dukung Pondasi Dangkal. *Proteksi*, 2(1), 21-26
- Bieniawski, Z. T. 1979. The geomechanics classification in rock engineering applications. In: *Proceedings of the 4th International Congress on Rock Mechanics*, 41–48
- Brinkgeve, R. B., Kumarswamy, S., Swolfs, W. M. 2016. *Material Models Manual*. Netherlands: Plaxis 2D.
- Brown, E.T. 1970. Strength of models of rock with intermittent joints. *J. Soil Mech. Foundn Div*, 96(6), 1935-1949.
- Chen, J., Lin, H. 2018. Consistency analysis of Hoek–Brown and equivalent Mohr–Coulomb parameters in calculating slope safety factor. *Null Eng Geol Environ*, 78, 4349-4361.
- Deere, D. U. (1964). Technical description of rock cores for engineering purposes. *Rock Mech Eng Geol*, 1(1), 16–22.
- Hoek, E., Brown, E. T. 1980. Empirical strength criterion for rock masses. *J. Geotech. Engng Div., ASCE*, 106 (GT9), 1013-1035.
- Hoek, E. 1968. *Brittle failure of rock*. In *Rock Mechanics in Engineering Practice*. (eds K.G. Stagg and O.C. Zienkiewicz). London: Wiley
- Hoek, E., Brown, E. T. 1980. *Underground excavations in rock*. London: The Institution of Mining and Metallurgy.
- Hoek, E. 1994. Strength of rock and rock masses, *ISRM News Journal*, 2(2), 4-16.
- Hoek, E., Carranza-Torres, C., & Corkum, B. 2002. Hoek-Brown failure criterion-2002 edition. *Proceedings of NARMS-Tac*, 267-273.

- Hoek, E. 2006. *Practical Rock Engineering*. Canada.
- Jiang, Q. H., Qi, Z. F., Wei, W., Zhou, C. B. 2015. Stability assessment of a high rock slope by strength reduction finite element method. *Bull Eng Geol Environ*, 74,1153–1162.
- Ledesma, O., Mandive, I. G., Sfriso, A. 2016. Factor of Safety by The Strength-Reduction Technique Applied to The Hoek-Brown Model. *Mecanica Computacional XXXIV*, 2599-2622.
- Lin, H., Chen, J. 2017. Back analysis method of homogeneous slope at critical state. *KSCE J Civ Eng*, 21, 670–675.
- Shen, J. Y., Karakus, M. 2012. Determination of Mohr–coulomb shear strength parameters from generalized Hoek–Brown criterion for slope stability analysis. *Rock Mech Rock Eng*, 45, 23–129.
- Shen, J. Y., Karakus, M. Xu, C., S. 2012. Direct expressions for linearization of shear strength envelopes given by the generalized Hoek-Brown criterion using genetic programming. *Comput Geotech*, 44, 139–146.
- SNI 8460. 2017. *Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Analisis Risiko Kecelakaan Kerja pada Proyek Apartemen Klaska Residence Surabaya

Work Accident Risk Analysis on the Klaska Residence Surabaya Apartment Project

Maulidya Octaviani Bustamin¹, Wisnu Abiartho Nugroho¹, Ursula Uba Kuroumang¹

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Dr. Soetomo Surabaya, Jln. Semolowaru No.84 Surabaya.
Telp: (031) 5944744. Email : lidyaocta@unitomo.ac.id

Abstrak

Pada proyek konstruksi pembangunan Apartemen Klaska Residence Surabaya. Prosedur penerapan Keselamatan Kesehatan Kerja (K3) sudah sesuai dengan standar yang berlaku namun pada kenyataannya pelaksanaan proyek atau para pekerja sering mengabaikan persyaratan dan peraturan – peraturan dalam Keselamatan Kesehatan Kerja (K3). Hal ini disebabkan kurangnya kesadaran bahwa betapa besar resiko yang harus ditanggung oleh tenaga kerja dan perusahaannya. Mengingat besarnya tinggi gedung yang sedang dibangun yang sudah pasti resiko kecelakaannya juga besar. Tujuan penelitian ini untuk mengidentifikasi faktor-faktor risiko yang terjadi di lapangan, menganalisa penilaian risiko, indeks risiko sampai membuat rangking risiko tertinggi serta merumuskan pengendalian risiko. Metode penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan menggunakan kuesioner untuk melakukan pengumpulan data. Penelitian ini menggunakan sampel responden sebanyak 30 orang berpedoman standar AS/NZS 4360 : 2004 *Risk Management*. Hasil pengolahan data yang dilakukan, 30 risiko terdapat 5 risiko tinggi, 15 risiko sedang dan 10 risiko rendah. Dari keseluruhan risiko yang teridentifikasi risiko tertinggi yaitu iritasi mata karena cahaya pengelasan yang terlalu silau dengan nilai indeks risiko 16,27, tangan lecet akibat kontak langsung dengan besi dengan nilai indeks risiko 15,66, kaki tersandung besi yang sudah dipasang dengan nilai indeks risiko 15,33, luka bakar akibat terkena percikan api saat pengelasan dengan nilai indeks risiko 13,67, penglihatan dan pernafasan berkurang akibat gumpalan fumes/asap saat proses pengelasan sambungan tiang pancang dengan nilai indeks risiko 13,16. Pengendalian risiko yang dapat dilakukan di lapangan yaitu penggunaan Alat Pelindung Diri (APD), pemasangan rambu-rambu K3, melakukan safety induction, dan melakukan *traffic management* oleh pihak *safety officer* terhadap pekerja.

Kata Kunci: K3; konstruksi; pengendalian; resiko; SPSS

Abstract

In the construction project of the Klaska Residence Surabaya Apartment. The procedure for implementing Occupational Health and Safety (K3) is in accordance with applicable standards, but in reality project implementation or workers often ignore the requirements and regulations in Occupational Health and Safety (K3). This is due to a lack of awareness that how much risk must be borne by the workforce and the company. Given the large height of the building being built, it is certain that the risk of an accident is also large. The purpose of this study is to identify risk factors that occur in the field, analyze risk assessment, risk index to rank the highest risk and formulate risk control. This research method uses quantitative methods by using questionnaires to collect data. This study used a sample of 30 respondents based on the AS/NZS 4360: 2004 Risk Management standard. The results of data processing carried out, 30 risks there are 5 high risk, 15 moderate risk and 10 low risk. Of the overall risks identified, the highest risk is eye irritation due to the welding light being too bright with a risk index value of 16.27, hand abrasions due to direct contact with iron with a risk index value of 15.66, feet tripping over an iron that has been installed with a risk index value of 15.66, risk index 15.33, burns due to sparks during welding with a risk index value of 13.67, reduced vision and breathing due to fumes/smoke plumes during the welding process of pile joints with a risk index value of 13.16. Risk control that can be carried out in the field is the use of Personal Protective Equipment (PPE), installation of K3 signs, conducting safety induction, and conducting traffic management by the safety officer towards workers.

Keywords: K3; construction; control; risk; SPSS.

PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara berkembang, dan banyak proyek konstruksi di Indonesia sedang dilaksanakan atau direncanakan. Perkembangan pesat ini menuntut setiap pelaku usaha jasa konstruksi untuk mengusulkan kualitas dan efisiensi proyek konstruksi yang akan dilaksanakan, sehingga proyek konstruksi dapat diselesaikan dengan baik.

Kecelakaan kerja yang sering terjadi adalah akibat dari kinerja yang buruk dalam penerapan persyaratan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3). Sebagai penyelenggaraan negara pemerintah berkewajiban untuk memberikan perlindungan kepada tenaga kerja. Hal ini diwujudkan pemerintah dengan diterbitkannya peraturan seperti peraturan sebagai berikut: UU RI. No.1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kesehatan Kerja, Undang-undang No.3 Tahun 1992 Tentang Jaminan Sosial Tenaga Kerja (JAMSOSTEK), dan peraturan Menteri Tenaga Kerja No. Per. 05/Men/1996 mengenai sistem *manajemen* K3. Pada proyek konstruksi pembangunan Apartemen Klaska *Residence* Surabaya. Prosedur penerapan Keselamatan Kesehatan Kerja (K3) sudah sesuai dengan standar yang berlaku namun pada kenyataannya pelaksanaan proyek atau para pekerja sering mengabaikan persyaratan dan peraturan – peraturan dalam Kesehatan Keselamatan Kerja (K3). Hal ini disebabkan kurangnya kesadaran bahwa betapa besar resiko yang harus ditanggung oleh tenaga kerja dan perusahaannya. Mengingat besarnya tinggi gedung yang sedang dibangun yang sudah pasti resiko kecelakaannya juga besar. Disamping itu adanya peraturan mengenai Keselamatan Kesehatan Kerja (K3) tidak dibangi dengan upaya hukum yang tugas dan sanksi yang berat, sehingga banyak pelaksanaan proyek dan tenaga kerja yang mengabaikan Keselamatan Kesehatan Kerja (K3).

Pekerjaan konstruksi adalah salah satu pekerjaan yang berisiko tinggi terutama pada tahap pelaksanaan konstruksi. Hal ini menyebabkan rendahnya catatan keselamatan dan kesehatan kerja konstruksi (K3). Situasi lokasi proyek pembangunan apartemen Klaska *Residence* mencerminkan keistimewaan yang “sulit”, kegiatannya sangat kompleks dan sulit dilaksanakan, oleh karena itu para pekerja yang melaksanakan proyek dituntut memiliki daya tahan yang prima.

Pengertian K3

Menurut Kepmenaker No.463 /Men/1993, Kesehatan Keselamatan Kerja (K3) adalah suatu upaya perlindungan yang ditujukan supaya tenaga kerja dan orang lainnya ditempat kerja atau perusahaan selalu dalam keadaan selamat dan sehat, serta agar setiap sumber produksi dapat digunakan secara aman dan efisien.

Menurut Undang – undang Ketenagakerjaan No.13 Tahun 2003 pasal 87, Kesehatan Keselamatan Kerja adalah setiap perusahaan wajib menerapkan sistem manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) yang terintegrasi dengan sistem manajemen perusahaan.

Menurut A.S Munir (2008), Keselamatan dan Kesehatan Kerja adalah suatu usaha yang dapat mendorong terciptanya keadaan yang aman dan sehat pada tempat kerja, baik bagi tenaga kerja maupun lingkungan sendiri.

Manajemen K3

Menurut Silalahi (1995) keselamatan kerja merupakan segala sarana dan upaya untuk mencegah terjadinya suatu kecelakaan kerja. Dalam hal ini, keselamatan yang dimaksud berkaitan sangat erat dengan mesin, alat kerja dalam proses landasan tempat kerja dan lingkungan serta cara – cara melakukan pekerjaan. Keselamatan kerja bertujuan untuk melindungi keselamatan tenaga kerja yang berada dilokasi tempat kerja dalam melaksanakan tugasnya, dan melindungi keamanan peralatan serta sumber produksi agar selalu dapat digunakan secara efisien.

Pengertian Risiko

Kecelakaan kerja adalah suatu kejadian yang tidak dikehendaki dan tidak diduga semula yang dapat menimbulkan korban manusia dan atau harta benda (Permenaker No.03/MEN/1998). Pengertian lain kecelakaan kerja adalah semua kejadian yang tidak direncanakan yang menyebabkan atau berpotensi menyebabkan cedera, kesakitan, kerusakan, atau kerugian lainnya (Standar AS/NZS 4801:2001). Sedangkan definisi kecelakaan kerja menurut OHSAS 18001:2007 adalah kejadian yang berhubungan dengan

pekerjaan yang dapat menyebabkan cedera atau kesakitan (tergantung dari keparahannya) kejadian kematian atau kejadian yang dapat menyebabkan kematian.

Menurut Suma'mur (2009), kecelakaan kerja adalah suatu kejadian atau peristiwa yang tidak diinginkan yang merugikan terhadap manusia, merusak harta benda atau kerugian terhadap proses.

Menurut Gunawan dan Waluyo (2015), kecelakaan adalah suatu kejadian yang tidak direncanakan dan tidak diharapkan yang dapat mengganggu proses produksi/operasi, merusak harta benda atau aset.

Manajemen Risiko

Manajemen risiko Keselamatan Kesehatan Kerja (K3) adalah suatu upaya mengelola risiko Keselamatan Kesehatan Kerja (K3) untuk mencegah terjadinya kecelakaan yang tidak diinginkan secara komprehensif terencana dan terstruktur dalam suatu sistem yang dibangun secara logis dan sistematis.

Dari rangkaian kegiatan pengaturan lingkungan, identifikasi, analisis, evaluasi, pengendalian dan komunikasi risiko. Proses ini dapat diterapkan pada semua tingkatan aktivitas, posisi, proyek, produk atau aset. Jika diterapkan dari aktivitas, manajemen risiko dapat memberikan manfaat yang terbaik. Namun, manajemen risiko biasanya dilakukan pada tahap implementasi atau operasi aktivitas. Sesuai dengan persyaratan OHSAS 18001, organisasi harus menetapkan prosedur untuk identifikasi bahaya, penilaian risiko, dan menentukan pengendaliannya (pengendalian risiko) atau singkatnya HIRARC.

Penilaian Risiko

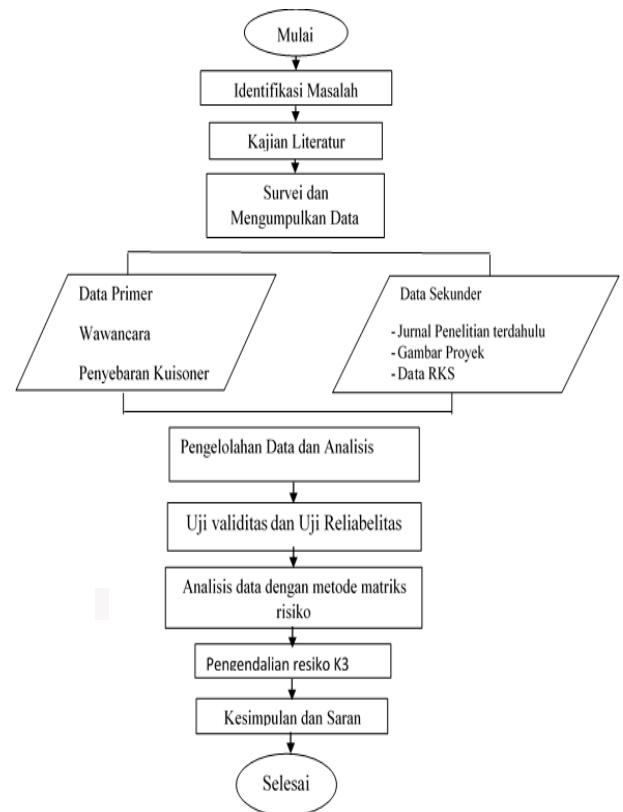
Setelah semua tahapan kerja ditentukan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan penilaian risiko untuk menentukan tingkat risiko. Penilaian risiko bertujuan untuk memberi makna terhadap suatu bahaya yang teridentifikasi dan dapat memberi gambaran seberapa besar bahayanya ini. Sehingga dapat diambil tindakan lebih lanjut terhadap bahaya tersebut.

Pengendalian Risiko

Suatu upaya pengendalian terhadap bahaya dilingkungan kerja adalah tindakan yang diambil untuk meminimalisir atau menentukan risiko kecelakaan kerja melalui eliminasi, substitusi, engineering control, warning system,

administrative control, alat pelindung diri.

METODE



Gambar 1. Bagan Alir Metodologi Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penulis melakukan survei pendahuluan untuk melihat secara langsung bagaimana kondisi dari proyek pembangunan Apartemen Klaska Residence Surabaya. Langkah awal dalam mengidentifikasi risiko adalah membuat daftar failure/kegagalan dari jenis-jenis proses pekerjaan. Survei pendahuluan bertujuan mendapatkan variabel-variabel risiko yang lebih relevan untuk disesuaikan dengan kondisi lapangan terkait dengan kecelakaan kerja pada proyek pembangunan Apartemen Klaska Residence Surabaya. Peninjauan variabel risiko ditentukan dari apabila variabel risiko pernah terjadi atau mungkin akan terjadi pada masa akan datang dalam pengerjaan proyek atau relevan dan apabila variabel risiko tidak pernah terjadi atau tidak mungkin akan terjadi pada masa akan datang dalam pengerjaan proyek atau tidak

relevan.

Berdasarkan hasil survei pendahuluan, item pekerjaan yang berpotensi mengalami kecelakaan/kegagalan dapat dilihat pada Tabel 1. berikut ini:

Tabel 1. Daftar Variabel Risiko Pekerjaan

Kode Risiko	No A. Pekerjaan	Variabel Risiko Pekerjaan	Persiapan
A1	1	Mobilisasi dan pengadaan	1. Terjadinya kecelakaan pada saat melakukan mobilisasi pekerjaan yang akan dipergunakan selama masa konstruksi
A2	2	Pengendalian lalu lintas	2. Tertabrak kendaraan yang sedang melintas
A3	3	Pengeboran termasuk SPT dan laporan	3. Tertabrak kendaraan yang sedang melintas
A4	4	Pengukuran survey dan penentuan titik BM	4. Tertabrak kendaraan yang sedang melintas
B. Pekerjaan Pemancangan			
B1	5		1. Tertimpa benda yang diangkat oleh alat pancang
B2	6	Pengoperasian Crane pancang	2. Pergerakan alat pancang yang membahayakan rigger atau pekerja yang ada di dekatnya
B3	7		3. Penglihatan dan pernafasan berkurang akibat gumpalan fumes/asap (saat proses pengelasan sambungan tiang pancang)
B4	8	Penyambungan tiang pancang (pengelasan)	4. Luka bakar akibat terkena percikan api saat pengelasan
B5	9		5. Iritasi mata karena cahaya pengelasan yang terlalu silau
B6	10	PDA Test	6. Tertimpa benda yang diangkat.

C. Pekerjaan Galian, Timbunan dan Struktur Beton			
C1	11	Galian Tanah >2m	1. Tergelincir dalam galian >2m
C2	12	Pemasangan Perancah	2. Perancah rubuh/ambruk
C3	13	(<i>scaffolding</i>)	3. Terjatuh dari ketinggian pada saat memasang perancah
C4	14	<i>Bekisting</i>	4. Terjatuh dari ketinggian pada saat memasang perancah
C5	15	Pembesian	5. Tangan lecet akibat kontak langsung dengan besi
C6	16		6. Kaki tersandung besi yang sudah dipasang
C7	17	Pengecoran	7. Anggota badan iritasi akibat kontak langsung dengan beton curah (<i>concrete</i>)
D. Pekerjaan Finishing			
D1	18	Pemasangan dinding <i>precast</i> menggunakan <i>crane</i>	1. Tertimpa benda yang diangkat oleh crane
D2	19	Pemasangan bata/hebel	2. Mata pekerja terkena percikan semen
D3			3. Tertimpa bata/hebel yang runtuh
D4	20	Pemasangan <i>palfond</i>	4. Pekerja tergores material tajam
D5	21		5. Pekerja terpotong alat potong keramik
D6	22		6. Mata terkena serpihan keramik
D7	23	Pemasangan keramik	7. Gangguan telinga karena bising
D8	24		8. Iritasi kulit terkena percikan semen
D9	25	Pemasangan pintu dan jendela	9. Pekerja terluka oleh mata bor
E. Didalam gedung/Kantor			
E1	26		1. Terjatuh dari tangga
E2	27		2. Tergelincir/terpeleset
F. Sampah			
F1	29		1. Timbul penyakit
F2	30		2. Lingkungan tidak sehat

Sumber: Olahan Data, 2021

Setelah melakukan identifikasi risiko dan penilaian risiko yang didapat dari hasil kuisioner berupa kemungkinan terjadinya risiko (probability) dan dampak dari risiko (consequences) tersebut, maka dapat dilakukan analisa indeks risiko untuk mengelompokkan antara risiko rendah (low risk), risiko sedang (medium risk), risiko tinggi (high risk) menggunakan matriks risiko AS/NZS 4360: 2004

Tabel 2. Matriks Risiko

Likelihood	Severity				
	Negligible (1)	Minor (2)	Moderate (3)	Major (4)	Extreme (5)
Rare (1)	Low (1x1)	Low (1x2)	Low (1x3)	Low (1x4)	Medium (1x5)
Unlikely (2)	Low (2x1)	Low (2x2)	Medium (2x3)	Medium (2x4)	High (2x5)
Possible (3)	Low (3x1)	Medium (3x2)	Medium (3x3)	High (3x4)	High (3x5)
Likely (4)	Low (4x1)	Medium (4x2)	High (4x3)	High (4x4)	Very High (4x5)
Almost Certain (5)	Medium (5x1)	High (5x2)	High (5x3)	Very High (5x4)	Very High (5x5)

Sumber : AS/NZS 4360, 2004

Berdasarkan hasil analisa index risiko dan level risiko menggunakan tabel matriks risiko untuk 30 pekerja maka hasil yang didapatkan bisa dilihat dalam diagram klasifikasi risiko sebagai

Tingkat risiko sedang (medium risk) terdapat 15 risiko, yaitu pada pekerjaan persiapan 4 risiko, pekerjaan pemancangan sebanyak 1 risiko, pekerjaan galian, timbunan dan struktur beton sebanyak 2 risiko, pekerjaan finishing sebanyak 8 risiko.

Tingkat risiko rendah (low risk) terdapat 10 risiko, yaitu pada pekerjaan pemancangan sebanyak 2 risiko, pekerjaan galian timbunan dan struktur beton sebanyak 3 risiko, pekerjaan finishing sebanyak 1 risiko, pekerjaan dalam gedung/kantor sebanyak

risk), dan risiko sangat tinggi (very high risk).

Penilaian risiko rata-rata kemungkinan dan rata-rata dampak yang telah dijelaskan sebelumnya, dibulatkan untuk memudahkan dalam perhitungan indeks risiko dan level

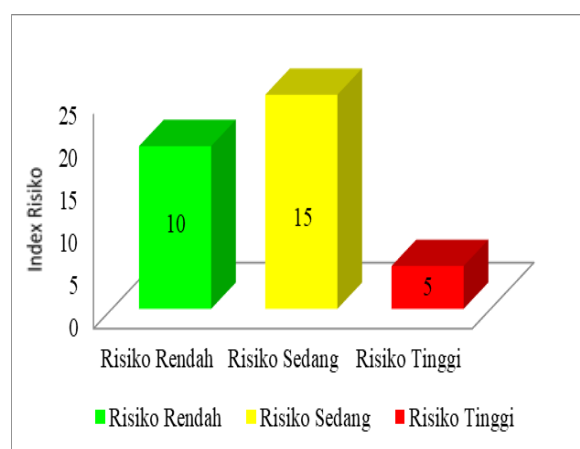
Resiko-resiko tersebut dapat diketahui pengelompokannya berdasarkan perkalian antara kemungkinan terjadinya risiko dengan dampak terjadinya risiko, baik itu risiko rendah (low risk), risiko sedang (medium risk), risiko tinggi (high risk) maupun risiko sangat tinggi (very high risk) dengan menggunakan matriks risiko AS/NZS 4360: 2004. Untuk lebih jelasnya sebaran risiko-risiko berdasarkan tingkat risiko atau level risiko dapat dilihat pada matriks risiko AS/NZS 4360: 2004 seperti pada table 3. sebagai berikut.

Tabel 3. Sebaran Area Level Resiko Berdasarkan Matriks Risiko

Probability	Consequences				
	1	2	3	4	5
1	[Green bar]				
2	10 Risiko		8 Risiko		
3	3 Risiko	4 Risiko	5 Risiko		
4				[Red bar]	
5				[Red bar]	

Sumber: Olahan Data, 2021

Berdasarkan sebaran area tingkat risiko pada Tabel 3 di atas dapat diketahui bahwa sebanyak 10 risiko



Gambar 2. Klasifikasi Risiko Berdasarkan Level

Berdasarkan Gambar 2. dapat diketahui risiko-risiko berdasarkan tingkat risiko atau level risiko, yaitu sebagai berikut.

Tingkat resiko tinggi (*high risk*) terdapat 5 resiko, yaitu pada pekerjaan pemancangan 3 resiko, pekerjaan galian, timbunan dan struktur beton dengan 2 resiko.rendah yang jarang terjadi dan dampaknya kecil, 8 risiko sedang yang jarang terjadi dan dampaknya sedang, 3 risiko sedang yang kadang-kadang terjadi dan dampaknya kecil, 4 risiko sedang yang kadang- kadang terjadi dan dampaknya sedang, dan 5 risiko tinggi yang kadang-kadang terjadi, dan dampaknya besar.

Resiko-resiko tersebut dapat direkapitulasi dan dihitung persentasenya berdasarkan tingkat risiko atau level risiko dengan menggunakan rumus berikut:

$$\text{Risiko rendah} = 10/30 \times 100\% = 33,33\% \dots\dots [1]$$

$$\text{Risiko sedang} = 15/30 \times 100\% = 50\% \dots\dots\dots [2]$$

$$\text{Risiko tinggi} = 5/30 \times 100\% = 16,67\% \dots\dots\dots [3]$$

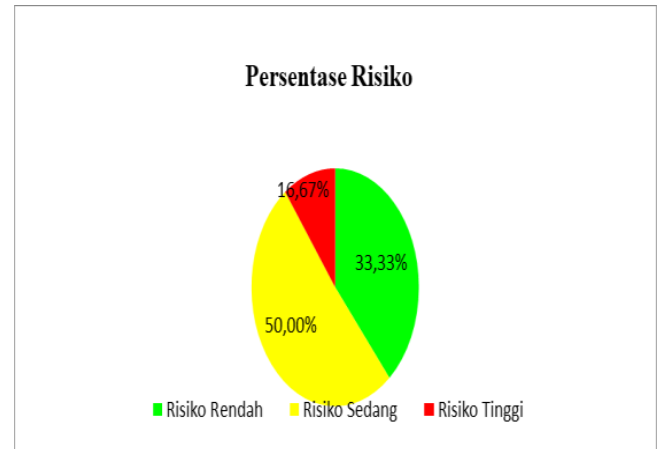
Kemudian dibuat dalam tabel dan diagram lingkaran seperti yang terlihat pada Tabel 4. dan Gambar 3. sebagai berikut:

Tabel 4. Presentase Level Risiko

No>Nama Pekerjaan	Level Resiko			
	Ren	Seda	Tin	Juml
	dah	ng	ggi	ah
1 Pekerjaan Persiapan	-	4	-	4
2 pekerjaan Pemancangan	2	1	3	6
3 Pekerjaan Galian, 3 Timbunan, dan Struktur Beton	3	2	2	7
4 Pekerjaan Finishing	1	8	-	9
5 Pekerjaan Didalam Gedung/Kantor	2	-	-	2
6 Sampah	2	-	-	2
Total	10	15	5	30
Presentase (%)	33,33%	50,00%	16,67%	100%

Sumber: Olahan Data, 2021

Dari Tabel 4. di atas dapat dibuat diagram lingkaran untuk persentase risiko berdasarkan tingkat risiko atau level risiko seperti yang terlihat pada Gambar 3. sebagai berikut.



Gambar 3. Diagram Lingkaran Presentase Level Risiko

Dari diagram lingkaran dalam gambar 3. di atas, terlihat bahwa risiko sedang sangat dominan sebesar 50,00% jika dibandingkan dengan risiko tinggi sebesar 16,67% dan risiko rendah sebesar 33,33%.

Analisa Pengendalian Risiko

Berdasarkan penilaian risiko yang telah dilakukan untuk mengetahui seberapa besar tingkatrisiko dari setiap risiko yang ada, maka selanjutnya dilakukan pengendalian terhadap risiko tersebut.

Tahap pengendalian risiko dalam penelitian ini dilakukan berdasarkan tingkat risiko dan jenis pekerjaan. Berikut ini merupakan faktor pengendalian risiko tertinggi.

Faktor resiko peringkat pertama adalah variabel B5 yaitu Iritasi mata karena cahaya pengelasan yang terlalu silau dengan indeks resiko 16,27, kemungkinan terjadinya kadang-kadang (3,75) dan dampak yang ditimbulkan besar (4,34). Pengendalian risiko yang dapat dilakukan di lapangan yaitu :

Penggunaan alat pelindung muka, untuk melindungi percikan benda cair, benda padat atau radiasi sinar dan panas.Penggunaan APD seperti masker, kacamata las, dan pelindung wajah saat melakukan pekerjaan penyambungan tiang pancang.

Faktor resiko peringkat kedua adalah variabel C5 yaitu tangan lecet akibat kontak <https://doi.org/10.26740/proteksi.v4n2.p82-89>

langsung dengan besi dengan indeks resiko 15,66 kemungkinan terjadinya kadang-kadang (3,52) dan dampak yang ditimbulkan besar (4,45). Pengendalian risiko yang dapat dilakukan di lapangan yaitu: Penggunaan APD seperti sarung tangan, Penggunaan APD hlem, dan sepatu safety.

Faktor resiko peringkat ketiga adalah variabel C6 yaitu kaki tersandung besi yang sudah di pasang dengan indeks resiko 15,13 kemungkinan terjadinya kadang-kadang (3,34) dan dampak yang ditimbulkan besar (4,53). Pengendalian risiko yang dapat dilakukan di lapangan yaitu: Penggunaan APD seperti sarung tangan, hlem, dan sepatu safety.

Faktor resiko peringkat keempat adalah variabel B4 yaitu, adanya luka bakar akibat terkena percikan api pada saat pengelasan dengan indeks resiko 13,67, kemungkinan terjadinya kadang-kadang (3,32) dan dampak yang ditimbulkan besar (4,12). Pengendalian risiko yang dapat dilakukan di lapangan yaitu: Penggunaan alat pelindung muka, untuk melindungi percikan benda cair, benda padat atau radiasi sinar dan panas, penggunaan APD seperti masker, kacamata las, dan pelindung wajah saat melakukan pekerjaan penyambungan tiang pancang.

Faktor resiko peringkat kelima adalah variabel B3 yaitu, tertutup fumes/asap (saat proses pengelasan sambungan tiang pancang) dengan indeks resiko 13,16 kemungkinan terjadinya kadang – kadang (3,12) dan dampak yang ditimbulkan besar (4,22). Pengendalian risiko yang dapat dilakukan di lapangan yaitu: Penggunaan APD seperti pelindung wajah atau masker, Alat pelindung muka, untuk melindungi percikan benda cair, benda padat atau radiasi sinar dan panas saat melakukan pekerjaan penyambungan tiang pancang.

KESIMPULAN

Berdasarkan pengolahan data dan analisis yang telah dilakukan, di peroleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

Berdasarkan observasi dan hasil pengolahan data analisis risiko pada proyek Apartemen Klaska Residence Surabaya terdapat 30 risiko pekerjaan dilapangan yang teridentifikasi. Dari 30 risiko yang teridentifikasi tersebut terdapat 5 risiko dengan tingkat tinggi yaitu pekerjaan pemancangan ada 3 risiko dan pekerjaan galian, timbunan, dan struktur beton ada 2 risiko. 15 risiko dengan tingkat sedang yaitu pekerjaan persiapan ada 4 risiko, pekerjaan pemancangan ada 1 risiko, pekerjaan galian timbunan ada 2 risiko, dan pekerjaan finishing ada 8 risiko. Dan 10 risiko dengan tingkat risiko rendah yaitu: pekerjaan pemancangan ada 2 risiko,

pekerjaan galian, timbunan, dan struktur beton ada 3 risiko, pekerjaan finishing ada 1 risiko, pekerjaan dalam gedung/kantor ada 2 risiko, dan pekerjaan sampah ada 2 risiko.

Berdasarkan penilaian risiko yang didapat dari dengan perkalian kemungkinana risiko dan dampak risiko pada proyek Apartemen Klaska Residence Surabaya dengan menggunakan matriks risiko AS/NZS 4360 : 2004, maka diperoleh risiko yang tertinggi yaitu factor risiko B5 pekerjaan pemancangan saat penyambungan tiang pancang (pengelasan) yaitu Iritasi mata karena cahaya pengelasan yang terlalu silau, C5 pekerjaan galian, timbunan, dan struktur beton (pembesian) yaitu tangan lecet akibat kontak langsung dengan besi, C6 pekerjaan pekerjaan galian, timbunan, dan struktur beton (pembesian) yaitu kaki tersandung besi yang sudah dipasang, B4 Pekerjaan pemancangan saat penyambungan tiang pancang (pengelasan) yaitu luka bakar akibat terkena percikan api saat pengelasan, B3 pekerjaan Pekerjaan pemancangan saat penyambungan tiang pancang (pengelasan) yaitu penglihatan dan pernafasan berkurang akibat gumpalan fumes/asap (saat proses pengelasan sambungan tiang pancang).

Pengendalian risiko yang dapat dilakukan di lapangan yaitu penggunaan APD sesuai dengan pekerjaan yang dilakukan, pemasangan rambu-rambu K3 di setiap pekerjaan yang dilakukan, melakukan Traffic Management serta melakukan safety induction oleh pihak safety officer terhadap pekerja.

REFERENSI

- Anwar, Nurul, Fahmi, Farida, Ida, Ismail, Agus. 2014. "Analisis Manajemen Risiko Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) pada pekerjaan Upper Structure Gedung Bertingkat.
- Bustamin, M. O., Sujatmiko, B., & Mazaya, N. W. 2022. Penjadwalan Penyelesaian Proyek Revitalisasi Aula Muzdalifah Asrama Haji dengan Menggunakan Sumber Daya Terbatas. *Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (Proteksi)*, 4(1), 21-27.
- Apriyan, J., Setiawan, H., & Ervianto, W. I. 2017. Analisis risiko kecelakaan kerja

- pada proyek bangunan gedung dengan metode FMEA. *Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran dan Ilmu Kesehatan*, 1(1), 115-123.
- Ardan, M. 2015. Analisa Kecelakaan Kerja Proyek Konstruksi Di Kota Medan. *ARBITEK: Jurnal Teknik Sipil & Arsitektur*, 1(2).
- Indrayani, Reny. 2017. "Analisis Resiko Keselamatan Kerja pada Proyek Pengembangan Bandara Internasional Juanda Terminal 2 Surabaya.
- M. D. Abdullatif, Faisal. 2013. "Analisis Risiko Kecelakaan Kerja Pada Pembangunan Gedung Green Sedayu Apartemen.
- Muhammad, L., Fitriani, H. 2019. "Analisa Risiko Kecelakaan Kerja pada Proyek Pembangunan Jembatan Interchange Akses KTM (Kota Terpadu Mandiri), Palembang-Indralaya
- Muslim, E.A., Ratnaningsih, A., Sri Sukmawati, S. 2014. "Analisis Risiko Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) pada Proyek Gunawangsa Merr Apartment, Universitas Jember.
- Ramli, S. 2010. Pedoman Praktis Manajemen Risiko Dalam Pespektif K3 OHS Risk Management. *Jakarta: Dian Rakyat*
- Saragi, Y.R.R. 2011. "Manajemen Keselamatan Kesehatan Kerja dan Lingkungan (K3L) pada Pembangunan Gedung, Universitas HKBP Mommensen, Medan.
- Tjakra, B. A. W. S. J., Langi, J. E. C., & Walangitan, D. R. O. 2013. Manajemen Risiko Keselamatan Dan Kesehatan Kerja (K3) Pada Proyek Pembangunan Ruko *Orlens Fashion Manado*.
- Wicaksono, I. K dan Singgih, M. L. 2011. "Manajemen Risiko K3 (Keselamatan dan Kesehatan Kerja) pada Proyek Pembangunan Apartemen Puncak Permai".*Program Studi MMT – ITS. Februari 2009.*

Penambahan Kapur Sebagai Stabilisasi Tanah Ekspansif untuk Lapisan Tanah Dasar (*Subgrade*)

Addition of Lime as Stabilization of Expansive Soils for Subgrade Layers

Nur Andajani¹, Yogie Risdianto¹

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Jln. Ketintang Surabaya. Telp: (031) 8280009. Email : nurandajani@unesa.ac.id

Abstrak

Tanah ekspansif tergolong tanah plastisitas tinggi mempunyai ciri kembang susut tinggi, tidak baik bilamana langsung didirikan bangunan di atasnya. Pada beberapa proyek pembangunan jalan sering menimbulkan permasalahan geoteknik, sehingga sangat tidak nyaman bila dirasakan oleh pengguna jalan. Untuk itu perlu dilakukan perbaikan tanah atau stabilisasi. Stabilisasi tanah ekspansif dilakukan dengan menambahkan material yang lebih baik, sehingga mengurangi sifat plastisitas tanah tersebut. Stabilisasi menggunakan kapur, bertujuan memperkecil sifat plastisitas tanah, disamping untuk mengetahui batas minimum persentase kapur yang ditambahkan agar tanah ekspansif dapat digunakan sebagai lapisan tanah dasar (*subgrade*) untuk perkerasan jalan. Penelitian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil Unesa. Kadar Kapur yang ditambahkan adalah 0%, 2.5%, 5%, 7.5% dan 10%. Pengumpulan data dilakukan melalui tes Atterberg Limit, Pemadatan Proctor Standart dan *Calibration Bearing Ratio (CBR) test*. Hasil yang didapat penambahan 10% kapur menurunkan Nilai batas cair sebesar 18.62%, dan menurunkan Yogiean Indeks Plastisitas Tanah sebesar 78.80%. Dengan penambahan 10% kapur nilai CBR untuk penetrasi 0,1 adalah 34,5 dan untuk penetrasi 0,2 adalah 31,54. Batasan minimum yang harus dipenuhi agar tanah dapat digunakan sebagai lapisan tanah dasar (*subgrade*) untuk perkerasan jalan yaitu harus ditambahkan 2.76% Kapur untuk CBR penetrasi 0,1 dan 3.23 % Kapur untuk CBR penetrasi 0,2.

Kata Kunci: CBR; kapur; stabilisasi; tanah ekspansif

Abstract

Expansive soils classified as high plasticity soils have the characteristics of high shrinkage, it is not good if a building is directly erected on it. In some road construction projects, it often causes geotechnical problems, so it is very uncomfortable when felt by road users. For this reason, it is necessary to carry out soil improvement or stabilization. Stabilization of expansive soils is carried out by adding better material, thereby reducing the plasticity properties of such soils. Stabilization using lime, aims to minimize the plasticity properties of the soil, in addition to knowing the minimum limit of the percentage of lime added so that expansive soil can be used as a basic soil layer (subgrade) for road pavement. The research was conducted at the Unesa Civil Engineering Soil Mechanics Laboratory. The added Lime content is 0%, 2.5%, 5%, 7.5% and 10%. Data collection was carried out through the Atterberg Limit test, Compaction Proctor Standart and Calibration Bearing Ratio (CBR) tests. The result obtained by the addition of 10% lime lowered the liquid limit value by 18.62%, and lowered the Soil Plasticity Index by 78.80%. With the addition of 10% lime the CBR value for penetration of 0.1 is 34.5 and for penetration of 0.2 is 31.54. The minimum limit that must be met in order for the soil to be used as a base soil layer (subgrade) for road pavement is that 2.76% Lime must be added for CBR penetration 0.1 and 3.23 % Lime for CBR penetration 0.2.

Keywords: CBR; lime; stabilization; expansive soil

PENDAHULUAN

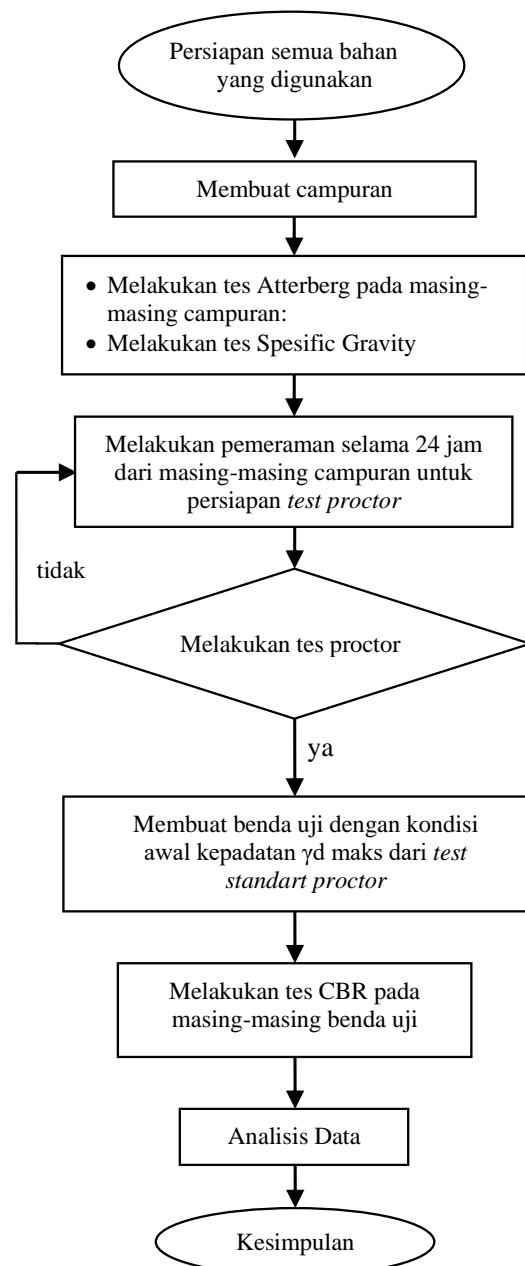
Proyek pembangunan jalan merupakan salah satu kebutuhan utama bagi masyarakat, oleh karena itu pemerintah wajib menyediakan prasarana jalan yang baik dan dirasa nyaman bagi masyarakat sebagai pengguna jalan. Suatu proyek pembangunan jalan yang baik harus memenuhi kriteria yang disyaratkan sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Pada beberapa proyek pembangunan jalan sering dijumpai adanya prasarana jalan yang banyak mengalami permasalahan geoteknik seperti misalnya jalan berlubang, rusak, retak-retak serta jalan yang bergelombang, dan sudah seringkali diperbaiki ternyata rusak lagi. Hal semacam ini salah satunya bisa disebabkan karena tanah di daerah tersebut adalah tergolong tanah ekspansif (tanah kembang susut).

Tanah ekspansif adalah jenis tanah yang mudah mengalami kembang susut, akan mengembang banyak menyerap air pada musim penghujan, dan tanah tersebut akan mengalami retak-retak (menyusut) pada saat musim kemarau, tergolong sebagai tanah yang mempunyai plastisitas sangat tinggi. Oleh karena itu sangat tidak baik apabila tanah ekspansif tersebut langsung digunakan sebagai proyek pembangunan jalan, maka untuk itu perlu dilakukan stabilisasi terhadap tanah tersebut yaitu salah satunya menggunakan material tambahan kapur.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengurangi tingkat plastisitas dari tanah ekspansif tersebut dan dapat menaikkan daya dukung tanahnya serta untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penambahan kapur untuk stabilisasi terhadap nilai CBR bila digunakan sebagai lapisan tanah dasar (*subgrade*) untuk perkerasan jalan.

METODE

Penelitian ini dilakukan di laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Unesa. Secara garis besar tahapan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut: Perencanaan dan persiapan, Survey Pemilihan lokasi Penelitian, Pengambilan sampel di lapangan, Pengujian laboratorium, analisa data, dan kesimpulan. Variasi kadar kapur yang digunakan mulai dari 0%, 2,5%, 5%, 7,5% dan 10%. Lebih jelasnya tahapan penelitian dapat dilihat pada diagram alir berikut ini:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Penambahan Kapur Terhadap Nilai Batas Cair

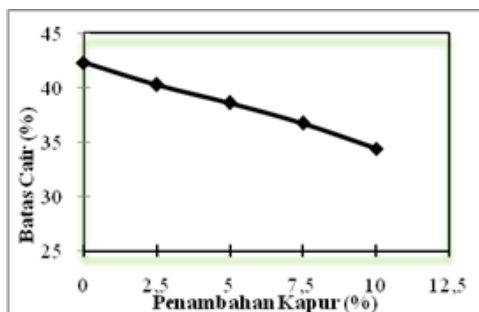
Hasil pengujian tanah asli yang distabilisasi dengan kapur dapat dilihat pada Tabel 1. Pada tanah asli harga Batas Cair adalah 47,27%, dan setelah dilakukan penambahan semen berturut-turut mulai kadar 2,5%; 5%; 7,5% dan 10% harga Batas Cair berturut-turut menurun menjadi 40,25%; 38,62%; 36,75 hingga 34,40%. Hal ini disebabkan karena adanya ion-ion positif (kation) yang ada pada kapur akan mengikat ion-ion negatif (anion) yang ada pada permukaan tanah lempung, dengan demikian tanah

lempung akan lebih sedikit mengikat air. Maka semakin besar penambahan kapur yang diberikan pada tanah lempung ekspansif, menyebabkan semakin kecil harga Batas Cairnya. Lebih jelasnya juga bisa dilihat Gambar 2.

Tabel 1. Nilai batas cair dengan berbagai Penambahan kadar Kapur

Benda Uji	Campuran Benda Uji		Batas Cair (%)	Penurunan (%)
	Tanah asli (%)	Kapur (%)		
1	100	0	42,27	0
2	100	2,5	40,25	4,78
3	100	5	38,62	8,63
4	100	7,5	36,75	13,06
5	100	10	34,4	18,62

Sumber: hasil uji laboratorium



Gambar 2. Variasi Penambahan Kapur Terhadap Batas Cair

Pengaruh Penambahan Kapur Terhadap Nilai Batas Plastis

Hasil pengujian Batas Plastis dari semua campuran benda uji dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini,

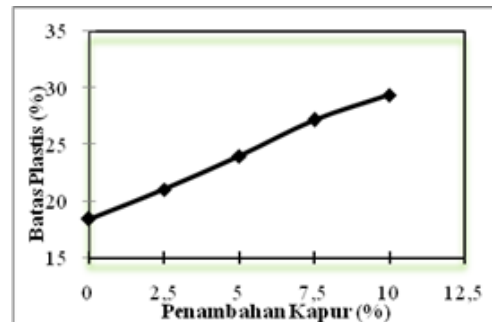
Tabel 2. Nilai batas plastis dengan berbagai penambahan kadar kapur

Benda Uji	Campuran Benda Uji		Batas Plastis (%)	Peningkatan (%)
	Tanah asli (%)	Kapur (%)		
1	100	0	18,45	0
2	100	2,5	21,05	14,09
3	100	5	23,98	29,97
4	100	7,5	27,15	47,15
5	100	10	29,35	59,08

Sumber: hasil uji laboratorium

Pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa pada tanah asli tanpa penambahan kapur, harga Batas Plastis mencapai 18,45%. Setelah diberikan penambahan kapur mulai kadar 2,5%, 5%, 7,5% dan 10% berturut – turut harga Batas Plastis menjadi 21,05%; 23,98%; 27,15% dan 29,35%

Semakin banyak kapur yang ditambahkan, maka akan terjadi proses hidrasi dan tanah menjadi kering serta mengalami retak-retak dan menyebabkan Batas Plastisnya meningkat. Dengan penambahan kadar kapur 10% pada tanah Lempung ekspansif menyebabkan terjadi peningkatan terhadap harga Batas Plastis sebesar 59,08%. Agar lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Variasi Penambahan Kapur Terhadap Batas Plastis

Pengaruh Penambahan Kapur Terhadap Nilai Indeks Plastisitas

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa semakin banyak kadar kapur yang ditambahkan pada tanah lempung ekspansif, maka harga Indeks Plastisitasnya menjadi semakin kecil, hal ini dapat dilihat seperti yang tercantum pada Tabel 3 dan Gambar 4 berikut,

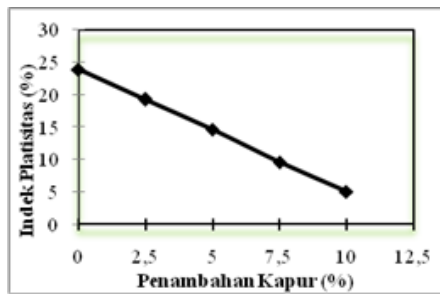
Tabel 3. Nilai indeks plastisitas dengan berbagai penambahan kadar kapur

Benda Uji	Campuran Benda Uji		Indek Plastisitas (%)	Penurunan (%)
	Tanah asli (%)	Kapur (%)		
1	100	0	23,82	0,00
2	100	2,5	19,2	19,40
3	100	5	14,64	38,54
4	100	7,5	9,6	59,70
5	100	10	5,05	78,80

Sumber: hasil uji laboratorium

Indeks Plastisitas tanah lempung ekspansif yang tanpa diberi tambahan kapur adalah 23,8%, hal ini termasuk tanah dengan tingkat ekspansif tinggi. Dari Tabel 3 maupun Gambar 4. dapat dilihat bahwa dengan penambahan 10% kadar kapur, menjadikan harga Indeks Plastisitas menurun sampai pada 5,05% yang berarti tanah tersebut tergolong masuk kategori tanah yang mempunyai tingkat ekspansif rendah bisa dikatakan mempunyai kemampuan mengembang dan menyusut yang rendah. Maka dapat dikatakan bahwa dengan penambahan kadar kapur 10% pada tanah lempung ekspansif dapat menyebabkan

terjadinya penurunan harga indeks plastisitas sebesar 78,80%.



Gambar 4. Variasi Penambahan Kapur terhadap Indeks Plastisitas

Pengaruh Penambahan Kapur Terhadap Berat Volume Kering Maximum (γ_{dmax}) dan Kadar Air Optimum (Wc_{opt})

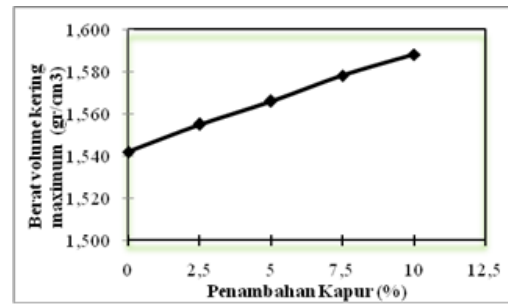
Hasil dari pengujian kepadatan Proctor Standart didapat bahwa berat volume kering maximum (γ_{dmax}) tanah lempung ekspansif mengalami peningkatan setelah diberi tambahan kapur. Hal ini disebabkan karena dengan penambahan kapur, maka pada tanah lempung tersebut mengalami sementasi butiran yang menyebabkan berat volume total dari campuran tersebut meningkat. Dengan demikian maka berat volume keringnya juga akan meningkat pula. Berikut Tabel 4 menunjukkan hasil pengujian proctor standart pada tanah lempung ekspansif setelah diberi tambahan kapur, hasilnya dapat dilihat juga pada Gambar 5.

Berdasarkan Tabel 4 dapat dilihat bahwa pada penambahan 10% kadar kapur, menjadikan harga harga γ_{dmax} meningkat menjadi 1,588 gr/cm³. Hal ini berarti setelah diberikan tambahan kapur tanah lempung tersebut menjadi semakin padat, sehingga dapat dikatakan daya dukung tanahnya juga meningkat.

Tabel 4. Variasi harga γ_{dmax} dengan variasi penambahan kadar Kapur

Benda Uji	Campuran Benda Uji		γ_{dmax} (gr/cm ³)	Peningkatan (%)
	Tanah asli (%)	Semen (%)		
1	100	0	1,542	0
2	100	2,5	1,555	0,84
3	100	5	1,566	1,56
4	100	7,5	1,578	2,33
5	100	10	1,588	2,98

Sumber: hasil uji laboratorium



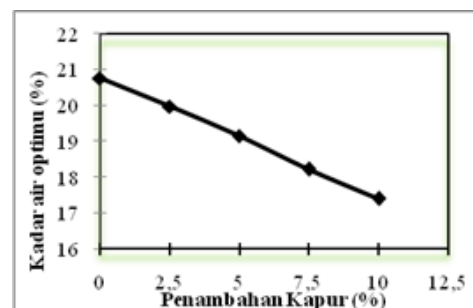
Gambar 5. Variasi Penambahan Kapur Terhadap Harga γ_{dmax}

Adanya peningkatan nilai berat volume kering maksimum, hal ini diikuti dengan menurunnya kadar air optimum (Wc_{opt}). Semakin besar kadar kapur yang ditambahkan pada tanah lempung ekspansif, maka kadar air optimum akan menjadi semakin menurun. Pada tanah lempung asli tanpa diberi tambahan kapur mempunyai kadar air optimum 20,76%. Setelah mendapat tambahan kapur 10% , maka kadar air optimum menjadi 17,4%. Hal ini disebabkan adanya penambahan kapur maka pada tanah tersebut terjadi penggumpalan (sementasi) sehingga tanah lempung tersebut akan sedikit menyerap air. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 5 dan Gambar 6 dibawah ini.

Tabel 5. Variasi harga wc_{opt} dengan berbagai Penambahan kadar Kapur

Benda Uji	Campuran Benda Uji		Wc opt (%)	Penurunan (%)
	Tanah asli (%)	Semen (%)		
1	100	0	20,76	0
2	100	2,5	19,97	4,28
3	100	5	19,15	7,14
4	100	7,5	18,23	10,47
5	100	10	17,4	13,81

Sumber: hasil uji laboratorium



Gambar 6. Variasi Penambahan Kapur Terhadap Kadar air optimum

Pengaruh Penambahan Kapur Terhadap Nilai California Bearing Ratio (CBR)

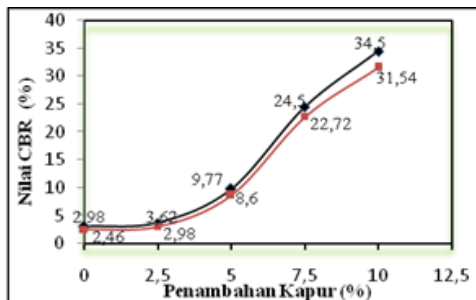
Pengujian CBR tanpa rendaman (*unsoaked*) yang dilakukan pada benda uji menggunakan penetrasi 0,1 dan penetrasi 0,2 diperoleh bahwa <https://doi.org/10.26740/proteksi.v4n2.p90-95>

dengan penambahan kapur yang diberikan pada tanah ekspansif, maka nilai CBR menjadi semakin meningkat. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 6. maupun Gambar 6 di bawah ini. Pada tanah asli tanpa adanya penambahan kapur, pada CBR penetrasi 0,1 diperoleh nilai CBR sebesar 2,98% dan pada penetrasi 0,2 diperoleh nilai CBR adalah 2,46%. Setelah diberi tambahan kapur 10% nilai CBR meningkat menjadi 34,5% untuk penetrasi 0,1, dan 31,54% untuk penetrasi 0,2. Lebih jelasnya hasil dari pengujian CBR dapat dilihat pada Tabel 6 dan Gambar 7 berikut.

Tabel 6. Variasi nilai CBR dengan berbagai penambahan kadar kapur

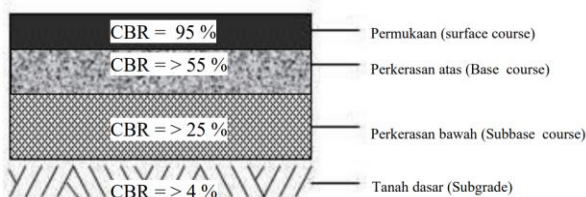
Benda Uji	Campuran Benda Uji		Nilai CBR (%)	
	Tanah asli (%)	Kapur (%)	Penetrasi 0,1	Penetrasi 0,2
1	100	0	2,98	2,46
2	100	2,5	3,62	2,98
3	100	5	9,77	8,6
4	100	7,5	24,5	22,72
5	100	10	34,5	31,54

Sumber: hasil uji laboratorium



Gambar 7. Variasi Nilai CBR dengan berbagai Penambahan kadar Kapur

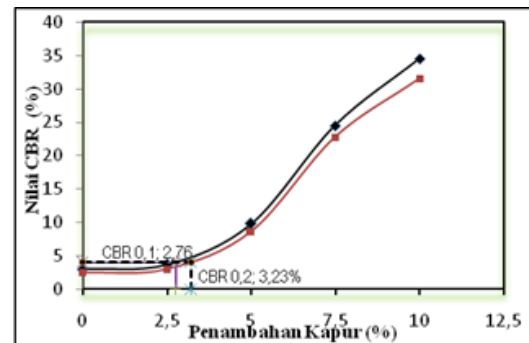
Apabila melihat persyaratan untuk perkerasan jalan seperti pada Gambar 8 di bawah ini, agar tanah tersebut dapat digunakan sebagai lapisan tanah dasar (*subgrade*) yaitu dengan nilai CBR minimal empat ($CBR=4$), maka benda uji dari penelitian ini yang memenuhi persyaratan adalah mulai benda uji yang ke tiga yaitu dengan penambahan kapur 5% pada penetrasi 0,1 nilai CBR menunjukkan 9,77 dan pada penetrasi 0,2 nilai CBR adalah 8,60.



Gambar 8. Lapisan perkerasan lentur (*Unsoaked*)

Sumber: *A Course in Highway Engineering* (S.P. Bindra, 1981)

Sebagai batas minimum agar terpenuhi lapisan tanah dasar (*subgrade*) untuk perkerasan jalan yaitu dengan nilai CBR sama dengan empat ($CBR=4$), maka penambahan kapur yang harus diberikan yaitu sebanyak 2,76% untuk penetrasi 0,1 dan 3,23% untuk penetrasi 0,2. Agar lebih jelas hal ini dapat dilihat pada Gambar 9 di bawah ini tentang batas minimum penambahan kapur untuk nilai $CBR=4$.



Gambar 9. Batas Minimum Penambahan Kapur untuk $CBR=4$.

KESIMPULAN

Penambahan kapur pada tanah ekspansif dapat mengurangi tingkat plastisitas, dengan penambahan kapur 10% dapat menurunkan Nilai batas cair sebesar 18,62%, dan meningkatkan nilai Batas Plastis sebesar 59,08%, serta dapat menurunkan Indeks Plastisitas Tanah sebesar 78.80%.

Penambahan kapur pada Tanah ekspansif dapat meningkatkan kepadatan Tanah, dengan penambahan kapur 10% nilai kepadatan maksimum (γ_{dmax}) Tanah ekspansif meningkat sebesar 2,98% dan menurunkan kadar air optimum 13,8%.

Penambahan kapur pada Tanah ekspansif dapat meningkatkan nilai CBR. Dengan penambahan 10% nilai CBR untuk penetrasi 0,1 adalah 34,5% dan untuk penetrasi 0,2 adalah 31,54%. Sedangkan batasan minimum yang harus dipenuhi agar tanah tersebut dapat digunakan sebagai lapisan tanah dasar (*subgrade*) untuk perkerasan jalan yaitu harus ditambahkan 2,76% kapur untuk penetrasi 0,1 dan 3,23% kapur untuk CBR penetrasi 0,2.

REFERENSI

Amania, A., & Sarie, F. 2021. Pengaruh Penambahan Pasir Sirkon, Abu Kayu Dan Fly Ash Pada Tanah Lempung Terhadap Daya Dukung Dan Kuat Geser Tanah. *Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (Proteksi)*, 3(2), 63-70.

- Andajani, N., & Triarso, A. (2020). Korelasi Antara Parameter Indeks Plastisitas dengan Sudut Geser Tanah Dengan Penambahan Kapur Terhadap Stabilisasi Daya Dukung Pondasi Dangkal. *Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (Proteksi)*, 2(1), 21-26.
- Bindra. S.P. 1981. A Course In Highway Engineering. Chandigarh: *Building Construction*
- Brown, B.S, and Poulos, H.G. 1980. Analysis of Foundation on Reinforced Soil. *Civil Engineering Research Report R.377*. University of Sydney
- Das Braja, M. 1983. Advanced Soil Mechanics. *McGraw-Hill International Editions*. Washington New York London.
- E. Bowles. Joseph. 1992. Engineering Properties Of Soils And Their Measurement. *Library Of Congress Cataloging In Publication Data*.
- Hardiyatmo, H.C. 2010. Stabilisasi Tanah Untuk Perkerasan Jalan. *Yogyakarta: Gadjah Mada University Press*.
- Kezdi, A. 1979. Stabilization Earth Roads. *Elvesier Scientific Publishing Company*. New York.
- L.H Shirley. 1994. Geoteknik dan Mekanika Tanah. *Bandung: Nova*
- Mitchell, James K., 1976. Fundamental of Soil Behavior. *John Wiley & Sons. Inc*. New York.
- Triarso, A. 2021. Perbandingan Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Data CPT dan Data SPT Pada Pondasi Gedung Parkir RSUD Soedono. *Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (Proteksi)*, 3(1), 28-33.
- Wardhono, A. 2019. Pengaruh Pemanasan Terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer Berbahan Dasar Abu Terbang Kelas C. *Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (Proteksi)*, 1(1), 1-7.

Penggunaan Limbah Batang Eceng Gondok untuk Beton *Fiber*

Use of Water Hyacinth Rod Waste for Fiber Concrete

Safrin Zuraidah¹, K Budi Hastono¹, Elisabet Trisnawati¹, Sumaryam²

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas DR. Soetomo, Jl Semolowaru.84 Surabaya. Telp. (031) 5944744. Email: safrin.zuraidah@unitomo.ac.id

²Program Studi Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan, Fakultas Pertanian Universitas DR. Soetomo, Jl Semolowaru.84 Surabaya. Telp. (031) 5944744.

Abstrak

Eceng gondok adalah jenis tanaman gulma tumbuhan air yang mengapung yang pertumbuhannya sangat cepat, hal ini menimbulkan masalah lingkungan, seperti terganggunya ekosistem perairan, menghambat transportasi air, mengurangi daya tampung sungai. Dalam satu sisi perkembangan teknologi tentang material beton yang sangat pesat terutama dalam hal peningkatan *performance* nya dengan menggunakan serat / *fiber* sebagai bahan tambahan untuk campuran beton, Tujuan penelitian untuk mengetahui pengaruh penambahan limbah serat eceng gondok dengan komposisi 0%; 0,05%; 0,15%; 0,25% dan 0,35% dari berat semen bila ditinjau terhadap kuat beton. Metode penelitian eksperimental dengan benda uji silinder 15 x 30 cm berjumlah 45 buah untuk Kuat Tekan dan 15 buah uji untuk Kuat Tarik Belah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Uji Kuat Tekan beton pada umur 28 hari, limbah tanpa serat eceng gondok 23,11 MPa, pada penambahan komposisi serat hasilnya: 22,45 MPa; 21,03 MPa; 19,15 Mpa; 17,17 MPa, Sedangkan untuk Uji Kuat Tarik Belah beton 0% sebesar 2,15 MPa, penambahan komposisi limbah hasilnya 1,98 MPa; 1,86 Mpa; 1,77 Mpa; 1,58 Mpa, mengalami penurunan secara signifikan. Dengan demikian penggunaan serat eceng gondok dalam campuran beton tidak direkomendasikan.

Kata Kunci: Ekosistem; kuat tekan; kuat tarik belah; tanaman gulma

Abstract

Eceng gondok is a type of floating aquatic plant weed whose growth is very fast, this causes environmental problems, such as disruption of aquatic ecosystems, hindering water transportation, reducing the capacity of rivers. On the one hand, the development of technology regarding concrete materials is very rapid, especially in terms of increasing its performance by using fiber / fiber as an additional material for concrete mixtures. The purpose of this study was to determine the effect of adding Eceng gondok fiber waste with a composition of 0%; 0.05%; 0.15%; 0.25% and 0.35% of the weight of cement when viewed against the strength of the concrete. Experimental research method with 15 x 30 cm cylindrical specimens totaling 45 for Compressive Strength and 15 for Split Tensile Strength. The results showed that the compressive strength of concrete at the age of 28 days, waste without Eceng gondok fiber was 23.11 MPa, with the addition of fiber composition the results were: 22.45 MPa; 21.03 MPa; 19.15 MPa; 17.17 MPa, while for the Split Tensile Strength Test of 0% concrete of 2.15 MPa, the addition of the waste composition results in 1.98 MPa; 1.86 MPa; 1.77 MPa; 1.58Mpa, decreased significantly. Thus, the use of Eceng gondok fiber in concrete mixtures is not recommended.

Keywords: *Ecosystem; compressive strength; split tensile strength; weed plant*

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi tentang material beton saat ini sangat pesat terutama dalam hal peningkatan *performance* nya. Salah satunya dalam rangka meningkatkan kuat tarik dan daktilitas beton dengan menggunakan serat buatan dari bahan sintesis sebagai bahan tambahan untuk campuran beton, Beton adalah suatu campuran yang terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah atau agregat-agregat lain yang dicampur menjadi satu dengan suatu pasta yang terbuat dari semen dan air. Campuran ini kemudian akan membentuk suatu massa mirip batuan. Kadang-kadang satu atau lebih bahan aditif ditambahkan untuk menghasilkan beton dengan karakteristik tertentu, agar memudahkan dalam pengerjaan (*workability*), durabilitas serta waktu pengerasan (Mc.Cormac, 2004).

Dalam penelitian ini menggunakan serat alami dari tumbuhan. Eceng gondok dengan nama ilmiah *Eichhornia crassipes* merupakan tumbuhan air yang hidup mengapung yang pertumbuhannya mempunyai kecepatan yang tinggi. Hal ini menimbulkan masalah lingkungan, seperti terganggunya ekosistem perairan, menghambat transportasi air, mengurangi daya tampung sungai. Menurut Khotimah (2018), bertambahnya persentase fraksi volume eceng gondok sangat mempengaruhi kekuatan tarik dan lentur. Semakin banyak fraksi volume serat maka semakin meningkat pula nilai kekuatan tarik dan kekuatan lenturnya. Selain itu Iin sugianto dkk (2018) menyatakan bahwa semakin banyak eceng gondok yang digunakan dalam pembuatan batako ringan maka dihasilkan batako ringan dengan berat jenis yang lebih kecil dan lebih kuat.

Penelitian Sejenis

Faklav A. Nenometa, dkk (2019) Meneliti tentang “Pengaruh Pemakaian Serat Eceng Gondok Terhadap Kualitas Mutu Beton Normal” untuk mengetahui pengaruh eceng gondok terhadap mutu beton dengan variasi eceng gondok 0,1%, 0,2%, 0,3% dan 0,4% serta panjang serat 5-8 cm dengan mutu rencana beton $f'c = 20$ MPa. Hasilnya, bahwa, nilai optimum dari campuran serat eceng gondok yaitu pada variasi campuran 0,1% dengan nilai rata-rata perbandingan kuat tekan beton normal dan beton yang memiliki campuran serat eceng gondok 0,1% yaitu 21 MPa : 21,33 MPa, kuat tarik belah 5,702 MPa : 5,33 MPa dan kuat lentur 2,84 MPa : 3,16 MPa.

Fia Khusnul Khotimah, (2018) meneliti tentang “Analisis Serat Eceng Gondok Dan HDPE (*High Density Polyethylene*) Sebagai Material

Alternatif Pada Lambung Kapal”, menunjukkan bahwa bertambahnya presentase fraksi volume eceng gondok sangat berpengaruh terhadap kekuatan tarik dan bending. Semakin besar fraksi volume serat maka akan semakin besar pula nilai kekuatan tarik dan kekuatan bending yang didapatkan. Fraksi volume pada percobaan ini pada variasi 75% eceng gondok dan 25% resin dan kadar air 10 % menghasilkan nilai kekuatan tertinggi dimana nilai kekuatan Tarik tertinggi 35,832 Mpa dan kekuatan bending tertinggi sebesar 0.035 Mpa.

Iin Sugianto, dkk (2018) meneliti tentang “Penggunaan Eceng Gondok Sebagai Filler untuk Meningkatkan Kuat Mekanik Batako Ringan Berbahan Dasar Limbah Emas” Hasilnya menunjukkan, bahwa penggunaan eceng gondok sebagai filler memiliki pengaruh terhadap nilai densitas dan kuat tekan. Nilai kuat tekan batako ringan berbahan dasar limbah pengolahan emas (LPE) dengan filler eceng gondok memiliki pengaruh yaitu pada komposisi 85% LPE + 15% EG yang random memiliki kuat tekan yang terbaik. Jadi semakin banyak eceng gondok yang digunakan dalam pembuatan batako ringan maka akan dihasilkan batako ringan dengan berat jenis yang lebih kecil dan kuat. Ernawati, M. Said L, (2017) meneliti tentang “Uji Kualitas Campuran Abu Sekam Padi Dan Serbuk Abu Eceng Gondok Sebagai Bahan Agregat Halus Pembuatan Batako” hasil dari penelitian menunjukkan bahwa Penambahan agregat abu sekam padi dan abu eceng gondok sebagai agregat halus pembuatan batako dengan komposisi yang bervariasi dapat mempengaruhi nilai kuat tekan dan penyerapan air pada batako. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan dan daya serap air dengan komposisi masing-masing sampel yaitu normal, 10%, 20%, 30% dan 40% telah memenuhi standar nilai kuat tekan dan penyerapan air yaitu, untuk penambahan abu sekam padi dengan nilai kuat tekan paling tinggi berada pada Komposisi 10% yaitu 98,04 kg/cm²; Untuk penambahan abu eceng gondok dengan nilai kuat tekan paling tinggi berada pada komposisi 20% yaitu 111,69 kg/cm²; nilai daya serap air paling memenuhi berada pada komposisi 20% yaitu 1,21%. Untuk pencampuran abu sekam padi + abu eceng gondok dengan nilai tekan paling tinggi diperoleh berada pada komposisi 20 % yaitu 66,56 kg/cm², nilai daya serap air yang paling memenuhi yaitu pada komposisi 10% yaitu 8,05% (sesuai standar SNI 03-0349-1989).

Material Pembentuk Beton

Portland Cement (PC) atau yang lebih dikenal dengan semen merupakan suatu bahan yang mempunyai sifat hidrolis, semen membantu pengikatan antara agregat halus dan agregat kasar apabila tercampur dengan air, selain itu semen juga mampu mengisi rongga-rongga antara agregat tersebut (Bambang Sujatmiko, 2019).

Agregat adalah salah satu material yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton ataupun mortar. Agregat dapat mengisi sekitar 70% hingga 75% volume beton atau mortar. Walaupun hanya sebagai bahan pengisi, namun agregat sangat mempengaruhi sifat-sifat beton atau mortarnya.

Agregat halus atau pasir adalah butiran-butiran mineral yang bentuknya mendekati bulat, tajam dan bersifat kekal dengan ukuran butir sebagian besar terletak antara 0,07-5 mm (SNI 03-1750-1990). Agregat halus digunakan sebagai bahan pengisi dalam campuran beton agar dapat meningkatkan kekuatan, mengurangi penyusutan dan mengurangi pemakaian bahan pengikat/semen.

Agregat kasar yaitu agregat yang memiliki ukuran lebih besar dari 5 mm. agregat kasar yang digunakan untuk beton bisa berupa kerikil alam yang diperoleh dari batu. Air merupakan bahan yang digunakan dalam proses reaksi kimia dengan untuk mendapatkan beton bermutu dan berkinerja tinggi,

Uji Kuat Tekan

Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Penentuan kekuatan tekan dapat dilakukan dengan menggunakan alat uji tekan dan benda uji berbentuk silinder dengan prosedur uji ASTM C-39. Untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton dapat menggunakan persamaan berikut

$$F'c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots [1]$$

Keterangan :

F'c= Kuat tekan benda uji (MPa)

P= beban tekan maksimum (N)

A= Luas permukaan benda uji (mm²)

Uji Kuat Tarik Belah

Setiap usaha perbaikan mutu kekuatan desak hanya disertai peningkatan kecil nilai kuat tariknya. Suatu perkiraan kasar nilai kuat tarik beton normal hanya berkisar antara 9% -15% dari kuat tekannya (Try Mulyono, 2005). Kuat tarik belah Benda uji beton berbentuk silinder diperoleh dari hasil pembebanan benda uji tersebut yang diletakkan mendatar sejajar dengan

semen sehingga terbentuk pasta semen. Air yang digunakan dalam adukan beton berpengaruh pada kualitas beton yang akan dihasilkan. Semen bisa berfungsi sebagai perekat apabila ada reaksi dengan air. Namun, penggunaan air yang berlebihan dapat menyebabkan menurunnya kekuatan beton, sedangkan air yang terlalu sedikit dapat menyebabkan hidrasi yang tidak merata.

Serat Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*) atau yang umum dikenal dengan gulma air memiliki pertumbuhan yang sulit untuk dikendalikan dan biasanya tumbuh pada ketinggian antara 40 cm-80 cm . mempunyai batang yang panjang tetapi akarnya lebih pendek bila dikeringkan batangnya dipotong 10 – 12 cm bisa digunakan untuk serat ke dalam adukan beton dapat mempengaruhi sifat-sifat struktural beton. Serat membantu mengikat dan mempersatukan campuran beton setelah terjadinya pengikatan awal dengan semen dan bisa menunda retaknya beton, membatasi penambahan retak, serta membantu ketidakmampuan semen portland dalam menahan regangan dan benturan.

METODE PENELITIAN

Penelitian eksperimental yang dilakukan untuk menemukan bahan alternatif material penyusun beton.

permukaan meja penekan mesin uji tekan (Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton, SK SNI M60-1990-03).

Untuk mendapatkan nilai kuat tarik belah beton dapat menggunakan persamaan berikut

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi LD} \dots\dots\dots [2]$$

keterangan :

f_{ct} = kuat tarik belah (kg/cm²)

P = Beban maksimum (kg)

L = Panjang benda uji (cm)

D = Diameter benda uji (cm)

Uji Berat Volume

Berat volume beton ditentukan oleh berat jenis dari bahan-bahan penyusunnya, jadi apabila bahan penyusun memiliki berat jenis yang besar maka beton yang akan dihasilkan memiliki berat volume yang besar juga. Berat volume beton adalah perbandingan antara berat benda uji beton terhadap volume beton. Untuk mendapatkan nilai volume beton dapat menggunakan persamaan berikut :

$$B_v = \frac{W}{V} \dots\dots\dots [3]$$

Keterangan :

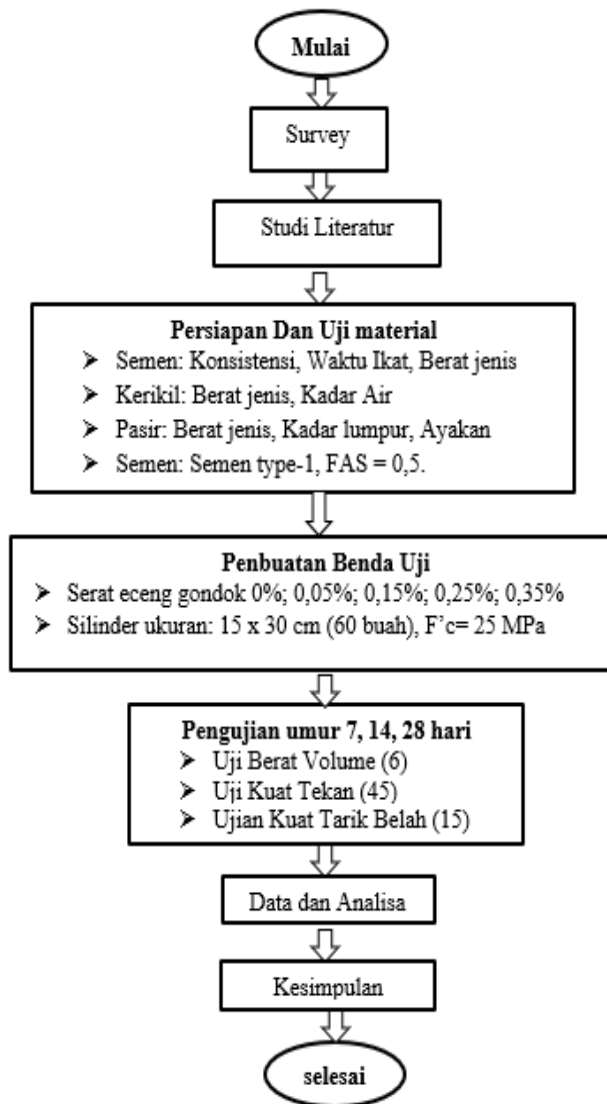
B_v = Berat volume beton (kg/m³)

<https://doi.org/10.26740/proteksi.v4n2.p96-101>

W = Berat benda uji (kg)

V = volume beton (m³)

Diagram Alur Penelitian:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Berat Voume dilakukan dengan cara mengukur dimensi serta menimbang berat dari benda uji tersebut sebelum dilakukan pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah beton. Benda uji

Uji Kuat Tekan Beton

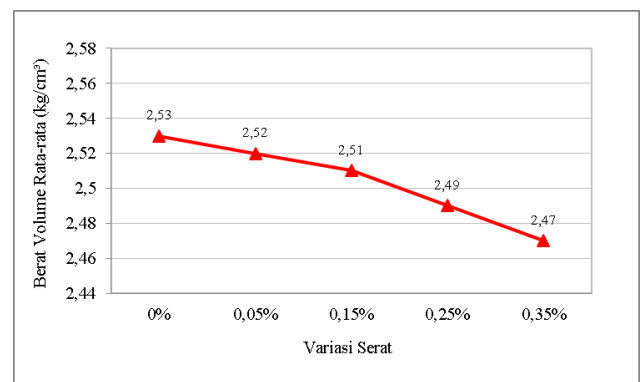
Uji kuat tekan pada penelitian ini dilakukan pada umur beton 7, 14 dan 28 hari dengan menggunakan mesin uji tekan dan benda uji silinder yang berdiameter 15 cm serta tinggi 30 cm.

yang digunakan berupa silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

Tabel. 1. Hasil Uji Berat Volume Beton umur 28 hari

Variasi serat	Berat (Kg)	Berat Volume	Rata-rata (Kg/cm ³)
0%	13,378	2,52	2,52
	13,453	2,54	
	13,321	2,51	
0,05%	13,295	2,51	2,51
	13,344	2,52	
	13,325	2,51	
0,15%	13,274	2,50	2,50
	13,309	2,51	
	13,215	2,49	
0,25%	13,110	2,47	2,48
	13,203	2,49	
	13,187	2,49	
0,35%	13,121	2,48	2,46
	13,046	2,46	
	13,028	2,46	

Sumber: Olahan peneliti 2022



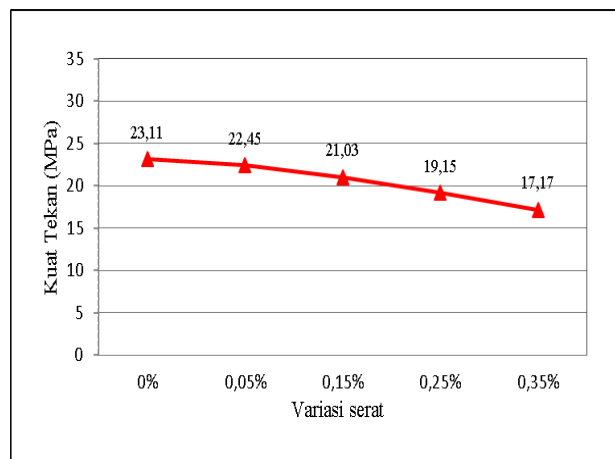
Gambar 2. Grafik Berat Volume Beton Terhadap Variasi Serat pada Umur 28 Hari

Berdasarkan tabel 1 dan gambar 2 menunjukkan bahwa semakin besar penambahan persentase serat eceng gondok ke dalam campuran beton maka berat volume beton semakin menurun, hal ini disebabkan karena eceng gondok memiliki berat jenis yang rendah dan semakin lama umur beton maka berat volume beton juga menurun karena kehilangan kadar air sehingga menyebabkan adanya rongga udara antar agregat.

Tabel .2 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Pada Umur 28 Hari

Variasi serat	Berat (Kg)	Nilai Kuat Tekan		Kuat Tekan Rata-rata	Turun/Naik (%)
		kN	Mpa		
0%	13,378	415	23,48	23,11	0,0
	13,453	420	23,77		
	13,321	390	22,07		
0,05%	13,295	385	21,79	22,45	-2,9
	13,344	405	22,92		
	13,325	400	22,64		
0,15%	13,274	355	20,09	21,03	-9,0
	13,309	370	20,94		
	13,215	390	22,07		
0,25%	13,110	375	21,22	19,15	-17,1
	13,203	290	16,41		
	13,187	350	19,81		
0,35%	13,121	315	17,83	17,17	-25,7
	13,046	295	16,69		
	13,028	300	16,98		

Sumber: Olahan peneliti 2022



Gambar 3. Grafik Kuat Tekan Beton Terhadap Variasi Serat Pada Umur 28 Hari.

Dari tabel 2 dan gambar 3 menunjukkan bahwa semakin besar persentase serat eceng gondok yang digunakan maka mengakibatkan penurunan nilai kuat tekan beton. Nilai kuat tekan tertinggi yaitu 23,11 MPa pada beton 0% yang tanpa menggunakan penambahan serat eceng gondok, sedangkan nilai kuat tekan terendah pada beton serat variasi 0,35% sebesar 17,17 MPa.

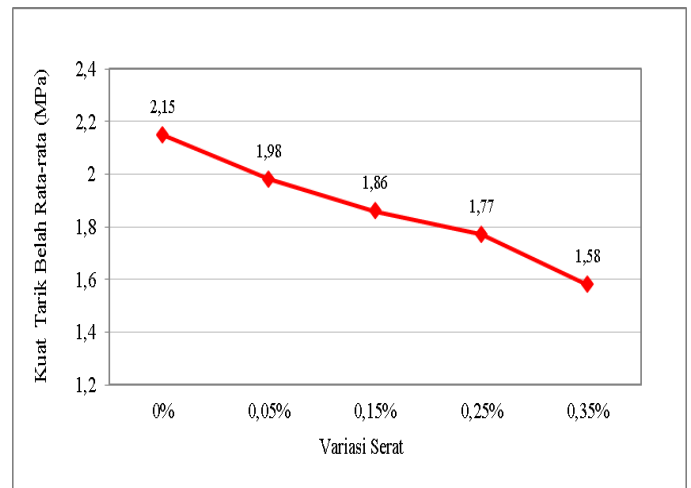
Uji Kuat Tarik Belah Beton

Untuk Uji Kuat Tarik Belah beton dilakukan pada umur beton 28 hari.. Benda uji digunakan silinder berdiameter 15 cm dengan tinggi 30 cm.

Tabel. 3 Hasil Uji Kuat Tarik Belah Beton Pada umur 28 hari

Variasi serat	Berat (Kg)	Kuat Tarik Belah		Rata-rata (Mpa)	Turun/Naik (%)
		kN	Mpa		
0%	13,429	125	1,77	2,15	0,0
	13,411	170	2,41		
	13,466	160	2,26		
0,05%	13,421	115	1,63	1,98	-7,9
	13,303	170	2,41		
	13,334	135	1,91		
0,15%	13,380	125	1,77	1,86	-13,5
	13,271	135	1,91		
	13,256	135	1,91		
0,25%	13,229	115	1,63	1,77	-17,7
	13,214	125	1,77		
	13,231	135	1,91		
0,35%	13,125	120	1,70	1,58	-26,5
	13,087	105	1,49		
	13,143	110	1,56		

Sumber: Olahan peneliti 2022



Gambar 4. Grafik Kuat Tarik Belah Beton Terhadap Variasi Serat Pada Umur 28 Hari

Berdasarkan tabel 3 dan gambar 4 menunjukkan bahwa penambahan serat eceng gondok pada campuran beton mengakibatkan penurunan nilai kuat tarik belah beton. Nilai kuat tarik belah tertinggi pada beton normal 0% yang tanpa menggunakan serat eceng gondok sebesar 2,15 MPa , untuk beton yang menggunakan serat mengalami penurunan secara signifikan seiring dengan bertambahnya variasi serat.

KESIMPULAN

1. Penggunaan serat eceng gondok dalam campuran beton mempengaruhi kekuatan beton, di mana beton dengan variasi serat eceng

- gondok mengalami penurunan kuat tekan dan kuat tarik belah dari beton normal tanpa serat.
2. Kuat tekan maksimal beton dengan campuran serat eceng gondok terdapat pada variasi 0,05% pada umur 28 hari sebesar 22,45 MPa mengalami penurunan sebesar 2,9% dari beton normal. Sedangkan kuat tarik belah maksimal beton dengan campuran eceng gondok terdapat pada variasi 0,05% sebesar 1,98 MPa mengalami penurunan sebesar 7,9% dari beton normal.

Dengan demikian penggunaan Serat Eceng Gondok dalam campuran beton tidak direkomendasikan .

REFERENSI

- Affandy, N., & Lubis, Z. 2018. Pengaruh Penambahan Serat Alami Eceng Gondok Terhadap Kuat Tekan Beton Berkualitas Rendah. *UKaRsT*, 2(1), 11-19.
- Badan Standarisasi Nasional. 2000. SNI 03-2834-2000, *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*, Jakarta, BSN.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1990. SNI 03-1750-1990 *Tentang Mutu dan Cara Uji Agregat Beton*, Jakarta.
- Diana, A. I., & Fansuri, S. 2019. Perbandingan Kuat Tekan Paving Menggunakan Bahan Beton Menurut SNI dengan Bahan Campuran Limbah Las Gas. *Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (Proteksi)*, 1(2), 57-62.
- Ernawati, E. 2017. Uji Kualitas Campuran Abu Sekam Padi Dan Serbuk Abu Eceng Gondok Sebagai Bahan Agregat Halus Pembuatan Batako. *JFT: Jurnal Fisika dan Terapannya*, 4(1), 1-8.
- Gunawan, P., Wibowo, W., & Primasatya, D. I. 2014. Pengaruh Penambahan Serat Galvalum Pada Beton Ringan Dengan Teknologi Foam Terhadap Kuat Lentur, Toughness, Dan Stiffness. *Matriks Teknik Sipil*, 2(2), 229-236.
- Khotimah, F. K. 2018. Analisis Serat Eceng Gondok Dan Hdpe (High Density Polyethylene) Sebagai Material Alternatif Pada Lambung Kapal (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Melki Jekson, 2018. "Analisa Pengaruh Arah Serat Terhadap Sifat Mekanik Material Eceng Gondok Bermatrik Resin Polyester Dengan Metode Vacuum Bag". Skripsi. Teknik Mesin. Palembang: Universitas Sriwijaya
- Nenometa, F. A., Santosa, A. A., & Erfan, M. 2019. Pengaruh Pemakaian Serat Eceng Gondok Terhadap Kualitas Mutu Beton Normal. *Sondir*, 1.
- Ravendra, R. M., Setioboro, S., & Setiyawan, P. 2015. Pemanfaatan Serbuk Eceng Gondok Sebagai Campuran Beton Mutu Tinggi. *Prosiding SNST Fakultas Teknik*, 1(1).
- Rochmah, N. 2017. Pengaruh serat ijuk sebagai bahan tambah terhadap kuat tarik belah beton. *JHP17: Jurnal Hasil Penelitian*, 2(01).
- Sugianto, I., Prasetya, D. S. B., & Ahzan, S. 2018. Penggunaan Eceng Gondok Sebagai Filler untuk Ringan Berbahan Dasar Limbah Emas. *Lensa: Jurnal Kependidikan Fisika*, 6(2), 43-49.
- Sujatmiko, Bambang. (2019). *Teknologi Beton dan Bahan Bangunan*. Surabaya: Media Sahabat Cendekia.
- Zulkahfi NST, R., & Yuhanah, T. (2020). Pengaruh Substitusi Fly Ash Dan Cangkang Kelapa Sawit Terhadap Kekuatan Beton *Doctoral Dissertation, Institut Teknologi PLN*.
- Zuraidah, S., & Sujatmiko, B. (2019). Pemanfaatan Limbah Strapping Band Dan Styrofoam Dengan Menggunakan Pasir Mojokerto Untuk Bata Ringan. *Narotama Jurnal Teknik Sipil (NJTS)*, 3(1), 41-58.

Identifikasi Risiko Pembangunan Ruko dari Aspek Ekonomi, Finansial, dan Pemasaran

Identification of Shophouse Development Risks from Economic, Financial, and Marketing Aspects

Puguh Novi Prasetyono¹, Hasan Dani¹

¹Program Studi D4 Teknik Sipil, Program Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Jln. Ketintang Surabaya. Telp (031) 8280009. Email: puguhprasetyono@unesa.ac.id

Abstrak

Kegiatan urbanisasi berpindah penduduk dari desa ke kota masyarakat bertujuan untuk mendapatkan pekerjaan. Dengan banyaknya kebutuhan akan lapangan pekerjaan maka banyak pengusaha dikota memanfaatkan peluang tersebut untuk mendirikan tempat usaha/ruko yang dibangun dalam rangka untuk menjalankan sebuah usaha. Oleh karena itu perlu diidentifikasi risiko yang mungkin terjadi terkait pada aspek ekonomi finansial dan pemasaran ruko yang sedang di bangun. penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi risiko pada pembangunan rumah toko dari aspek ekonomi, finansial dan pemasaran. Penelitian ini merupakan eksploratif deskriptif dengan responden konsultan dan kontraktor yang pernah yang pernah mengerjakan proyek pembangunan ruko. Pengumpulan data dilakukan dengan wawancara secara langsung dan penyebaran angket/kuesioner. Dari hasil pembasan tentang identifikasi risiko pembangunan ruko (rumah toko) di tinjau dari aspek ekonomi, keuangan, dan pasar di dapatkan dari aspek ekonomi yang paling besar adalah terjadinya inflasi, untuk aspek keuangan adalah ketidaktepatan perhitungan estimasi biaya, dan aspek pemasaran adalah tingkat persaingan. Penelitian ini baru menghasilkan identifikasi risiko aspek ekonomi, keuangan dan pemasaran dari sudut pandang kontraktor yang pernah mengerjakan bangunan ruko (rumah toko), maka penelitian berikutnya dapat di lakukan Analisa risiko, penilaian risiko, termasuk pengelolaan risiko yang mungkin terjadi.

Kata Kunci: Konstruksi; risiko; ruko

Abstract

Urbanization activities move people from villages to cities in order to find work. With the need for employment opportunities, many entrepreneurs in the city take advantage of this opportunity to establish a place of business/shopping built in order to run a business. Therefore, it is necessary to identify the risks that may occur related to the financial and marketing aspects of the shophouses that are being built. This study aims to identify risks in the construction of shop houses from the economic, financial and marketing aspects. This research is descriptive exploratory with consultant and contractor respondents who have worked on shophouse construction projects. Data was collected by means of direct interviews and the distribution of questionnaires. From the results of the discussion regarding the identification of the risk of building a shophouse in terms of economic, financial, and market aspects, it is obtained from the economic aspect that the biggest one is the occurrence of inflation, for the financial aspect is the inaccurate calculation of cost estimates, and the marketing aspect is the level of competition. This research has only resulted in the identification of risks from the economic, financial and marketing aspects from the perspective of contractors who have worked on shop houses, so the next research can be carried out. Risk analysis, risk assessment, including risk management that may occur..

Keywords: Construction; risk; shophouse

PENDAHULUAN

Meningkatnya jumlah penduduk mengakibatkan banyak orang yang membutuhkan lapangan pekerjaan. Kondisi saat ini mengakibatkan adanya kegiatan urbanisasi yang berkembang dengan pesat, mayoritas penduduk berpindah ke kota untuk mendapatkan pekerjaan [1]. Dengan banyaknya kebutuhan akan lapangan pekerjaan maka banyak pengusaha dikota memanfaatkan peluang tersebut untuk mendirikan tempat usaha/ruko. Fenomena ini tentunya membuat peningkatan akan pembangunan gedung konstruksi yang digunakan sebagai ruko.

Pembangunan rumah toko tersebut tentunya juga terdapat beberapa risiko yang bisa saja terjadi yang mungkin saja mengakibatkan dampak negatif [2]. Beberapa penelitian sebelumnya menemukan bahwa sektor konstruksi mempunyai tingkat insiden yang lebih tinggi dibandingkan dengan sektor industri lain [3][2][4]. fakta tersebut mengakibatkan pentingnya melakukan manajemen risiko pada kegiatan pembangunan proyek konstruksi [5].

Manajemen risiko adalah suatu kegiatan yang disusun dengan tahapan-tahapan secara terstruktur untuk melakukan identifikasi, analisis serta melakukan tanggapan terhadap risiko yang mungkin saja dapat terjadi [5]. Risiko yang muncul tentu saja dapat berdampak positif maupun berdampak negatif pada sebuah kegiatan proyek [4].

Terdapat beberapa penelitian terdahulu yang membahas tentang Analisa risiko pada proyek konstruksi. Penelitian yang pertama dengan judul analisis risiko fondasi *bored pile* dan tiang pancang proyek tunjungan plaza 6 surabaya pada penelitian tersebut menghasilkan risiko tertinggi pekerjaan pondasi tersebut adalah keruntuhan dinding penahan tanah pada saat kegiatan pekerjaan pondasi tiang pancang dan *bored pile* [6].

Kemudian terdapat juga penelitian Analisa risiko pembangunan konstruksi pelabuhan yang menghasilkan risiko dari pembangunan proyek konstruksi tersebut yang dapat mencemari lingkungan dan membahayakan para pekerja yaitu risiko kebocoran bahan yang mudah terbakar dan berbahaya [3].

Penelitian lain juga di lakukan di *UAE construction industry*. Tujuan dari penelitian tersebut adalah mengidentifikasi faktor penyebab keterlambatan pembangunan proyek konstruksi dan dampak negative pada keberhasilan proyek. Data didapatkan dari hasil penyebaran kuesioner ke konsultan dan kontraktor dengan hasil penelitian penyebab keterlambatan proyek tersebut adalah proses persetujuan gambar, terdapat data

perencanaan yang tidak lengkap dan pengambilan keputusan yang lambat yang dilakukan oleh owner menjadi penyebab utama [7].

Risiko pembangunan proyek konstruksi juga dilakukan di libanon yang membahas risiko terkait finansial atau pembiayaan. Hasil penelitiannya adalah sumber risiko eksternal dan internal yang paling penting adalah risiko finansial contohnya adalah: inflasi, fluktuasi mata uang, solvabilitas yang kurang, dan lain sebagainya [8].

Terdapat juga penelitian yang mengidentifikasi risiko dalam proses pembanguna jembatan konstruksi di daerah Sulawesi utara. Hasil dari penelitian tersebut kurangnya sumber daya manusia yang dimiliki, topografi dan geografis yang sulit, dan kondisi tanah yang buruk [9].

Negara lain yang juga pernah dilakukan penelitian terkait manajemen risiko adalah identifikasi factor risiko proyek konstruksi di mesir. Hasil dari penelitian tersebut risiko yang paling sering terjadi adalah pengiriman material yang terlambat, overrun biaya dan jadwal, adanya pekerjaan tambah kurang di proyek, dan lain sebagainya [5]. Kemudian juga ada penelitian lain masih di mesir yaitu identifikasi risiko dengan menggunakan metode AHP. Dan menghasilkan risiko tertinggi pertama terkait keuangan yang disusul dengan desain[10]. Selain itu juga dilakkan identifikasi risiko pada proyek pembangunan tempat tinggal yang memiliki tujuan untuk memberikan pengetahuan lebih kepada para kontraktor dalam mengidentifikasi dan mengelola risiko yang ada [11].

Selain dimesir di spanyol juga pernah dilakukan penelitian terkait manajemen risiko yang menghasilkan faktor penyebab terjadinya risiko antara lain adalah kompleksitas organisasi, kelengkapan K3 dan sumberdaya yang terdapat di proyek [2].

Kemudian Analisa risiko juga pernah dilakukan untuk mengidentifikasi risiko pada proyek pembangunan gedung kampus hasanuddin, hasil dari penelitian tersebut menunjukkan risiko tertinggi adalah mata tenaga kerja terkena percikan api, kaki tertusuk benda tajam, permasalahan di kelistrikan, terjadinya iritasi kulit dan gangguan pernafasan yang disebabkan material di proyek seperti cat dan tinner.dan yang memiliki risiko paling tinggi adalah ketika pemasangan atap yaitu jatuh saat pemasangan atap atau rangka atap yang roboh. [12]

Pembangunan gedung kampus lain yang dilakukan penelitian untuk menganalisis risiko pembangunan rumah sakit di Universitas Andalas.

Hasil dari penelitian tersebut di dapatkan empat Jenis yaitu risiko engineering, risiko produksi, konstruksi dan finansial. Dan yang memiliki risiko extreme adalah kenaikan harga material, kemudian di. Bawahnya uyang memiliki risiko high adalah pembengkakan biaya pengadaan, sedangkan yang teridentifikasi asi risiko dengan tingkat medium terdapat tiga jenis yaitu kesalahan gambar kontrak yang di tuangkan ke gambar kerja, kecelakaan kerja dan kualitas mutu tidak sesuai dengan kontrak. [13].

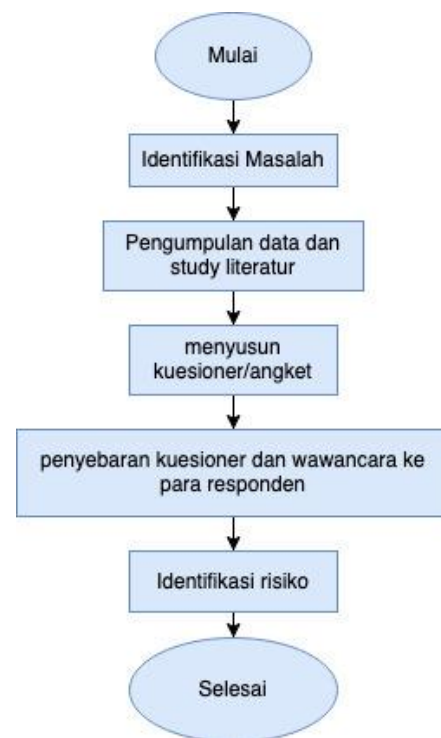
Kemudian Pada proyek pembanguna bandara sendiri pernah dilakukan kajian penelitian yang di lakukan di arab Saudi. Hasil dari penelitian tersebut terdapat lima puluh empat risiko baru telah diidentifikasi dan diklasifikasikan ke dalam tiga tingkatan: eksternal dan internal, dan force majeure serta penelitian ini masih sedang di kembangkan terus [14].

Pada masa pandemi covid-19 juga pernah dilakukan penelitian terkait Analisa risiko, Analisa tersebut dilakukan di daerah Yogyakarta pada proyek pengembangan perumahan, penelitian ini dilakukan karena pandemic covid-19 berimbas juga pada sektor dunia konstruksi. Dan hasil tersebut pada risiko paling kecil berdampak pada harga rumah, sedangkan yang memiliki frekuensi tertinggi adalah penurunan daya beli masyarakat [15].

Dari penjelasan diatas menunjukkan Analisis dan Manajemen risiko pada proyek pembangunan gedung mulai intens dilakukan dan beberapa penelitian pada umumnya pembahasan manajemen risiko terkait pada pendanaan dan ekonomi [6]. Hal itu sejalan dengan pembangunan gedung komersil yang sedang banyak dikembangkan salah satunya pembangunan ruko yang dimana ruko (rumah toko) yang dibangun dalam rangka untuk menjalankan sebuah usaha. Oleh karena itu perlu di identifikasi risiko yang mungkin terjadi terkait pada aspek ekonomi finansial dan pemasaran ruko yang sedang di bangun.

METODE

Jenis dari penelitian ini merupakan penelitian eksploratif deskriptif. Dengan melibatkan beberapa stakeholder terutama konsultan dan kontraktor yang pernah mengerjakan proyek konstruksi ruko (rumah toko). Adapun responden yang terlibat dalam penelitian ini berjumlah 42 Responden. Untuk pengumpulan datanya menggunakan angket/kuesioner dan dilakukan wawancara secara langsung kepada responden yang terlibat. Adapun proses pelaksanaan penelitian ini dapat digambarkan diagram pada Gambar 1 berikut ini:



Gambar 1. Diagram Alur pelaksanaan penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sumber Risiko

Berdasarkan hasil study literatur maka diperoleh beberapa variable terkait dengan sumber risiko dan penyebab risiko yang berkaitan dengan aspek ekonomi, finansial dan pemasaran dalam pembangunan proyek konstruksi ruko (rumah toko) yang dituangkan kedalam Tabel 1 berikut ini:

Tabel 1. Sumber risiko dan penyebab

Sumber Risiko	Perubahan dan Ketidakpastian, karena	Sumber
<i>Ekonomic</i> (Ekonomi)	Perpajakan, inflasi, nilai tukar, suku bunga, kebijakan keuangan.	Prasetyono (2022) J. Pre-proofs (2022)
<i>Financial</i> (Keuangan)	Pemasukan, upah, kerugian, keuntungan, asuransi, pembengkakan biaya, kenaikan harga material, tidak memperhitungkan biaya contingencies, ketidak tepatan perhitungan estimasi biaya	Prasetyono (2022) Melani (2015) Jemmy E (2014)
<i>Market</i> (Pemasaran)	Persaingan, perkiraan, keuangan, kepuasan pelanggan.	Prasetyono (2022)

<https://doi.org/10.26740/proteksi.v4n2.p102-107>

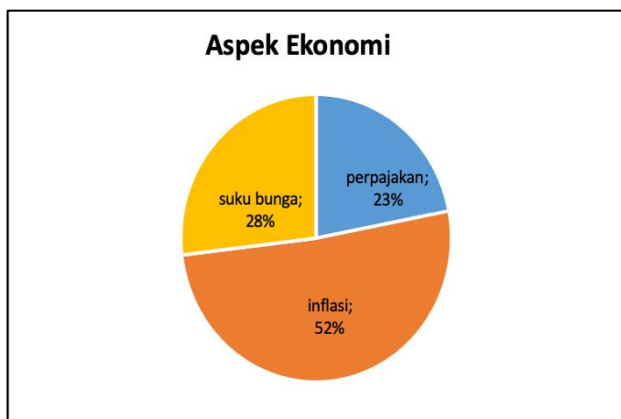
Untuk sumber risiko ekonomi terdapat beberapa variabel antara lain: perpajakan, inflasi, nilai tukar, suku bunga, kebijakan keuangan. Sedangkan untuk risiko finansial antara lain adalah Pemasukan, upah, kerugian, keuntungan, asuransi, kebangkrutan, pembengkakan biaya, kenaikan harga materian, Tidak memperhitungkan biaya contingencies, ketidak tepatan perhitungan estimasi biaya. Yang terakhir terkait dengan pemasaran adalah Persaingan, perkiraan, keuangan, kepuasan, pelanggan.

Economic(Ekonomi)

Berdasarkan jawaban para responden baik dari konsultan maupun kontraktor yang telah melakukan pengisian kuesioner didapatkan hasil mengenai identifikasi risiko pada aspek ekonomi pembanguna ruko (rumah toko) yang di tunjukan pada Tabel 2 dan Gambar 2 berikut ini:

Tabel 2. Sumber risiko ekonomi

Perubahan dan Ketidakpastian, karena	Jumlah responden yang menjawab	Prosentase
perpajakan	9	21%
inflasi	22	52%
nilai tukar	0	0%
suku bunga	11	26%
kebijakan keuangan	0	0%
Total	42	100%



Gambar 2. Sumber risiko Ekonomi

Adanya ketidakpastian atau risiko paling besar pada aspek ekonomi adalah terjadinya inflasi dengan responden yang menjawab sebanyak 22 responden atau sebesar 52% total responden yang ada. dilanjutkan pada urutan kedua pada aspek ekonomi adalah suku bunga sebesar dengan total responden yang menjawab sebanyak 11 responden atau 28% dari total responden. Pada urutan ketiga aspek

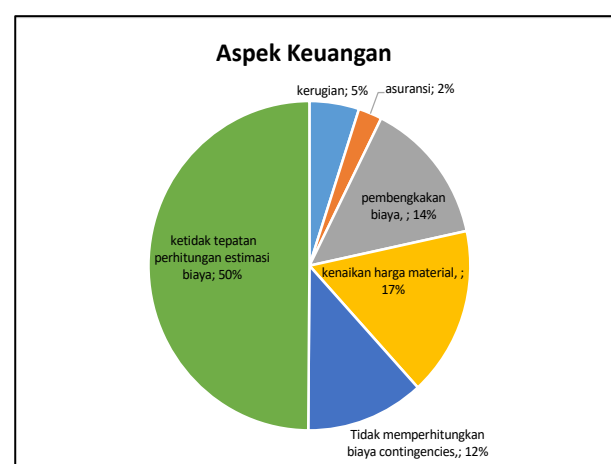
ekonomi adalah perpajakan dengan total responden yang menjawab adalah 9 responden atau sebesar 23% dari total responden yang ada. Jadi untuk aspek ekonomi teridentifikasi variabel sumber risiko yang sering terjadi menurut para responden adalah inflasi, suku bunga, dan perpajakan.

Financial (Keuangan)

Berdasarkan jawaban para responden didapatkan terkait identifikasi risiko pada keuangan pembanguna ruko (rumah toko) di tunjukan pada Tabel 3 dan Gambar 3 berikut ini:

Tabel 3. Sumber risiko keuangan

Perubahan dan Ketidakpastian, karena	Jumlah responden yang menjawab	Prosentase
pemasukan	0	0%
upah	0	0%
kerugian	2	5%
keuntungan	0	0%
asuransi	1	2%
pembengkakan biaya,	6	14%
kenaikan harga material,	7	17%
Tidak memperhitungkan biaya contingencies,	5	12%
ketidak tepatan perhitungan estimasi biaya	21	50%
Total	42	100%



Gambar 3. Sumber risiko keuangan

Risiko paling besar pada aspek keuangan terdapat kepada ketidaktepatan perhitungan estimasi biaya dengan total responden yang menjawab sebanyak 21 trespode atau sekitar separuh dari responden

<https://doi.org/10.26740/proteksi.v4n2.p102-107>

yang ada sebesar 50%, kemudian dilanjutkan pada urutan kedua adalah dengan kenaikan harga material dengan total responden yang menjawab sebanyak 7 responden, pada urutan ketiga terjadinya pembengkakan biaya dengan total responden yang menjawab sebanyak sebesar 14%, pada urutan keempat adalah tidak memperhitungkan biaya contingencies 12%, disusul pada urutan kelima yaitu mengalami kerugian dengan total responden yang menjawab sebanyak 5% dan terakhir adalah asuransi sebesar 2% dari jumlah responden yang menjawab.

Market (Pemasaran)

Berdasarkan jawaban para responden didapatkan terkait identifikasi risiko pada aspek Pemasaran pembanguna ruko (rumah toko) di tunjukan pada Tabel 4 dan Gambar 4 berikut ini:

Tabel 4. Sumber risiko pemasaran

Perubahan dan Ketidakpastian, karena	Jumlah responden yang menjawab	Prosentase
persaingan	25	63%
perkiraan	0%	0%
keuangan	5	13%
kepuasan pelanggan	12	25%
Total	42	100%



Gambar 4. Sumber risiko pemasaran

Risiko yang teridentifikasi pada aspek pasar berdasarkan jumlah jawaban responden pada urutan pertama adalah tingkat persaingan pasar dengan jumlah jawaban responden sebanyak 25 responden atau sebesar 63% dari total responden, kemudian pada urutan kedua aspek pasar adalah kepuasan pelanggan dengan jumlah responden yang menjawab sebanyak 12 responden atau sebesar 25% dan pada urutan ketiga aspek pasar adalah keuangan

dalam proses pemasaran responden yang menjawab sebesar 13% dari total responden yang ada.

KESIMPULAN

Dari hasil pembasan tentang identifikasi risiko pembangunan ruko (rumah toko) di tinjau dari aspek ekonomi, keuangan, dan pasar di dapatkan dari aspek ekonomi yang paling besar adalah terjadinya inflasi, untuk aspek keuangan adalah ketidaktepatan perhitungan estimasi biaya, dan aspek pemasaran adalah tingkat persaingan.

Penelitian ini baru menghasilkan identifikasi risiko aspek ekonomi, keuangan dan pemasaran dari sudut pandang konsultan dan kontraktor yang pernah mengerjakan bangunan ruko (rumah toko), maka penelitian berikutnya dapat di lakukan Analisa risiko, penilaian risiko, termasuk pengelolaan risiko yang mungkin terjadi. Dan jika memungkinkan dapat menambahkan jumlah responden lebih banyak lagi.

REFERENSI

- A. Fredriksson, A. A. Sezer, V. Angelakis, and D. Gundlegård. 2021. "Construction related urban disturbances: Identification and linking with an IoT-model," *Autom. Constr.*, vol. 134, no. October 2021, p. 104038, 2022, doi: 10.1016/j.autcon.2021.104038.
- F. J. Forteza, J. M. Carretero-Gómez, and A. Sesé. 2022. "Organizational factors and specific risks on construction sites," *J. Safety Res.*, vol. 81, pp. 270–282, 2022, doi: 10.1016/j.jsr.2022.03.004.
- L. Zheng, B. Zhao, H. Wang, and H. Liu. 2011. "Environmental risk identification of port construction project," *Procedia Environ. Sci.*, vol. 10, no. PART C, pp. 2783–2787, 2011, doi: 10.1016/j.proenv.2011.09.431.
- P. N. Prasetyono and H. Dani. 2022. "Identifikasi Risiko pada Pekerjaan Proyek Konstruksi Bangunan Gedung sebagai Tempat Tinggal," *Publ. Ris. Orientasi Tek. Sipil*, vol. 4, no. 1, pp. 42–47, 2022, doi: 10.26740/proteksi.v4n1.p42-47.
- M. S. B. A. Abd El-Karim, O. A. Mosa El Nawawy, and A. M. Abdel-Alim. 2017. "Identification and assessment of risk factors affecting construction projects," *HBRC J.*, vol. 13, no. 2, pp. 202–216, 2017, doi: 10.1016/j.hbrj.2015.05.001.
- F. T. Nuciferani, M. F. N. Aulady, and N. A. P. Ragilia. 2017. "Analisis Risiko Fondasibored Pile& Tiang Pancang Proyek Tunjungan Plaza 6 Surabaya," *J. IPTEK*, vol. 21, no. 1, <https://doi.org/10.26740/proteksi.v4n2.p102-107>

- p. 27, 2017, doi: 10.31284/j.ipitek.2017.v21i1.68.
- A. S. Faridi and S. M. El-Sayegh. 2006. "Significant factors causing delay in the UAE construction industry," *Constr. Manag. Econ.*, vol. 24, no. 11, pp. 1167–1176, 2006, doi: 10.1080/01446190600827033.
- J. Pre-proofs et al. 2022. "Financial risks management within the construction projects Financial Risks Management within the Construction Projects Financial Risks Management within the Construction Projects," *J. King Saud Univ. - Eng. Sci.*, 2022, doi: 10.1016/j.jksues.2022.05.001.
- J. E. E. Tumimomor, H. Manalip, and R. J. . Mandagi. 2014. "Analisis resiko pada konstruksi jembatan di sulawesi utara," *Jur. Arsit.*, vol. 6, no. 2, pp. 235–241, 2014.
- R. F. A. Eskander. 2018. "Risk assessment influencing factors for Arabian construction projects using analytic hierarchy process," *Alexandria Eng. J.*, vol. 57, no. 4, pp. 4207–4218, 2018, doi: 10.1016/j.aej.2018.10.018.
- M. Nabawy, G. Ofori, M. Morcos, and C. Egbu. 2021. "Risk identification framework in construction of Egyptian mega housing projects," *Ain Shams Eng. J.*, vol. 12, no. 2, pp. 2047–2056, 2021, doi: 10.1016/j.asej.2020.09.016.
- A. Muflihah Darwis, M. Furqaan Nai'em, Y. Thamrin, Noviponiharwani, S. Rahmadani, and F. Amin. 2021. "Safety risk assessment in construction projects at Hasanuddin University," *Gac. Sanit.*, vol. 35, pp. S385–S387, 2021, doi: 10.1016/j.gaceta.2021.10.057.
- M. N. Putri, Zaidir, and A. Hasan. 2015. "Analisis Manajemen Resiko Proyek Pembangunan Rumah Sakit Universitas Andalas," *Pros. 2nd Andalas Civ. Eng. Natl. Conf.*, pp. 59–69, 2015.
- A. Baghdadi and M. Kishk. 2015. "Saudi Arabian Aviation Construction Projects: Identification of Risks and Their Consequences," *Procedia Eng.*, vol. 123, pp. 32–40, 2015, doi: 10.1016/j.proeng.2015.10.054.
- G. D. Samudra and W. I. Ervianto. 2021 "Analisis Risiko Pengembang Perumahan Di Daerah Istimewa Yogyakarta Saat Pandemi Covid-19," *J. Tek. Sipil*, vol. 16, no. 3, pp. 218–223, 2021, doi: 10.24002/jts.v16i3.5394.

Desain Struktur Bangunan Baja Tahan Gempa Menggunakan SNI 1729:2020

Earthquake Resistant Steel Structure Design Using SNI 1729:2020

Berkat Cipta Zega¹, Feriza Nadiar¹, Puguh Novi Prasetyono¹, Arik Triarso¹

¹Program Studi D4 Teknik Sipil, Program Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Jln. Ketintang Surabaya. Telp (031) 8280009. Email: berkatzega@unesa.ac.id

Abstrak

Wilayah Indonesia termasuk wilayah yang rawan terhadap terjadinya gempa bumi karena posisi geografis Indonesia yang berada diantara tiga lempeng besar dunia yang terus aktif dan bergerak. Pada bidang konstruksi pengaruh terhadap terjadinya gempa perlu diperhatikan khususnya bangunan yang strukturnya terbuat dari baja. Selama ini bangunan gudang yang terbuat dari baja belum menggunakan bracing pada struktur antar kolom sehingga apabila terjadi gempa maka kemungkinan kerusakan pada bangunan tersebut sangat besar, karena tidak adanya penahan beban geser pada bangunan akibat pergoyangan yang disebabkan oleh gempa bumi. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan desain bangunan baja yang tahan terhadap gempa dengan menggunakan SNI 1729:2020. Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah metode kuantitatif. Perencanaan bangunan struktur baja menggunakan SNI 1729:2020 untuk mengetahui profil yang digunakan sesuai dengan beban yang terjadi pada struktur bangunan baja. Perencanaan beban gempa sesuai dengan SNI 1726:2012. Analisis data dengan pemodelan struktur menggunakan software SAP2000. Hasil penelitian didapatkan kesimpulan bahwa dengan desain bangunan struktur baja menggunakan perkuatan bracing yang diletakkan antar kolom terhadap beban gempa menambah kekakuan struktur bangunan baja tersebut. Didapatkan penurunan gaya axial sebesar 20,57%, gaya geser terjadi penurunan 1,53%, momen mengalami penurunan 1,11%, dan displacement mengalami penurunan 0,46%.

Kata Kunci: Bangunan baja; bangunan tahan gempa; desain struktur

Abstract

The territory of Indonesia is an area that is prone to earthquakes due to Indonesia's geographical position which is located between the three major plates of the world which are constantly active and moving. In the field of construction, the impact on the occurrence of earthquakes needs to be considered, especially buildings whose structures are made of steel. So far, warehouse buildings made of steel have not used bracing in the inter-column structure so that if an earthquake occurs, the possibility of damage to the building is very large, because there is no shear load resistance in the building due to shaking caused by the earthquake. This study aims to produce earthquake-resistant steel building designs using SNI 1729:2020. The method used in this research is a quantitative method. Steel structure building planning uses SNI 1729:2020 to determine the profile used in accordance with the load that occurs in the steel building structure. Earthquake load planning in accordance with SNI 1726:2012. Data analysis with structural modeling using SAP2000 software. The results of the study concluded that the design of the steel structure building using bracing reinforcement placed between the columns against earthquake loads added to the rigidity of the steel structure. It was found that the axial force decreased by 20.57%, the shear force decreased by 1.53%, the moment decreased 1.11%, and the displacement decreased 0.46%.

Keywords: Earthquake resistant buildings; steel building; structure design

PENDAHULUAN

Wilayah Indonesia termasuk wilayah dengan intensitas tinggi terhadap terjadinya gempa bumi karena letak geografis wilayah Indonesia yang berada diantara tiga lempeng besar dunia yang selalu aktif dan bergerak. Pada bidang konstruksi pengaruh terhadap terjadinya

gempa perlu diperhatikan khususnya bangunan yang strukturnya terbuat dari baja.

Permasalahan selama ini bangunan gudang yang terbuat dari baja belum menggunakan bracing pada struktur antar kolom sehingga apabila terjadi gempa maka kemungkinan kerusakan pada bangunan tersebut sangat besar, karena tidak adanya penahan beban geser pada bangunan akibat pergoyangan yang disebabkan oleh gempa bumi. Penelitian ini bertujuan untuk <https://doi.org/10.26740/proteksi.v4n2.p108-113>

menghasilkan desain bangunan baja yang tahan terhadap gempa dengan menggunakan SNI 1729:2020.

Bangunan Baja Tahan Gempa

Pada tahun 2020 Badan Standadisasi Nasional (BSN) memutuskan Penetapan Standar Nasional Indonesia (SNI) 1729:2020 Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural sebagai Revisi dari SNI 1729:2015 Spesifikasi untuk Bangunan Gedung baja Struktural. Pada SNI 1729:2020 Terdapat revisi pada perencanaan Bangunan Gedung Baja maka diperlukan penyesuaian terhadap spesifikasi yang terbaru dalam pekerjaan Bangunan Struktur Baja. Revisi SNI 1729:2015 menjadi SNI 1729:2020 memberikan perubahan terhadap perencanaan bangunan baja.

Bangunan baja perlu dianalisis terhadap beban gempa. Penelitian analisis struktur bangunan baja tahan gempa berdasarkan SNI 1729:2015 dengan menggunakan baja tipe A36, mutu beton (fc) 30MPa menghasilkan dengan jumlah *displacement* lantai maksimum pada lantai 2 dengan besaran 93,5mm melebihi batas minimum yaitu 95mm dengan analisis beban gempa (Zachari, 2020). Analisis sambungan yang mengalami momen akibat beban gempa pada struktur bangunan baja dengan tipe sambungan tahan gempa menurut SNI 7972:2013 ada 3 yaitu 4ES, 8ES dan PSB dengan metode analisis yang digunakan menurut SNI 1729:2015 yaitu metode DFBK dan DKI menghasilkan tipe sambungan yang paling kuat untuk model gedung baja beraturan 10 lantai pada penelitian ini yaitu sambungan momen seismik pelat ujung yang diperpanjang menggunakan pengaku dengan delapan baut (Siregar, 2020). Penelitian dengan modifikasi perancangan gedung apartemen dengan struktur baja tahan gempa memiliki karakteristik Strong Column Weak Beam (Fambudi, 2020).

Perkuatan pada konstruksi struktur bangunan baja yang tahan terhadap gempa dapat dilakukan dengan menambah bracing antar kolom bangunan. Penelitian analisis gedung struktur baja tahan gempa menggunakan bracing yang menghasilkan bahwa simpangan yang terjadi dengan perkuatan bracing lebih kuat dibandingkan tanpa menggunakan bracing (Rahmawati, 2019). Penambahan *bracing* pada konstruksi struktur bangunan kerangka baja dapat memberikan displacement yang lebih kecil dibandingkan dengan tanpa bracing (Rienanda, 2019). Penelitian pengaruh bracing terhadap

keruntuhan struktur baja dengan bracing akibat beban gempa dengan nilai displacement yang terjadi (Nurhayati, 2022).

Simulasi beban gempa dapat dilakukan dengan pemodelan menggunakan software SAP2000. Penelitian studi perencanaan struktur bangunan baja akibat beban gempa dengan menggunakan SNI 1729:2015 dengan pemodelan menggunakan SAP2000 dimana dengan ukuran balok induk menggunakan profil WF 440.300.11.18 dan kolom menggunakan ukuran profil king cross 600.300.12.20 dengan mutu baja mendapatkan bahwa profil yang digunakan dapat menerima beban gempa yang terjadi (Saputra, 2020). Penelitian dengan pemodelan struktur rangka baja menggunakan *software* SAP2000 memiliki selisih sebesar 20,25% dengan menggunakan *software* Tekla Structural Designer (Ronaldi, 2022).

Gempa Bumi

Aktifitas Vulkanisme dan Tektonik lapisan bumi menyebabkan terjadinya getaran sampai ke permukaan bumi sehingga terjadinya gempa bumi. Daniel menyebutkan bahwa gempa bumi juga dapat terjadi karena fenomena gertaran dengan kejutan pada kerak bumi (Daniel L. Schodek, 1999).

Tujuan desain bangunan tahan gempa adalah mengantisipasi kegagalan struktur bangunan. Terdapat tiga kriteria sebagai berikut (UBC, 1997):

1. Gempa dengan skala kecil tidak menyebabkan terjadinya kerusakan.
2. Gempa dengan skala sedang diijinkan terjadi kerusakan bangunan arsitektural dan bukan kerusakan struktural.
3. Gempa dengan skala besar diijinkan terjadi kerusakan struktural akan tetapi bangunan tidak boleh runtuh, sehingga manusia masih bisa menyelamatkan diri.

SNI 1729:2020 Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural

Standar Nasional Indonesia (SNI) 1729:2020 dengan judul “Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural” adalah revisi dari SNI 1729:2015 Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktura dan merupakan adopsi identik dengan metode terjemahan dari AISC 360-16. SNI 1729:2020 membahas tentang standar batang tekan dan batang tarik kemudian bagaimana kondisi sambungan pada struktur baja. Aturan sangat jelas terhadap perencanaan struktur

<https://doi.org/10.26740/proteksi.v4n2.p108-113>

bangunan baja, bahkan kekuatan baja mutu tinggi dan baut mutu tinggi pada desain struktur bangunan gedung terdapat dalam SNI. Batasan terhadap penampang untuk perencanaan profil yang akan digunakan juga diatur dalam SNI. Analisis struktur bangunan baja terkait dinding geser, kerangka baja komposit, dan sistem kerangka momen sudah ada acuan yang jelas dalam SNI. Perencanaan struktur bangunan baja menggunakan standar terbaru mulai dari struktur utama sampai dengan kerangka dapat dilihat dalam SNI 1729:2020.

Konstruksi Baja

Struktur baja merupakan bahan logam murni dari pabrikasi yang dirancang untuk menerima beban dengan batasan tertentu agar dapat bekerja dengan baik pada struktur bangunan. Kekuatan baja terdapat beberapa kriteria salah satunya adalah baja mutu tinggi. Baja mutu tinggi dalam struktur bangunan baja dapat menerima beban yang lebih besar dibandingkan dengan struktur beton maupun struktur baja seperti disampaikan dalam website <https://atad.vn/id/pengenalan-struktur-baja/>.

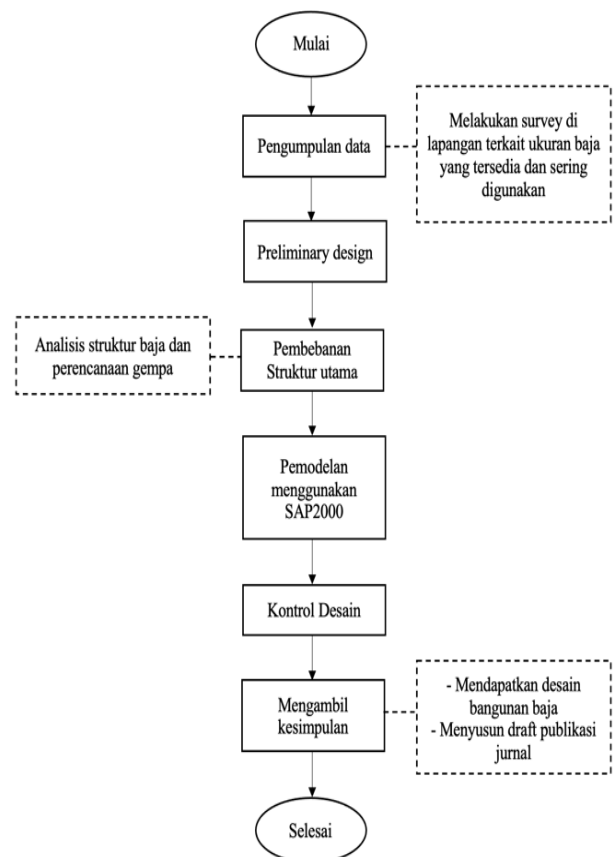
Struktur baja adalah merupakan material terbarukan yang dapat digunakan pada struktur bangunan baik bangunan gedung maupun bangunan jembatan (Renaldy, 2020). Dalam konstruksi modern, struktur baja digunakan untuk hampir setiap jenis struktur termasuk bangunan industri berat, bangunan bertingkat tinggi, sistem pendukung peralatan, infrastruktur, jembatan, menara, terminal bandara, pabrik industri berat, rak pipa, dll. Perencanaan dan pelaksanaan struktur bangunan baja melalui beberapa proses sesuai dengan Standar Nasional Indonesia dan peraturan lain yang mendukung. Tahap pertama adalah melakukan perencanaan desain yang dilakukan oleh perencana kemudian dilanjutkan ketahap pabrikasi sampai pada instalasi dilapangan (Berdikari, 2015).

METODE

Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah metode kuantitatif. Perencanaan bangunan struktur baja menggunakan SNI 1729:2020 untuk mengetahui profil yang digunakan sesuai dengan beban yang terjadi pada struktur bangunan baja. Perencanaan beban gempa sesuai dengan SNI 1726:2012. Setelah perencanaan pembebanan kemudian didapatkan ukuran profil yang digunakan pada struktur bangunan baja maka selanjutnya dilakukan analisis data dengan

metode numerik. Analisis data dengan melakukan analisis struktur bangunan baja dan melakukan pemodelan desain bangunan baja dengan menggunakan SAP2000. Program SAP2000 digunakan untuk analisis dan desain struktur menggunakan metode elemen yang didukung dengan analisis statis, dinamis, linear, maupun non linear.

Kelebihan dari SAP2000 adalah Mempunyai modul yang lengkap, dimana semua modul aplikasi di SAP dapat bekerja secara terintegrasi/terhubung yang satu dengan lainnya. Mendukung integrasi proses bisnis perusahaan-perusahaan besar. Semua informasi yang tersimpan didalam SAP dapat diakses oleh bagian organisasi yang membutuhkan pada saat dibutuhkan. Analisis yang cepat dan akurat. Model pembebanan yang lebih lengkap baik berupa static loading maupun dynamic loading, Pemodelan elemen shell yang lebih akurat. Analisis dinamik dengan Ritz dan Eigenvalue, sistem koordinat ganda untuk bentuk geometri struktur yang kompleks. Pelaksanaan penelitian dapat dilihat sesuai dengan bagan alir berikut ini. Alur penelitian seperti ditunjukkan pada gambar 1.

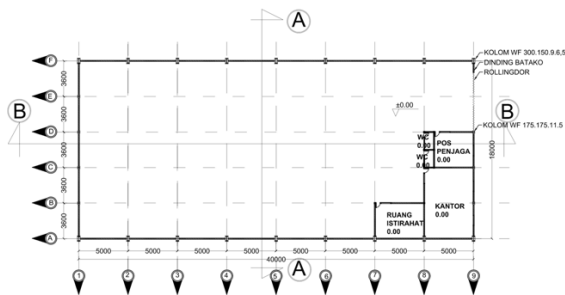


Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

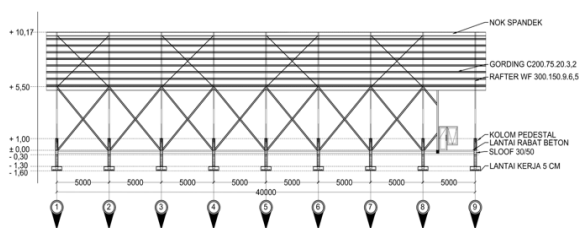
Zona gempa yang diambil sebagai acuan pemodelan dalam penelitian ini yaitu Zona 3 Kota Surabaya.

Data Profil yang digunakan sebagai bracing adalah sama dengan ukuran kolom yaitu Profil WF 300.150.9.6,5. gambar denah struktur bangunan baja dapat dilihat pada Gambar 2. Jarak antar kolom adalah 5m dengan tinggi kolom 5,5m. Panjang bangunan struktur baja adalah 40m dan lebar bangunan 18m. Bangunan struktur baja yang didesain difungsikan sebagai gudang pabrikasi sebuah perusahaan retail.



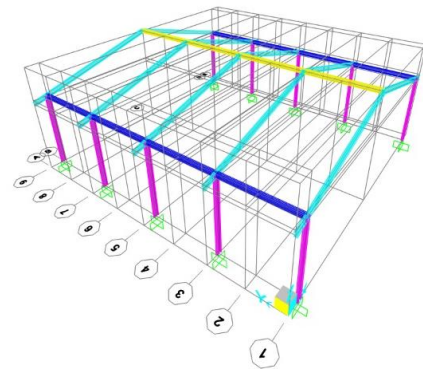
Gambar 2. Denah Bangunan Baja

Potongan gambar desain perkuatan struktur bangunan baja dengan menggunakan bracing dapat dilihat pada gambar 3. Bracing diberikan berbentuk silang pada ruang antar kolom dari ujung bawah kolom ke ujung atas kolom disebelahnya dan begitu juga sebaliknya.



Gambar 3. Gambar Potongan

Pemodelan struktur dilakukan dengan menggunakan software SAP2000. Pemodelan struktur dapat dilihat pada gambar 4. Pada pemodelan diberikan beban gempa dengan zona gempa 3 kota surabaya dengan pembebanan sesuai SNI 1726:2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung.



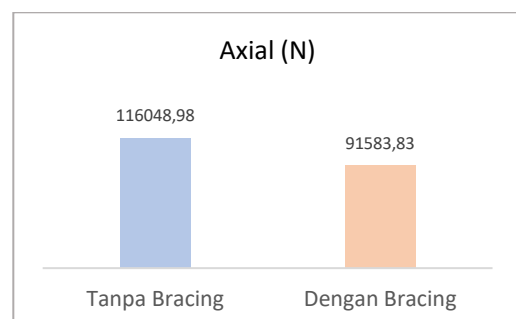
Gambar 4. Pemodelan struktur menggunakan SAP2000

Data hasil pemodelan SAP2000 didapatkan beban axial, shear, momen, dan displacemen yang terjadi dengan perbandingan antara struktur bangunan baja tanpa bracing dengan struktur bangunan baja menggunakan perkuatan bracing seperti ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Data hasil pemodelan

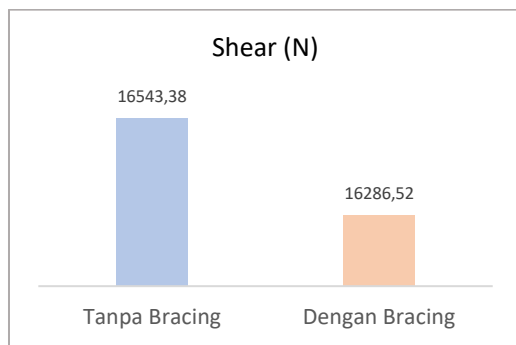
No	Data	Besarnya Nilai	
		Tanpa Bracing	Dengan Bracing
1	Axial (N)	116048,98	91583,83
2	Shear (N)	16543,38	16286,52
3	Momen (Nmm)	49214419,2	48658914,9
4	Displacemen t (mm)	45,538	45,324

Hasil pemodelan didapatkan struktur bangunan tanpa bracing didapatkan nilai axial lebih besar dibandingkan dengan struktur bangunan dengan bracing sebesar 24465,15N. Perbandingan besar nilai axial dapat dilihat dengan menggunakan diagram batang seperti pada gambar 5.



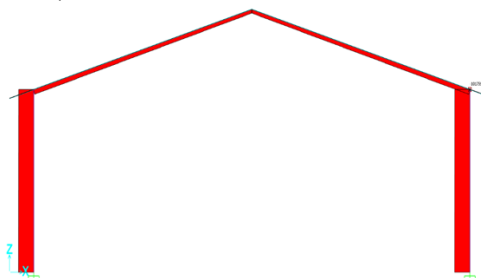
Gambar 5. Perbandingan nilai axial struktur bangunan baja tanpa bracing dan dengan bracing

Perbandingan besar nilai yang cukup besar selanjutnya adalah nilai shear seperti ditunjukkan pada gambar 6. Besar nilai perbandingan shear adalah 256,86N.



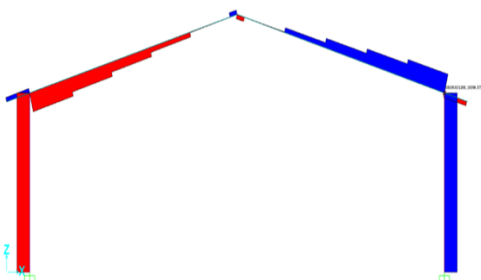
Gambar 6. Perbandingan nilai shear struktur bangunan baja tanpa bracing dan dengan bracing

Output pemodelan berupa hasil gaya axial menunjukkan bahwa adanya penurunan besaran gaya axial ketika adanya perkuatan struktur bangunan baja dengan penambahan bracing pada konstruksi antar kolom. Didapatkan penurunan besaran gaya sebesar 20,57%. Gambar diagram gaya axial dengan bracing dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Diagram gaya axial

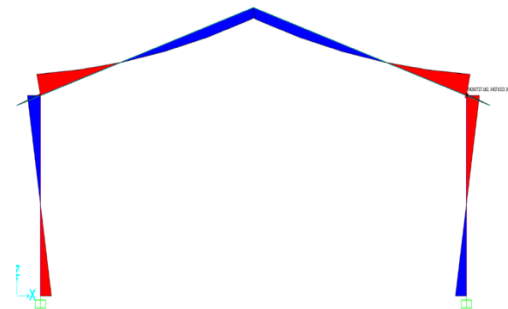
Analisis gaya geser shear dari output SAP2000 seperti ditunjukkan pada gambar 8 mengalami penurunan nilai besaran gaya setelah ditambahkan bracing pada struktur antar kolom terjadi penurunan sebesar 1,53%.



Gambar 8. Diagram gaya geser

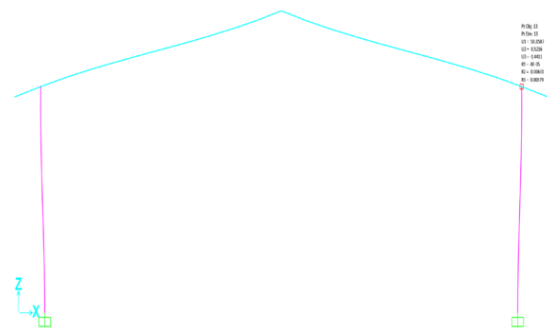
Gaya axial dan gaya geser pada struktur bangunan baja menimbulkan terjadinya momen.

Momen pada desain bangunan struktur baja dengan penambahan bracing mengalami penurunan besaran nilai dikarenakan gaya axial dan gaya geser yang terjadi mengalami penurunan besaran nilai. Momen yang terjadi mengalami penurunan sebesar 1,11% dengan diagram momen seperti ditunjukkan pada gambar 9.



Gambar 9. Diagram Momen

Dengan adanya penurunan gaya geser dan momen maka displacement yang terjadi pun ikut berpengaruh dengan adanya penurunan sebesar 0,46% seperti ditunjukkan pada gambar 9.



Gambar 9. Displacement

KESIMPULAN

Hasil penelitian didapatkan kesimpulan bahwa dengan desain bangunan struktur baja menggunakan perkuatan bracing yang diletakkan antar kolom terhadap beban gempa menambah kekakuan struktur bangunan baja tersebut. Didapatkan penurunan gaya axial sebesar 20,57%, gaya geser terjadi penurunan 1,53%, momen mengalami penurunan 1,11%, dan displacement mengalami penurunan 0,46%.

REFERENSI

American Institute of Steel Construction, S. S. E. C. 2006. American Institute Of Steel Construction AISC, *Structural Steel Educational Council AISC Seismic Design Manual* (p. 772). p. 772.

<https://doi.org/10.26740/proteksi.v4n2.p108-113>

- Badan Standar Nasional. 2020. SNI 03-1729-2020 Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja *Struktural, Departemen Pekerjaan Umum*.
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. SNI 1726:2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung. Jakarta: *Badan Standarisasi Nasional*.
- Berdikari A. J. 2015. Inspeksi Fabrikasi Dan Ereksi Pada Konstruksi Baja Proyek Gedung P1-P2 *UK Petra Surabaya. publication.petra.ac.id*.
- Fambudi I. O. F. 2020. Modifikasi Perencanaan Gedung Apartemen Gunawangsa Gresik dengan Struktur Baja Tahan Gempa. *Jurnal EXTRAPOLASI Volume 17, no 1, Juni 2020*.
- Nurhayati I. D. 2022. Pengaruh Susunan Rangka Penahan Beban Gravitasi Terhadap Perilaku Keruntuhan Struktur SRPM Baja dengan Bracing Konsentrik Akibat Getaran Gempa. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik [JIMT] Volume 2 Nomor 5 Mei 2022*.
- Rahmawati D.F. 2019. Analisa Drift Gedung Struktur Baja Tahan Gempa Menggunakan Kombinasi Two Story-X Bracing Dan X Bracing di Surabaya. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Konstruksi Vol. 7, No.1, April 2019*, Hal. 01-16.
- Renaldy F. 2020. Studi Alternatif Perencanaan Struktur Baja Pada Bangunan Gedung Lab Terpadu Universitas Islam Malang.
- Rienanda F. E. 2019. Pengaruh Bracing Pada Bangunan Bertingkat Rangka Baja Yang Berdiri Di Atas Tanah Miring Terhadap Gempa. *Jurnal Sipil Statik Vol.7 No.6 Juni 2019*.
- Ronaldi 2022. Perancangan Struktur Gedung Rangka Baja Tahan Gempa yang Terintegrasi dengan BIM (Building Information Modeling). *Jurnal Teknik Sipil ITP Vol. 9 No.1 Januari 2022*
- Saputra A.W. 2020. Studi Perencanaan Struktur Baja Tahan Gempa (Studi kasus: Gedung Laboratorium Terpadu Fakultas Teknik Universitas Jember). *Universitas Muhammadiyah Jember*.
- Schodek. 1992. Studi Perencanaan Struktur Baja Tahan Gempa. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan, 1(1)*, 047–056.
- Siregar A.S. 2020. Sistem Sambungan Momen Tahan Gempa Pada Struktur Baja Bangunan Gedung. *Jom FTEKNIK Volume 7 Edisi 1*.
- UBC. 1997. *Seismic Design. Book*.
- Zachari M.Y. (2020). Analisis Struktur Baja Tahan Gempa dengan Sistem SRPMK (Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus) Berdasarkan SNI 1729:2015 dan SNI 1726:2012. *new.jurnal.untad. Volume 1, Issue 2, September 2020*, pages 9-16.
- Zega, B. C., Imaduddin, M., & Prayuda, H. 2019. Besar Sudut Potongan Pada Balok Baja Castella Beam Terhadap Optimalisasi Tegangan Lentur. *Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (Proteksi), 1(1)*, 30-36.

Pengaplikasian Serbuk Cangkang Telur sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen terhadap Kuat Tekan Beton

Application of Eggshell Powder as a Partial Substitute for Cement Against Compressive Strength of Concrete

Yudi Ashariyanto¹, Anita Intan Nura Diana¹, Dwi Desharyanto¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Wiraraja, Jl. Raya Sumenep Pamekasan Km. 05
Patean Sumenep. Email : anita@wiraraja.ac.id

Abstrak

Beton merupakan salah satu bahan konstruksi hasil kombinasi antara semen, agregat kasar, agregat halus, dan air yang dicampur menjadi satu. Pekerjaan pembuatan beton dapat ditambahkan suatu bahan tambah guna kepentingan dalam pekerjaan konstruksi. Pada penelitian ini membuat campuran beton dengan serbuk cangkang telur dengan variasi 0%, 5%, 10%, 20% sebanyak 12 buah benda uji (BU) dengan menggunakan cetakan dalam bentuk selinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Pengujian yang dilakukan berupa pengujian kuat tekan beton pada umur 20 hari, Analisis data Analisis regresi linier sederhana dan Hipotesis Uji f,Uji T,Uji signifikansi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi serbuk cangkang telur ,persentase 0% ,5% dan 10%, mengalami kenaikan dengan nilai kuat tekan beton rata- rata sebesar dan sedangkan pada variasi 20 % mengalami penurunan persamaan regresi sederhana $Y = 14210.600 + (-2.957)$ dari persamaan tersebut variabel (X) semakin tinggi variasi serbuk kulit cangkang telur maka (Y) akan semakin turun kuat tekan yang didapat.

Kata Kunci: Kuat tekan; serbuk kulit cangkang telur; usia beton

Abstract

Concrete is a construction material that is the result of a combination of cement, coarse aggregate, fine aggregate, and water mixed together. The work of making concrete can be added an additional material for the benefit of construction work. In this study, 12 test objects (BU) were made using a mold in the form of a cylindrical diameter of 15 cm and a height of 30 cm. The tests carried out were in the form of testing the compressive strength of concrete at the age of 20 days, data analysis, simple linear regression analysis and hypothesis testing f, t test, significance test. The results showed that the variation of eggshell powder, the percentages of 0%, 5% and 10%, increased with an average value of the compressive strength of concrete by and while the variation of 20% experienced a decrease in the simple regression equation $Y = 14210.600 + (-2.957)$ from In the equation, the variable (X) is the higher the variation of eggshell powder, the (Y) will decrease the compressive strength obtained.

Keywords: compressive strength; egg shell powder; age of concrete

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pembangunan dalam bidang konstruksi menunjukkan perkembangan di Indonesia saat ini terus berkembang pesat. Seiring kemajuan teknologi konstruksi bangunan maka sering pula digunakan beton sebagai struktur konstruksi, karena beton memiliki banyak fungsi inilah maka dalam proses pembuatannya dapat diaplikasikan terhadap banyak hal dalam proses pembangunan.

Beberapa tahun terakhir penelitian tentang limbah sangat diminati dengan tujuan untuk mengubah limbah menjadi sesuatu yang lebih

bermanfaat khususnya dibidang konstruktksi. Misalnya penelitian penambahan serbuk limbah kaca dan abu daun bambu terhadap kinerja *paving block* yang dilakukan oleh Diana & Fansuri (2021), *An Experimental Study of Plastic Waste as Fine Aggregate Substitute for Environmentally Friendly Concrete* yang dilakukan oleh Diana, Fansuri, & Fatoni (2021), *Bubuk Limbah Botol Kaca sebagai Pengganti Parsial Agregat Halus dalam Campuran Beton* yang dilakukan oleh Diana, Fansuri, & Zainah (2021), *Penambahan Abu Daun Bambu Sebagai Substitusi Material Semen Terhadap Kinerja Beton* yang dilakukan oleh Diana, Fansuri, & Desharyanto (2020), *Effect of addition waste*

<https://doi.org/10.26740/proteksi.v4n2.p114-119>

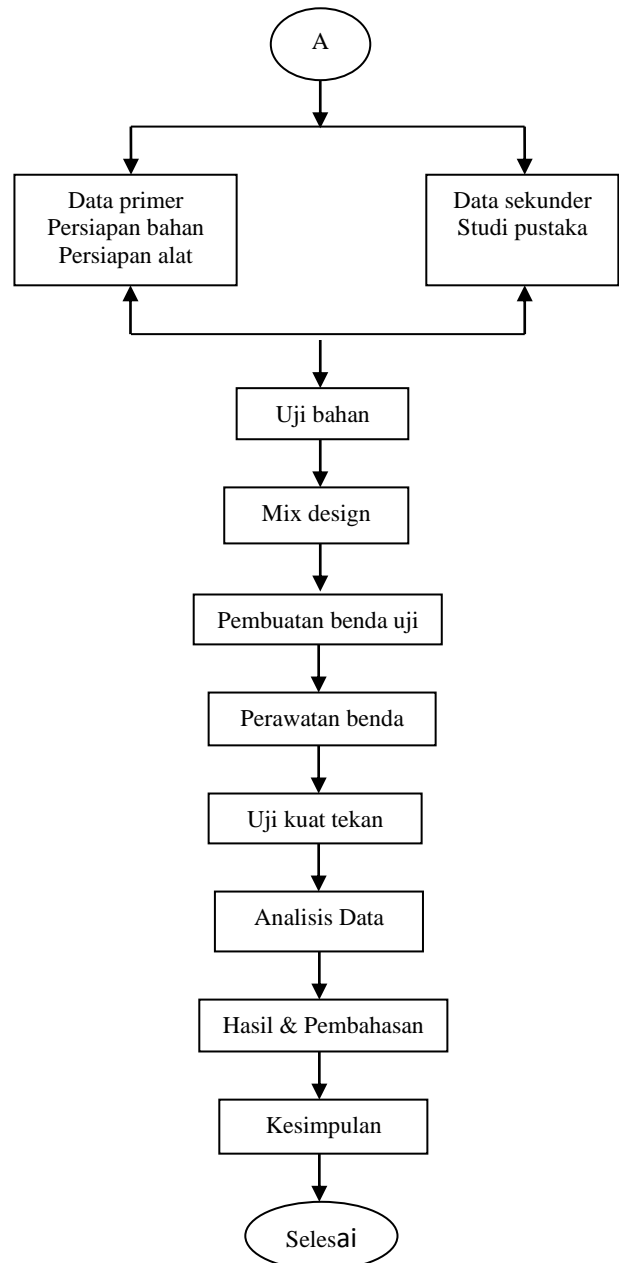
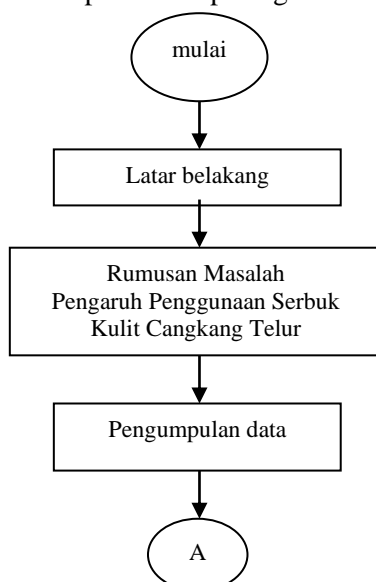
bottle and fly ash variation to compressive strength environmentally friendly paving block yang dilakukan oleh Diana & Desharyanto (2020). Pengaruh Substitusi Abu Batu dan Cangkang Telur Terhadap Kekuatan Beton yang dilakukan oleh Umar (2022). Pemanfaatan Limbah Senyawa Lateks Karet Alam pada Beton Polimer dengan Pengisi Serbuk Cangkang Telur Ayam dan Pengeras Poliester dilakukan oleh Haryanto (2018), Pembuatan Beton Modifikasi dengan Polimer dari Limbah Senyawa Lateks Karet Alam dengan Pengisi Serbuk Cangkang Telur Ayam dilakukan oleh Wijaya (2018), Pengaruh Serbuk Cangkang Telur Substitusi Semen Terhadap Karakteristik Beton yang dilakukan oleh Hibur (2017). Penelitian ini mencoba mengubah limbah cangkang telur menjadi bahan campuran semen sehingga dapat digunakan sebagai komposisi beton. Beberapa pertimbangan yang melatarbelakangi pemilihan limbah cangkang telur adalah pertama karna jumlah limbah cangkang telur yang hampir mencapai 1.7 jutaan ton per tahunnya (Humas UNESA, 2021), kedua berhubungan dengan komposisi cangkang telur sebagai limbah diketahui memiliki kandungan kalsium yang cukup tinggi. Cangkang telur kering diketahui mengandung sekitar 95% kalsium karbonat (CaCO_3) dengan berat 5.5 gram dan rata-rata dari cangkang telur mengandung 3% fosfor dan 3% terdiri atas magnesium, natrium, kalium.

Tujuan Penelitian

Dengan memperhatikan latar belakang dan permasalahan diatas maka setujuan studi ini yaitu: mengetahui bagaimana pengaruh penambahan bahan kulit cangkang terhadap kuat tekan beton.

METODE

Rancangan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Digram alur penelitian dapat dilihat pada gambar 1 berikut.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian Serbuk Cangkang telur

Ruang lingkup penelitian

Ruang lingkup penelitian ini pengurangan proporsi semen dengan menggunakan penambahan serbuk kulit cangkang telur terhadap kuat tekan beton. Lokasi penelitian di lakukan laboratorium Teknik Sipil Universitas Wiraraja Sumenep, dengan lama penelitian kurang lebih 3 bulan.

Populasi dan sampel

Populasi dalam penelitian ini yang diamati adalah beton yang menggunakan bahan tambahan kulit cangkang telur.

Adanya keterbatasan waktu, tenaga dan biaya membuat peneliti mengambil 8 sampel dari 4 variasi campuran kulit cangkang telur yaitu 0%, 5%, 10%, dan 20%, dengan benda uji berbentuk silinder.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Kebutuhan Agregat Halus

Tabel 1. Hasil Pengujian Kebutuhan Agregat Pasir

uk.saringan Mm	%lolos kumulatif	% tertahan kumulatif	Berat tertahan kumulatif (gram)	Berat tertahan (gram)
9.6	100	0	0	0
4.75	95.175	4.825	0.649	0.649
2.36	90.555	9.445	1.270	0.621
1.70	83.881	16.119	2.168	0.898
1.18	75.66,8	24.332	3.273	1.105
0.60	51.438	48.562	6.532	3.259
0.425	34.805	65.195	8.769	2.237
0.30	30.493	69.507	9.349	0.508
0.15	2.875	97.125	13.064	3.715
0.075	1.233	98.767	13.285	0.221
pan	0	100	13.451	0.166
				13.451

Berdasarkan hasil perhitungan analisa saringan agregat halus didapatkan nilai sebesar 13.451 kg dalam setiap campuran 3 benda uji cetakan berbentuk silinder.

Hasil Pengujian Kebutuhan Agregat Kasar

Tabel 2. Hasil Pengujian Kebutuhan Agregat Kasar

uk.saringan mm	%lolos kumulatif	% tertahan kumulatif	Berat tertahan kumulatif (gr)	Berat tertahan (gr)
76.2	100	0	0	0
50.8	100	0	0	0
38.1	100	0	0	0
25.4	87.6	12.4	2.501	2.501
19.1	60.6	39.7	8.009	5.508
13.2	24.1	75.9	15.311	7.302
9.5	4.91	95.09	19.182	3.871
4.75	0	100	20.173	0.991
2.36	0	100	20.173	0
0.15	0	100	20.173	0
pan	0	100	20.173	0

Berdasarkan hasil perhitungan analisa saringan agregat kasar pada tabel 1, dapat diketahui nilai total berat tertahan pada masing-masing saringan sebesar 20.173 kg, dengan rincian tertahan setiap ayakan dapat dilihat pada tabel 1 diatas. Analisis saringan ini dilakukan untuk memastikan gradasi agregat kasar yang akan digunakan.

Tabel 3. Rekapitulasi Komposisi

Var	Penambahan semen					Banyaknya benda uji
	Semen	Air	Ag.halus	Ag.kasarr	Kulit cangkang telur	
0%	5.778	3.227	13.415	20.173	0	3
5%	5.489	3.227	13.415	20.173	0.289	3
10%	5.200	3.227	13.415	20.173	0.578	3
20%	4.622	3.227	13.415	20.173	1.156	3

Tabel 3 diatas merupakan kebutuhan setiap komposisi untuk masing-masing variasi limbah cangkang telur.

Hasil Pengujian Slump

Tabel 4. Data Pengujian dan Perhitungan Nilai Slump Variasi 0%

No	Tinggi Cetakan Slump (cm)	Tinggi Campuran/ Benda Uji (cm)	Nilai Slump (cm)
1	30	18	12
2	30	17	13
3	30	17	13
Rata –rata nilai slump			12.6

Dari tabel 4 diatas maka didapat rata – rata nilai slump 12.6 cm.penurunan nilai slump yang direncanakan diawal percobaan adalah 60 – 180 mm, maka dalam percobaan ini rata – rata nilai slump sesuai dengan nilai rencana slum di awal.

Tabel 5. Data Pengujian dan Perhitungan Nilai Slum Variasi 5%

No	Tinggi Cetakan Slump (cm)	Tinggi Campuran/ Benda Uji (cm)	Nilai Slump (cm)
1	30	18	12
2	30	17	13
3	30	16	14
Rata –rata nilai slump			13

Dari tabel 5 diatas maka didapat rata – rata nilai slump 13 cm.penurunan nilai slump yang direncanakan diawal percobaan adalah 60 – 180 mm, maka dalam percobaan ini rata – rata nilai slump sesuai dengan nilai rencana slum di awal.

<https://doi.org/10.26740/proteksi.v4n2.p114-119>

Tabel 6. Data Pengujian dan Perhitungan Nilai Slump Variasi 10%

No	Tinggi Cetakan Slump (cm)	Tinggi Campuran/ Benda Uji (cm)	Nilai Slump (cm)
1	30	18	12
2	30	16	14
3	30	17	13
Rata –rata nilai slump			13

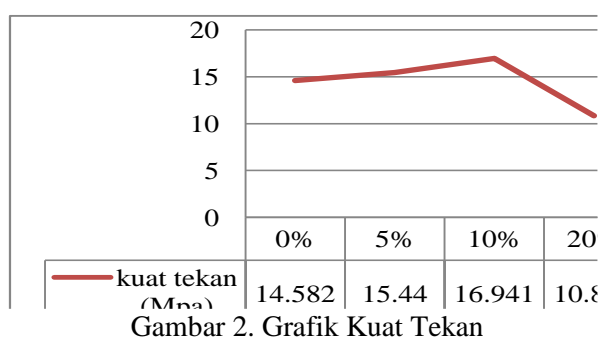
Dari tabel 6 diatas maka didapat rata – rata nilai slump 13 cm.penurunan nilai slump yang direncanakan diawal percobaan adalah 60 – 180 mm, maka dalam percobaan ini rata – rata nilai slump sesuai dengan nilai rencana slump di awal.

Tabel 7. Data Pengujian dan Perhitungan Nilai Slump Variasi 20%

No	Tinggi Cetakan Slump (cm)	Tinggi Campuran/ Benda Uji (cm)	Nilai Slump (cm)
1	30	17	13
2	30	18	12
3	30	17	13
Rata –rata nilai slump			12.6

Dari tabel 7 diatas maka didapat rata – rata nilai slump 12.6 cm.penurunan nilai slump yang direncanakan diawal percobaan adalah 60 – 180 mm, maka dalam percobaan ini rata – rata nilai slump sesuai dengan nilai rencana slump di

Hasil Grafik Kuat tekan



Dari hasil pemeriksaan rata-rata kuat tekan beton, persentase 0% ke presentase 5% mengalami kenaikan yaitu 15.44 Mpa, begitu juga pada presentase 10% ke 20% mengalami penurunan yaitu 10.829 Mpa. Nilai kuat tekan terbesar yang sudah di campur dengan serbuk kulit cangkang telur terdapat pada presentase 10% yaitu 16.941 Mpa

Regresi Linier Sederhana

Analisis regresi linier sederhana yang bertujuan untuk menegatkan pengaruh antara variabel bebas (X) dan variabel terikat (Y). Hipotesis yang akan di uji adalah $H_0 : p = 0$, artinya suatu variabel variasi kulit cangkang telur tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap variabel kuat tekan $H_1 : p \neq 0$,artinya suatu variabel variasi kulit cangkang telur memiliki pengaruh yang signifikan terhadap variabel kuat tekan dengan ketentuan jika $t_{hitung} > t_{tabel}$ maka hal di terima jika $t_{hitung} < t_{tabel}$ maka H_0 ditolak.

Tabel 8. Regresi Linier Sederhana

Model	Coefficients ^a		Beta	t	Sig.
	Unstandardized Coefficients	Standardized Coefficients			
1	(Constant)	14210,6		10,542	,000
	Cangkang Telur	-2,957	2,036	-,417	,177

a. Dependent Variable: Kuat Tekan

Analisi regresi sederhana dari penelitian ini menghasilkan persamaan regresi sederhana $Y = 14210.6 + (-2.957)$ dari persamaan tersebut variabel (X) semakin tinggi variasi serbuk kulit cangkang telur maka (Y) akan semakin turun kuat tekan yang didapat.

Uji Linieritas

Uji linieritas digunakan untuk mengetahui apakah ada data yang dianalisis berhubungan secara linier atau tidak. Hal ini dimasukkan apakah garis regresi antara variabel (X) dan (Y) membentuk garis linier atau tidak. Uji ini ditentukan untuk mengetahui apakah masing- masing variabel bebas sebagai *predictor* mempunyai hubungan linier atau tidak dengan variabel terkait.

Berdasarkan hasil uji Linieritas diperoleh bahwa variasi terhadap kuat tekan diperoleh informasi apakah berdasarkan model empirisnya adalah linier

Tabel 9. Uji Linieritas

ANOVA Table						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Kuat Tekan	Between	47198678,920	3	15732892,970	2,003	,192
	Within	19166328,190	1	19166328,190	2,441	,157
Cangkang Telur	Between	28032350,720	2	14016175,360	1,785	,229
	Within	62825251,330	8	7853156,417		
	Total	110023930,300	11			

Berdasarkan tabel hasil uji Linieritas pada diatas di ketahui bahwa nilai sig.Regresion sebesar 0.157. Karena nilai sig 0.157 > 0.05 maka dapat disimpulkan bahwa Ho ditolak dan Ha yang diterima, artinya terdapat hubungan linier variabel (X) variasi serbuk kulit cangkang telur dengan variabel (Y) kuat tekan.

Uji Heteroskedastisitas

Uji heteroskedastisitas dilakukan untuk mengetahui ada atau tidaknya penyimpangan asumsi klasik heteroskedastisitas yaitu dengan adanya ketidaksamaan varian dari residual untuk semua pengamatan pada model regresi. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 10. Uji Heteroskedastisitas

Coefficients ^a						
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	
	B	Std. Error	Beta			
1	(Constant)	14210,6	1348,018		10,542	,000
	Cangkang Telur	-2,957	2,036	-,417	-1,452	,177

a. Dependent Variable: Kuat Tekan

Berdasarkan tabel di atas menunjukkan bahwa nilai korelasi bebas memiliki nilai signifikansi lebih dari 0.05, sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terjadi masalah heteroskedastisitas pada model regresi serbuk kulit cangkang telur terhadap kuat tekan beton

Uji T

Tabel 11. Uji T

Coefficients ^a						
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	
	B	Std. Error	Beta			
1	(Constant)	14210,6	1348,018		10,542	,000
	Cangkang Telur	-2,957	2,036	-,417	-1,452	,177

a. Dependent Variable: Kuat Tekan

Dari tabel 11, pengujian ,berdasarkan uji-t dimana hipotesis dalam penelitian ini adalah terdapat pengaruh serbuk kulit cangkang telur terhadap kuat tekan beton. Maka dapat dibuktikan dengan pengujian hipotesis berdasarkan uji –t sehingga memudahkan dibuatlah bentuk prediksi Ho (tidak terdapat pengaruh pengganti serbuk kulit cangkang telur terhadap kuat tekan beton). Kemudian membuat prediksi dalam bentuk model stastistik Ho ($\alpha = 0$) dan Ha ($\alpha \neq 0$). Kaidah

pengujian uji-t adalah,jika $t_{tabel} \leq t_{hitung} \leq t_{tabel}$ (Ho diterima) tetapi jika $t_{hitung} > t_{tabel}$ (Ho ditolak). Diketahui nilai t_{hitung} adalah – 1.452 sedangkan nilai t_{tabel} dapat di hitung menggunakan rumus dan dilihat pada tabel t dilampiran, maka didapat 1,. Maka $t_{hitung} = > t_{tabel} = 1.812$ (Ho ditolak). Dengan demikian didapat diambil keputusan bahwa terdapat tidak ada pengaruh yang signifikan antara pengganti variasi campuran serbuk kulit cangkang telur terhadap kuat tekan beton.

Uji F

Tabel 12. Uji F

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regresion	19166328,190	1	19166328,19	2,109	,177 ^b
	Residual	90857602,060	10	9085760,206		
	Total	110023930,300	11			

a. Dependent Variable: Kuat Tekan
b. Predictors: (Constant), Cangkang Telur

Dari tabel 12, di analisis apakah model regresi dapat di gunakan untuk memprediksi nilai kuat tekan di pengaruhi oleh variasi serbuk kulit cangkang telur. Langkah pertama membuat hipotesis dalam uraian kalimat.

Ho (tidak ada pengaruh yang simultan terhadap nilai kuat tekan yang di pengaruhi oleh variasi campuran serbuk kulit cangkang telur) dan Ha (ada pengaruh yang simultan terhadap nilai kuat tekan yang dipengaruhi oleh variasi campuran serbuk kulit cangkang telur) berdasarkan perbandingan antara F_{hitung} dan F_{tabel} jika $F_{hitung} \leq F_{tabel}$ maka Ho diterima akan tetapi jika $F_{hitung} > F_{tabel}$ maka Ho ditolak. Dari tabel 4.29, nilai probabilitas (sig) adalah 0.117 dan nilai taraf signifikansi adalah 0.05. Kemudian langkah selanjutnya membandingkan nilai F_{hitung} dan F_{tabel} serta sig dan a. Dari tabel 4.29 diketahui nilai F_{hitung} 2.109 sedangkang nilai F_{tabel} dapat di hitung dengan menggunakan rumus dan dapat dilihat di tabel F lampiran maka didapat 4.96. Maka $F_{hitung} = 2.109 > F_{tabel}$ 4.96 (Ho ditolak) dan sig = 0.117 < 0.05 (Ho ditolak).

Dengan demikian dapat diambil keputusan bahwa tidak ada pengaruh secara simultan terhadap kuat tekan degan variasi serbuk kulit cangkang telur.

Uji Signifikansi

Tabel 12. Uji Signifikansi

Model	Coefficients ^a			t	Sig.
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	14210,6	1348,018		10,542	,000
Cangkang Telur	-2,957	2,036	-,417	-1,452	,177

a. Dependent Variable: Kuat Tekan

Nilai t hitung pada tabel di atas sebesar -1.452 dengan nilai signifikansi sebesar 0.177, maka nilai signifikansi lebih besar dari 0.05 menandakan bahwa tidak berpengaruh secara signifikan antara serbuk cangkang telur dengan kuat tekan

KESIMPULAN

Pengaruh penambahan serbuk kulit cangkang telur pada variasi 0%, 5%, 10%, 20% . Pada penelitian ini membuat campuran beton dengan serbuk cangkang telur dengan variasi terbaik yaitu 0%, dengan nilai kuat tekan beton sebesar 14.582 N/mm² (Mpa), sedangkan 5%, dengan nilai kuat tekan beton sebesar 15.44 N/mm² (Mpa), dan 10%, dengan nilai kuat tekan beton sebesar 16.941 n/mm² (Mpa), dan 20 % mengalami penurunan dengan nilai kuat tekan beton sebesar 10.829 n/mm² (Mpa). Persamaan regresi sederhana $Y = 14210.600 + (-2.957)$ dari persamaan tersebut variabel (X) semakin tinggi variasi serbuk kulit cangkang telur maka (Y) akan semakin turun kuat tekan yang didapat. Analisis data berdasarkan uji F diketahui nilai F_{hitung} 2.109 sedangkan nilai F_{tabel} dapat di hitung dengan menggunakan rumus dan dapat dilihat di tabel F lampiran maka didapat 4.96. Maka $F_{hitung} = 2.109 > F_{tabel}$ 4.96 (H_0 ditolak) dan $sig = 0.117 < 0.05$ (H_0 ditolak). Uji T nilai t $hitung$ adalah -1.452 sedangkan nilai t $tabel$ dapat di hitung menggunakan rumus dan dilihat pada tabel t dilampiran, maka didapat 1,. Maka $t_{hitung} = > t_{tabel} = 1.812$ (H_0 ditolak). Uji Signifikansi Nilai t hitung sebesar -1.452 dengan nilai signifikansi sebesar 0.177, maka nilai signifikansi lebih besar dari 0.05. Berdasarkan hasil analisis data dapat di simpulkan bahwa penambahan variasi serbuk cangkang telur tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kuat tekan.

REFERENSI

Diana, A. I., & Desharyanto, D. 2020. Effect of addition waste bottle and fly ash variation to

compressive strength environmentally friendly paving block. *Journal of Physics: Conference Series Vol 1538 No 1* , 1-8.

- Diana, A. I., & Fansuri, S. 2021. Penambahan serbuk limbah kaca dan abu daun bambu terhadap kinerja paving block. *Jurnal Paduraksa (Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa) Vol. 10 No. 2* , 398-416.
- Diana, A. I., Fansuri, S., & Desharyanto, D. 2020. Penambahan abu daun bambu sebagai substitusi material semen terhadap kinerja beton. *Paduraksa: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa* , 172-182.
- Diana, A. I., Fansuri, S., & Fatoni, A. F. 2021. An Experimental Study of Plastic Waste as Fine Aggregate Substitute for Environmentally Friendly Concrete. *Advances in Technology Innovation* , 179-190.
- Diana, A. I., Fansuri, S., & Zainah, N. 2021. Bubuk Limbah Botol Kaca sebagai Pengganti Parsial Agregat Halus dalam Campuran Beton. *G-Stram (Jurnal Perencanaan dan Rekayasa Sipil) Vol 4 No 1* , 27-34.
- George W. Y. Tumbel Servie O. Dapas, Mielke R. I. A. 2020. Pengaruh Penggunaan Serbuk Cangkang Telur Sebagai Substitusi Parsial Semen Terhadap Nilai Kuat Tarik Lentur Beton. *J. Mondoringin Universitas Sam Ratulangi Manado*
- Humas UNESA. (2021, Agustus 20). *Berita Unesa*. Dipetik September 30, 2022, dari Resah Banyak Limbah, Mahasiswa UNESA Olah Cangkang Telur Jadi Losion Perawatan Kulit: <https://www.unesa.ac.id/resah-banyak-limbah-mahasiswa-unesa-olah-cangkang-telur-jadi-losion-perawatan-kulit>.
- Universitas Wiraraja. 2019. Modul praktikum Bahan: Pedoman Praktikum, Sumenep: *Laboraturim Teknik Sipil, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Wiraraja Sumenep*.
- Yosefa Flaviana Zynthia Dewi Hieryco Manalip, Reky S. Windah. 2020. Pengaruh Penggunaan Serbuk Cangkang Telur Sebagai Substitusi Parsial Semen Terhadap Nilai Kuat Tarik Belah Beton. *Universitas Sam Ratulangi Manado*

Analisa Tahapan Kegiatan Mendesak Air Baku Sumber Pitu

Analysis of Urgent Activity Stages of Sumber Pitu Raw Water

Wiel Musyawiri Suryana¹, Kristian M. Warella¹, Anna Rosytha²

¹Balai Besar Wilayah Sungai Brantas, Jln. Raya Menganti No.312, Wiyung, Surabaya. Telp: (031) 7533171.

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surabaya, Jln. Sutorejo No.59
Surabaya. Telp: (031) 3811966. Email : annarosytha@um-surabaya.ac.id

Abstrak

Kegiatan Mendesak Air Baku Sumber Pitu merupakan kegiatan perbaikan jaringan pipa transmisi air baku yang bersumber dari mata air Sumber Pitu, yang mana sumber mata air ini berada di Desa Duwet Krajan Kecamatan Tumpang, Kabupaten Malang. Kegiatan mendesak disebutkan oleh karena sudah seringnya terjadi kebocoran pipa transmisi air baku sehingga mendesak untuk segera dilaksanakan perbaikan pipa transmisi air baku agar masyarakat Kota Malang tidak terlalu lama dilayani kebutuhan air minumannya dari mata air Sumber Pitu. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis tahapan pelaksanaan, khususnya teknis perpipaan kegiatan mendesak perbaikan jaringan pipa transmisi sistem penyediaan air baku untuk Kota Malang, yang pengelolaannya dilakukan oleh PDAM Kota Malang. Oleh sebab itu, diperlukan pengumpulan data primer dan sekunder, yang berkaitan dengan khususnya dengan perpipaan dan aksesoriesnya, yaitu katup udara, melakukan pemeriksaan kualitas pipa GIP yang dipasang ke lapangan dan metoda pemasangan pipa yang dilakukan. Dua hal yang penting dalam pekerjaan perbaikan pipa air baku, adalah pekerjaan pipa GIP dan pemasangan katup udara serta penempatannya di jaringan, hal ini membantu pasokan air baku ke PDAM Kota Malang.

Kata Kunci: katup udara; kebocoran pipa; pipa transmisi air baku

Abstract

The Urgent Activity for Sumber Pitu Raw Water is an activity to repair the raw water transmission pipe network sourced from the Sumber Pitu spring, where the spring is located in Duwet Krajan Village, Tumpang District, Malang Regency. The urgent activity was mentioned because there have been frequent leakage of raw water transmission pipes, so it is urgent to immediately repair the raw water transmission pipes so that the people of Malang City are not served for too long for their drinking water needs from Sumber Pitu springs. The purpose of this study was to analyze the implementation stages, especially the technical piping of urgent activities for repairing the transmission pipeline network of the raw water supply system for Malang City, which is managed by PDAM Malang City. Therefore, it is necessary to collect primary and secondary data, which relates in particular to the piping and its accessories, namely air valves, to check the quality of the GIP pipes supplied to the field and the method of installing the pipes. Two things that are important in the raw water pipe repair work, are the GIP pipe work and the installation of air valves and their placement in the network, this helps the supply of raw water to PDAM Malang City.

Keywords: air valve; pipe leakage, raw water transmission pipe

PENDAHULUAN

Kegiatan Mendesak Air Baku Sumber Pitu merupakan kegiatan perbaikan jaringan pipa transmisi air baku yang bersumber dari mata air Sumber Pitu, yang mana sumber mata air ini berada di Desa Duwet Krajan Kecamatan Tumpang, Kabupaten Malang. Kegiatan mendesak disebutkan oleh karena sudah seringnya terjadi kebocoran pipa

transmisi air baku sehingga mendesak untuk segera dilaksanakan perbaikan pipa transmisi air baku agar masyarakat Kota Malang tidak terlalu lama dilayani kebutuhan air minumannya dari mata air Sumber Pitu.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis tahapan pelaksanaan, khususnya teknis perpipaan kegiatan mendesak perbaikan jaringan pipa transmisi sistem penyediaan air baku untuk Kota Malang, yang pengelolaannya dilakukan oleh

PDAM Kota Malang. PDAM Kota Malang mengoperasikan jaringan pipa transmisi air baku HDPE Ø 500 mm sepanjang 15 km dari Tandon Simpar berkapasitas 150 m³ ke Tandon di Buring Atas berkapasitas 1000 m³ sejak selesai dibangun tahun 2016. Didalam mengoperasikan jaringan pipa transmisi air baku Sumber Pitu, telah terjadi kebocoran pipa jaringan pipa transmisi secara beruntun pada tahun 2019 hingga bulan januari 2020, sehingga perlu dilakukan langkah-langkah mendesak untuk perbaikan jaringan pipa transmisi tersebut, oleh karena kebocoran pipa ini akan mengganggu pelayanan penyediaan air minum bagi masyarakat Kota Malang.

METODE

Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan selama 3 bulan, mulai bulan Maret hingga bulan Mei 2020. Sedangkan lokasi penelitian dilakukan pada jalur pipa transmisi air baku di Desa Pulung Dowo, Kecamatan Tumpang pada titik koordinat 8°0'57.13"LS dan 112°44'19.94"BT.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain, yaitu laptop yang terdapat program Microsoft Excel, alat tulis, *Global Positioning System (GPS)*, *Ultrasonic Flow Meter* dan Manometer.

Prosedure Penelitian

Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini, adalah sistem jaringan pipa transmisi air baku Sumber Pitu, yang melayani kebutuhan air minum Kota Malang. Data yang diperlukan guna pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut :

Data Primer:

1. Data pipa yang akan digunakan untuk perbaikan kebocoran pipa yang ada, yaitu pipa *Galvanize Iron Pipe (GIP)*.
2. Tekanan pada setiap manometer yang ada di jalur pipa transmisi
3. Data titik kebocoran yang sudah terjadi
4. Data pengukuran elevasi
5. Dokumentasi

Data Sekunder:

1. Peta jaringan pipa transmisi air baku Sumber Pitu.
2. Panjang pipa, diameter pipa, dan jenis pipa yang terpasang.

Analisis Data

Data debit dan elevasi hasil pengukuran di lapangan disimulasikan menggunakan program air valve untuk mengetahui berapa banyak kebutuhan katup udara (*air valve*) dan jenisnya, kemudian dapat diketahui faktor-faktor penyebab kehilangan air pada pipa transmisi air baku Sumber Pitu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perbaikan Pipa Transmisi Air Baku

Dalam pemilihan jenis pipa yang akan digunakan, jenis sambungan dan kekuatan pipa, menjadi hal yang utama dalam pemilihan pipa. Dan pipa yang akan digunakan adalah sebagai berikut:

- a) Jenis pipa : Pipa GIP Medium
- b) Referensi : SNI 0039-2013 : Pipa Baja Saluran Air Dengan Atau Tanpa Lapisan Seng
- c) Produk : PT. STEEL PIPE INDUSTRY OF INDONESIA, tbk (SPINDO)
- d) Outside diameter (OD) : 508 mm
- e) Ketebalan pipa (t) : 9,5 mm
- f) Berat pipa : 117,02 kg/m

Sifat Mekanis dan komposisi kimia :

Tabel 1. Sifat Mekanis

Uraian	Kriteria penerimaan
Kuat tarik (N/mm ²)	320 – 460
Batas ulur, min (N/mm ²)	195
Elongasi, min (%)	20

(sumber SNI 0039-2013)

Tabel 2. Komposisi kimia

Diameter dalam nominal (mm)	C (%), maks.	Mn (%), maks.	P (%), maks.	S (%), maks.
15 – 1200	0,20	1,40	0,035	0,030

(sumber SNI 0039-2013)

g) Ketahanan Bocor

- Setiap pipa harus dilakukan pengujian ketahanan bocor dengan menggunakan uji hidrostatis.
- Syarat mutu ketahanan bocor tidak boleh bocor bila diuji pada tekanan 50Kgf/cm² selama 5 detik.

h) Jenis sambungan :

<https://doi.org/10.26740/proteksi.v4n2.p120-125>

Jenis sambungan yang digunakan adalah *socket welded* oleh karena pipa GIP yang diadakan menggunakan *socket* dan *spigot*

Proses Pengelasan harus dilakukan sesuai dengan *Welding Procedure Specification (WPS)* yang sudah dikualifikasi, dilakukan oleh personel welding yang sudah dikualifikasi secara spesifik dan dengan menggunakan peralatan las yang sudah terkualifikasi.

Metode Las : *Shielded Metal Arc Welding (SMAW – Manual)*

Prosedur pekerjaan Las Spiral:

- Bagian yang efektif dari lasan harus ditunjukkan pada pipa sehingga cacat dapat dengan mudah ditemukan dan di perbaiki.
- Gerinda untuk menghilangkan cacat atau *groove* karena *arc – air gauging*.
- Kondisi Pengelasan :
 - Diameter kawat las : 3.2 mm - 4.0 mm
 - Arus : 90 – 140 A / 130 – 190 A
- Klasifikasi : AWS 5.1 E 6013 atau setara



Gambar 1. Mesin genset dan peralatan pengelasan serta APD pengaman *welder* (sumber data internal OP BBWS Brantas)



Gambar 2. Hasil pengelasan *socket welded* yang sudah di penetrant (sumber data internal OP BBWS Brantas)

Socket welded pada pipa GIP *socket spigot* ini, merupakan sistem pemasangan pipa yang mudah dilaksanakan, tidak perlu ujung pipa spigot dilakukan beveled (kemiringan), lalu pada ujung *spigot* didorong masuk ke dalam *socket*, sehingga sangat kecil kemungkinan mengalami kebocoran. Namun hal yang penting dalam pengelasan *socket welded* ini adalah cara pengelasan dan jumlah lintasan yang ditunjukkan pada hasil penetrant di lapangan. Dari hasil uji pengelasan dan penetrant, didapatkan 3 kali lintasan keliling pipa itu aman terhadap kebocoran dan memperkecil ruang kosong pada pengelasan *socket*.

Penggunaan “*Sleeve joint*” pada pekerjaan pemasangan pipa transmisi GIP ini, pasti diperlukan, oleh karena pada posisi belokan (*bend*) dan sambungan dengan accessories pipa yang lama dan baru, dibutuhkan “*Sleeve joint*” untuk mengatur posisi kedudukan pipa agar tetap lurus serta *sleeve joint* ini memperkuat sambungan pipa *butt welded* agar tidak mengalami kebocoran.

B. Pemasangan Katup Udara (Air Valve)

Ada tiga tipe dasar dari katup udara (Air Valve) yang distandarisasi dalam *American Water Works Association (AWWA) Standar C512-15*: “*Air-Release, Air / Vacuum, dan Combination Air Valves* untuk Layanan Air Minum dan Air Limbah.”

Penting untuk memahami fungsi dan batasan masing-masing jenis katup udara sehingga katup dapat ditempatkan dan diukur dengan tepat untuk jaringan pipa.

B.1. Air Release Valve

Katup Pelepas Udara (*Air Release Valve*) mungkin merupakan katup udara yang paling dikenal dan biasanya dilengkapi dengan ukuran ½ in. (13 mm) hingga 3 in. (76 mm). Katup memiliki lubang presisi kecil dalam kisaran 1/16 in. (1,6 mm) hingga ½ in. (13 mm) untuk melepaskan udara di bawah tekanan terus menerus selama operasi pipa. *Air Release Valve* memiliki float untuk merasakan keberadaan udara dan mekanisme hubungan yang memberikan keunggulan mekanis float dalam membuka lubang di bawah saat tekanan pipa penuh. *Air Release Valves* memiliki kapasitas terbatas untuk masuk dan mengeluarkan udara karena lubang kecil (*orifice*) yang ada. Untuk alasan ini, sebagian besar lokasi pipa membutuhkan *Air Release* dan *Air / Vacuum Valves* untuk mengeluarkan dan menerima volume udara yang besar.

B.2. Air/Vacuum Valve

Katup Udara / Vakum dipasang di hilir pompa dan pada titik-titik tinggi untuk mengalirkan udara dalam volume besar selama pompa dinyalakan dan pengisian aliran pada jaringan pipa. Katup juga akan menerima volume udara yang besar untuk mencegah kondisi vakum terjadi di dalam pipa dan untuk memungkinkan pengurasan (drain). Pelampung di katup naik dengan ketinggian air untuk mematikan katup ketika udara telah habis. Setelah kehilangan tekanan karena pengeringan, pemutusan saluran, atau pemisahan kolom, pelampung akan jatuh dan memungkinkan udara masuk kembali ke pipa. Penting untuk dicatat bahwa dalam operasi normal, pelampung dipegang tertutup oleh tekanan saluran dan tidak akan mengurangi akumulasi udara. Katup Pelepas Udara diperlukan untuk menghilangkan udara selama operasi sistem.

B.3. Combination Air Valve

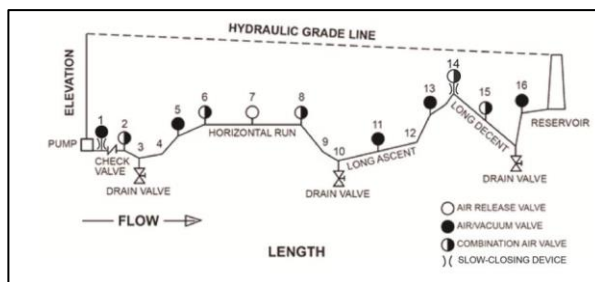
Combination Air Valve menggabungkan fungsi Air / Vacuum dan Air Release Valves dan merupakan pilihan yang sangat baik untuk poin yang tinggi. *Combination Valve* berisi lubang pelepas udara kecil (*orifice*) dan port udara / vakum besar dalam satu unit lainnya. Pada katup yang lebih kecil, biasanya kurang dari 8 in. (200 mm), mekanisme pelampung dan tuas terkandung dalam desain satu tubuh. Pada ukuran pipa yang lebih besar, desain dual body yang terdiri dari Air Release Valve yang disalurkan ke Air / Vacuum Valve dilengkapi sebagai unit rakitan pabrik. Unit tubuh tunggal (*single body*) memiliki keuntungan karena lebih kompak dan biasanya lebih murah. Unit tubuh ganda (*dual body*) menguntungkan untuk ukuran dan pemeliharaan Air Release Valve karena Air / Vacuum Valve masih beroperasi sementara Air Release Valve diisolasi dan dalam perbaikan.

B.4. Lokasi Air Valve Sepanjang Jaringan Pipa

Katup udara dipasang pada pipa untuk mengeluarkan udara dan menerima udara untuk mencegah kondisi vakum dan lonjakan terkait udara. Manual perencanaan Katup Udara (*Air Valve*) AWWA merekomendasikan Katup Udara pada titik-titik berikut sepanjang pipa.

1. Titik Poin tertinggi: *Combination Air Valve*.
2. Jalur Horizontal panjang : *Air Release valve* atau *Combination Air Valve* pada interval 380 – 760 m.
3. Jalur turunan panjang: *Combination Air Valve* pada interval 380 hingga 760 m.
4. Jalur naik yang panjang : *Air/Vacuum Valve* pada interval 380 hingga 760 m.

5. Kurangi di Kemiringan Atas: *Air Release Valve / Vakum*.
6. Peningkatan dalam bawah lereng: *Combination Air Valve*.
7. Lokasi Transient : Kombinasi/Perangkat Penutupan Lambat atau Vakum breaker/*Air release valve*.
8. *Flow Meter: Air Release Valve* di bagian hulu.
9. Sumur dalam atau Pompa Vertikal Turbin: Air /*Vacuum Valve/Perangkat Penutupan Rendah* atau Perangkat *Throttling*.



Gambar 3. Penempatan Katup Udara (sumber data internal OP BBWS Brantas)

B.5. Dimensi Air/Vacuum Valve

Beberapa literatur mencantumkan aturan praktis yang menyarankan Air/Vacuum Valves berukuran 1 in. (25 mm) per 1 ft (0,30 m) dari diameter pipa. Jadi jalur berdiameter 4 ft (1,2 M) akan memiliki katup berdiameter 4 inci (100 mm). Berdasarkan lebih dari tiga puluh tahun penerapan katup udara yang sukses, *Val-Matic* telah mengembangkan kriteria ukuran yang membentuk dasar untuk metodologi berikut. Metodologi ini didasarkan pada ukuran katup udara / vakum untuk dua kondisi : udara masuk untuk mencegah kekosongan (*vacuum*) dalam pipa dan udara yang dikeluarkan selama pengisian aliran dalam pipa. Aliran air akibat kemiringan dapat ditemukan oleh persamaan *Darcy-Weisbach*:

$$V = (2 \cdot g \cdot H / K)^{1/2} \dots \dots \dots [1]$$

$$K = f \cdot l / d + 2,50 \dots \dots \dots [2]$$

Dimana :

- V = Kecepatan aliran, ft/sec
- g = gaya gravitasi, 32,2 ft/sec²
- H = beda tinggi elevasi, ft
- K = Koefisien Resistensi, *dimensionless*

(nilai 2.5 menunjukkan pada *entrance, exit*, dan *pipng losses*)

f = faktor friksi untuk pipa (*iron* = 0.019, *steel* = 0.013, *plastic* = 0.007)

L = panjang pipa, ft.

d = Diameter dalam pipa, ft.

Aliran gravitasi akibat kemiringan dihitung untuk setiap segmen pipa. Untuk patok stasiun di mana ada perubahan kemiringan naik atau turun, perbedaan antara aliran hulu dan hilir digunakan untuk ukuran karena segmen atas memberi makan segmen bawah dan membantu mencegah kekosongan dari pembentukan. Katup udara harus mampu mengakui aliran karena kemiringan tanpa melebihi tekanan keruntuhan pipa yang dihitung atau 5 PSI (35 kPa). 5 PSI (35 kPa) digunakan untuk ukuran agar tetap aman di bawah penurunan tekanan sonik terbatas 7 PSI (48 kPa). Pabrik menyediakan kurva kapasitas untuk katup mereka yang dapat digunakan untuk memilih ukuran yang tepat. Kapasitas Air/*Vacuum Valve* dapat diperkirakan menggunakan:

$$Q = 678 * Y * d^2 * C * [DP * P1 / (T1 * Sg)]^{1/2}$$

Dimana :

q = Air Flow, SCFM

Y = *Expansion Factor*

.79 (untuk *vacuum sizing*)

.85 (untuk *exhaust sizing at 5 psi*)

.93 (untuk *exhaust sizing at 2 psi*)

d = *Valve Diameter*, in

DP = *Delta Pressure*, psi

The lower of 5 psi or pipe collapse pressure (vacuum sizing)

2 or 5 psi (*exhaust sizing*)

P1 = *Inlet Pressure*, psia

14.7 (*vacuum sizing*)

16.7 or 19.7 psia (*exhaust sizing at 2 or 5 psi*)

T1 = *Inlet Temperature* = 520 Rankine

Sg = *Specific Gravity* = 1 for air

C = *Discharge Coefficient* = 0.6 untuk *square edge orifice*

B.6. Dimensi Air Release Valve

Kapasitas melepaskan udara di bawah tekanan pada jaringan melalui *Air Release Valve* dapat diperkirakan dengan menggunakan rumus Air / *Vacuum Valve* kecuali P1 akan sama dengan tekanan operasi di jaringan pipa. Tekanan diferensial (DP) dibatasi oleh kecepatan sonik menjadi sekitar $0,47 * P1$. Faktor ekspansi yang sesuai (Y) adalah 0,71.

$$q = 330,7 * d^2 * C * P1 / (T1 * Sg)^{1/2}$$

Dimana :

q = *Air Flow*, SCFM

d = *Valve Diameter*, in

P1 = *Inlet Pressure*, psia

14.7 (*vacuum sizing*)

16.7 or 19.7 psia (*exhaust sizing at 2 or 5 psi*)

T1 = *Inlet Temperature* = 520 Rankine

Sg = *Specific Gravity* = 1 for air

C = *Discharge Coefficient* = 0.6 untuk *square edge orifice*

Sulit untuk menentukan terlebih dahulu jumlah udara yang terperangkap yang harus dilepaskan dari sistem yang diberikan. Berdasarkan bahwa air yang mengalir mengandung 2% udara terlarut, laju aliran maksimum dapat digunakan untuk menghitung kapasitas ventilasi nominal.



airValve Sizing Software Programs

Val-Matic Valve and Manufacturing Corporation

905 Riverside Drive

Elmhurst, IL 60126 USA

PROJECT INFORMATION

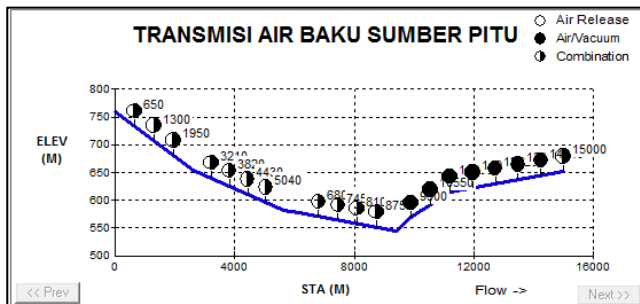
PROJECT:	TRANSMISI AIR BAKU SUMBER PIT
OWNER:	OP BBWS BRANTAS
ENGINEER:	ALX
MEDIA:	Water - ANSI/NSF 61 Certified
PIPE MATERIAL:	Steel or Stainless
PIPE INSIDE DIAMETER:	498,00 mm
STEEL PIPE THICKNESS:	9,50 mm
MAX FLOW RATE:	200 L/sec
FILL RATE:	125 L/sec
SELECTED SAFETY FACTOR:	3:1
DIFF.PRES. FOR VAC. SIZING:	5,00 Psi
VALVE RATING:	150 Psia (Class 125 Iron)
REVERSE FLOW:	No
VALVE SELECTION CRITERIA:	Single Body Comb. Air Valves

PIPELINE AIR VALVE SCHEDULE:

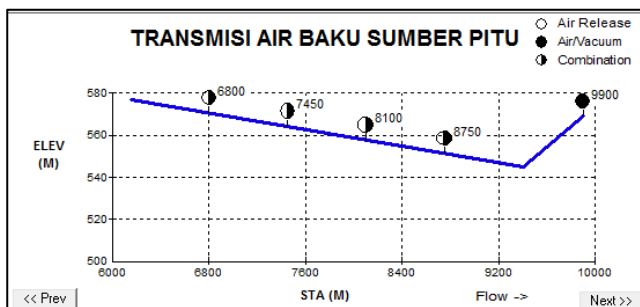
Station No	ELEV M	Excav M	Description	Recommended Valve Size/Model	Max Slope	Flow Rate CFS
0	790.00	0.00	Beginning	No valve necessary	-0.0404	0.00
050	733.78	0.00	Long Descent	6 IN #400C Single Body Combination	-0.0404	37.23
1.300	707.50	0.00	Long Descent	6 IN #400C Single Body Combination	-0.0404	37.23
1.950	681.25	0.00	Long Descent	6 IN #400C Single Body Combination	-0.0404	37.23
2.600	655.00	0.00	Desc in Down-Slope	No valve necessary	-0.0404	0.00
3.210	640.40	0.00	Long Descent	4 IN #404C 2 Single Body Combination	-0.0238	28.73
3.820	625.80	0.00	Long Descent	4 IN #404C 2 Single Body Combination	-0.0238	28.73
4.430	611.20	0.00	Long Descent	4 IN #404C 2 Single Body Combination	-0.0238	28.73
5.040	596.60	0.00	Long Descent	4 IN #404C 2 Single Body Combination	-0.0238	28.73
5.650	582.00	0.00	Desc in Down-Slope	No valve necessary	-0.0238	0.00
6.150	577.00	0.00	Desc in Down-Slope	No valve necessary	-0.0100	0.00
6.800	570.00	0.00	Long Descent	3 IN #403C 2 Single Body Combination	-0.0098	18.45
7.450	564.20	0.00	Long Descent	3 IN #403C 2 Single Body Combination	-0.0098	18.45
8.100	557.80	0.00	Long Descent	3 IN #403C 2 Single Body Combination	-0.0098	18.45
8.750	551.40	0.00	Long Descent	3 IN #403C 2 Single Body Combination	-0.0098	18.45
9.400	545.00	0.00	Levee Point	No valve necessary	0.0460	0.00
9.900	599.00	0.00	Desc in Up-Slope	2 IN #102S Air/Vacuum	0.0460	3.26
10.650	592.50	0.00	Long Ascend	3 IN #103S Air/Vacuum	0.0362	16.48
11.200	616.00	0.00	Desc in Up-Slope	3 IN #103S Air/Vacuum	0.0362	16.48
11.900	623.20	0.00	Long Ascend	3 IN #103S Air/Vacuum	0.0095	18.13
12.720	630.40	0.00	Long Ascend	3 IN #103S Air/Vacuum	0.0095	18.13
13.480	637.60	0.00	Long Ascend	3 IN #103S Air/Vacuum	0.0095	18.13
14.240	644.80	0.00	Long Ascend	3 IN #103S Air/Vacuum	0.0095	18.13
15.000	652.00	0.00	End	3 IN #403C 2 Single Body Combination	0.0095	18.13

Gambar 4. Lokasi Air Valve Sistem Jaringan Transmisi Air Baku Sumber Pitu (sumber data internal OP BBWS Brantas)

<https://doi.org/10.26740/proteksi.v4n2.p120-125>



Gambar 5. Lokasi Air Valve Sistem Jaringan Transmisi Air Baku Sumber Pitu (sumber data internal OP BBWS Brantas)



Gambar 6. Lokasi Rencana Air Valve pada Perbaikan Pipa Transmisi (sumber data internal OP BBWS Brantas)

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

Tahapan pekerjaan perpipaan GIP dilakukan sesuai persyaratan, dimulai dari pemilihan jenis material pipa, pemasangan pipa khususnya pengelasan pipa di lapangan, dan uji coba pengaliran, sehingga didapatkan pengaliran optimal ke tandon Buras.

Selain perpipaan, juga penempatan aksesories katup udara (*air valve*) sangat penting untuk mengeluarkan udara dalam pipa, dan hal ini yang diterapkan dalam pekerjaan perbaikan perpipaan air baku ini.

Dari hasil penelitian dan evaluasi yang telah dilakukan, adapun saran yang diberikan, yaitu :

1. Melakukan perawatan dan pemeriksaan pipa transmisi termasuk assesories secara berkala oleh PDAM Kota Malang agar dapat dengan segera mengetahui apabila terjadi kerusakan pipa atau assesoris pada titik-titik tertentu sehingga dapat dengan segera diperbaiki ataupun diganti.
2. Peningkatan debit pengaliran yang ada saat ini, dengan memperbesar pasokan air baku dari Sumber Pitu ke Tandon Simpar.

Mengganti pipa HDPE PN 10 dengan pipa GIP yang berdiameter 500 mm pada *junction* 5 hingga *junction* 23, sepanjang 3700 m'.

REFERENSI

- Farley. 2008. Buku Pegangan tentang Air Tak Berekening (NRW) untuk Manajer - Panduan untuk Memahami Kehilangan Air. Konsultan Pengelolaan Kehilangan Air Internasional.
- Joko, Tri. 2010. Unit Air Baku dalam Sistem Penyediaan Air Minum. – Edisi Pertama – Graha Ilmu: Yogyakarta. ISBN: 978-979-756-596-1.
- Kinerja BUMD Air Minum 2021, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
- Linsley, R.K. dan J. Franzini. 1991. Teknik Sumber Daya Air. Penerjemah Djoko Sasongko. Erlangga: Jakarta.
- Peavy, Howard S., dkk. 1985. *Environmental Engineering*. McGraw-Hill. Singapura.
- Peraturan Pemerintah Nomor 121 Tahun 2015, Perusahaan Sumber Daya Air
- Peraturan Pemerintah Nomor 122 Tahun 2015, Sistem Penyediaan Air Minum
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 27/PRT/M/2016, Penyelenggaraan Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM).
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 26/PRT/M/2014, Prosedur Operasional Standar Pengelolaan Sistem Penyediaan Air Minum
- Rosytha, A., & Cristiyani, A. 2022. Perencanaan Sistem Distribusi Air Bersih Kecamatan Maduran Kabupaten Lamongan. Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (Proteksi), 4(1), 48-58.
- Valmatic. 2018. *Theory, Application, and Sizing of Air Valves, Val-Matic Valve & Mfg. Corp.*

