



Jurnal Surya Teknika

Volume 1 Edisi 1 (Juni 2024)

UJI EXPERIMENTAL KARAKTERISTIK BETON MENGGUNAKAN LIMBAH PLASTIK SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT KASAR <i>Dewi Ayu Setiawati, Sulfiati, Syahputra Ramadhan</i>	1
PERBANDINGAN KARAKTERISTIK MARSHALL CAMPURAN BETON ASPAL AC-WC FILLER SEMEN PASCA PERENDAMAN DI AIR SUNGAI DAN DI AIR LAUT <i>Hasanuddin, Sulfiati, Ayu Andira</i>	7
IDENTIFIKASI FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI PEKERJA KONSTRUKSI DALAM MENERIMA SISTEM PEMBAYARAN UPAH KERJA (STUDI KASUS PROYEK PACKAGE CIVIL WORKS (CW) SEA PORT 3: WORKS FOR RECONSTRUCTION OF PANTOLOAN PORT) <i>Andi Rizal, Wahiduddin Basry, Amelia Abd. Muzakkir</i>	19
ANALISA DINAMIS PADA PORTAL GEDUNG BERTINGKAT TERHADAP BEBAN GEMPA SESUAI SNI 1726:2019 WILAYAH KOTA PALU <i>Arzal M. Zain, Eko Widodo, Moh. Nugar Arlangga</i>	27
PENGARUH APLIKASI SAMBUNGAN JARI DAN SAMBUNGAN MIRING TERHADAP KEKUATAN GESER BALOK LAMINASI BILAH BAMBU PETUNG <i>Wahiduddin Basry, Atur P. N. Siregar, Gusti M. Oka</i>	39



Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palu
Persatuan Insinyur Indonesia Kota Palu

Jurnal Surya Teknika

Volume 1 Edisi 1 (Juni 2024)

Pimpinan Editor

Ir. Arzal M. Zain, S.T., MT.

Universitas Muhammadiyah Palu

Dewan Editor

Prof. Dr. H. Rajindra, S.E., M.M.

Prof. Dr. Ir. Galib Ishak, M.S.

Prof. Dr. H. Zakir Sabara, S.T., M.T.

Dr. Ir. Muhammad Yazdi Pusadan, S.Kom., M.Eng.

Dr. Astuti Masdar, S.T., M.T.

Universitas Muhammadiyah Palu

Universitas Tadulako

Universitas Muslim Indonesia

Universitas Tadulako

Sekolah Tinggi Teknologi Payakumbuh

Dewan Etik

Ir. H. Wahiduddin Basry, S.T., M.T.

Universitas Muhammadiyah Palu

Jurnal Surya Teknika (JST) adalah jurnal teknik enam bulanan. JST berfokus pada bidang teknik dan ilmu sains lain yang berkaitan dengan permasalahan teknik.



UJI EXPERIMENTAL KARAKTERISTIK BETON MENGGUNAKAN LIMBAH PLASTIK SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT KASAR

Dewi Ayu Setiawati¹, Sulfiati¹, Syahputra Ramadhan¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Palu, Palu, Jalan Hang Tuah No. 114

DISUBMIT 17 Desember 2023

DIREVISI 13 Juni 2024

DITERIMA 15 Juni 2024

ABSTRAK Perkembangan infrastruktur telah mengalami kemajuan, terutama dalam perkembangan pembangunan gedung dan infrastruktur lainnya. Keadaan ini telah menimbulkan masalah ketersediaan bahan konstruksi, termasuk bahan baku beton, sehingga menimbulkan kekhawatiran kerusakan lingkungan. Agregat kasar merupakan bagian terbesar dari campuran beton sekitar 65-80% dari total volume beton. Memanfaatkan limbah sampah plastik dengan pengolahan atau daur ulang sampah plastik untuk dijadikan sebagai agregat kasar sebagai campuran beton dari botol kemasan plastik jenis Poly Ethylene Terephthalate (PET). Penelitian ini digunakan metodologi kajian eksperimental di mana pelaksanaan pencetakan dan pengujian beton di Laboratorium Beton Fakultas Teknik Universitas Tadulako. Sedangkan pembuatan agregat kasar dari limbah plastik dilakukan di Universitas Muhammadiyah Palu. Pengujian agregat kasar dari limbah plastik tersebut, dan *mix design* beton ringan menggunakan SNI 03-2461-2002, di samping melakukan pengujian bahan penyusun beton lainnya sesuai dengan peraturan atau persyaratan yang berlaku. Penelitian ini menggunakan komposisi penambah agregat kasar dengan plastik PET sebanyak 9 sampel yang terdiri dari 4 variasi, sampel di uji pada umur 7, 14 dan 28 hari. Yang menggunakan penambah agregat kasar buatan PET terhadap Beton normal, hasil dari penelitian ini adalah sebagai berikut beton normal 0% PET sebesar 31,7 MPa, campuran beton 25% PET sebesar 13,741 MPa, campuran beton 50% PET sebesar 7,437 MPa dan campuran beton 75% PET sebesar 6,254 MPa.

KATA KUNCI Agregat; Bahan Konstruksi; Beton; Kuat Tekan; Limbah Plastik

1 PENDAHULUAN

Perkembangan infrastruktur telah mengalami kemajuan, terutama dalam pembangunan gedung dan infrastruktur lainnya. Keadaan ini telah menimbulkan masalah ketersediaan bahan konstruksi, termasuk bahan baku beton, sehingga menimbulkan kekhawatiran kerusakan lingkungan. Agregat kasar merupakan bagian terbesar dari campuran beton sekitar 65-80% dari total volume beton. Karena itu, alternatif yang lebih berkelanjutan dari agregat kasar alam yang diperlukan. Di sisi lain, perkembangan ekonomi dan perubahan pola konsumsi dan produksi manusia telah menyebabkan peningkatan sampah plastik secara drastis di seluruh dunia. [1] [2] [3]

Sampah padat plastik merupakan masalah yang sangat sering di jumpai di daerah pedesaan dan perkotaan, termasuk di Kota Palu. Data Dinas Lingkungan Hidup (DLH) menunjukkan sampah yang dihasilkan

masyarakat kota palu mencapai 186 juta ton per hari pada tahun 2022. Rata-rata dari pengangkutan, 30 % adalah sampah plastik per satu retase dan sisanya sampah rumah tangga ini diperkirakan terus meningkat dari waktu ke waktu. Akibatnya, peningkatan sampah plastik tidak bisa dihindari, sehingga perlu adanya kebijakan dalam pengelolaan sampah plastik.

Penggunaan plastik dalam setiap tahunnya akan terus mengalami peningkatan karena produk makanan dan minuman yang menggunakan bahan dari plastik. Plastik membutuhkan waktu sekitar 10-1000 tahun untuk terurai sepenuhnya, yang merupakan durasi yang sangat lama, dan bila terurai, partikel plastik akan mencemari tanah dan air yang ada di dalam tanah. [4]

Hal inilah yang menyebabkan jumlah sampah plastik pun ikut bertambah oleh karena itu, untuk mengurangi limbah ini maka volume limbah ini dimanfaatkan

dalam pembangunan. Untuk itu penelitian ini dilakukan untuk melihat pengaruh penambahan agregat limbah plastik terhadap kuat tekan beton.

Tujuan penelitian ini adalah untuk dapat mengetahui serta membandingkan karakteristik beton dengan menggunakan limbah plastik sebagai pengganti agregat kasar buatan pada campuran beton dan untuk mengetahui pengaruh pengganti agregat limbah plastik terhadap kuat tekan beton.

Manfaat dari penelitian ini adalah penelitian ini diharapkan dapat memberikan alternatif pemanfaatan limbah plastik, Menghasilkan beton yang bisa digunakan untuk struktur bangunan dan memberikan informasi mengenai pengaruh pengganti limbah plastik terhadap kuat tekan beton.

2 METODOLOGI

Lokasi Penelitian. Pada penelitian ini digunakan metodologi kajian eksperimental di mana pelaksanaan pencetakan dan pengujian beton di Laboratorium Beton Fakultas Teknik Universitas Tadulako. Sedangkan pembuatan agregat kasar dari limbah plastik dilakukan di Universitas Muhammadiyah Palu.

Pada penelitian ini, fokus utama sebelum melakukan pengadukan (*mixing*) adalah persiapan agregat kasar dari limbah plastik, pengujian agregat kasar tersebut, dan *mix design* beton ringan menggunakan SNI 03-2461-2002, di samping melakukan pengujian bahan penyusun beton lainnya sesuai dengan peraturan atau persyaratan yang berlaku. [5] [6]

Pembuatan Agregat Kasar dari Limbah Plastik. Khusus untuk proses pembuatan agregat kasar dari limbah plastik ini, memiliki tahap-tahap sebagai berikut:

- Siapkan alat dan bahan
- Alat pemotong. Limbah plastik dipotong menggunakan gunting agar pada saat proses pemanasan, limbah plastik lebih mudah meleleh.
- Pembersihan. Setelah plastik di potong-potong kecil plastik kemudian di

cuci/dibersihkan agar kotoran yang masih berada di plastik hilang. Setelah dibersihkan kemudian sampel di keringkan.

- Pemanasan/pelelehan. Plastik yang sudah terpotong di masukan ke dalam wajan lalu dipanaskan hingga meleleh.
- Pencetakan. Dalam keadaan meleleh, plastik dipindahkan ke dalam cetakan.
- Pendinginan. Tunggu sekitar 30 menit lelehan akan mengeras.
- Pemecahan. Plastik dikeluarkan dari cetakan lalu dipecah-pecahkan dengan martil/palu-palu hingga membentuk agregat kasar dengan ukuran 1/2.

Tahapan Persiapan Penelitian Eksperimental. Adapun tahapan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

Tahap 1. Tahap Pertama ini merupakan tahapan persiapan. Persiapan pada langkah ini meliputi persiapan materi, persiapan literatur, persiapan alat dan bahan serta perizinan di Laboratorium Beton Fakultas Teknik Sipil Universitas Tadulako yang akan dilakukan.

Tahap 2. Tahap ini merupakan pemeriksaan dari agregat halus dan agregat kasar yang akan digunakan. Pemeriksaan yang akan dilakukan bertujuan untuk mengetahui sifat dan karakteristik dari bahan tersebut apakah memenuhi persyaratan yang sudah ditentukan atau tidaknya apabila digunakan dalam pencampuran beton (*mix design*) SNI-03-2834-2002. Berikut adalah macam-macam pengujian dari agregat kasar dan agregat halus.

- a. Pengujian analisa saringan agregat halus.
- b. Pengujian analisa saringan agregat kasar.
- c. Pengujian lolos saringan No. 200. (uji kandungan lumpur dalam pasir).
- d. Pengujian berat isi agregat halus.
- e. Pengujian berat isi agregat kasar.
- f. Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar.
- g. Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus.

Tahap 3. Pada tahap ini dilakukan perencanaan campuran (*mix design*) (SNI-

03-2834-2002) berdasarkan hasil pengujian dari masing-masing bahan yang akan digunakan untuk campuran beton, mulai dari semen, agregat kasar, agregat halus, air, dan limbah botol plastik PET (Polyethylene Terephthalate). Pada perhitungan (*mix design*) tersebut berupa perbandingan antara bahan-bahan penyusun beton yang selanjutnya akan dilakukan sebagai dasar dalam pembuatan benda uji. Sebelum dicetak, campuran beton yang telah jadi diuji *slump* terlebih dahulu. [3] [4]

Metode Sampel Bahan. Dalam penelitian ini setelah dilakukan pembuatan dan pencetakan bahan sampel uji beton, maka lebih awal diukur volume sampel dengan model seperti pada Gambar 1.



Gambar 1 Model Sampel Beton yang Dibuat

Pengadukan (*Mixing*). Setelah semua bahan tersedia, selanjutnya bahan yang sudah ditimbang sebelum dimasukkan satu per satu ke dalam molen yang sudah dalam keadaan berputar. Pasir dan agregat dari limbah plastik dimasukkan terlebih dahulu kemudian disusul dengan semen. Kemudian diamkan hingga campuran merata kemudian dilanjutkan dengan air. Setelah campuran homogen lalu dapat dilakukan penuangan dan pencetakan. Pada proses ini sekaligus dilakukan *Slump Test*.

Pembuatan Benda Uji. Pembuatan benda uji menggunakan cetakan silinder dengan ukuran 150 mm x 300 mm. Sebelum digunakan cetakan silinder terlebih dahulu dibersihkan dari kotoran yang menempel dan kemudian permukaannya diolesi dengan *Vaseline*.

Pencetakan dilakukan dengan memasukkan campuran beton 1/3 tinggi cetakan lalu dipadatkan menggunakan vibrator.

Kemudian campuran beton dimasukan kembali 1/3 tinggi cetakan dan dipadatkan menggunakan *vibrator* lagi. Hal yang sama dilakukan sampai cetakan dalam keadaan penuh lalu ratakan permukaan adukan beton dengan sendok semen.

Perawatan Benda Uji. Setelah 24 jam kemudian cetakan dibuka lalu dilakukan penomoran pada benda uji agar lebih mudah dalam melakukan pengujian selanjutnya.

Selanjutnya dilakukan perendaman 28 hari. Setelah dilakukan perendaman 28 hari selanjutnya dilakukan pengujian, namun sebelumnya benda uji dikeringkan menggunakan oven sehari sebelum pengujian.

Pengujian Kuat Tekan. Pengujian kuat tekan beton dilakukan untuk mengetahui kuat tekan dari benda uji beton. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *Compressive Strength Machine*, sehingga didapatkan beban maksimum benda uji. Kuat tekan benda uji diperoleh dengan persamaan berikut:

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Dimana, f'_c adalah Gaya tekan (kg/m^2), P adalah Beban tekan (kg), dan A adalah Luas bidang permukaan (m^2).

3 HASIL DAN DISKUSI

Hasil Penelitian. Pada penelitian ini, dilakukan di laboratorium beton Universitas Tadulako dengan menggunakan agregat limbah plastik jenis PET dengan parameter uji kuat tekan beton. Bahan beton berupa agregat limbah plastik sebagai penambah agregat kasar yang berbahan semen, kerikil, pasir, dan air dicampur sesuai ukuran standar dari masing-masing yang ditentukan oleh hasil *Mix Design* yang dilakukan di laboratorium beton Universitas Tadulako yaitu semen = 8,6 kg, kerikil = 19,7 kg, pasir = 12,6 kg, air = 4,8 kg dan agregat plastik = 19,7 kg, dengan total jumlah pengujian kuat tekan beton sebanyak 9 sampel.

Tabel 1 Nilai *Slump* yang dihasilkan

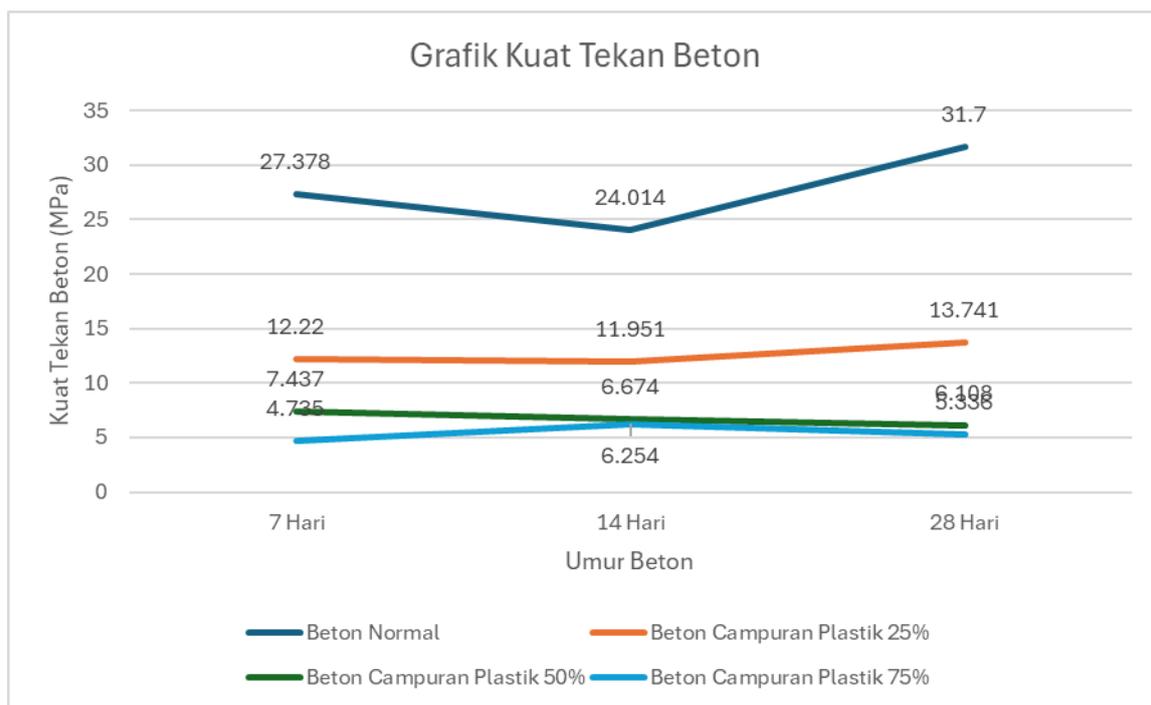
Sampel dengan variasi campuran agregat kasar dan limbah plastik PET	<i>Slump</i> (mm)
Beton Normal	100
Beton Campuran Plastik PET 25%	85
Beton Campuran Plastik PET 50%	75
Beton Campuran Plastik PET 75%	130

Tabel 2 Data Pengamatan Beton Normal Terhadap Kuat Tekan

Agregat Tanpa Pengganti Plastik	Jenis Benda Uji	Kuat Tekan Beton		
		7 Hari	14 Hari	28 Hari
Beton Normal	Silinder 300 x 150 mm	27,378 MPa	24,014 MPa	31,7 MPa

Tabel 3 Pengamatan dengan Pengganti Agregat Plastik Terhadap Kuat Tekan Beton

Pengganti Agregat Plastik	Jenis Benda Uji	Kuat Tekan Beton		
		7 Hari	14 Hari	28 Hari
25%	Silinder 300 x 150 mm	12,22 MPa	11,951 MPa	13,741 MPa
50%	Silinder 300 x 150 mm	7,437 MPa	6,674 MPa	6,108 MPa
75%	Silinder 300 x 150 mm	4,735 MPa	6,254 MPa	5,336 MPa



Gambar 2 Kuat Tekan Beton

Nilai *Slump*. Nilai *slump* yang dihasilkan tercapai sesuai dengan *slump* rencana pada *mix design*, yaitu antara 75-100 mm. Nilai *slump* beton segar pada saat melakukan pencampuran (*mixing*) dapat di lihat pada Tabel 1.

Kuat Tekan Beton Normal dan Beton Ringan dengan Agregat Kasar dari Limbah Plastik PET. Perkembangan kuat tekan beton di sini menjelaskan peningkatan dan

penurunan kuat tekan beton pada umur 7, 14, dan 28 hari hasilnya beragam tergantung dengan banyaknya presentasi penambahan agregat kasar dari plastik, Hasil pengujiannya dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3. Secara grafik, kuat tekan beton hasil penelitian untuk umur beton dapat dilihat pada Gambar 2.

Dari data tabel dan grafik menunjukkan untuk umur beton 7 hari, hasil kuat tekan

terbesar terjadi pada beton normal sebesar 27,378 MPa, sedangkan hasil terkecil terjadi pada beton yang menggunakan campuran agregat kasar dari plastik PET 75% yaitu sebesar 4,735 MPa, untuk beton campuran agregat kasar plastik PET 50% sebesar 7,437 MPa. Dan untuk campuran agregat kasar plastik PET 25% sebesar 12,220 MPa.

Untuk umur beton 14 hari hasil kuat tekan terbesar terjadi pada beton normal sebesar 24,014 MPa, Beton yang menggunakan campuran agregat kasar plastik PET 25% sebesar 11,951 MPa, sedangkan beton yang menggunakan campuran kasar plastik PET 50% sebesar 6,674 MPa, dan hasil terkecil adalah beton dengan campuran agregat plastik PET 75% sebesar 6,254 MPa.

Untuk umur beton 28 hari, didapat hasil kuat tekan terbesar pada beton normal sebesar 31,7 MPa, hasil kuat tekan beton dengan campuran agregat plastik PET 25% sebesar 13,741 MPa, untuk campuran agregat plastik PET 50% sebesar 6,108 MPa, sedangkan hasil terkecil terjadi pada campuran agregat plastik PET 75% 5,336 MPa.

Dari tiga variasi campuran agregat kasar menggunakan limbah plastik jenis PET, beton yang dihasilkan tidak mencapai kuat tekan beton normal sebagai pembanding, yaitu 25 MPa. Kekuatan tekannya tidak memenuhi untuk struktur akan tetapi dapat memenuhi syarat sebagai struktural ringan, yaitu antara 5,336 – 13,741 MPa. Namun apabila dilihat dari syarat berat beton ringan untuk struktur ringan, beton yang dihasilkan dengan berat bervariasi terhadap campuran penambah agregat plastik yaitu 1.415 – 1.981 kg/m² belum bisa memenuhi syarat sebagai beton ringan. Beton ringan untuk struktural ringan harus memiliki berat maksimum 1.400 kg/m².

Kuat tekan beton mengalami pertambahan kekuatan seiring dengan kecilnya variasi campuran agregat plastik jenis PET. Beban tekan maksimal yang bisah dicapai adalah 13,741 MPa. Kuat tekan maksimal ini dapat di capai dengan kecilnya variasi campuran agregat kasar yang terbuat dari plastik jenis PET yaitu 25% campuran plastik yang

berbentuk agregat kasar. Semakin kecil nilai variasi campuran agregat dari limbah plastik, semakin tinggi nilai kuat tekan beton yang di hasilkan dari campuran plastik 50% dan 75%.

Analisis Data Pengaruh Penambahan Agregat Kasar dari Limbah Plastik Berdasarkan Kuat Tekan Beton. Grafik kekuatan tekan beton hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan beton ringan yang dihasilkan tidak sama untuk ketiga variasi campuran yang dijadikan sampel penelitian. Kuat tekan beton mengalami penambahan kekuatan seiring dengan pencampuran agregat kasar dari plastik yang digunakan. Keadaan ini diduga terjadi karena beberapa faktor:

- Agregat kasar dari limbah plastik jenis PET sebagai campuran pengganti pada beton. Agregat dengan campuran plastik yang dominan lebih banyak akan terlihat berongga dibandingkan dengan campuran agregat plastik yang lebih sedikit.
- Dalam pencampuran agregat plastik ke dalam beton yaitu ketidak cocokan bahan kimia plastik dengan bahan pasta semen, mengingat bahwa plastik merupakan bahan hidrofobik dan tidak dapat mengikat secara kimiawi dengan semen pasta sehingga kekuatan antara semen dan plastik sangat rendah yang menyebabkan penurunan kualitas daya dukung beton.
- Semakin banyak agregat kasar dari limbah plastik PET ini yang ada pada campuran beton maka semakin lemah ikatan beton tersebut yang kemudian mempengaruhi kekuatan tekannya.
- Kepadatan agregat kasar dari limbah plastik PET di dalam beton. Semakin kecil agregat kasar maka semakin memadat agregat kasar tersebut di dalam beton. Agregat kasarnya akan berusaha saling mengisi ruang yang ada di dalam beton sehingga beton lebih dipadati oleh agregat kasar, dalam penelitian ini agregat kasarnya adalah agregat buatan dari limbah plastik jenis PET yang memiliki kekuatan hancur yang sangat

rendah. Pemadatan ini dapat dilihat dari berat beton ringan yang dihasilkan, yaitu beton ringan yang menggunakan agregat kasar dari bahan plastik, dengan agregat kasar yang besar. Dengan demikian, beton yang lebih dipadatkan oleh agregat kasar dari limbah plastik jenis PET karena gradasinya yang kecil lebih lemah kekuatannya.

4 KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu sebagai berikut:

- 1) Perbandingan karakteristik beton dengan menggunakan limbah plastik sebagai pengganti agregat kasar buatan pada campuran beton adalah sebagai berikut:
 - a) untuk umur beton 7 hari, hasil kuat tekan terbesar terjadi pada beton normal sebesar 27,378 MPa, sedangkan hasil terkecil terjadi pada beton yang menggunakan campuran agregat kasar dari plastik PET 75% yaitu sebesar 4,735 MPa, untuk beton campuran agregat kasar plastik PET 50% sebesar 7,437 MPa; b) Untuk umur beton 14 hari hasil kuat tekan terbesar terjadi pada beton normal sebesar 24,014 MPa, beton yang menggunakan campuran agregat kasar plastik PET 25% sebesar 11,951 MPa, sedangkan beton yang menggunakan campuran kasar plastik PET 50% sebesar 6,674 MPa, dan hasil terkecil adalah beton dengan campuran agregat plastik PET 75% sebesar 6,254 MPa; c) Untuk umur beton 28 hari, didapat hasil kuat tekan terbesar pada beton normal sebesar 31,7 Mpa, hasil kuat tekan beton dengan campuran agregat plastik PET 25% sebesar 13,741 MPa, untuk campuran agregat plastik PET 50% sebesar 6,108 MPa, sedangkan hasil terkecil terjadi pada campuran agregat plastik PET 75% 5,336 MPa.
- 2) Pengaruh pengganti agregat limbah plastik terhadap kuat tekan beton terbagi menjadi tiga yaitu: a) Semakin besar variasi campuran agregat kasar dari limbah plastik PET yang digunakan pada beton, semakin ringan beton yang akan

dihasilkan; b) Berdasarkan berat dan kuat tekannya, beton yang dihasilkan tidak dapat digolongkan ke dalam konstruksi non struktural ringan; c) Semakin besar variasi campuran agregat kasar dari limbah plastik jenis PET yang digunakan pada beton, semakin lemah kekuatan tekannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. G. Nawi, *Beton Bertulang - Suatu Pendekatan Dasar*, Bandung: Refika Aditama, 1998.
- [2] H. Mubarak and D. R. Basri, "Beton Ringan dengan Bahan Plastik sebagai Agregat Kasar untuk Konstruksi di Atas Lahan Gambut," *Jurnal Teknik Sipil Institut Teknologi Padang*, vol. 8, no. 1, pp. 8-14, 2021.
- [3] T. Mulyono, *Teknologi Beton*, Yogyakarta: Penerbit Andi Yogyakarta, 2004.
- [4] Supratikno and Ratnanik, "Pemanfaatan Limbah Plastik sebagai Pengganti Agregat Kasar pada Campuran Beton," *Jurnal Teknik Sipil Institut Teknologi Padang*, vol. 6, no. 1, pp. 21-29, 2019.
- [5] [BSN] Badan Standarisasi Nasional, "SNI 03-2834-2000 Tata cara pembuatan rencana beton normal," Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, Jakarta.
- [6] R. Widyawati, "Perbandingan kuat tekan beton ringan dengan Metoda Rancang-Campur ACI dan Dreux-Corrise," *Jurnal Rekayasa*, vol. 15, no. 2, pp. 109-120, 2011.
- [7] [BSN] Badan Standarisasi Nasional, "SNI 2461:2014 Spesifikasi agregat ringan untuk beton struktural," Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, 2014.
- [8] [PU] Departemen Pekerjaan Umum, "SNI 03-3449-2002 Tata cara rencana pembuatan campuran beton ringan dengan agregat ringan," Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta, 2002.



PERBANDINGAN KARAKTERISTIK MARSHALL CAMPURAN BETON ASPAL AC-WC FILLER SEMEN PASCA PERENDAMAN DI AIR SUNGAI DAN DI AIR LAUT

Hasanuddin^{1*}, Sulfiati¹, Ayu Andira¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Palu, Palu, Jalan Hang Tuah No. 114
Penulis korespondensi: hasanuddin131@gmail.com

DISUBMIT 17 Desember 2023

DIREVISI 14 Juni 2024

DITERIMA 15 Juni 2024

ABSTRAK Air (genangan) merupakan salah satu penyebab kerusakan atau mengurangi keawetan bagi konstruksi jalan dengan perkerasan aspal. Beberapa ruas jalan di Indonesia yang berada didaerah yang terletak berdekatan dengan pantai mengalami permasalahan dengan genangan air laut yang kebanyakan disebabkan oleh cuaca ekstrem sehingga mengakibatkan terjadinya banjir pasang-surut atau dengan istilah air rob. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui perbandingan perubahan karakteristik marshall campuran beton aspal AC-WC *filler* semen akibat pasca perendaman di air sungai dan di air laut dengan variasi waktu perendaman yang berbeda. Karakteristik yang diukur dengan menggunakan alat marshall yaitu stabilitas, *flow* (Kelelahan) dan Marshall *Quetiont* (MQ). Penelitian ini menggunakan metode eksperimental di Laboratorium. Perendaman sampel benda uji (*Bricket*) di air sungai dan di air laut dengan variasi waktu perendaman 0,5 jam, 24 jam, 48 jam, 96 jam dan 168 jam. Untuk mengetahui perbandingan perubahan kekuatan dan keawetan campuran beton aspal AC-WC. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pasca perendaman di air laut dengan waktu yang lama memiliki pengaruh lebih besar sebagai perusak lapisan aspal dibandingkan air sungai. Untuk pasca perendaman di air sungai diperoleh nilai stabilitas pada waktu 0,5 jam sampai 168 jam, nilai *flow* pada waktu 0,5 jam sampai 96 jam dan MQ pada waktu 0,5 sampai 96 jam. Sedangkan hasil pasca perendaman di air laut diperoleh nilai stabilitas pada waktu 0,5 jam sampai 168 jam, nilai *flow* pada waktu 0,5 jam sampai 96 jam dan MQ pada waktu 0,5 sampai 48 jam. Dari kedua jenis perendaman ini semakin lama campuran beton aspal terendam di air sungai maupun di air laut sama-sama dapat mengurangi kekuatan dan keawetan campuran. Karena air laut mengandung banyak NaCl yang merupakan ion agresif dan mempengaruhi hilangnya ikatan antara agregat dan aspal.

KATA KUNCI Air Sungai; Air Laut; Variasi Waktu Perendaman; Laston AC-WC; Marshall *Test*

1 PENDAHULUAN

Air (genangan) merupakan salah satu penyebab kerusakan atau mengurangi keawetan bagi konstruksi jalan dengan perkerasan aspal. Genangan air pada permukaan jalan dalam skala yang tinggi dapat mengakibatkan air tanah yang terletak di bawah permukaan tanah menjadi jenuh.

Beberapa ruas-ruas jalan di Indonesia yang berada di daerah yang berdekatan dengan pantai mengalami permasalahan dengan genangan air laut yang kebanyakan disebabkan oleh cuaca ekstrem sehingga mengakibatkan terjadinya banjir pasang-surut atau dengan istilah air rob, di mana naiknya permukaan air laut yang menggenangi konstruksi jalan dengan perkerasan aspal. [1]

Selain itu, ruas jalan yang terletak di pinggiran sungai juga terkena genangan air jika hujan lebat dan air sungai meluap.

Melihat bahwa genangan air sungai dan air laut pada konstruksi perkerasan jalan bisa menjadi masalah di setiap jalan di daerah pinggiran sungai dan pesisir pantai. maka, perlu dilakukan penelitian tentang perbandingan karakteristik marshall campuran beton aspal AC-WC *filler* semen pasca perendaman di Air Sungai dan di Air Laut.

2 LANDASAN TEORI

Beton Aspal Campuran Panas. Beton aspal Campuran Panas merupakan jenis perkerasan jalan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal, dengan atau tanpa bahan tambahan. Meterial-material pembentuk beton aspal dicampur di instalasi pencampur pada suhu tertentu, kemudian diangkut ke lokasi, dihamparkan dan dipadatkan. Suhu pencampuran ditentukan berdasarkan jenis aspal yang akan digunakan.

Karakteristik Beton Aspal. Terdapat tujuh karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh beton aspal yaitu [2] [3]:

1. Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur ataupun *bleeding*.
2. Durabilitas (keawetan/daya tahan) adalah kemampuan beton aspal menerima repetisi beban lalu lintas seperti berat kendaraan dan gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim, seperti udara, air atau perubahan temperatur.
3. Fleksibilitas (kelenturan) adalah kemampuan beton aspal untuk menyesuaikan diri akibat penurunan (konsolidasi/*settlement*) dan pergerakan dari fondasi atau tanah dasar, tanpa terjadi retak.
4. Kekesatan/tahanan geser (*Skid resistance*) adalah kemampuan permukaan beton aspal terutama pada kondisi basah, memberikan gaya gesek pada roda kendaraan sehingga kendaraan tidak tergelincir, ataupun *slip*.
5. Ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*) adalah kemampuan beton aspal dalam menerima lendutan berulang akibat repetisi beban, tanpa terjadinya kelelahan yang berupa alur dan retak.
6. Mudah dilaksanakan (*Workability*) adalah kemampuan campuran beton aspal untuk mudah dihamparkan dan dipadatkan. Tingkat kemudahan dalam pelaksanaan, menentukan tingkat efisiensi pekerjaan.
7. Kedap air (impermeabilitas) adalah kemampuan beton aspal untuk tidak dapat dimasuki air ataupun udara ke dalam lapisan beton aspal.

Sifat Volumetrik dari Campuran Beton Aspal yang telah Dipadatkan. Secara skematis berbagai jenis volume yang terdapat di dalam campuran beton aspal padat ditunjukkan pada Gambar 1.

Jenis Air yang Digunakan sebagai Perendaman. Jenis air yang digunakan dalam penelitian ini sebagai perendaman campuran beton aspal yaitu air sungai dan air laut.

- 1) Air sungai merupakan air yang mengalir alami secara terus menerus yang berbentuk memanjang yang setiap ujungnya dinamakan hulu dan hilir.
- 2) Air laut adalah kumpulan air asin dari jumlah yang banyak Air laut merupakan campuran dari 96,5% air murni dan 3,5% material lainnya seperti garam-garaman, gas-gas terlarut, bahan-bahan organik dan partikel- partikel tak terlarut.

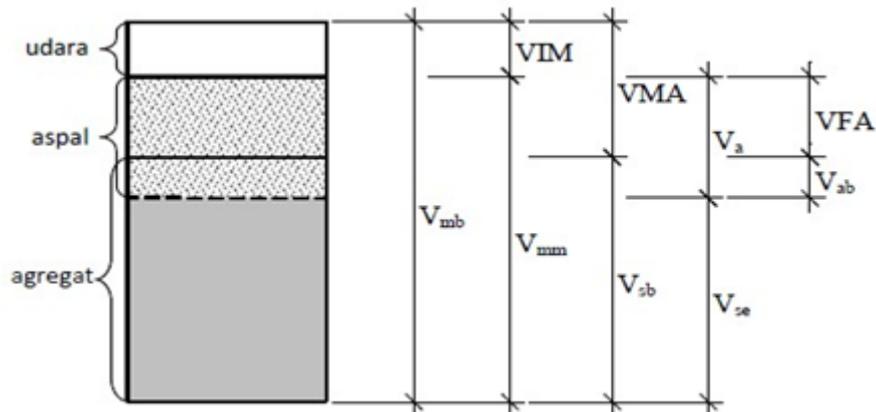
3 METODE PENELITIAN

Lokasi Pengambilan Material. Material batu pecah yang digunakan berasal dari *Stone Crusher* PT. Ratu Tambang Mandiri yang berada di Desa Buluri, Kecamatan Ulujadi, Kota Palu, Sulawesi Tengah. Lokasi pengambilan material dapat dilihat seperti pada Gambar 2.

Lokasi Pengujian Material. Pengujian material batu pecah dilaksanakan di Laboratorium Transportasi dan Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Tadulako Sulawesi Tengah. Semua pengujian sesuai dengan standar pengujian bahan modul Praktikum Laboratorium Transportasi dan Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Tadulako yang mengacu pada SNI (Standar Nasional Indonesia), AASTHO (*American Asosiation of State Highway and Transportation Officials*) dan ASTM (*American Society For Testing Material*).

Bagan Alir. Bagan alir penelitian bisa dilihat pada Gambar 3.

Sumber Data. Penelitian ini menggunakan data primer dan data sekunder, yang di mana data primer adalah data yang diperoleh secara langsung dari hasil observasi (survei) lapangan dan pengujian terhadap material batu pecah di Laboratorium. Sedangkan data sekunder yaitu data yang diperoleh dari sumber lain yang telah ada yaitu data aspal penetrasi 60/70 yang sudah ada sebelumnya.



Gambar 1 Skematis berbagai jenis volume beton aspal



Gambar 2 Peta lokasi pengambilan material

Pembuatan Benda Uji Kadar Aspal Optimum (KAO). Pembuatan benda uji ini dibuat dan direndam ke dalam air sungai dan air laut dengan variasi waktu dari 0,5 jam, 24 jam, 48 jam, 96 jam, dan 168 jam. Jumlah benda uji yang dibuat pada kadar aspal optimum sebanyak 30 buah benda uji, Seperti pada Tabel 1.

Tahap Analisis dan Pembahasan. Tahap selanjutnya dilakukan serangkaian penelitian dan diperoleh data, maka tahapan selanjutnya adalah sebagai berikut: [4] [5]

1) Menganalisis hasil pemeriksaan material agregat batu pecah apakah sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 revisi 2.

2) Menganalisis pengaruh atau memplot data nilai stabilitas, kelelahan, marshall *quotient*, terhadap lamanya waktu perendaman campuran dalam air sungai dan air laut.

3) Membandingkan data hasil uji marshall untuk sampel yang telah terendam di air sungai dan di air laut.

Berdasarkan Gambar 4 di atas dapat diketahui apakah ada perubahan yang terjadi baik penurunan atau kenaikan parameter-parameter tersebut selama mengalami proses perendaman di air sungai dan di air laut.

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Hasil Pemeriksaan Material. Jenis aspal yang digunakan adalah aspal keras

Tabel 1 Jumlah pembuatan benda uji pada Kadar Aspal Optimum (KAO)

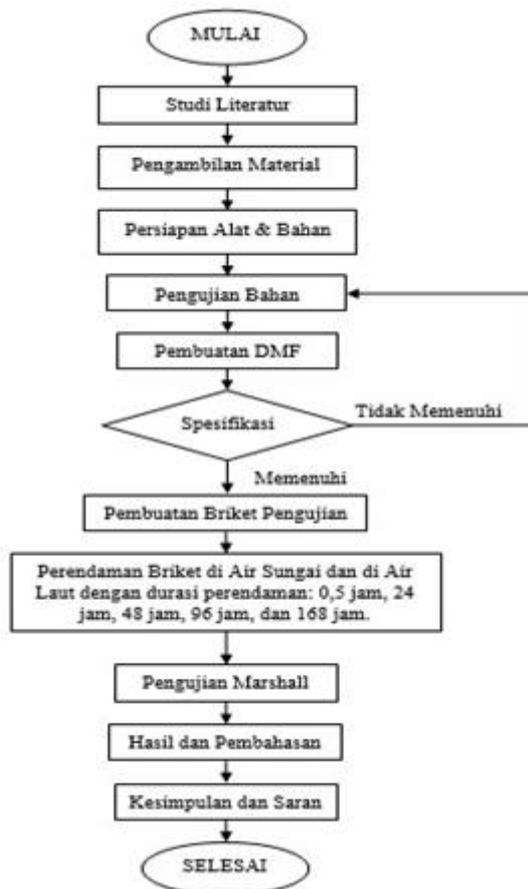
No.	Sampel di Air Sungai		Sampel di Air Laut	
	Durasi rendaman	Banyaknya sampel	Durasi rendaman	Banyaknya sampel
1	0,5 jam	3	0,5 jam	3
2	24 jam	3	24 jam	3
3	48 jam	3	48 jam	3
4	96 jam	3	96 jam	3
5	168 jam	3	168 jam	3
	Jumlah Sampel	15	Jumlah Sampel	15

Tabel 2 Data aspal PEN 60/70

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Spesifikasi	Hasil Pemeriksaan
1	Penetrasi 25 °C (0,1 mm)	SNI 2456:2011	≥ 54	65,33
2	Daktalitas 25 °C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100	152,00
3	Berat jenis 25 °C (gr/cc)	SNI 2441:2011	≥ 1	1,039
4	Titik lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48	49,75

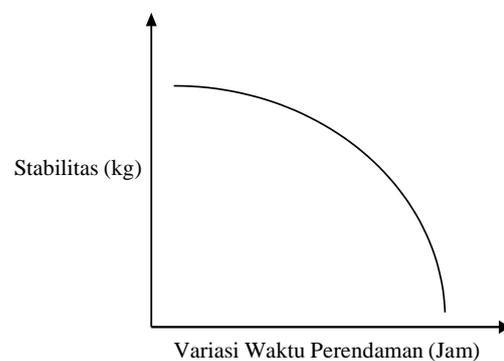
penetrasi 60/70 hasil produksi PT. Pertamina yang diperoleh di Laboratorium Transportasi dan Jalan Raya Universitas Tadulako. Data aspal dapat dilihat pada Tabel 2.

kasar, agregat halus dan *filler*. Adapun hasil perhitungan proporsi agregat campuran pada laston AC-WC dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 5.



Gambar 3 Bagan alir penelitian

Hasil Gradasi Gabungan. Gradasi gabungan campuran memperoleh kombinasi masing-masing agregat campuran yang ditentukan dari hasil agregat



Gambar 4 Contoh grafik stabilitas vs waktu perendaman

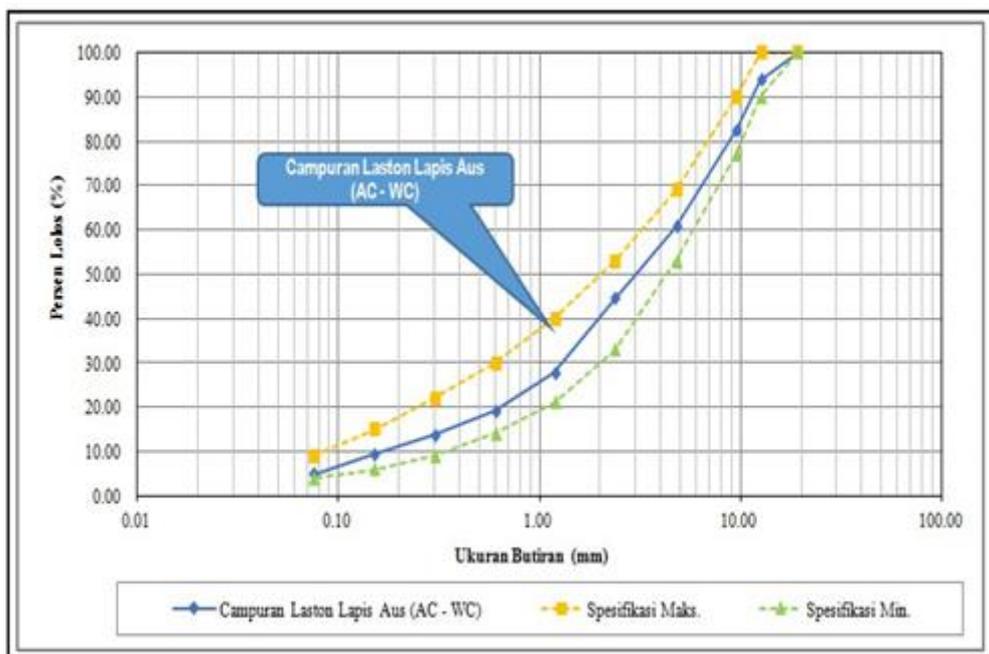
Menghitung Parameter Pengujian Marshall. Perhitungan parameter-parameter pengujian marshall dituangkan dalam bentuk Tabel. Adapun hasil parameter-parameter pengujian marshall dapat dilihat pada Tabel 4.

Berdasarkan hasil perhitungan pada Gambar 6 diperoleh nilai kadar aspal optimum (KAO) sebesar 5,65%. Di mana nilai tersebut ditentukan sebagai nilai tengah dari rentang kadar aspal maksimum dan minimum yang memenuhi semua persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

Pembahasan Hasil Pengujian Marshall Pasca Perendaman di Air Sungai dan di Air Laut. Hasil parameter-parameter pengujian

Tabel 3 Hasil gradasi gabungan

GRADASI GABUNGAN CAMPURAN AGREGAT											
Uraian	Ukuran Saringan										
Inchi	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200	
mm	19.000	12.500	9.500	4.750	2.360	1.180	0.600	0.300	0.150	0.075	
Gradasi Agregat	Persen Lolos (%)										
Batu Pecah 3/4" (1 - 2 cm)	100.00	54.01	21.30	0.21	0.17	0.15	0.15	0.14	0.13	0.11	
Batu Pecah 3/8" (0,5 - 1 cm)	100.00	99.53	77.55	17.96	4.64	1.21	1.19	1.15	1.12	0.92	
Abu Batu Lolos Saringan No. 4	100.00	100.00	100.00	100.00	77.20	47.72	31.63	21.21	13.21	6.68	
Filler (Portland Cement)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.15	
Kombinasi Gradasi Campuran	Persen Lolos (%)										
Batu Pecah 3/4" (1 - 2 cm) : 13.00 %	13.00	7.02	2.77	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	
Batu Pecah 3/8" (0,5 - 1 cm) : 32.00 %	32.00	31.85	24.81	5.75	1.48	0.39	0.38	0.37	0.36	0.30	
Abu Batu Lolos Saringan No. 4 : 53.00 %	53.00	53.00	53.00	53.00	40.92	25.29	16.77	11.24	7.00	2.60	
Filler (Portland Cement) : 2.00 %	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.98	
Total Persen Lolos Gradasi : 100.00 %	100.00	93.87	82.58	60.77	44.42	27.70	19.16	13.62	9.37	4.89	
Spesifikasi Gradasi Campuran	Maks. %	100.00	100.00	90.00	69.00	53.00	40.00	30.00	22.00	15.00	9.00
	Min. %	100.00	90.00	77.00	53.00	33.00	21.00	14.00	9.00	6.00	4.00



Gambar 5 Grafik hasil gradasi gabungan

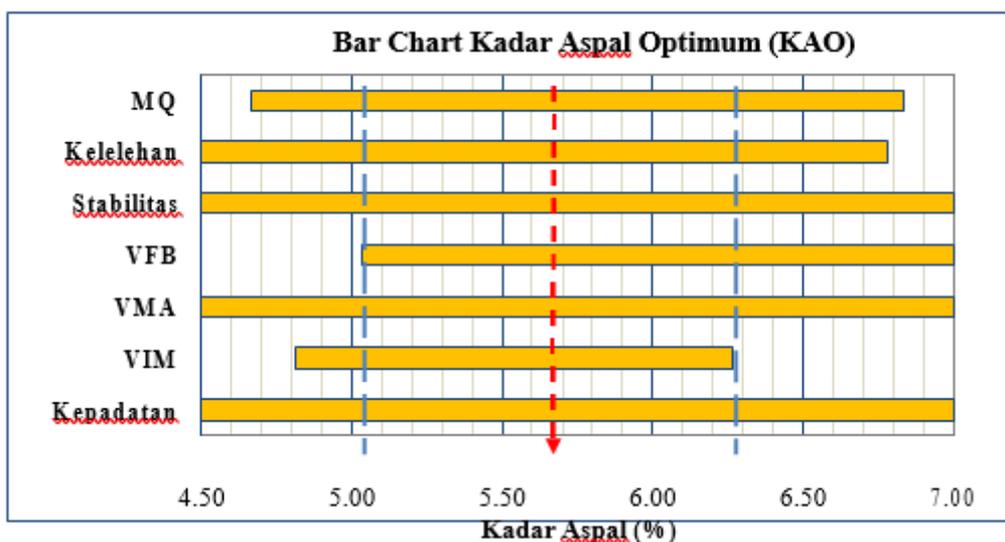
marshall pasca perendaman di air sungai dan di air laut dituangkan dalam bentuk tabel dan grafik. Pada pengujian ini, parameter yang diperhitungkan untuk pasca perendaman di air sungai dan di air laut yaitu

stabilitas, flow dan Marshall Quetiont. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 5.

Hasil pengujian marshall pasca perendaman di air sungai dan di air laut di lihat bahwa beberapa nilai parameter marshall yang diperoleh telah memenuhi

Tabel 4 Hasil perhitungan parameter pengujian Marshall

Hasil pemeriksaan	Kadar Aspal						Spek.
	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	
Kepadatan (gram/cm)	2,38	2,39	2,39	2,39	2,38	2,37	-
VMA (%)	17,73	17,63	18,25	18,59	19,46	20,23	Min. 15
VFB (%)	58,04	65,28	69,20	74,19	76,4	78,79	Min. 65
VIM (%)	5,77	4,45	3,96	3,14	2,96	2,67	3-5
Stabilitas (kg)	941,87	985,08	1061,85	1044,41	1080,71	963,55	Min. 800
Flow (mm)	4,00	3,73	3,37	3,45	4,03	4,1	2-4
MQ (kg/mm)	235,93	264,08	316,03	308,92	268,34	235,25	Min. 250



Gambar 6 Grafik penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Tabel 5 Hasil parameter Marshall pasca perendaman di air sungai dan air laut

KAO (%)	Karakteristik Marshall						Waktu perendaman (jam)
	Stabilitas (kg)		Flow (mm)		Marshall Quetiont (kg/mm)		
	Air sungai	Air laut	Air sungai	Air laut	Air sungai	Air laut	
5,65%	1.280,86	1.210,9	3,13	3,37	417,60	369,49	0,5
	1.213,60	1.185,77	3,40	3,50	363,72	347,30	24
	1.122,70	1.096,29	3,63	3,73	324,76	302,01	48
	1.075,94	950,86	3,87	3,97	285,07	241,73	96
	983,94	857,68	4,17	4,33	237,85	199,49	168

Spesifikasi dan ada pula yang belum memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 revisi 2. untuk lebih jelasnya, dicantumkan dalam bentuk grafik hubungan antara parameter marshall dengan variasi waktu perendaman menggunakan air sungai di bawah ini. Gambar 7 menggambarkan hubungan antara stabilitas dengan variasi waktu perendaman di air sungai.

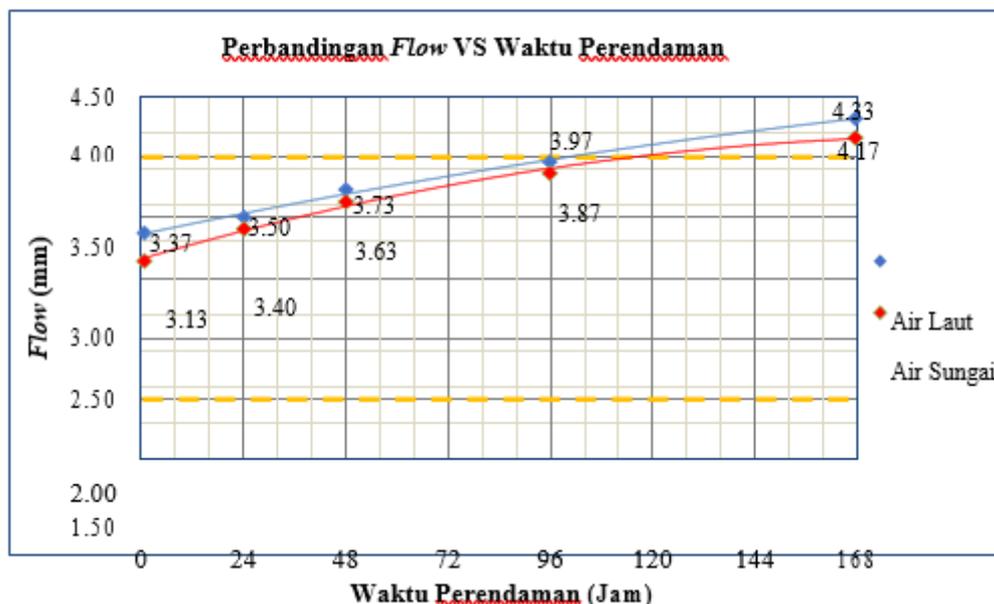
Berdasarkan hasil pengujian nilai stabilitas yang diperoleh pasca perendaman di air sungai dan di air laut semakin menurun. berikut ini adalah Gambar 8 Grafik Hubungan Flow dengan Variasi Waktu Perendaman di air sungai dan di air laut.

Berdasarkan hasil pengujian pasca perendaman di air sungai dan di air laut dilihat bahwa semakin lama benda uji terendam dalam air sungai dan air laut nilai flow meningkat walaupun peningkatannya tidak signifikan. Selanjutnya, hubungan marshall quetiont dengan variasi waktu perendaman di air sungai dan di air laut. Adapun, grafik Gambar 9 hubungan marshall quetiont dengan variasi waktu perendaman.

Semakin lama campuran aspal terendam oleh air sungai dan air laut, maka nilai marshall quetiont semakin menurun. Penurunan nilai marshall quetiont pada



Gambar 7 Grafik hubungan stabilitas vs waktu perendaman di air sungai dan air laut



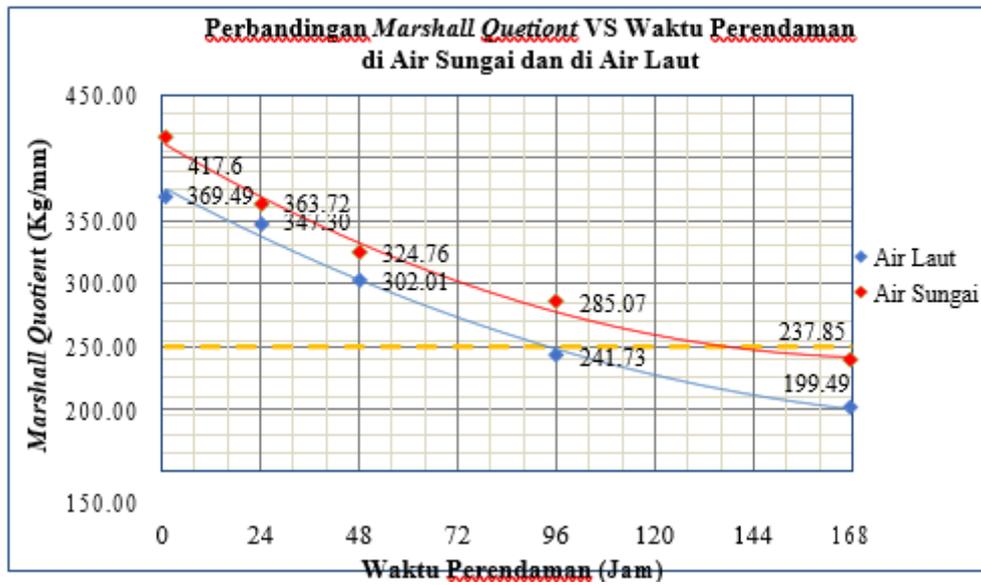
Gambar 8 Grafik hubungan flow vs waktu perendaman di air sungai dan air laut

campuran aspal dikarenakan nilai MQ terhadap nilai stabilitas, di mana nilai stabilitas pada campuran aspal juga menurun akibat lama terendam di air sungai dan di air laut.

Perbandingan Nilai Stabilitas Sebelum Perendaman terhadap Pasca Perendaman Air Sungai. Perbandingan nilai stabilitas dari pengujian marshall sebelum perendaman dan pasca perendaman di air sungai dan di air laut. Hasil perbandingan pasca perendaman di air sungai dan di air laut dapat dilihat pada Tabel 6.

Diperlihatkan bahwa nilai stabilitas hasil pengujian marshall semakin lama benda uji terendam oleh air sungai dan air laut nilai stabilitasnya semakin menurun. Untuk lebih jelasnya perbandingan penurunan nilai stabilitas yang terjadi pasca perendaman di air sungai dan di air laut disajikan dalam bentuk Gambar 10.

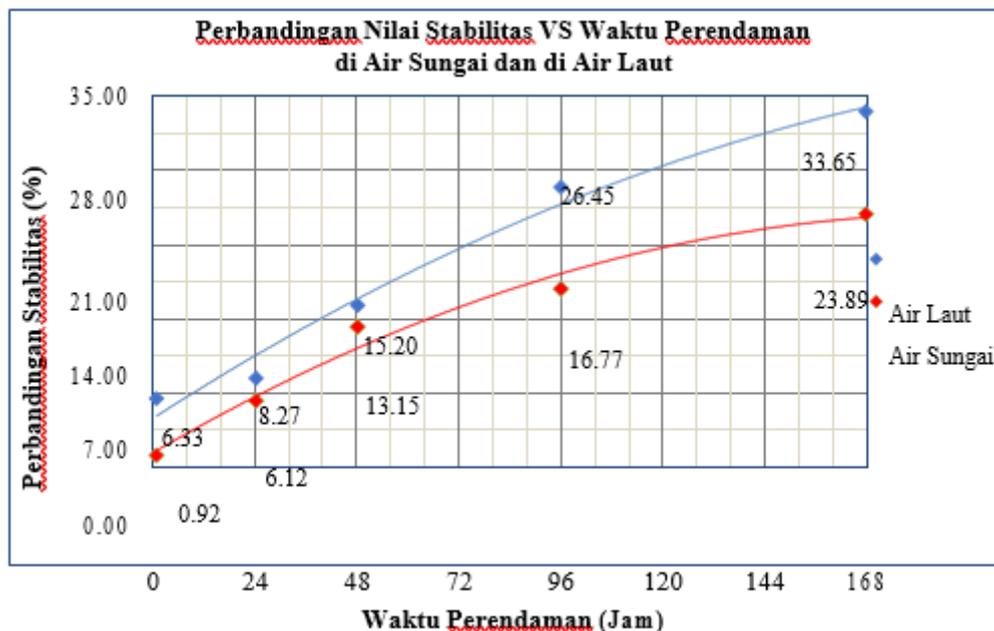
Penurunan ini terjadi akibat pengaruh beberapa faktor, salah satunya yaitu air laut mengandung banyak garam (NaCl) yang merupakan ion agresif dan mempengaruhi hilangnya ikatan antara agregat dan aspal



Gambar 9 Grafik hubungan MQ vs waktu perendaman di air sungai dan di air laut

Tabel 6 Hasil perbandingan stabilitas sebelum perendaman terhadap pasca perendaman di air sungai dan di air laut

Hasil pemeriksaan	Sebelum perendaman	Pasca perendaman		Perbandingan (%)		Waktu perendaman (jam)
		Air sungai	Air laut	Air sungai	Air laut	
Stabilitas (kg)	1.292,73	1.280,86	1.210,9	0,92	6,33	0,5
		1.213,60	1.185,77	6,12	8,27	24
		1.122,70	1.096,29	13,15	15,20	48
		1.075,94	950,86	16,77	26,45	96
		983,84	857,68	23,89	33,65	168



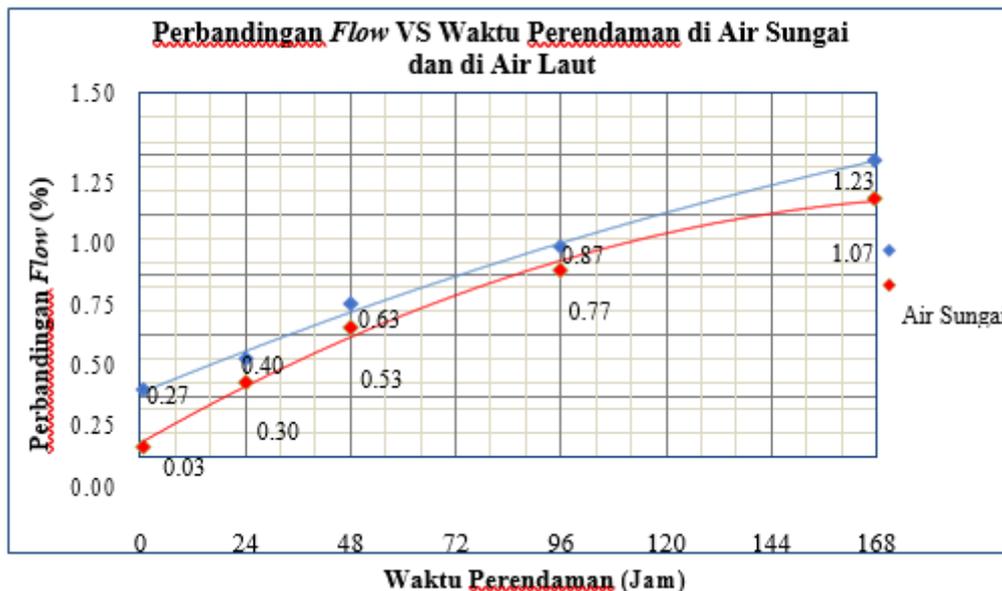
Gambar 10 Grafik hubungan perbandingan nilai stabilitas vs waktu perendaman di air sungai dan di air laut

serta pengaruh lamanya campuran terendam di air sungai dan di air laut.

Hasil analisa dan pembahasan terdapat perbedaan antara nilai *flow* dari pengujian marshall sebelum perendaman terhadap

Tabel 7 Hasil perbandingan *flow* sebelum perendaman terhadap pasca perendaman di air sungai dan di air laut

Hasil pemeriksaan	Sebelum perendaman	Pasca perendaman		Perbandingan (%)		Waktu perendaman (jam)
		Air sungai	Air laut	Air sungai	Air laut	
<i>Flow</i> (mm)	3,10	3,13	3,37	0,03	0,27	0,5
		3,40	3,50	0,30	0,40	24
		3,63	3,73	0,53	0,63	48
		3,87	3,97	0,77	0,87	96
		4,17	4,33	1,07	1,23	168



Gambar 11 Grafik hubungan perbandingan nilai *flow* vs waktu perendaman di air sungai dan di air laut

pasca perendaman di air sungai dan di air laut. Untuk lebih jelasnya hasil perbandingan perendaman di air sungai dan di air laut disajikan dalam bentuk Tabel 7.

Untuk lebih jelasnya hasil perbandingan perendaman di air sungai dan di air laut disajikan dalam bentuk grafik Gambar 11.

Terlihat bahwa perbandingan hasil peningkatan nilai *flow* ini bukan berarti campuran aspal semakin lentur dan fleksibel melainkan terjadi penurunan kinerja campuran aspal tersebut terhadap kemampuannya dalam menahan beban yang diberikan menurun. Karena, kohesi atau gaya tarik menarik aspal telah menurun akibat penuaan atau oksidasi yang terjadi ketika aspal direndam dalam air sungai dan air laut sehingga mempengaruhi sifat karakteristik campuran terutama keuletan ini.

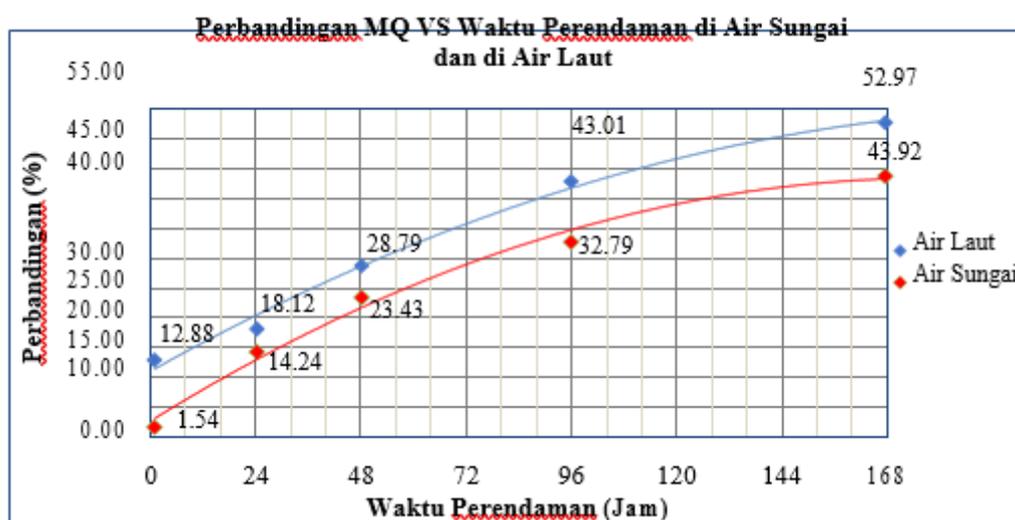
Hal ini ini disebabkan karena besarnya kandungan garam pada air laut dibandingkan air sungai. Sehingga, kecepatan dalam merusak ikatan agregat dengan aspal lebih cepat pada perendaman air laut dibandingkan perendaman pada air sungai.

Perbandingan Nilai Marshall Quetiont sebelum Perendaman terhadap Pasca Perendaman di Air Sungai dan di Air Laut. Hasil analisa dan pembahasan pada perbandingan antara nilai marshall *quetiont* dari pengujian marshall sebelum perendaman dan pasca perendaman di air sungai dan di air laut. Untuk lebih jelasnya hasil perbandingan perendaman di air sungai dan di air laut dapat dilihat pada Tabel 8.

Dilihat bahwa nilai marshall *quetiont* mengalami Penurunan akibat nilai stabilitas yang rendah dan kenaikan nilai *flow* pada

Tabel 8 Hasil perbandingan Marshall Quetiont sebelum perendaman terhadap pasca perendaman di air sungai dan di air laut

Hasil pemeriksaan	Sebelum perendaman	Pasca perendaman		Perbandingan (%)		Waktu perendaman (jam)
		Air sungai	Air laut	Air sungai	Air laut	
MQ (kg/mm)	424,14	417,60	369,49	1,54	12,88	0,5
		363,72	347,3	14,24	18,12	24
		324,76	302,01	23,43	28,79	48
		285,07	241,73	32,79	43,01	96
		237,85	199,49	43,92	52,97	168



Gambar 12 Grafik hubungan MQ vs waktu perendaman di air sungai dan di air laut

sampel benda uji yang direndam di air sungai dan di air laut berimbang pada nilai marshall *quetiont*. untuk lebih jelasnya hasil perbandingan nilai marshall *quetiont* dapat dilihat pada Gambar 12.

Diperlihatkan bahwa penurunan nilai marshall *quetiont* terjadi akibat sebanding dengan penurunan nilai stabilitas dan peningkatan nilai *flow* seiring lama waktu perendaman, di mana nilai stabilitas dan *flow* pada perendaman menggunakan air sungai lebih baik dibandingkan dengan menggunakan air laut. Hasil yang telah diperoleh secara keseluruhan dari perbandingan pengujian marshall campuran aspal beton AC-WC pasca perendaman di air sungai dan di air laut menggunakan *filler* semen dengan variasi waktu perendaman menunjukkan bahwa tingkat kekuatan dan keawetan dari campuran aspal beton AC-WC yang telah diuji hanya mampu bertahan selama 48 jam hingga 96 jam. karena, campuran aspal yang terendam selama 168 jam sudah menunjukkan kualitas campuran yang sudah tidak memenuhi syarat

Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 revisi 2. Di mana, dapat dilihat dari hasil pengujian marshall yang menunjukkan adanya penurunan pada nilai stabilitas dan marshall *quetiont* serta terjadi peningkatan pada nilai *flow*.

5 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari pengujian, menganalisis hasil pengujian marshall pasca perendaman di air sungai dan di air laut untuk mengetahui nilai karakteristik marshall maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

- 1) Hasil pengujian yang dilakukan di Laboratorium pada campuran laston lapis AC-WC pasca perendaman di air sungai dan di air laut diperoleh bahwa air sungai dan air laut sama-sama dapat mengurangi kekuatan dan keawetan pada lapisan aspal. Berdasarkan dari hasil penelitian ini bahwa rendaman yang menggunakan air laut dengan waktu yang lama memiliki pengaruh lebih besar

- sebagai perusak lapisan aspal dibandingkan air sungai.
- 2) Perendaman di air laut sangat berpengaruh besar terhadap karakteristik Marshall dibandingkan di air sungai khususnya terlihat pada nilai stabilitas. Hal ini terlihat pada penurunan nilai stabilitas yang terjadi pasca perendaman di air laut selama 0,5 jam sebesar 1.210,9 kg namun setelah dilakukan perendaman selama 168 jam nilai stabilitasnya menurun sebesar 857,68 kg. sedangkan penurunan nilai stabilitas pasca perendaman di air sungai selama 0,5 jam sebesar 1.280,86 kg dan pasca perendaman di air sungai selama 168 jam nilai stabilitasnya menurun sebesar 983,84 kg. Penurunan nilai stabilitas ini mempengaruhi peranan konstruksi jalan dalam menerima beban lalu lintas.
 - 3) Hasil perbandingan pasca perendaman di air sungai dan di air laut menunjukkan adanya peningkatan nilai *flow* yang terjadi pasca perendaman di air laut selama 0,5 jam sebesar 0,27% namun setelah dilakukan perendaman 168 jam nilai *flow*nya meningkat sebesar 1,23%. sedangkan, peningkatan nilai *flow* pasca perendaman di air sungai selama 0,5 jam sebesar 0,03% dan pasca perendaman selama 168 jam nilai *flow*nya meningkat sebesar 1,07%. Peningkatan nilai *flow* yang terjadi bukan berarti campuran aspal semakin lentur dan fleksibel melainkan terjadi penurunan kinerja campuran aspal terhadap kemampuannya dalam menahan beban yang diberikan menurun.
 - 4) Tingkat kekuatan dan keawetan dari campuran aspal beton AC-WC pasca perendaman di air sungai dan di air laut menggunakan *filler* semen menunjukkan bahwa campuran aspal yang telah dibuat dan diuji hanya mampu bertahan selama 96 jam (4 hari). karena, campuran benda uji pasca perendaman selama 168 jam (7 hari) sudah menunjukkan kualitas campuran yang sudah tidak memenuhi syarat Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 revisi 2.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. S. Muaya, O. H. Kaseke and M. R. E. Manoppo, "Pengaruh terendamnya perkerasan aspal oleh air laut yang ditinjau terhadap karakteristik Marshall," *Jurnal Sipil Statik*, vol. 3, no. 8, pp. 562-570, 2015.
- [2] S. Sukirman, *Beton Aspal Campuran Panas (Edisi Kedua)*, Jakarta: Yayasan Obor Indonesia, 2003.
- [3] S. Sukirman, *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Bandung: Penerbit Nova, 1999.
- [4] [BSN] Badan Standarisasi Nasional, "SNI 1969:2016 Metode uji berat jenis dan penyerapan air agregat kasar," Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, 2016.
- [5] [BSN] Badan Standarisasi Nasional, "SNI 2417:2008 Cara uji keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles," Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, 2008.



IDENTIFIKASI FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI PEKERJA KONSTRUKSI DALAM MENERIMA SISTEM PEMBAYARAN UPAH KERJA (STUDI KASUS PROYEK PACKAGE CIVIL WORKS (CW) SEA PORT 3: WORKS FOR RECONSTRUCTION OF PANTOLOAN PORT)

Andi Rizal¹, Wahiduddin Basry*², Amelia Abd. Muzakkir²

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako, Palu, Jalan Soekarno Hatta

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Palu, Palu, Jalan Hang Tuah No. 114

Penulis korespondensi: wahiddinbasry01@gmail.com

DISUBMIT 17 Desember 2023

DIREVISI 14 Juni 2024

DITERIMA 15 Juni 2024

ABSTRAK Secara umum tenaga kerja dikategorikan menjadi dua yaitu, tenaga kerja kontrak dan tenaga kerja lepas yang kita ketahui bersama mereka dibayarkan dengan upah yang berbeda, karna satunya memiliki kontrak yang jelas sedangkan untuk tenaga kerja lepas tidak mempunyai kontrak yang jelas. Tenaga kerja lepas biasanya paling banyak jumlahnya. Penerapan pada tenaga kerja lepas biasanya adalah sistem borongan. Tenaga kerja suatu proyek terdiri atas mandor, tukang dan pekerja. Sistem kerja dapat dilakukan dengan sistem pekerjaan harian atau sistem pekerjaan borongan. Metode mengolah data yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif dengan menyebarkan kuesioner secara langsung di lokasi penelitian. Dengan jumlah responden sebanyak 60 orang. Setelah didapatkan data dari lapangan dengan bantuan kuesioner, selanjutnya dilakukan pengolahan data yang meliputi uji *Relative Rank Indeks* (RRI). Hasil penelitian menunjukkan bahwa dominan pekerja menggunakan pembayaran upah kerja berdasarkan volume pekerjaan 57.94% dan yang menggunakan jam kerja atau dalam bentuk upah harian sejumlah 42.06%. Kemudian hasil penelitian menunjukkan faktor yang berpengaruh untuk dua sistem pembayaran tersebut, yaitu: Pertama berdasarkan Volume Pekerjaan, yaitu (1) Kontrak Kerja, (2) Keselamatan dan kesehatan kerja, (3) Karakteristik pekerja. Kedua pada sistem pembayaran berdasarkan Jam Kerja, adalah (1) Karakteristik pekerjaan, (2) Keselamatan dan kesehatan kerja, (3) Peralatan dan Teknologi.

KATA KUNCI Pekerja Konstruksi; Upah Kerja; Sistem Pembayaran Upah Kerja

1 PENDAHULUAN

Pekerja konstruksi merupakan pekerja lepas dan tidak mempunyai serikat pekerja sehingga upah yang diterima sesuai dengan harga standar satuan upah pekerja di masing-masing daerah dengan sistem pembayaran biasanya terbagi menjadi dua yaitu borongan dan harian. Sistem pengupahan dari pihak pemberi jasa harus memiliki komunikasi yang baik agar konstruksi dapat berjalan dengan lancar dan perlu disesuaikan dengan kesepakatan bersama. Pihak pemberi jasa konstruksi perlu mengevaluasi kontribusi sistem pengupahan untuk meningkatkan produktivitas tenaga kerja.

Pembangunan konstruksi membutuhkan sumber daya manusia sebagai faktor yang menentukan kualitas dan kuantitas pekerjaan yang dapat mempengaruhi pada keterampilan tenaga kerja, sehingga tenaga kerja menjadi faktor utama dalam

pelaksanaan suatu pekerjaan guna mencapai hasil yang maksimal. Untuk penelitian masalah sistem pengupahan tenaga kerja perlunya pengetahuan tentang faktor apa saja yang mendorong pekerja konstruksi dalam menerima sistem pembayaran upah.

Upah merupakan balas jasa atau imbalan atas kerja seseorang. Upah juga merupakan imbalan finansial langsung yang dibayarkan kepada karyawan berdasarkan jam kerja, jumlah barang atau bobot pekerjaan yang telah di selesaikan, tidak seperti gaji yang jumlahnya relatif tetap, besarnya upah dapat berubah-ubah.

Penempatan serta pelaksanaan upah yang baik merupakan salah satu aspek penting dalam kerja sama konstruksi antara pengusaha atau pemborong pekerjaan. Upah harus lebih perlu diperhatikan karena upah juga salah satu menjadi acuan untuk

mengukur cepat atau lambatnya suatu proyek konstruksi.

Jika suatu proyek yang di koordinir oleh mandor maka mandor-mandor tersebut memiliki peran dalam menetapkan upah sehingga akan berdampak pada efektivitas pekerja itu sendiri. Produktivitas tenaga kerja yang baik sangat di perlukan untuk keberhasilan proyek konstruksi.

Tenaga kerja konstruksi memberikan pengaruh yang sangat besar terhadap kualitas pekerjaan dan kemajuan pekerjaan, serta biaya konstruksi. Kemudian salah satu hal yang mesti diputuskan yaitu sistem pembayaran upah kerja terhadap pekerja konstruksi. [1]

Beberapa informasi yang sering kali terdengar di lingkungan proyek konstruksi tentang permasalahan yang timbul akibat dari sistem pengupahan pekerja konstruksi. Untuk itu dibutuhkan suatu kegiatan tentang faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi pekerja konstruksi dalam menerima sistem pembayaran upah kerja.

Permasalahan upah/pengupahan cukup menarik dan penting untuk dapat dipahami, mengingat cukup banyak ditemukannya pengusaha/perusahaan yang biasanya memberikan upah pada pekerja yang dianggap tidak adil atau tidak sesuai dengan pekerjaan yang telah dilakukan. Namun timbul pertanyaan, bagaimana sistem penerapan upah yang dilakukan oleh setiap mandor dalam meningkatkan efektivitas para pekerjanya berdasarkan harga setiap upah bagi pekerja tetap maupun pekerja lepas.

Berdasarkan beberapa uraian dan penjelasan penulis tertarik untuk mengetahui lebih lanjut mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi pekerja konstruksi dalam menerima sistem pembayaran tenaga kerja dalam menerima sistem upah harian atau sistem upah borongan yang memenuhi kebutuhan pekerja.

Tujuan Penelitian. Tujuan dalam penelitian ini untuk mengetahui faktor-faktor yang

mempengaruhi pekerja konstruksi dalam menerima sistem pembayaran upah pada pekerjaan konstruksi.

2 TINJAUAN PUSTAKA

Tenaga kerja lapangan pada proyek konstruksi dibedakan menjadi dua yaitu, pengawas (mandor) dan pekerja (tukang). Tenaga kerja yang dimaksud di sini adalah sebuah kelompok kecil yang terdiri atas mandor, tukang dan pembantu tukang. Setiap tenaga kerja pasti ingin memperoleh upah yang sebesar-besarnya sebagai imbalan atau jasa yang telah dikerjakannya. Oleh karena itu, penentuan upah atau sistem pemberian upah yang memadai itu sangat penting bagi pekerja konstruksi, sistem pemberian upah itu sendiri dibagi menjadi dua, yaitu upah menurut satuan waktu atau biasa yang disebut upah harian dan upah menurut satuan hasil atau biasa disebut upah borongan atau berdasarkan volume pekerjaan.

Tenaga Kerja. Tenaga kerja merupakan orang yang bekerja atau mengerjakan sesuatu pekerjaan. Tenaga kerja mempunyai banyak pengaruh yang penting pada produktivitas proyek keseluruhan, menurut UU NO. 11 Tahun 2020 tentang Cipta Kerja, di mana setiap orang mampu melakukan pekerjaan agar menghasilkan barang atau jasa baik memenuhi kebutuhan sendiri maupun masyarakat yang ada. Tenaga kerja adalah semua orang yang bersedia dan sanggup bekerja termaksud mereka yang menganggur atau tidak menganggur. [2]

Tenaga kerja adalah orang yang mampu melakukan pekerjaan baik di dalam maupun di luar guna menghasilkan suatu barang atau jasa untuk memenuhi tiap kebutuhan sendiri maupun masyarakat. Maka dari itu tenaga kerja dapat juga diartikan sebagai penduduk yang berada dalam batas usia kerja dan mempunyai hak dan kewajiban warga negara dalam melakukan kegiatan sehari-hari dalam kehidupannya. [3]

Dari kutipan di atas kita tahu bahwa perusahaan menanggung biaya-biaya yang berhubungan dengan pekerja di luar upah pokoknya. Tapi masih kita ketahu di

Indonesia struktur upah tenaga kerja ini masih hanya berupa gaji bulanan (pekerja tetap) dan upah harian (pekerja lepas).

Tenaga Kerja Harian. Tenaga kerja harian adalah tenaga kerja yang dibutuhkan untuk mengerjakan suatu bagian pekerjaan tertentu dengan gaji berdasarkan jumlah hari kerja atau jam kerja yang diperoleh.

Tenaga Kerja Borongan. Tenaga kerja borongan ialah tenaga kerja yang dikerjakan oleh mandor sebagai pimpinan kelompok. Tenaga kerja ini terdiri atas beberapa tenaga kerja yang tidak ditentukan berapa jumlahnya. Perhitungan dan pembayaran gaji mereka diatur oleh mandor.

Pengertian Upah. Upah merupakan hak pekerja/buruh yang diterima dan dinyatakan dalam bentuk uang sebagai imbalan dari pengusaha atau pemberi kerja kepada pekerja/buruh yang ditetapkan dan dibayarkan menurut suatu perjanjian kerja, kesepakatan atau peraturan perundang-undangan, termasuk tunjangan dari pekerja/buruh dan keluarganya atas suatu pekerjaan dan/atau jasa yang telah atau akan dilakukan (UU No. 13 Tahun 2003 tentang Ketenagakerjaan pasal 1).

Fungsi dan Tujuan Upah. Fungsi pemberian upah di dalam suatu organisasi memiliki fungsi yang erat kaitannya dengan peningkatan mutu sumber daya manusia dan pembangunan ekonomi, sebagai berikut: 1) Pengalokasian sumber daya manusia secara efisien, 2) Pengumuman sumber daya manusia secara lebih efisien dan efektif, 3) Mendorong stabilitas dan pertumbuhan ekonomi. [4]

Adapun tujuan upah sebagai berikut:

- 1) Meningkatkan produktivitas kerja. pemberian upah yang semakin baik akan mendorong karyawan bekerja secara produktif.
- 2) Pemenuhan kebutuhan ekonomi. Karyawan menerima upah untuk dapat memenuhi hidupnya sehari-hari.
- 3) Memajukan organisasi atau perusahaan. Semakin berani suatu perusahaan memberikan kompensasi yang tinggi,

semakin menunjukkan betapa makin suksesnya suatu perusahaan, sebab pemberian kompensasi yang tinggi hanya mungkin apabila pendapatan perusahaan yang digunakan untuk itu makin besar.

- 4) Menciptakan keseimbangan dan keadilan. Ini berarti bahwa pemberian upah berhubungan dengan persyaratan yang harus dipenuhi oleh karyawan pada jabatan sehingga tercipta keseimbangan antara "output".

Hak-Hak Tenaga Kerja. Pekerja konstruksi tentunya memiliki hak-hak yang dilindungi oleh regulasi yang ada di Indonesia dalam setiap pelibatannya pada pelaksanaan pekerjaan konstruksi, seperti hak-hak pekerja tersebut yang tertuang dalam UU No. 13 Tahun 2003 tentang Ketenagakerjaan [5], berupa 1) Pelatihan kerja, 2) Jam kerja, 3) Istirahat kerja, 4) Hari libur, 5) Pengaturan cuti dalam, perjanjian kerja, 6) kebijakan pengupahan, 7) jaminan sosial tenaga kerja, 8) upah minimum.

Penelitian Terdahulu. Hasil penelitian menunjukan bahwa dominan pekerja menggunakan pembayaran upah kerja berdasarkan volume pekerjaan 58.84% dan menggunakan jam kerja atau dalam bentuk upah harian sejumlah 41.16%. Kemudian faktor-faktor yang mempengaruhi pada sistem pembayaran upah kerja terhadap konstruksi yaitu : (a) Faktor yang berpengaruh volume kerja: 1) Tambahan jam kerja, 2) Pekerjaan yang khusus, 3) Lokasi pekerjaan terpencil, 4) Produktivitas pekerja tinggi, 5) Kompetensi pekerja terpenuhi, 6) Berpengalaman di atas 2 tahun, 7) Risiko kerusakan material rendah. (b) Faktor yang berpengaruh berdasarkan jam kerja: 1) Pengalaman kerja kurang dari 2 tahun, 2) Kondisi cuaca, 3) Ketersediaan material, 4) Upah kerja yang mahal, 5) Jam kerja kurang dari 7 jam per hari, 6) penguasaan alat yang sulit, 7) Produktivitas pekerja rendah. [1]

Hasil penelitian menunjukkan Baik pekerja tetap maupun pekerja lepas konstruksi memiliki beban biaya pekerjaan di luar upah/gaji. (1) proporsi bebas biaya pekerja terhadap keseluruhan biaya upah, (2) beban

biaya yang dibayarkan secara langsung (3) biaya yang dibayarkan secara tidak langsung. [5]

3 METODE PENELITIAN

Metode penelitian dapat diartikan sebagai cara ilmiah untuk mendapatkan data yang valid dengan tujuan dapat ditemukan, dikembangkan, dan dibuktikan, suatu pengetahuan tertentu sehingga dapat digunakan untuk memahami, memecahkan, dan mengantisipasi masalah. [6]

Pada penelitian ini digunakan jenis penelitian lapangan yakni pengamatan langsung terhadap obyek yang diteliti guna mendapat data yang relevan.

4 DATA PENELITIAN

Data penelitian bersumber dari hasil kuesioner dan wawancara. Pada penelitian lokasi di sekitar Kota Palu, Provinsi Sulawesi Tengah yaitu pada *Proyek Package Civil Work (Cw) Sea Port 3: Works For Recostruksi Of Pantoloan Port*, yang berlokasi di Proyek Terminal Pantoloan, Kel. Pantoloan, Kec. Tawaeli, Kota Palu, Prov. Sulawesi Tengah

Setelah mendapatkan data-data yang relevan terhadap penelitian ini selanjutnya data diolah dan dianalisis sesuai dengan metode-metode penunjang. Pada penelitian ini digunakan metode sebagai berikut: 1) Statistik Deskriptif, 2.) Statistik Inferensial, *Relative Rank Indeks*.

Populasi dan Sampel. Populasi adalah wilayah generalisasi yang terdiri: objek/subjek yang mempunyai kuantitas dan karakteristik tertentu yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari dan kemudian ditarik kesimpulannya. Populasi bukan hanya orang tapi juga objek dan benda-benda. Populasi juga bukan sekedar jumlah yang ada pada objek/subjek yang dipelajari, tetapi meliputi karakteristik atau sifat yang dimiliki oleh subjek atau objek itu.

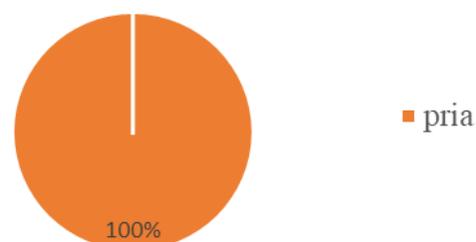
Populasi dari penelitian ini adalah mandor dan tukang yang bekerja di Pantoloan Kota Palu wilayah bagian Timur. Sampel adalah bagian dari jumlah dan karakteristik yang dimiliki oleh populasi.

Pembuatan Kuesioner. Kuesioner merupakan teknik pengumpulan data yang efisien bila peneliti tahu dengan pasti variabel yang akan diukur dan tahu apa yang bisa disampaikan dari responden. Kuesioner dapat berupa pertanyaan atau pertanyaan yang tertutup atau terbuka, dapat diberikan secara langsung ke responden. Kuesioner yang digunakan seperti pada Tabel 1.

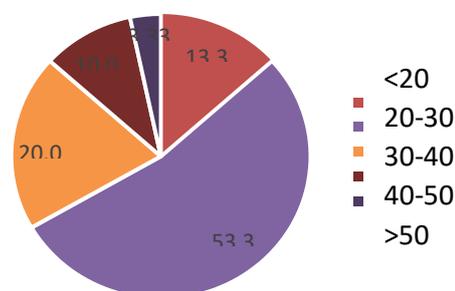
5 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengumpulan Data. Dari hasil penelitian yang dilakukan menggunakan kuesioner penelitian, diperoleh hasil penelitian tentang bagaimana seorang pekerja dalam mendapatkan sistem pembayaran upah kerja. Hal ini ditinjau dari pendapat para responden yang telah mengisi kuesioner penelitian yang terdiri atas 34 pertanyaan.

Karakteristik Umum Responden. Informasi responden berisi mengenai latar belakang pendidikan dan pengalaman kerja. Adapun pembahasannya akan dibahas tiap-tiap item pertanyaan yang dibantu dengan analisa statistik deskriptif dan juga Gambar 1-Gambar 4.



Gambar 1 Grafik jenis kelamin responden



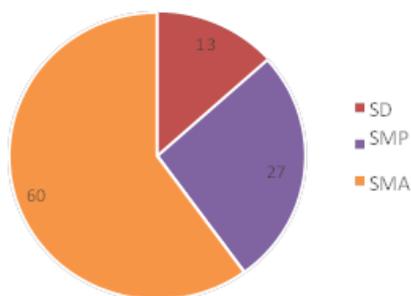
Gambar 2 Grafik umur responden

Untuk metode *relative rank index* atau pemberian ranking dapat dilihat berdasarkan nilai index yang telah dihitung. Berikut rekapitulasi nilai index dan ranking

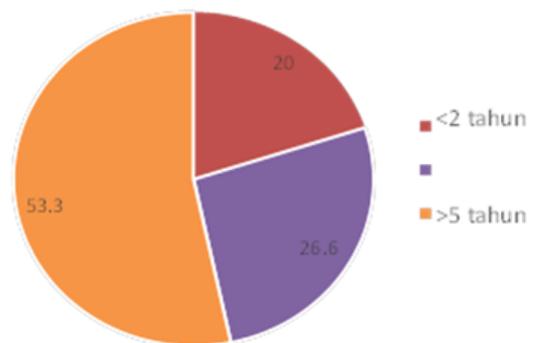
Tabel 1 Konsep faktor-faktor yang mempengaruhi upah

Faktor utama	Faktor	Pertanyaan
Keselamatan dan kesehatan kerja	Alat pelindung diri dan alat pelindung kerja	Disiapkan
		Tidak disiapkan
Karakteristik pekerja	Pengalaman kerja	Pekerjaan sejenis Tanpa pengalaman
	Produktivitas Pekerja	Tinggi
		Rendah
	Upah kerja	Tinggi
Standar		
Kontrak kerja	Durasi pelaksanaan	Terpenuhi
		Terbatas
	Pengawasan	Panjang
		Singkat
Jam kerja / hari kerja	Ketat	
	Longgar	
Karakteristik pekerjaan	Jenis pekerjaan	7 Jam/Hari
		Tambahan jam kerja
	Volume pekerjaan	Sulit
		Mudah
	Lokasi pekerjaan	Besar
		Kecil
	Risiko pekerjaan	Terpencil
Terjangkau		
Material	Cuaca lokasi pekerjaan	Tinggi
		Sedang
	Kondisi stok material	Ekstrem (Terik, dingin & curah hujan tinggi)
		Normal
Peralatan/teknologi	Aplikasi/penggunaan	Terpenuhi
		Kurang
Peralatan/teknologi	Jumlah peralatan	Tinggi
		Rendah
		Sulit
	Mudah	
	Jumlah peralatan	Terpenuhi
		Kurang/Terbatas

untuk variabel faktor X1.1 menurut para pekerja konstruksi.



Gambar 3 Grafik tingkat pendidikan



Gambar 4 Grafik pengalaman kerja

Contoh perhitungan data hasil penelitian:

Responden yang memilih sistem jam kerja/harian = 14 Responden

Responden yang memilih sistem volume kerja/borong = 46 Responden

Jumlah Responden = 60 Responden

Penyelesaian :

Relative rank index sistem jam kerja/harian

$$\frac{14}{60} \times 100 = 23,33\%$$

Relative rank index sistem volume kerja/borong

$$\frac{46}{60} \times 100 = 67,67\%$$

Data penelitian bersumber dari hasil kuesioner. Jumlah responden yang menjadi sampel penelitian sekitar 60 di Proyek *Package Civil Work (Cw) Sea Port 3: Works For Recostruksi Of Pantoloan Port*, yang terletak di Kel. Pantoloan, Kec. Tawaeli, Kota Palu, Prov. Sulawesi Tengah. Kemudian rata-rata hasil penelitian yang ada pada Tabel 2 menunjukkan bahwa dominan pekerja menggunakan pembayaran upah kerja berdasarkan volume pekerjaan dengan nilai 57.94% dan yang menggunakan jam kerja atau dalam bentuk upah harian dengan nilai 42.06%.

Tabel 2 Data hasil *Relative Rank Indeks (RRI)* tentang faktor-faktor yang mempengaruhi tukang dalam menerima upah kerja

Variabel	Indikator	Sub indikator	Jenis pembayaran	
			Upah harian / sistem jam kerja (%)	Volume kerja / borongan (%)
		Σ	42,06	57,94
Keselamatan dan kesehatan kerja	Alat pelindung diri dan alat pelindung kerja	Disiapkan	23,33	76,67
		Tidak disiapkan	48,33	51,67
Karakteristik pekerja	Pengalaman kerja	Pekerjaan sejenis	26,67	73,33
		Tanpa pengalaman	38,33	61,67
	Produktivitas Pekerja	Tinggi	30,00	70,00
		Rendah	38,33	61,67
	Upah kerja	Tinggi	26,67	73,33
		Standar	40,00	60,00
Jumlah pekerja	Terpenuhi	26,67	73,33	
	Terbatas	55,00	45,00	
Kontrak kerja	Durasi pelaksanaan	Panjang	18,33	81,86
		Singkat	43,33	56,67
	Pengawasan	Ketat	61,67	38,33
		Longgar	40,00	60,00
	Jam kerja / hari kerja	7 Jam/Hari	48,33	51,67
		Tambahan jam kerja	41,57	58,33
Karakteristik pekerjaan	Jenis pekerjaan	Sulit	30,00	70,00
		Mudah	41,67	58,33
	Volume pekerjaan	Besar	35,00	65,00
		Kecil	55,00	45,00
	Lokasi pekerjaan	Terpencil	30,00	70,00
		Terjangkau	50,00	50,00
	Risiko pekerjaan	Tinggi	63,33	36,67
		Sedang	45,00	55,00
	Cuaca lokasi pekerjaan	Ekstrem (Terik, dingin & curah hujan tinggi)	41,67	58,33
		Normal	41,67	58,33
Material	Kondisi stok material	Terpenuhi	33,33	66,67
		Kurang	51,67	48,33
	Risiko kerusakan	Tinggi	46,67	53,33
		Rendah	65,00	35,00
Peralatan/teknologi	Aplikasi/penggunaan	Sulit	36,67	63,33
		Mudah	56,67	43,33
	Jumlah peralatan	Terpenuhi	56,67	43,33
		Kurang/Terbatas	43,33	56,67

Tabel 3 Sistem pembayaran berdasarkan volume pekerjaan

	Indikator	Sub indikator	(%)	Rank
X3.1	Durasi Pelaksanaan	Panjang	81,86	1
X1.1	Alat pelindung diri & kerja (APD & APK)	Disiapkan	76,67	2
X2.7	Jumlah pekerja	Terpenuhi	73,33	3

Pada Tabel 3 menunjukkan bahwa beberapa indikator teratas yang mempengaruhi dalam menentukan sistem pembayaran upah kerja berdasarkan volume pekerjaan yang diselesaikan yaitu: [7]

- a) Durasi pelaksanaan pekerja yang panjang dapat menghasilkan waktu proyek dalam mempercepat pekerjaan. Pembangunan suatu proyek mulai dari tahap persiapan hingga selesai. Agar proyek yang dibangun dapat selesai dengan tepat waktu diperlukan suatu perencanaan waktu yang baik.
- b) Alat pelindung diri dan alat pelindung kerja di siapkan untuk melindungi para pekerja dalam melakukan segala bentuk kegiatan pekerja.
- c) Jumlah pekerja terpenuhi dapat mempercepat produktivitas pekerjaan. Penambahan jumlah pekerja untuk mempercepat durasi proyek, maka yang harus dipercepat adalah kegiatan-kegiatan yang ada pada lintasan kritis. Percepatan tersebut dapat dilakukan dengan berbagai cara misalnya menambah tenaga kerja, melakukan kerja lembur, menambah peralatan, merubah metode pelaksanaan dan lain-lain. Penambahan jumlah tenaga kerja yang dipakai maka semakin cepat pula waktu pelaksanaan dari proyek tersebut.

Sistem pembayaran upah kerja berdasarkan jam kerja pada Tabel 4 menunjukkan bahwa indikator yang teratas mempengaruhi sistem pembayaran. Hal ini, menunjukkan bahwa pekerja menghindari resiko besar buat mereka, yang terkait dengan hal produktivitas yaitu:

Tabel 4 Sistem pembayaran berdasarkan jam kerja

	Indikator	Sub indikator	(%)	Rank
X4.7	Risiko pekerjaan	Tinggi	63,33	1
X1.2	Alat pelindung diri & kerja (APD & APK)	Tidak disiapkan	48,33	2
X6.4	Jumlah peralatan	Kurang	43,33	3

- a) Risiko Pekerjaan dan tingkat bahaya yang lebih tinggi dikarenakan dengan peralatan berat, bahan-bahan kimia berbahaya atau lain sebagainya menjadi pemicu kecelakaan kerja dengan persentase masing-masing yakni kecelakaan akibat jenis pekerjaan yang tidak aman dan kondisi lapangan kerja. Bahaya pekerjaan sesuatu yang diderita pekerja akibat melakukan pekerjaannya, dan memiliki risiko jangka panjang dan jangka pendek yang berkaitan dengan lingkungan pekerjaan. Risiko pekerjaan yang begitu tinggi berdampak pada kinerja proyek. [8]
- b) Bahaya ini ditimbulkan karena kurangnya alat penunjang pekerjaan yang memadai sehingga dapat menimbulkan cedera bagi pekerja maka perlu adanya alat pelindung diri (APD) dan alat pelindung kerja di siapkan alat pelindung diri suatu alat yang mempunyai kemampuan untuk melindungi tenaga kerja yang berfungsi untuk memproteksi sebagian atau seluruh tubuh dari potensi bahaya di tempat kerja dan penyakit akibat kerja. [7]
- c) Jumlah peralatan yang kurang dan resiko kerusakan alat dapat mempengaruhi pekerja dalam pekerjaan yang beresiko keterlambat pekerja dalam melakukan pekerjaannya beberapa faktor resiko kerusakan alat yang dapat menimbulkan keterlambatan kerja [8], berikut faktor peralatan terdiri dari: 1) Kerusakan peralatan, 2) Kekurangan peralatan, 3) Kemampuan mandor atau operator yang kurang, 4) Keterlambatan pengiriman peralatan, 5) Produktifitas peralatan, 6) Kesalahan manajemen peralatan.

6 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan :

- 1) Untuk sistem pembayaran upah berdasarkan pembayaran kerja harian yang paling dominan yaitu faktor material (X5) dengan nilai 0,492.
- 2) Untuk sistem pembayaran upah berdasarkan volume yang paling dominan yaitu faktor karakteristik pekerja (X2) dengan nilai 0,684.
- 3) Faktor yang paling berpengaruh untuk sistem pembayaran berdasarkan volume kerja yang dilaksanakan adalah faktor Kontrak kerja dengan indikator durasi pelaksanaan pekerja yang panjang dapat menghasilkan waktu proyek dalam mempercepat pekerjaan dengan nilai 81,86%.
- 4) Faktor yang paling berpengaruh untuk sistem pembayaran berdasarkan jam kerja adalah faktor Karakteristik Pekerjaan dengan indikator risiko Pekerjaan dengan nilai 63,33%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Asnudin, "Faktor-faktor yang mempengaruhi pekerja konstruksi memilih sistem pembayaran upah kerja (Kasus Provinsi Sulawesi Tengah)," *Jurnal Inersia*, vol. 13, no. 1, pp. 48-54, 2021.
- [2] S. Djojohadikusumo, *Perkembangan pemikiran ekonomi: Dasar teori ekonomi pertumbuhan dan ekonomi pembangunan*, Jakarta: LP3ES, 1994.
- [3] A. Thomas, "Skripsi: Analisis produktifitas tenaga kerja pada pekerjaan struktur rangka atap baja," Fakultas Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret, Surakarta, 2010.
- [4] E. Sutrisno, *Manajemen Sumber Daya Manusia*, Jakarta: Penerbit Kencana, 2017.
- [5] S. H. S. Lukmanasari and B. W. Soemardi, "Studi upah dan beban biaya pekerja konstruksi di Indonesia (Studi kasus: Pekerja konstruksi gedung di Pulau Jawa)," *Jurnal Media Komunikasi*

Teknik Sipil, vol. 22, no. 2, pp. 87-98, 2016.

- [6] Sugiyono, *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*, Bandung: Penerbit Alfabeta, 2014.
- [7] Kadarisman, *Manajemen Kompensasi*, Jakarta: Rajawali Pers, 2016.
- [8] W. I. Evrianto, *Manajemen Proyek Konstruksi*, Yogyakarta: Penerbit Andi, 2005.



ANALISA DINAMIS PADA PORTAL GEDUNG BERTINGKAT TERHADAP BEBAN GEMPA SESUAI SNI 1726:2019 WILAYAH KOTA PALU

Arzal M. Zain*¹, Eko Widodo¹, Moh. Nugar Arlangga¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Palu, Palu, Jalan Hang Tuah No. 114

Penulis korespondensi: achal1808@gmail.com

DISUBMIT 17 Desember 2023

DIREVISI 15 Juni 2024

DITERIMA 19 Juni 2024

ABSTRAK Pemanfaatan ilmu pengetahuan bidang teknik sipil dari hari ke hari semakin tidak dapat dipisahkan dalam kehidupan masyarakat, terutama pada suatu daerah yang maju, di mana terjadi kepadatan penduduk, kelangkaan lahan dan harga lahan yang tinggi, sebagai salah satu alternatif untuk hal tersebut dipergunakan bangunan bertingkat banyak. Getaran permukaan tanah akibat gempa sering kita rasakan yang mempunyai dampak pada struktur gedung bertingkat dan merupakan bukti nyata, bahwa negara kita sebagian besar berada di daerah wilayah gempa. Menurut pedoman perencanaan ketahanan gempa untuk rumah dan gedung (SNI 1726:2019) analisa dinamis dapat dilakukan dengan analisa ragam spektrum respons. Struktur bangun penahan geser hanya memperhitungkan gaya horizontal dan defleksi lateral. Besarnya perpindahan, bentuk perubahan struktur tergantung pada besar kecilnya nilai perbandingan antara massa dan kekakuan kolom. Metode matriks sangat berperan dalam menentukan *Cicular Natural Frequency* (ω) dan bentuk perubahan struktur (*mode shape*) dan mode superposisi berperan untuk mensuperposisikan antara gaya-gaya yang bekerja dengan perpindahan ke bentuk yang lebih sederhana. Pada dasarnya gaya gempa yang sebenarnya sangat sulit untuk diramalkan, namun analisa pendekatan untuk mendapatkan gaya gempa rencana yang mampu dipikul oleh struktur.

KATA KUNCI Dinamis; Spektrum Respons; Matriks; Superposisi

1 LATAR BELAKANG

Pemanfaatan ilmu pengetahuan bidang teknik sipil dari hari ke hari semakin tidak dapat dipisahkan dalam kehidupan masyarakat, terutama pada suatu daerah yang maju, di mana terjadi kepadatan penduduk, kelangkaan lahan dan harga lahan yang tinggi, sebagai salah satu alternatif untuk hal tersebut dipergunakan bangunan bertingkat banyak. Getaran permukaan tanah akibat gempa sering kita rasakan yang mempunyai dampak pada struktur gedung bertingkat dan merupakan bukti nyata, bahwa negara kita sebagian besar berada di daerah wilayah gempa. Olehnya itu dalam merencanakan struktur, di samping efisien juga harus teliti, apalagi terhadap beban gempa, karena bentuk maupun besar getaran permukaan tanah saat terlanda gempa masih merupakan suatu hal yang sulit diramalkan. Pada umumnya perencanaan struktur gedung bertingkat sudah cukup kuat terhadap beban vertikal dibanding terhadap beban lateral.

Namun perkembangan-perkembangan terakhir dengan analisa dinamis untuk suatu struktur gedung bertingkat terhadap beban gravitasi memungkinkan. Analisa dan perencanaan struktur gedung bertingkat seperti yang dimaksud di atas dipengaruhi beban-beban dinamis dan statis termaksud pula dengan gaya-gaya inersia yang bergantung pada waktu. Cara ini dimungkinkan oleh penggunaan struktur rangka kaku dengan anggapan-anggapan dan model matematik yang lebih disederhanakan Metode analisa *spectrum respon*, guna memenuhi perencanaan struktur yang efisien dan teliti.

Pada tahun 2019 standar baru tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung telah diperbarui, yaitu SNI 1726:2019. Dalam SNI tersebut disebutkan bahwa respons struktur akibat beban gempa yang terjadi dapat dianalisis dengan analisis statik ekuivalen, analisis spektrum respon, dan analisis riwayat waktu (*Time History*).

Oleh karena itu penulis tertarik untuk menganalisis struktur bangunan dengan portal bidang yang menggunakan analisa dinamis. Pemilihan portal bidang merupakan struktur dasar, disebabkan oleh keinginan penulis untuk mengaplikasikan analisa dinamis pada struktur yang sederhana terlebih dahulu sebagai jembatan pada studi yang lebih lanjut terhadap struktur-struktur yang rumit dan kompleks, yang mana dalam penelitian ini dipakai rekaman gempa yang telah disesuaikan dengan respons spektrum desain Kota Palu.

2 MAKSUD DAN TUJUAN PENELITIAN

- a. Maksud dari penulisan ini adalah untuk menganalisis struktur gedung bertingkat terhadap gempa secara teliti.
- b. Tujuan dari penulisan ini adalah untuk memahami lebih jauh tentang analisa dinamis, serta mengetahui sejauh mana pengaruh gaya gempa pada struktur dengan cara analisa dinamis.

3 TINJAUAN PUSTAKA

Berdasarkan hasil penelitian tentang Analisa dinamis pada portal gedung bertingkat terhadap beban gempa dengan mengambil kesimpulan yaitu: [1]

- a. Struktur bangunan penahan geser hanya memperhitungkan gaya horizontal dan defleksi lateral.
- b. Besarnya perpindahan, bentuk perubahan struktur tergantung pada besar kecilnya nilai perbandingan antara massa kekakuan kolom.
- c. Metode matriks sangat berperan dalam menentukan *circular Natural Frequency* (ω) dan bentuk perubahan struktur (*mode shape*) dan metode superposisi berperan untuk mensuperposisikan antara gaya-gaya yang bekerja dengan perpindahan ke bentuk yang lebih sederhana.

Berdasarkan hasil penelitian tentang Evaluasi kekakuan metode klasik kaitannya dengan hasil paket program dan implikasinya terhadap respons struktur bangunan bertingkat dengan mengambil kesimpulan yaitu: [2]

Implikasi dari setiap struktur yang diberikan beban gaya gempa horizontal dari analisis dinamik response spektra terbukti menimbulkan *displacement*, momen balok, dan aksial kolom yang lebih besar pada struktur dibandingkan pembebanan gempa dengan analisis ekivalen statik. Momen balok, dan aksial kolom terbesar terletak pada tingkat-tingkat bagian bawah hal ini menunjukkan bahwa balok dan kolom pada tingkat bawah memiliki risiko kegagalan struktur yang lebih tinggi. Pola hasil respons struktur seperti *displacement*, momen balok dan aksial kolom mengikuti pola distribusi gaya gempa horizontal yang diberikan pada setiap struktur tingkat, di mana semakin besar gaya yang diberikan maka akan semakin besar pula *displacement*, momen balok dan aksial kolom yang didapatkan.

Berdasarkan hasil penelitian tentang Analisa dinamis gaya gempa pada bangunan berdasarkan SNI 03-1726 2012 dengan mengambil kesimpulan yaitu: [3]

- a. Berdasarkan SNI 2847:2013 dan *respon spectrum* yang tepat sesuai lokasi struktur dibangun, maka diperoleh luas tulangan longitudinal yang lebih ekonomis dan aman serta tetap tahan gempa yaitu lantai 1 sampai dengan 5, dimensi kolom 600 mm x 600 mm dengan penulangan 32 D25.
- b. Nilai simpangan (*displacement*) terbesar adalah 66,36 mm untuk arah x dan terkecil adalah 22,01 mm untuk arah y di mana simpangan ijin sebesar 76,8 mm.

4 LANDASAN TEORI

Gempa bumi merupakan getaran yang bersifat alamiah yang disebabkan oleh adanya pergerakan kerak bumi (lempeng bumi) yang menghasilkan energi gelombang yang diteruskan oleh media tanah sampai ke permukaan tanah. Tanah yang bergetar akibat gempa akan mengakibatkan bangunan yang berada di atasnya akan ikut bergetar. Kerusakan bangunan sering terjadi akibat peristiwa gempa bumi, khususnya pada daerah-daerah tertentu.

Selama gempa bumi bangunan mengalami gerakan vertikal dan gerakan horizontal [4]. Gaya inersia atau gaya gempa, baik dalam arah vertikal maupun horizontal, akan timbul di titik-titik pada massa struktur. Dari kedua gaya ini, gaya dalam arah vertikal hanya sedikit mengubah gaya gravitasi (*gravity*) yang bekerja pada struktur, sedangkan struktur biasanya direncanakan terhadap gaya vertikal dengan faktor keamanan yang memadai. Oleh karena itu, struktur umumnya jarang sekali runtuh akibat gaya gempa vertikal. Sebaliknya, gaya gempa horizontal menyerang titik-titik lemah pada struktur yang kekuatannya tidak memadai dan akan langsung menyebabkan keruntuhan/kegagalan (*failure*).

Struktur bangunan normal (gedung perkantoran, bangunan sekolah, toko, dan sebagainya), pada umumnya tidak perlu di desain untuk menahan gaya gempa kuat dengan respons elastik tanpa mengalami kerusakan [5]. Bila struktur berespons elastik, maka diperlukan dimensi dan kekuatan struktur yang besar dan bernilai tidak ekonomis.

Oleh sebab itu, pada saat gempa kuat terjadi risiko kerusakan tidak sampai menyebabkan keruntuhan struktur pada tingkat desain tertentu. Dengan Landasan di atas, maka kerusakan struktur pada saat gempa kuat berlangsung harus didesain sehingga menjadi bangunan tahan gempa yaitu bangunan yang mampu bertahan dan tidak runtuh jika terjadi gempa. Filosofi bangunan tahan gempa adalah sebagai berikut: [6]

- 1) Pada gempa kecil (*light*, atau minor *earthquake*) yang sering terjadi, maka struktur utama bangunan harus tidak rusak dan berfungsi dengan baik. Kerusakan kecil yang masih dapat ditoleransi pada elemen non struktur masih dibolehkan,
- 2) Pada gempa menengah (*moderate earthquake*) yang relatif jarang terjadi, maka struktur utama bangunan boleh rusak/retak ringan tapi masih dapat diperbaiki. Elemen non struktur dapat saja rusak tetapi masih dapat diganti yang baru.

- 3) Pada gempa kuat (*strong earthquake*) yang jarang terjadi, maka bangunan boleh rusak tetapi tidak boleh runtuh total (*totally collapse*). Kondisi seperti ini juga diharapkan pada gempa besar (*great earthquake*), yang tujuannya adalah melindungi manusia/penghuni bangunan secara maksimum.

Dalam menganalisis struktur pada umumnya adalah tidak mudah dan tidak selalu dapat ditemukan solusi matematis yang tepat untuk masalah teknik, akan tetapi tergantung pada bentuk dan jenis beban yang bekerja pada struktur tersebut. Pada dasarnya beban yang bekerja terhadap struktur terdiri dari beban tetap dan beban sementara.

Beban gempa merupakan salah satu beban sementara yang solusinya agak rumit, karena bekerja secara berulang-ulang (dinamis) pada struktur gedung. Massa gedung mengalami pergerakan dan dari pergerakan ini timbul gaya gempa yang mengakibatkan terjadinya perpindahan pada koordinat struktur. Dengan demikian solusi didapat dengan anggapan dan idealisasi yang sesuai guna dapat menguasai penyelesaian matematis yang diperlukan.

Dasar-Dasar Analisa. Dalam perencanaan suatu struktur gedung bertingkat terhadap gempa dikenal dua cara analisa menurut pedoman perencanaan ketahanan gempa untuk rumah dan gedung (SNI 1726:2019), yaitu: 1) Analisa statis ekuivalen; 2) Analisa dinamis.

Bangunan sipil sebagian besar dapat direncanakan dengan baik dan memakai anggapan bahwa beban gempa yang dipikul adalah suatu beban statis, namun demikian beban gempa adalah merupakan beban dinamis yaitu suatu beban yang berubah-ubah sesuai dengan waktu. Analisa statis ekuivalen hanya dapat dipergunakan untuk struktur-struktur yang beraturan. Sedangkan analisis dinamis harus dilakukan untuk gedung-gedung yang menurut pedoman perencanaan gempa untuk rumah dan gedung (SNI 1726:2019), sebagai berikut:

- a) Gedung-gedung yang strukturnya sangat tidak beraturan.
- b) Gedung-gedung dengan kekakuan tingkat yang tidak merata.
- c) Gedung-gedung dengan kekakuan tingkat yang tidak merata.
- d) Gedung-gedung yang tingginya lebih dari 40 meter.
- e) Gedung-gedung yang bentuk, ukuran dan penggunaannya tidak umum.

Walaupun demikian, struktur-struktur gedung yang beraturan dapat di analisa dengan analisa dinamis apabila diinginkan, karena dengan statis:

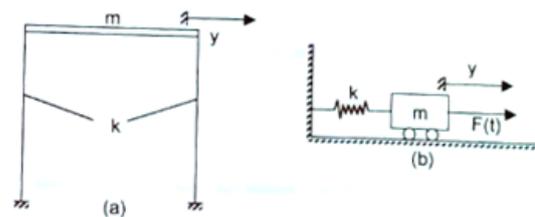
- a) Analisa dinamis akan memberikan hasil yang lebih teliti dan efisien dibanding analisa statis ekuivalen.
- b) Selain berat sendiri sebenarnya tidak ada satu beban pun dapat dikatakan statis.

Beban dinamis ditimbulkan oleh gaya gempa, angin yang tidak tetap, ledakan, mesin torak atau kejut (*impact*) akibat beban bergerak. Masalah dinamis akan dibahas sekarang ini yang gayanya tergantung pada waktu dan menyebabkan getaran pada struktur, jadi kita perlu memperhitungkan gaya akibat inersia massa yang mempunyai percepatan. Untuk itu, kita gunakan Hukum Gerak Newton kedua yang menyatakan bahwa hasil kali massa dan percepatannya sama dengan gaya.

Suatu struktur elastis yang diganggu dari keadaan seimbangnya oleh pemberian dan penghilangan gaya akan bergetar terhadap posisi keseimbangan statisnya. Jadi perpindahan di suatu titik pada struktur akan bervariasi secara periodik antara batas tertentu dalam segala arah. Jarak antara batas ini dan posisi seimbang disebut amplitudo getaran. Bila tidak ada gaya luar disebut getaran bebas, dan akan berlangsung terus dengan amplitudo yang tetap. Gerak selama periode pemberian beban luar disebut gerak gaya (*forced motion*). Ini bisa berupa gerak gaya terendam atau tak terendam, yang tergantung pada ada atau tidaknya gaya penahan. Dengan adanya gerakan akibat gaya, maka struktur akan mengalami perpindahan, dan

struktur akan di analisa dengan analisa sistim dasar, yaitu struktur yang dimodifikasikan sebagai sistim dengan koordinat perpindahan tunggal.

Persamaan Gerak. Pada umumnya struktur-struktur yang akan ditinjau selalu dapat di idealisasikan sebagai hubungan massa dan pegas sebagaimana pada Gambar 1 ini yang menunjukkan suatu balok yang mempunyai massa (m) dan terletak di atas dua tumpuan, massa (m) di hambat oleh pegas k dan bergerak menurut garis lurus sepanjang satu sumber koordinat. Massa diambil dari berat bangunan dibagi oleh percepatan gravitasi dan konstanta pegas k dicari dari kekakuan struktur bersangkutan, yaitu dengan mencari gaya yang dibutuhkan untuk menyebabkan pergeseran/perpindahan.



Gambar 1 (a) Uraian gaya-gaya pada portal yang diidealisasikan sebagai massa dan pegas (b) Model matematis portal yang diidealisasikan

Dengan mengambil model matematis pada Gambar 1 dianggap bahwa tiap elemen dalam sistem menyatakan satu sifat khusus, yaitu massa m yang hanya menyatakan sifat khusus inersia, pegas k menyatakan elastisitas dan gaya $F(t)$ menyatakan gaya luar sebagai fungsi waktu.

Berdasarkan Gambar 1 Hukum gerak newton kedua dapat dipergunakan untuk menentukan gaya inersia tersebut yang diberi notasi FI dan gaya pegas FS .

Dan sistim pada Gambar 1 persamaan geraknya dapat dicari dengan menggunakan persamaan kesetimbangan gaya sebagai berikut: [7]

$$FI + FS = F(t) \tag{1}$$

Di mana, $FI = m\ddot{y}$ dan $FS = ky$. Atau ditulis dalam bentuk matriks:

$$[FI] = [m][\ddot{y}] \tag{2}$$

$$[FS] = [k][y] \tag{3}$$

Sehingga persamaan gerak menjadi:

$$[m][\ddot{y}] + [k][y] = [F(t)] \tag{4}$$

Getaran Bebas. Bila ditinjau kondisi getaran bebas (*free vibration*), maka struktur sama sekali tidak dipengaruhi gaya luar dan gerakannya hanya dipengaruhi oleh kondisi awal suatu keadaan di mana perlu menentukan gerak dari struktur pada kondisi getaran bebas, meskipun kondisi ini jarang dijumpai.

Frekuensi Natural Pola Normal. Masalah getaran bebas memerlukan vektor gaya $\{F\}$ yang sama dengan nol untuk formula kekakuan dengan, [8]

$$[m][\ddot{y}] + [k][y] = 0 \tag{5}$$

Untuk gerak bebas struktur tak terendam, dicari solusi persamaan alam bentuk: $y_i = a_i \sin(\omega_t - \alpha)$, $i = 1, 2, 3, \dots, n$ atau dalam notasi vektor

$$\{y\} = \{a\} \sin(\omega_t - \alpha) \tag{6}$$

Di mana amplitudo gerak dari koordinat ke- i dan n adalah jumlah kebebasan. Substitusi persamaan (6) ke dalam persamaan (5) memberikan: $-\omega^2[m]\{a\} \sin(\omega_t - \alpha) + [k]\{a\} \sin(\omega_t - \alpha) = 0$, atau diatur kembali dalam matriks

$$[\{k\} - \omega^2\{m\}]\{a\} = 0 \tag{7}$$

Yang untuk kondisi umum kumpulan n buah sistem aljabar homogen dari persamaan linear dengan n besar perpindahan a_i yang tak diketahui dan sebuah parameter ω^2 , yang juga tak diketahui. Formulasi persamaan (7) adalah masalah matematis yang penting, yang dikenal sebagai "eigen problem". Solusi nontrivialnya, yaitu solusi di mana tidak semua harga $(a_i) = 0$, memerlukan determinan dari faktor-faktor matriks $\{a\}$ sama dengan nol, untuk itu hal ini

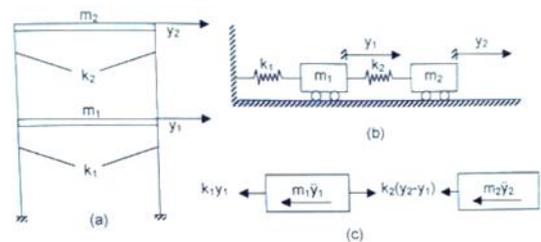
$$|[k] - \omega^2[m]| = 0 \tag{8}$$

Pada umumnya jawaban persamaan (8) mempunyai bentuk persamaan polinomial derajat n dalam besaran ω^2 , yang memenuhi persamaan (8) tersebut. Polinomial ini dikenal sebagai persamaan karakteristik (*characteristic equations*) dari sistim, di mana setiap harga ω^2 yang memenuhi persamaan karakteristik (8), kita dapat menyelesaikan persamaan (8) untuk mendapatkan konstanta-konstanta a_1, a_2, \dots, a_n .

Sifat Ortogonalitas dan Pola Normal.

Sekarang akan dibahas sifat yang penting dari pola normal (*normal mode*) yaitu sifat ortogonalitas. Sifat ini merupakan dasar dari metode yang paling baik untuk penyelesaian masalah sistem berderajat kebebasan banyak, seperti pada Gambar 2 Kita mulai dengan menulis kembali persamaan gerak getaran bebas seperti pada Persamaan (7) yaitu: [8]

$$[k]\{a\} = \omega^2\{m\}\{a\} \tag{9}$$



Gambar 2 (a) Bangunan penahan geser tingkat dua (b) Model matematis sejumlah massa-berpegas untuk bangunan penahan geser tingkat dua (c) Diagram free body

Beban Gempa pada Struktur Gedung Beringkat.

Dari berbagai pengalaman yang telah terjadi atas kerusakan bangunan gedung akibat terlanda gempa, maka para ahli bangunan menganalisis gaya-gaya di dalam bagian struktur gedung. Gempa menggoncang gedung pada tiga arah dimensi, yaitu dua arah horizontal dan satu arah vertikal. Besarnya gaya vertikal kadang-kadang sampai dua pertiga gaya horizontalnya. Walaupun demikian biasanya gaya vertikal itu dianggap tidak ada dengan alasan :

- a. Pembesaran gaya batang akibat beban gempa vertikal tidak begitu berpengaruh karena pemberian angka keamanan pada

beban mati dan beban hidup yang sudah cukup besar.

- b. Bentuk struktur umumnya sudah kuat terhadap beban vertikal, namun kurang kuat terhadap beban horizontal.

5 METODE PENELITIAN

Suatu konstruksi nyata yang ada, pada umumnya akan terdiri dari banyak bagian yang kompleks seperti struktur tahan gempa. Konstruksi-konstruksi demikian sudah sangat sulit diselesaikan hanya dengan memakai persamaan-persamaan kesetimbangan, diidealisasi, dengan harapan agar dapat diselesaikan berdasarkan analisa matematik yang sederhana, yaitu sedapat mungkin dalam hubungan persamaan-persamaan yang linear. Untuk metode matematik yang akan digunakan dalam penyelesaian analisa adalah metode matriks untuk menentukan eigen vektor dan eigen value, metode superposisi untuk menyederhanakan sistem derajat kebebasan banyak menjadi sistem derajat kebebasan tunggal.

Berikut uraian dari kedua metode tersebut :

1. Metode Aljabar Matriks. Aljabar matriks digunakan dalam analisa struktur atas dua alasan. Pertama matriks bisa menyatakan suatu himpunan besaran aljabar atau numerik dengan simbol tunggal, jadi notasi matriks boleh dianggap sebagai penyingkatan tulisan.

2. Metode Superposisi. Prinsip ini menyatakan bahwa perpindahan akibat beberapa gaya yang bekerja secara serentak sama dengan jumlah perpindahan akibat masing-masing gaya yang bekerja secara terpisah.

Aspek Perencanaan Terhadap Gempa : 1. Kategori Risiko Struktur Bangunan dan Faktor Keutamaan. Kategori risiko bangunan berkaitan dengan tingkat risiko yang diperbolehkan pada bangunan yang direncanakan sesuai peruntukannya. Untuk ketentuannya dapat dilihat pada SNI 1726-2019 pasal 4.1.2. Masing-masing kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung tersebut pengaruh gempa rencana

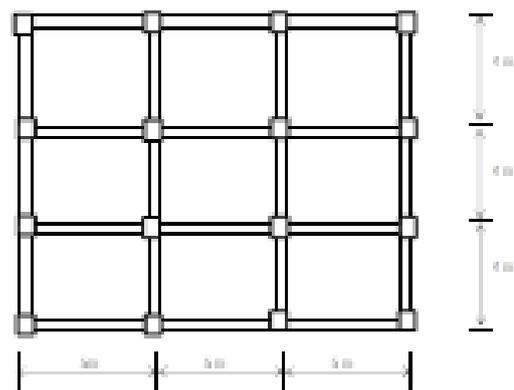
terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I_e . Nilai I_e berdasarkan kategori risiko bangunan dapat dilihat pada Tabel 1. **2. Sistem Struktur.** Sistem struktur yang digunakan harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian struktur yang di izinkan. Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem penahan beban lateral. **3. Parameter Percepatan Gempa.** Parameter percepatan gempa yang digunakan adalah percepatan batuan dasar pada periode pendek (S_s) pada 0,2 detik dan percepatan batuan dasar pada periode 1 detik (S_1) dengan probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun. Penggunaan percepatan 0,2 detik dan 1 detik dikarenakan pada interval 0,2 detik sampai 1 detik mengandung energi gempa terbesar. Nilai S_s dan S_1 dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5, sebagai berikut.

Tabel 1 Faktor keutamaan gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,5

6 JENIS DAN DATA-DATA BANGUNAN

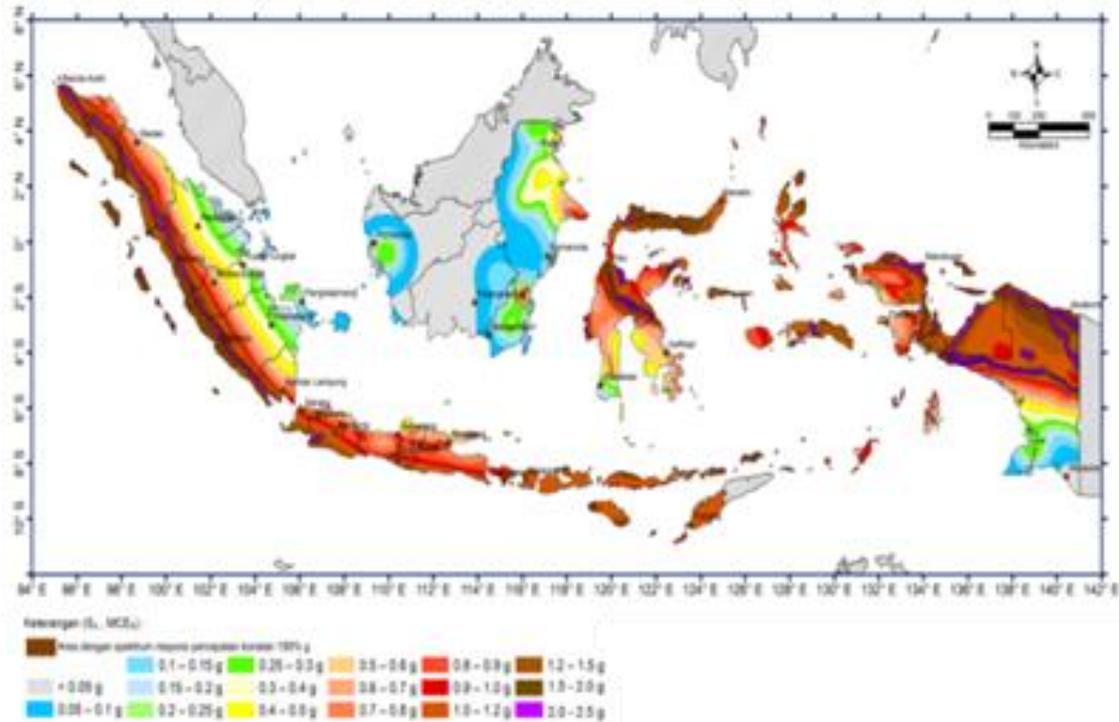
Penggunaan Teori Pada Portal Bidang. Diketahui struktur portal bidang bangunan penahan geser seperti pada Gambar 3 dan Gambar 6.



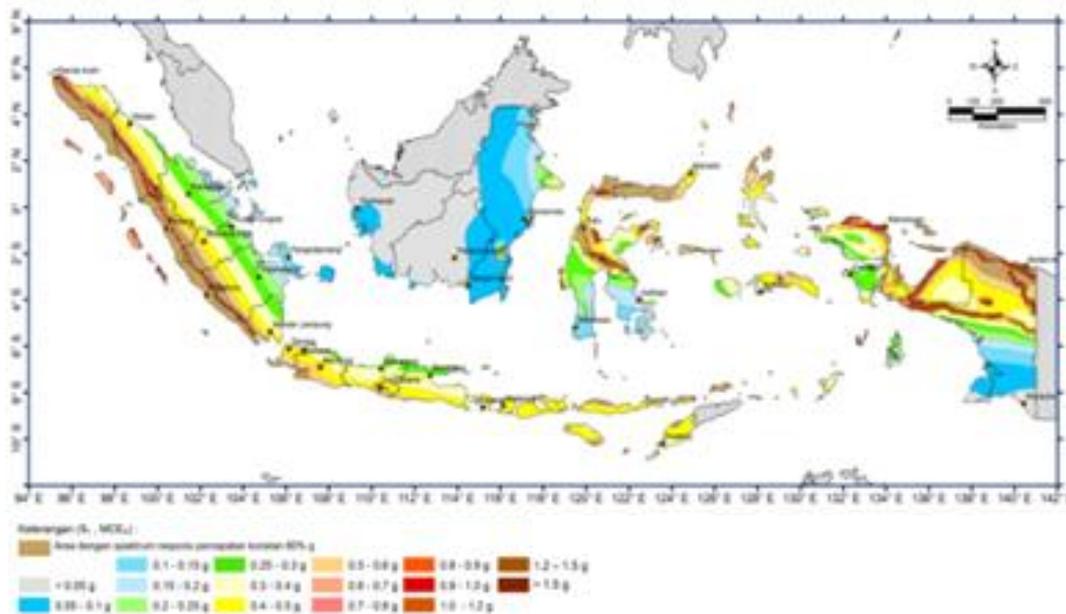
Gambar 3 Denah portal

Ukuran balok = 30 x 60 cm, Tebal plat atap = 10 cm, Tebal plat lantai = 12 cm, Kolom tingkat 1 dan 2 = 70 x 70 cm, Kolom tingkat 3, 4 dan 5 = 50 x 50 cm, Beban hidup atap = 100 kg/m², Beban hidup untuk semua lantai = 200 kg/m², dan struktur terletak di daerah

gempa wilayah kota Palu dengan kondisi tanah lunak.



Gambar 4 S_0 Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) kelas situs SB



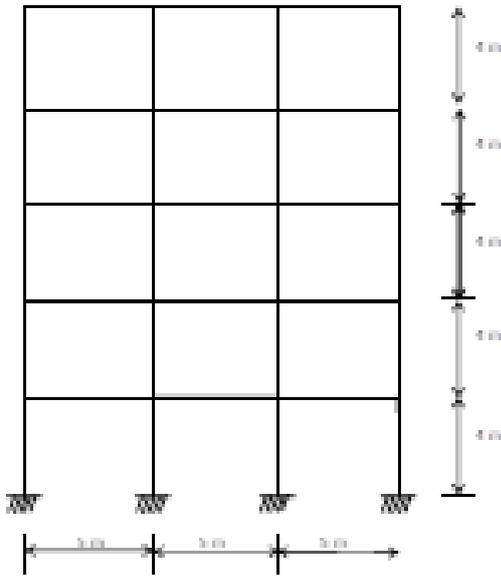
Gambar 5 S_1 Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget, kelas situs SB

7 HASIL DAN PEMBAHASAN

Menghitung berat bangunan (W). a) Berat lantai 1 (W1). Kolom $70 \times 70 = 0,70 \times 0,70 \times 2400 \times 4 \times 16 = 75264$ kg, Berat lantai = $0,12 \times 2400 \times 180 = 51840$ kg, Berat adukan 3 cm = $3 \times 21 \times 180 = 11340$ kg, Berat tegel 1 cm = $24 \times 180 = 4320$ kg, Berat balok arah X = $0,3 \times 0,6 \times 2400 \times 12 \times 4 = 20736$ kg, Berat balok arah Y = $0,3 \times 0,6 \times 2400 \times 12 \times 5 = 25920$ kg, Berat dinding $\frac{1}{2}$ batu = $250 \times 4 \times 54 = 54000$ kg, Beban mati = 243420 kg, Beban hidup = 8400 kg, Berat lantai 1 (W1) = 281820 kg, Jadi untuk total bangunan (Wt) = $W1 + W2 + W3$

$\times 2400 \times 12 \times 4 = 20736$ kg, Berat balok arah x = $0,3 \times 0,6 \times 2400 \times 12 \times 5 = 25920$ kg, Berat dinding $\frac{1}{2}$ batu = $250 \times 4 \times 54 = 54000$ kg, Beban mati = 243420 kg, Beban hidup = 8400 kg, Berat lantai 1 (W1) = 281820 kg, Jadi untuk total bangunan (Wt) = $W1 + W2 + W3$

$$+W4 +W5 = 281820 + 211260 + 244956 + 244956 + 165396 = 1148388 \text{ kg.}$$



Gambar 6 Potongan tipikal portal

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_5 \end{bmatrix}$$

Menentukan matriks kekakuan lateral [k] dan inersia kolom (I_k). I_1 dan $I_2 = (1/12)bh^3 = (1/12) \times 70 \times 70^3 = 2000833,333 \text{ cm}^4$. Mutu beton = 30 MPa, jumlah kolom n = 16 dan modulus elastisitas beton $E = 4700\sqrt{f'_c} = 4700\sqrt{30} = 2574,296 \text{ kg/cm}^2$, k_1 dan $k_2 = 12EI/h^3 = 12(2574,296)(28583,333/400^3) = 15452,212 \text{ kg/cm}$.

$$\begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & k_{14} & k_{15} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} & k_{24} & k_{25} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} & k_{34} & k_{35} \\ k_{41} & k_{42} & k_{43} & k_{44} & k_{45} \\ k_{51} & k_{52} & k_{53} & k_{54} & k_{55} \end{bmatrix}$$

Menentukan massa ke dalam bentuk matriks diagonal [m]. $m_1 = W_1/g = 281820/980 = 287,571 \text{ kg. dt}^2/\text{cm}$.

$$-\omega^2 \begin{bmatrix} 309044235 & -154522117.4 & 0 & 0 & 0 \\ -154522117 & 194744924 & -4022337.5 & 0 & 0 \\ 0 & -4022337.5 & 8044675 & -4022337.5 & 0 \\ 0 & 0 & -4022337.5 & 8044675 & -4022337.5 \\ 0 & 0 & 0 & -4022337.5 & 4022337.5 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 309044235 - 287571\omega^2 & -154522117.4 & 0 & 0 & 0 \\ -154522117 & 194744924 - 215571\omega^2 & -4022337.5 & 0 & 0 \\ 0 & -4022337.5 & 8044675 - 249955\omega^2 & -4022337.5 & 0 \\ 0 & 0 & -4022337.5 & 8044675 - 249955\omega^2 & -4022337.5 \\ 0 & 0 & 0 & -4022337.5 & 4022337.5 - 168771\omega^2 \end{bmatrix}$$

Sehingga deteminanya:

$$A5-286,0085763 \quad A4+24931,01641 \quad A3-8,54937 \times 105 \quad A2+1,05870 \times 107 \quad A-2,37717 \times 107$$

$$\begin{bmatrix} 30085,5504 & -15452,212 & 0 \\ -15452,212 & 18860,8 & -4022,337 \\ 0 & -4022,337 & 7332,915 \\ 0 & 0 & -4022,337 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Jadi untuk mode shape 1 bisa dilihat pada Gambar 7.

Menentukan angular natural frekuensi (ω) pola getaran bebas

$$[k] - \omega^2 [m] = 0$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -4022337.5 & 0 & 0 \\ 8044675 - 249955\omega^2 & -4022337.5 & 0 \\ -4022337.5 & 8044675 - 249955\omega^2 & -4022337.5 \\ 0 & -4022337.5 & 4022337.5 - 168771\omega^2 \end{bmatrix}$$

Menentukan mode shape

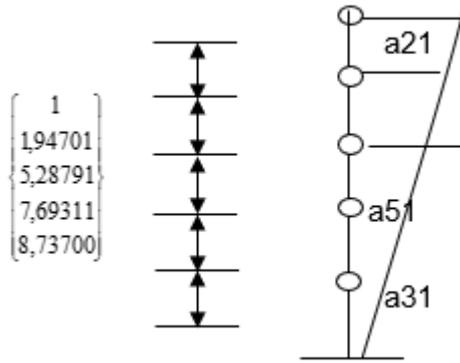
$$[k] - \omega^2 [m] \{a_{ij}\} = 0$$

Jika semua nilai untuk lantai 1 digunakan 1 satuan untuk $\omega_1 = 1,687 \text{ rad/det}$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -4022,337 & 0 \\ 7332,915 & -4022,337 \\ -4022,337 & 3541,753 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ a_{22} \\ a_{23} \\ a_{24} \\ a_{25} \end{Bmatrix} = 0$$

Menghitung gaya inersia berdasarkan ragam Pertama.

$$FI = m_i \times \omega^2 \times a_{ij}$$



Gambar 7 Mode Shape 1

$$F1 = 287,571 \times (1,68747)^2 \times 1 = 8181,874 \text{ kg}$$

$$Q \text{ dasar} = F1 + F2 + F3 + F4 + F5 = 8181,87424 + 613,85027 + 711,6061 + 711,6061 + 480,58471 = 336,830435$$

Menghitung waktu getar alami.

$$T = 2\pi/\omega$$

$$T_1 = 2(3,14)/1,687 = 3,721 \text{ det}$$

$$T_2 = 2(3,14)/4,631 = 1,355 \text{ det}$$

$$T_3 = 2(3,14)/6,451 = 0,970 \text{ det}$$

$$T_4 = 2(3,14)/7,584 = 0,828 \text{ det}$$

$$T_5 = 2(3,14)/12,750 = 0,492 \text{ det}$$

Menghitung beban gempa dasar.

$$V = C_s W$$

$$C_s = \frac{S_{DS}}{R} = \frac{0,8}{8} = 0,1 \text{ kg}$$

$$W = 1148388 \text{ kg}$$

$$W_t = 1148388(0,1) = 114838,8 \text{ kg}$$

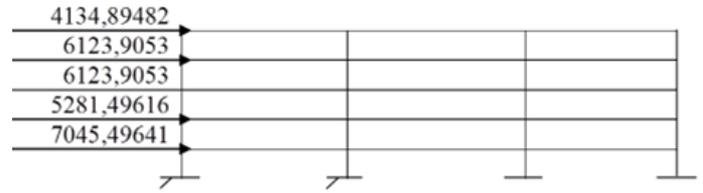
Jadi untuk portal arah x ada 5, sehingga tiap portal besarnya adalah:

$$VX = \frac{V}{4} = \frac{114838,8}{4} = 28709,7 \text{ kg}$$

Menghitung gaya gempa dasar ke masing-masing tingkat.

$$F_i = \frac{F_i}{Q_{dasar}} V_x$$

$$F_i = \frac{818,874}{3336,83} = 7045,49 \text{ kg}$$



Gambar 8 Distribusi gaya gempa lantai

Menentukan normal mode (ϕ).

$$\phi_{11} = \frac{a_1 1}{\sqrt{\sum_{k=1}^n m_k a_k j^2}}$$

$$\phi_{11} = \frac{1}{189,131} = 0,00529$$

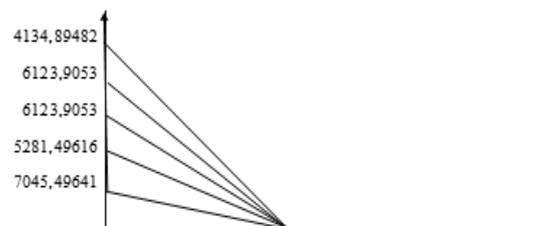
$$\phi_{21} = \frac{1,94701}{189,131} = 0,01029$$

$$\phi_{31} = \frac{5,28791}{189,131} = 0,02796$$

$$\phi_{41} = \frac{7,69311}{189,131} = 0,04068$$

$$\phi_{51} = \frac{8,73700}{189,131} = 0,04620$$

Menentukan faktor beban dinamis (DLF). Gaya gempa bekerja secara serentak dalam periode $t_d = 3,72168 \text{ det}$. Faktor beban dinamis (DLF) diperoleh Periode getar (T) dari grafik Gambar 9.



Gambar 9 Faktor beban dinamis

$$\frac{t_d}{T} = \frac{3,72168}{3,72168} = 1 \rightarrow DLF_1 = 1,55$$

Menentukan Perpindahan tempat statis (Z_{st}) dan Perpindahan dinamis (Z_{max}).

$$F_{o1} = \phi_{11}F_1 + \phi_{21}F_2 + \phi_{31}F_3 + \phi_{41}F_4 + \phi_{51}F_5 = (0,00529 \times 7045,49641) + (0,01029 \times 5281,49616) + (0,02796 \times 6123,9053) + (0,04068 \times 6123,9053) + (0,04620 \times 4134,89482) = 702,99427$$

Perpindahan tempat statis

$$Z_{st} = \frac{F_o}{\omega^2} = \frac{702,994}{1,687^2} = 246,876 \text{ mm}$$

Perpindahan tempat dinamis atau respons Pola Maksimum (Zmax)

$$Z_{maks} = DLF_i \times Z_{st(i)} = 1,55 \times 246,876 = 382,658 \text{ mm}$$

Menghitung Perpindahan total akibat gaya gempa dan selisih Perpindahan.

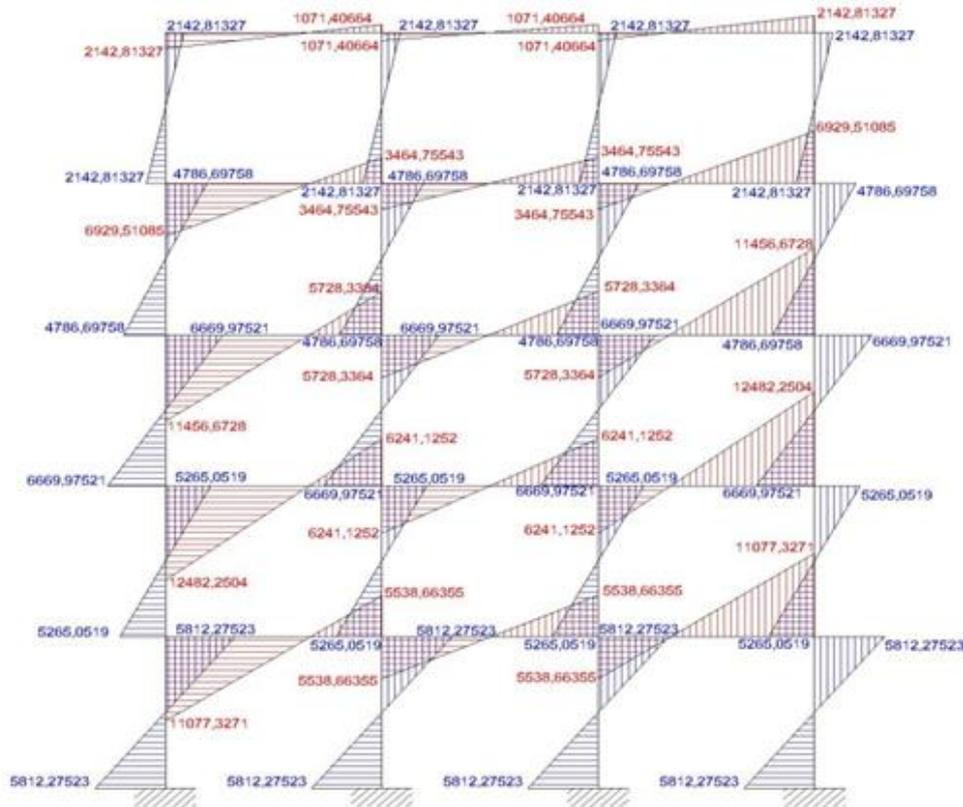
$$Y_{maks} = \sqrt{\sum(\phi_{ij} \times Z_{maks})^2}$$

$$Y_{maks} = 2,12874 \text{ mm}$$

Momen Akibat Gaya Gempa.

$$M_i = \frac{6EIK}{h^2} \Delta Y_i = 5812,275 \text{ kgcm}$$

Momen keseluruhan struktur saat menerima gaya gempa diperlihatkan pada Gambar 10.



Gambar 10 Momen akibat gaya gempa

8 KESIMPULAN

Berdasarkan analisa pembahasan teori dan perhitungan maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Struktur bangun penahan geser hanya memperhitungkan gaya horizontal dan defleksi lateral.
- Besarnya perpindahan, bentuk perubahan struktur tergantung pada besar kecilnya nilai perbandingan antara massa dan kekakuan kolom.
- Metode matriks sangat berperan dalam menentukan *Circular Natural Frequency* (ω) dan bentuk perubahan struktur (*mode shape*) dan metode superposisi

berperan untuk mensuperposisikan antara gaya-gaya yang bekerja dengan perpindahan ke bentuk yang lebih sederhana.

- Pada dasarnya gaya gempa yang sebenarnya sangat sulit untuk diramalkan, namun analisa pendekatan untuk mendapatkan gaya gempa rencana yang mampu dipikul oleh struktur.
- Besarnya momen yang di berikan dari hasil perhitungan adalah untuk menahan terjadinya perpindahan akibat gaya gempa, di mana diperoleh momen kolom bawah lebih besar dari kolom atas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. O. F. Wantalingie, J. D. Pangouw and R. S. Windah, "Analisa statik dan dinamik gedung bertingkat banyak akibat gempa berdasarkan SNI 1726-2012 dengan variasi jumlah tingkat," *Jurnal Sipil Statik*, vol. 4, no. 8, pp. 471-480, 2016.
- [2] F. Iqsan, "Evaluasi kekakuan metode klasik kaitannya dengan hasil paket program dan implikasinya terhadap respon struktur bangunan bertingkat," Fakultas Teknik dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, 2020.
- [3] N. Hutahean, J. Napitupulu and S. Nduru, "Analisis dinamis gaya gempa pada bangunan berdasarkan SNI-03-1726-2012," *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, vol. 9, no. 2, pp. 91-100, 2020.
- [4] K. Muto, Analisis perancangan gedung tahan gempa, Jakarta: Erlangga, 1987.
- [5] B. Budiono and L. Supriatna, Studi komparasi desain bangunan tahan gempa dengan menggunakan SNI 03-1726-2002 dan RSNI 03-1726-201x, Bandung: Penerbit ITB, 2011.
- [6] W. Pawirodikromo, Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan, Yogyakarta: Pustaka Pelajar, 2012.
- [7] G. Theodosius and M. Saleh, Teori soal dan penyelesaian perencanaan struktur tahan gempa Jilid 1, Jakarta: Delta Teknik, 1983.
- [8] B. Lumantarna, Pengantar analisis dinamis dan gempa, Yogyakarta: Penerbit Andi, 2000.



PENGARUH APLIKASI SAMBUNGAN JARI DAN SAMBUNGAN MIRING TERHADAP KEKUATAN GESER BALOK LAMINASI BILAH BAMBU PETUNG

Wahiduddin Basry*¹, Atur P. N. Siregar², Gusti M. Oka²

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Palu, Palu, Jalan Hang Tuah No. 114

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako, Palu, Jalan Soekarno Hatta

Penulis korespondensi: wahiduddinbasry01@gmail.com

DISUBMIT 14 Juni 2024

DIREVISI 19 Juni 2024

DITERIMA 21 Juni 2024

ABSTRAK Sebagai salah satu bahan konstruksi alternatif yang banyak digunakan saat ini, pemakaian bambu semakin di optimalkan. Salah satu upaya untuk mengoptimalkan pemanfaatan bambu yaitu dengan teknik laminasi, sehingga dengan cara ini dapat diperoleh balok laminasi sesuai dengan dimensi yang diinginkan. Akan tetapi, pemakaian sambungan sulit dihindarkan pada struktur bentang panjang sehingga perlu untuk mencari jenis sambungan yang paling optimum untuk digunakan. Penelitian ini bertujuan untuk mencari jenis sambungan yang paling optimum antara sambungan jari (*finger joint*) dengan sambungan miring (*scarf joint*). Bambu yang digunakan adalah bambu petung yang dibentuk bilah. Benda uji terdiri dari 3 variasi dari bahan bilah. Variasi benda uji meliputi balok laminasi bambu petung tanpa sambungan dari bahan bilah (BLP-B), balok laminasi dengan sambungan jari (BLP-BJ), serta balok laminasi dengan sambungan miring (BLP-BM). Hasil penelitian memberikan hasil bahwa aplikasi sambungan pada balok laminasi bilah bambu petung memberikan pengaruh terhadap penurunan kekuatan balok itu sendiri. Penurunan kekuatan balok rata-rata sebesar 37,61% untuk balok laminasi sambungan jari (BLP-BJ), dan penurunan kekuatan balok sebesar 48,45% untuk balok laminasi sambungan miring (BLP-BM). Hasil penelitian memperlihatkan bahwa balok laminasi sambungan jari (BLP-BJ) memiliki kekuatan dalam memikul beban yang lebih tinggi dibandingkan balok laminasi sambungan miring (BLP-BM). Hal ini disebabkan aplikasi sambungan jari memiliki sifat saling mengunci dibanding sambungan miring yang memiliki kekuatan pada bidang perekat dan kemiringan sambungan. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa aplikasi sambungan jari lebih kuat dibanding sambungan miring untuk aplikasi sambungan pada balok laminasi.

KATA KUNCI Balok Laminasi Bambu; Bilah Sambungan Jari; Sambungan Miring

1 PENGANTAR

Ketika permintaan akan kayu sebagai bahan konstruksi meningkat, kebutuhan ini tidak selalu sejalan dengan ketersediaan bahan baku yang memadai. Hal ini menimbulkan kekhawatiran akan pemanfaatan sumber daya alam yang berkelanjutan dan menyebabkan pencarian solusi alternatif. Salah satu solusi yang menarik yaitu memanfaatkan bambu sebagai pengganti kayu, karena sifatnya yang kuat, ringan, dan tumbuh lebih cepat. [1] [2]

Penelitian ini bertujuan untuk menemukan jenis sambungan yang paling optimal di antara sambungan jari (*finger joint*) dan sambungan miring (*scarf joint*). Sambungan ini menjadi penting untuk menjaga kekuatan dan kestabilan struktur, terutama dalam konteks penggunaan bambu sebagai bahan konstruksi utama. [3]

Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memperluas pemahaman kita tentang potensi penggunaan bambu dalam konstruksi modern tetapi juga memberikan pandangan yang lebih dalam tentang teknik sambungan yang paling efektif untuk memastikan keberlanjutan dan keandalan struktur yang dibangun. [4]

2 METODOLOGI

Bahan Penelitian dan Dimensi Benda Uji.

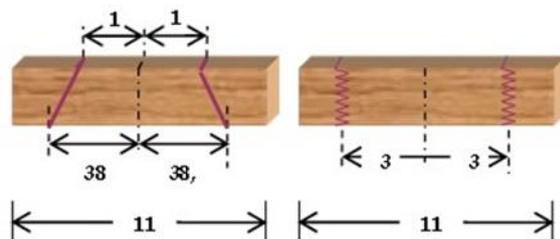
Bahan penelitian berupa bambu petung yang telah melalui proses pengawetan serta dibentuk bilah, lebar bilah antara 2 – 3 cm dengan panjang 130 cm. Sebagai bahan perekat digunakan Urea Formaldehida tipe 104, produksi PT. Pamolite Adhesive Industry, Probolinggo, Jawa Timur.

Benda uji balok laminasi bambu terdiri atas 3 (tiga) variasi dan setiap variasi dibuat 3 benda uji. Variasi ini meliputi balok laminasi bilah tanpa sambungan (BLP-B), balok

laminasi dengan sambungan jari (BLP-BJ) serta balok laminasi dengan sambungan miring (BLP-BM). Ukuran dan jumlah benda uji balok laminasi dapat dilihat dalam Tabel 1, sedangkan jarak posisi sambungan pada Gambar 1.

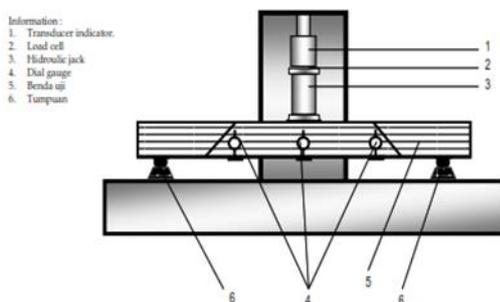
Tabel 1 Dimensi benda uji balok laminasi

Kode Balok	P mm	b mm	h mm	Jumlah
BLP-B	1100	50	140	3
BLP-BJ	1100	50	140	3
BLP-BM	1100	50	140	3
				9



Gambar 1 Jarak dan posisi sambungan balok

Pengujian Balok Laminasi. Pengujian sifat fisika dan mekanika bambu petung mengikuti standar ISO – 1975, sedangkan balok laminasi di uji dengan pembebanan statik pada bagian tengah bentang mengacu pada ASTM 3043. Pembebanan ini ditingkatkan terus hingga balok laminasi mengalami keruntuhan. Setiap penambahan beban dilakukan pencatatan besarnya lendutan balok. *Setting up* pengujian ditunjukkan dalam Gambar 2.



Gambar 2 *Setting up* pengujian balok laminasi

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat Fisika dan Mekanika. Kadar air sampel bahan baku Bambu Petung yang digunakan 11,03 % sampai 11,44 % dengan kadar air

rata-rata 11,23 %. Kadar air yang disyaratkan oleh PT. Pamolite Adhesive Industri (PAI) untuk memperoleh perekatan yang baik berkisar 6 % sampai dengan 16 %. Kerapatan sampel bambu petung berkisar 0,64 gr/cm sampai 0,76 gr/cm dengan rata-rata 0,72 gr/cm. Dari uji sifat mekanika diperoleh kuat tekan sejajar serat, kuat tekan tegak lurus serat, MOR, MOE, kuat geser, dan kuat tarik sejajar serat rata-rata tiap benda uji berturut-turut sebesar 51,75 MPa; 49,08 MPa; 163,22 MPa; 7071,41 MPa; 12,01 MPa; dan 391,30 MPa.

Kekuatan Balok Laminasi. Aplikasi sambungan pada balok menyebabkan penurunan kekuatan balok laminasi. Perbandingan kekuatan tiap balok terlihat pada Tabel 2

Reduksi kekuatan balok laminasi terhadap balok tanpa sambungan (BLP-B) pada sambungan jari (BLP-BJ) sebesar 37,608%, sedangkan pada balok laminasi sambungan miring (BLP-BM) sebesar 48,449%.

Berdasarkan hasil pengujian memperlihatkan balok sambungan jari (BLP-BJ) memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibanding balok yang menggunakan sambungan miring (BLP-BM).

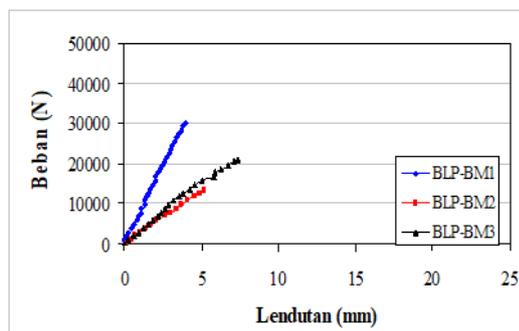
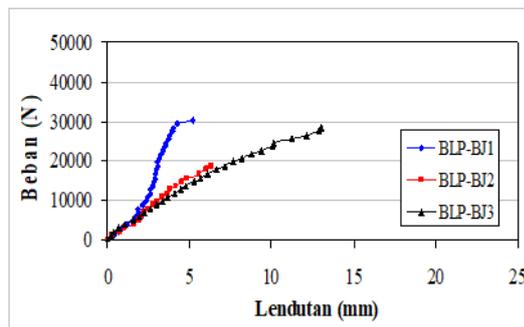
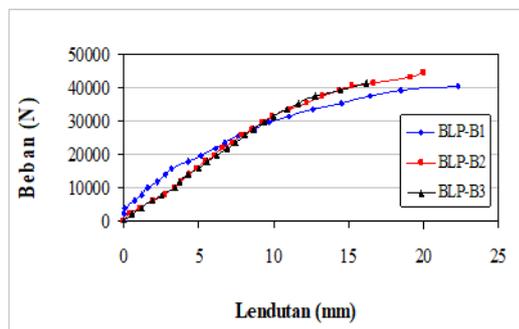
Dari hasil pengujian balok diperoleh grafik hubungan antara beban dan lendutan seperti pada Gambar 3.

Faktor Kekakuan Balok Laminasi. Faktor kekakuan balok laminasi pada Tabel 3 terlihat dengan pemberian sambungan pada balok mengakibatkan reduksi faktor kekakuan balok terhadap balok tanpa sambungan (BLP-B).

Momen Internal dan Eksternal Balok Laminasi. Bambu tidak termasuk bahan/material yang homogen isotropis, sehingga garis netral balok laminasi yang dibuat tidak berada pada setengah tinggi penampang balok. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis letak garis netral serta momen yang terjadi pada balok berdasarkan sifat mekanika bahan dan data-data hasil pengujian balok laminasi berupa data beban dan lendutan.

Tabel 2 Perbandingan kekuatan balok laminasi

No.	Kode Balok	Dimensi balok (mm)		P_{max} (kN)	$\frac{P_{max}}{bh}$ (kN/mm ²)	$\frac{P_{max}}{bh}$ rerata (kN/mm ²)	Reduksi kekuatan (%)
		b	h				
1	BLP-B1	50	140	40,476	5782,294	5991,574	0
2	BLP-B2	50	140	44,145	6306,429		
3	BLP-B3	50	140	41,202	5886		
4	BLP-BJ1	50	137	30,411	4439,562	3738,271	37,608
5	BLP-BJ2	50	139	18,639	2681,871		
6	BLP-BJ3	50	139	28,449	4093,381		
7	BLP-BM1	50	139	30,215	4347,453	3088,688	48,449
8	BLP-BM2	50	139	13,244	1905,540		
9	BLP-BM3	40	140	21,091	3013,071		



Gambar 3 Grafik hubungan beban-lendutan tiap balok laminasi

Hasil yang diperoleh dari proses analisis menunjukkan antara momen internal dan eksternal telah mendekati syarat kesetimbangan struktur, yaitu gaya dalam sama dengan gaya luar. Perbedaan nilai yang terjadi kemungkinan besar disebabkan

kesalahan dalam proses pembacaan lendutan saat pengujian balok. Perbandingan antara momen internal dan eksternal balok diperlihatkan pada Tabel 4.

Tabel 3 Faktor kekuatan rata-rata balok laminasi

No.	Kode balok	EI (kN/m ²)	EI rerata (kN/m ²)	Rasio EI rerata
1	BLP-B1	59,589	68,785	1
2	BLP-B2	54,675		
3	BLP-B3	92,091		
4	BLP-BJ1	86,445	66,129	0,961
5	BLP-BJ2	53,734		
6	BLP-BJ3	58,208		
7	BLP-BM1	40,957	22,981	0,334
8	BLP-BM2	13,165		
9	BLP-BM3	14,822		

Kuat Geser dan Kuat Lentur Balok Laminasi. Berdasarkan hasil pengujian, balok dengan aplikasi sambungan jari dan miring mempengaruhi kuat geser maksimum terhadap balok tanpa sambungan. Kuat geser maksimum balok tanpa sambungan sebesar 3,988 MPa (BLP-B). Untuk sambungan jari, kuat geser maksimum sebesar 2,704 MPa (BLP-BJ) atau mengalami reduksi sebesar 32,197%, untuk sambungan miring sebesar 2,389 MPa (BLP-BM) atau mengalami reduksi kuat geser sebesar 40,095%.

Berdasarkan Tabel 5 kuat lentur maksimum yang terjadi pada balok sebesar 54,395 MPa (BLP-B). Dengan aplikasi sambungan jari kuat lentur menurun menjadi 41,497 MPa (BLP-BJ) atau mengalami reduksi sebesar 23,712%, dengan aplikasi sambungan

Tabel 4 Perbandingan momen internal dan eksternal balok laminasi

No.	Kode balok	$M_{internal}$ (kNm)	$M_{internal}$ rerata (kNm)	$M_{external}$ (kNm)	$M_{external}$ rerata (kNm)	$\frac{M_{int}}{M_{ex}}$ (%)
1	BLP-B1	9,071		9,107		
2	BLP-B2	9,900	9,407	9,933	9,437	99,682
3	BLP-B3	9,249		9,270		
4	BLP-BJ1	6,813		6,842		
5	BLP-BJ2	4,167	5,789	4,194	5,812	99,604
6	BLP-BJ3	6,387		6,401		
7	BLP-BM1	6,746		6,798		
8	BLP-BM2	2,947	4,804	2,980	4,841	99,236
9	BLP-BM3	4,719		4,746		

Tabel 5 Hasil hitungan kuat geser dan lentur balok laminasi

No.	Kode balok	Dimensi balok (mm)		τ_{maks} (MPa)	τ_{maks} rerata (MPa)	Reduksi (%)	σ_{maks} (MPa)	σ_{maks} rerata (MPa)	Reduksi (%)
		b	H						
1	BLP-B1	50	140	3,864			53,271		
2	BLP-B2	50	140	4,171	3,988	0	56,049	54,395	0
3	BLP-B3	50	140	3,930			53,865		
4	BLP-BJ1	50	137	3,017			43,697		
5	BLP-BJ2	50	139	2,169	2,704	32,197	36,398	41,497	23,712
6	BLP-BJ3	50	139	2,926			44,395		
7	BLP-BM1	50	139	3,053			45,666		
8	BLP-BM2	50	139	1,767	2,389	40,095	31,867	38,577	29,08
9	BLP-BM3	40	140	2,348			38,197		

miring penurunan tegangan sebesar 38,577 MPa (BLP-BM) atau mengalami reduksi sebesar 29,080%.

Keruntuhan Balok Laminasi tanpa sambungan (BLP-B). Hasil pengujian BLP-B menunjukkan semua balok mengalami keruntuhan geser. Keruntuhan yang terjadi berupa retak geser memanjang melewati setengah bentang dan retak terjadi pada bagian antar lamina, Gambar 4.



Gambar 4 Keruntuhan balok BLP-B

Keruntuhan pada balok laminasi sambungan jari (BLP-BJ). Balok BLP – BJ mengalami keruntuhan yang berbeda

setelah mencapai beban maksimum. Keruntuhan balok dimulai dari lamina bagian bawah sambungan yang tidak kuat menahan beban yang diberikan sehingga mengalami keruntuhan. Tetapi keruntuhan yang terjadi hanya pada satu sisi sambungan bagian bawah, sedangkan sambungan bagian atas tetap utuh, Gambar 5.



Gambar 5 Keruntuhan yang terjadi pada balok laminasi BLP-BJ

Keruntuhan pada balok laminasi sambungan miring (BLP-BM). Hasil pengujian balok laminasi dengan sambungan miring, secara umum

memperlihatkan balok uji mengalami kegagalan pada sambungan, baik pada bahan bilah maupun galar. Akan tetapi kegagalan sambungan hanya terdapat pada salah satu sisi, sedangkan sisi yang lainnya tetap utuh, Gambar 6.



Gambar 6 Keruntuhan yang terjadi pada balok laminasi (BLP-BM)

4 KESIMPULAN

Variasi balok laminasi dari bahan galar maupun bilah tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan balok. Hasil penelitian secara umum memperlihatkan balok dari bahan bilah memiliki kekuatan yang hampir sama dibanding balok dari bahan galar. Hasil penelitian memperlihatkan dengan aplikasi sambungan pada balok memberi pengaruh reduksi perilaku balok terhadap balok tanpa sambungan, baik itu kekuatan balok, kuat geser maksimum maupun kuat lentur.

Aplikasi sambungan jari dalam penelitian memberikan pengaruh pada reduksi kekuatan sebesar 37,608% (balok BLP-BJ). Sedangkan aplikasi sambungan miring memberikan reduksi kekuatan balok sebesar 48,449% (balok BLP-BM) terhadap balok BLP-B. Kuat geser maksimum rata-rata balok dengan sambungan mengalami reduksi sebesar 32,197% (BLP-BJ) dan 40,095% (BLP-BM).

Aplikasi sambungan jari pada balok laminasi lebih kuat dibanding sambungan miring, hal ini disebabkan aplikasi sambungan jari yang memiliki sifat saling mengunci dibanding sambungan miring yang memiliki kekuatan pada bidang rekatan dan kemiringan sambungan.

Proses penyimpanan dan pengawetan bahan baku bambu petung harus lebih teliti dan terkontrol dengan baik, terutama pada musim hujan mengingat bambu petung lebih mudah diserang jamur dan kumbang bubuk pada kondisi kelembaban yang tinggi. Melakukan penelitian pada balok laminasi dengan dimensi sambungan yang lebih besar/kecil, hal ini sebagai pembandingan untuk mencari dimensi sambungan yang lebih ideal dalam aplikasi dilapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Irawati, I. Septhia and Morisco, "Pengaruh posisi sambungan terhadap kapasitas geser balok bambu laminasi horisontal," Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2004.
- [2] Morisco, "Bambu sebagai bahan rekayasa," Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 1999.
- [3] Morisco, Rekayasa Bambu, Yogyakarta: Penerbit Nafiri, 1999.
- [4] Morisco, "Bahan kuliah teknologi bambu," Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2005.

