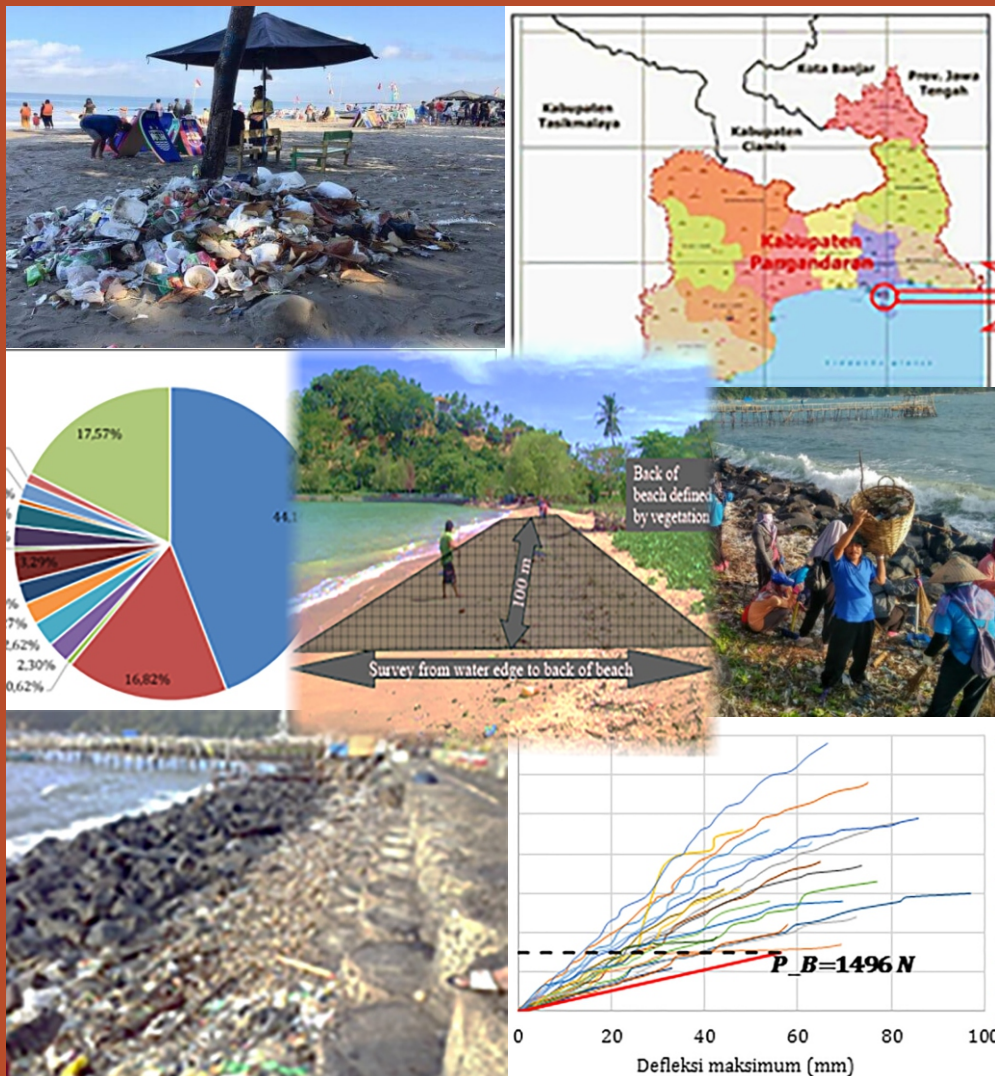


JURNAL PERMUKIMAN



JURNAL PERMUKIMAN	VOL. 15	NO. 1	HAL 1-60	BANDUNG Mei 2020	E-ISSN 2339 - 2975
Terakreditasi KEMENRISTEKDIKTI No : 21/E/KPT/2018 Peringkat 2 (S2)					

Akreditasi Jurnal Ilmiah Nomor: 21/E/KPT/2018, Tanggal 9 Juli 2018

Jurnal Permukiman ditetapkan sebagai Jurnal Ilmiah **TERAKREDITASI PERINGKAT 2** berdasarkan Kutipan Keputusan Direktur Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia

Akreditasi berlaku selama 5 (lima) tahun
Dimulai Volume 11 Nomor 1 Tahun 2016 sampai Volume 15 Nomor 2 Tahun 2020

Pedoman Penulisan Naskah

1. Redaksi menerima naskah karya ilmiah ilmu pengetahuan dan teknologi bidang permukiman, baik dari dalam dan luar lingkungan Pusat Litbang Permukiman
2. Naskah yang diusulkan untuk dimuat dalam Jurnal permukiman haruslah tulisan yang belum pernah dipublikasikan dalam majalah ilmiah lainnya. Naskah dapat ditulis dalam Bahasa Indonesia atau Bahasa Inggris dengan menggunakan kaidah bahasa tulis yang baik dan benar
3. Naskah disampaikan ke redaksi dalam bentuk file digital "MS Word" jumlah halaman naskah maksimum 15 halaman termasuk abstrak, gambar, tabel dan daftar pustaka
4. Naskah akan dinilai oleh dewan penelaah (mitra bebestari). Kriteria penilaian meliputi kebenaran isi, derajat, orisinalitas, kejelasan uraian dan kesesuaian dengan sasaran jurnal. Dewan penelaah berwenang mengembalikan naskah untuk direvisi atau menolaknya
5. Dewan redaksi/peelaah berhak memperbaiki naskah tanpa mengubah isi dan pengertiannya, serta akan berkonsultasi dahulu dengan penulis apabila dipandang perlu untuk mengubah isi naskah. Penulis bertanggung jawab atas pandangan dan pendapatnya di dalam naskah
6. Jika naskah disetujui untuk diterbitkan, penulis harus segera menyempurnakan dan menyampaikannya kembali ke redaksi paling lambat satu minggu setelah tanggal persetujuan
7. Bila naskah diterbitkan, penulis akan mendapatkan *reprint* (cetak lepas) sebanyak 3 eksemplar dan naskah akan menjadi hak milik instansi penerbit
8. Naskah yang tidak dapat diterbitkan akan diberitahukan kepada penulis dan naskah tidak akan dikembalikan, kecuali ada permintaan lain dari penulis
9. Keterangan yang lebih terperinci dapat menghubungi Sekretariat Redaksi
10. Secara teknis persyaratan naskah adalah :
Sistematika penulisan :
 - **Bagian awal:** Judul, Keterangan Penulis, Abstrak. Abstrak disusun dalam satu alinea antara 150-200 kata berisi: alasan penelitian dilakukan, pernyataan singkat apa yang telah dilakukan (metode), pernyataan singkat apa yang telah ditemukan, pernyataan singkat apa yang telah disimpulkan disertai minimal 5 kata kunci. Judul, Abstrak dan Kata Kunci disusun dalam 2 (dua) bahasa (Indonesia – Inggris).
 - **Bagian Utama :** Pendahuluan, Metode, Hasil dan Pembahasan, Kesimpulan
 - **Bagian akhir:** Ucapan Terima Kasih, Daftar Pustaka dan Lampiran (jika ada)

Teknik penulisan:

- a. Naskah ditulis pada kertas ukuran A4 *portrait* (210 x 297 mm), ketikan satu spasi dengan 2 kolom, jarak kolom pertama dan kedua 1 cm.
- b. Margin: tepi atas 3 cm, tepi bawah 2,5 cm, sisi kiri 3 cm dan kanan 2 cm. Alinea baru diberi tambahan spasi (+ ENTER).
Penggunaan huruf:
 - Judul, ditulis di tengah halaman, Cambria 14 pt. Kapital **Bold**
 - Isi Abstrak, Cambria 10 pt *italic*, 1 spasi
 - Judul Bab ditulis di tepi kiri, Cambria Kapital 11pt, **Bold**
 - Judul Sub Bab, Cambria *Tittle Case* 11pt, **Bold**
 - Isi, Cambria 10 pt, 1 spasi
 - Penomoran halaman menggunakan angka arab
- c. Daftar Pustaka sebaiknya menggunakan referensi terbaru, maksimal penerbitan 5 (lima) tahun terakhir, kecuali untuk *handbook* yang belum ada cetakan revisi/ terbaru.
- d. Pustaka dalam teks (*in text citation*), sumber pustaka suatu kutipan atau cuplikan dalam teks ditulis dalam dengan aturan sebagai berikut (*authors – date*):
 - Penulis tunggal: nama akhir penulis/ nama *family* (tanpa inisial, kecuali ada kerancuan) dengan tahun publikasi.
 - Dua penulis : kedua nama *family* penulis dicantumkan dengan tahun publikasi
 - Tiga penulis atau lebih : nama *family* penulis pertama diikuti dengan et al. dan tahun publikasi, Contohnya (Sabaruddin et al. 2013)
 - Sumber pustaka dapat ditulis langsung dalam teks dalam suatu tanda kurung (). Bila terdapat beberapa sumber pustaka maka urutan penulisan adalah berdasarkan abjad dan kemudian berdasarkan tahun publikasi. CONTOH: " ... seperti diungkap dalam penelitian terdahulu (Allan 1996a, 1996b, 1999; Allan and Jones 1995). Armstrong et al. (2010) telah menyatakan bahwa ... "
- e. Daftar pustaka ditulis sesuai contoh sebagai berikut:
Buku/monograf (satu pengarang)
Pollan, Michael. 2006. *The Omnivore's Dilemma: A Natural History of Four Meals*. New York: Penguin.
Artikel Jurnal (tiga pengarang)
Sabaruddin, Arief, Tri Harso Karyono, Rumiati R. Tobing. 2013. Metoda Kovariansi dalam Penilaian Kinerja Kemampuan Adaptasi Bangunan terhadap Lingkungan. *Jurnal Permukiman* Vol. 8 No. 1 April 2013: 30-38.

Situs Web

Achenbach, Joel. 2015. "Why Do Many Reasonable People Doubt Science?". *National Geographic*.
<http://ngm.nationalgeographic.com> (diakses 15 Juni 2015).

Akreditasi Jurnal Ilmiah Nomor: 21/E/KPT/2018, Tanggal 9 Juli 2018

Jurnal Permukiman ditetapkan sebagai Jurnal Ilmiah **TERAKREDITASI PERINGKAT 2** berdasarkan Kutipan Keputusan Direktur Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia

Akreditasi berlaku selama 5 (lima) tahun
Dimulai Volume 11 Nomor 1 Tahun 2016 sampai Volume 15 Nomor 2 Tahun 2020

Jurnal Permukiman merupakan majalah berkala yang memuat karya tulis ilmiah hasil penelitian, pengembangan, kajian atau gagasan di bidang permukiman kawasan perkotaan/ perdesaan, bangunan gedung yang berada di dalamnya, serta sarana dan prasarana yang mendukung perikehidupan dan penghidupan. Diterbitkan sejak tahun 1985 dengan nama Jurnal Penelitian Permukiman dan tahun 2006 berganti menjadi Jurnal Permukiman dengan frekuensi terbit dua kali dalam setahun setiap bulan Mei dan November.

Pelindung	:	Kepala Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman
Penanggung Jawab	:	Kepala Bidang Sumber Daya Kelitbangan
Ketua merangkap anggota	:	Prof. Dr. Andreas Wibowo, ST., MT. (<i>Bidang Manajemen dan Rekayasa Konstruksi</i>)
Anggota	:	Prof. Dr. Ir. Arief Sabaruddin, CES. (<i>Bidang Perumahan dan Permukiman</i>) Lia Yulia Iriani, SH., MSi. (<i>Bidang, Kebijakan Ilmu dan Teknologi</i>) Ir. Sri Darwati, MSc. (<i>Bidang Manajemen dan Pengendalian Pencemaran Lingkungan</i>)
Mitra Bebestari	:	Prof. Dr. Ir. Bambang Subiyanto, M. Agr. (<i>Bidang Bahan Bangunan, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia</i>) Prof. Ir. Iswandi Imran, MSc. Ph. D. (<i>Bidang Rekayasa Struktur, Institut Teknologi Bandung</i>) Dr. Ir. Tri Padmi (<i>Bidang Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Bandung</i>) Ir. Indra Budiman Syamwil, MSc., Ph. D. (<i>Bidang Arsitektur, Institut Teknologi Bandung</i>) Muhamad Abduh, Ph. D. (<i>Bidang Rekayasa Konstruksi, Institut Teknologi Bandung</i>) Prof. Dr. Ir. Anita Firmanti, MT. (<i>Bidang Bahan Bangunan, Sekretariat Jenderal, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat</i>) Dr. Ir. Suprpto, MSc. FPE. (<i>Bidang Teknik Fisika, Pengajar Luar Biasa Institut Teknologi Bandung dan Universitas Pelita Harapan</i>) I Gede Nyoman Mindra Jaya, MSi. (<i>Bidang Statistik, Universitas Padjadjaran</i>) Dr. Eng. Aris Aryanto, ST. MT. (<i>Bidang Bahan dan Rekayasa Struktur, Institut Teknologi Bandung</i>) Dr. Yosafat Aji Pranata, ST. MT. (<i>Bidang Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha</i>) Dr. Ir. Johannes Adhijoso Tjondro, M. Eng. (<i>Bidang Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan</i>) Dr. Ir. Purnama Salura, MT. MBA. (<i>Bidang Arsitektur, Universitas Katolik Parahyangan</i>) Dr. Sri Astuti, MSA. (<i>Bidang Arsitektur, Universitas Komputer</i>)
Pemimpin Redaksi	:	Drs. Aris Prihandono, MSc.
Pelaksana	:	Muhamad Syukur, S. ST Dra. Roosdharmawati Drs. Arif Sugiarto, MM. Rindo Herdianto, S.IIP. Arie Bukhori Arifin, SS.
		Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Jalan Panyaungan, Cileunyi Wetan, Kabupaten Bandung 40393 Tlp. 022-7798393 (4 saluran) Fax. 022-7798392 http://jurnalpermukiman.pu.go.id E-mail: info@puskim.pu.go.id

Daftar Isi

Daftar Isi	ii
Pengantar Redaksi	iii
Timbulan Dan Komposisi Sampah Wisata Pantai Indonesia, Studi Kasus: Pantai Pangandaran - <i>Indonesia Coastal Tourism Solid Waste Generation and Composition, Case Study: Pangandaran Beach</i> <i>Amallia Ashuri, Tuti Kustiasih</i>	1 – 9
Pengaruh Tingkat Keramahan Lingkungan Perumahan Bagi Pejalan Kaki Terhadap Aktivitas Fisik Dan Kesehatan Masyarakat, Kasus: Perumahan Margahayu Raya, Bandung <i>The Influence of a Pedestrian-Friendly Environment on Physical Activity and Public Health Case: Margahayu Raya Housing, Bandung</i> <i>Petrus Natalivan Indradjati, Murni Elfrida</i>	10 – 18
Aspek-Aspek Penjaminan Kinerja Teknis Komponen Arsitektur Pada Bangunan Rumah Susun Sederhana Sewa Di DKI Jakarta - <i>Technical Life Assurance of Architectural Components of Low-Cost Multistoried Rental Housing in Jakarta</i> <i>Andi Harapan Siregar</i>	19 – 33
Modulus Penampang Elastik Balok Kayu Jabon Glulam - <i>Elastic Section Modulus of Glulam Jabon Timber Beams</i> <i>Yosafat Aji Pranata, Anang Kristianto, Aan Darmawan</i>	34–42
Perbandingan Perilaku Lentur Balok Bambu Menggunakan Sifat Mekanik Yang Diperoleh Dengan Metode Rata-Rata Dan Persentil Ke-5 - <i>Comparison of Bamboo Beam Behavior using Mechanical Properties Obtained from Average and 5th Percentile Method</i> <i>Inggar Septhia Irawati, Urwatul Wusqo</i>	43 – 53
Kumpulan Abstrak	54 -59
Indeks Subjek	60

Pengantar Redaksi

Terucap rasa syukur karena dengan perkenan-Nya kami dapat menerbitkan Jurnal Permukiman edisi pertama pada tahun ini. Materi yang dipaparkan meliputi bahasan tentang timbulan dan komposisi sampah wisata pantai, keramahan lingkungan perumahan terhadap aktivitas fisik dan kesehatan masyarakat, kondisi teknis komponen arsitektur terhadap kinerja bangunan rusunawa, modulus penampang elastik balok, dan sifat mekanik bambu sebagai material konstruksi.

“Timbulan dan Komposisi Sampah Wisata Pantai Indonesia, Studi Kasus : Pantai Pangandaran” disusun oleh Amallia Ashuri dan Tuti Kustiasih karena dilatarbelakangi jumlah wisatawan yang meningkat namun belum disertai dengan pengelolaan persampahan yang baik sehingga terjadi penurunan estetika, ketidaknyamanan pengunjung, serta pencemaran lingkungan. Melalui studi ini diharapkan dapat dijadikan dasar dalam menentukan sistem pengelolaan dan teknologi pengolahan sampah yang tepat untuk diterapkan di kawasan wisata pantai.

Petrus Natalivan Indradjati dan Murni Elfrida membahas mengenai “Pengaruh Tingkat Keramahan Lingkungan Perumahan Bagi Pejalan Kaki Terhadap Aktivitas Fisik Dan Kesehatan Masyarakat, Kasus: Perumahan Margahayu Raya, Bandung. Tujuannya adalah untuk melihat hubungan antara karakteristik pola perilaku aktivitas fisik dan kesehatan masyarakat berdasarkan tingkat keramahan lingkungan bagi pejalan kaki di lingkungan perumahan tersebut. Atap, dinding, lantai, dan utilitas merupakan 4 komponen arsitektur yang mempengaruhi kinerja teknis bangunan. Kondisi teknis komponen bangunan tersebut dipengaruhi oleh : kualitas material, desain, kualitas pengerjaan, kondisi lingkungan luar serta perilaku penggunaan, dan perawatan. Bahasan “Aspek-aspek Penjaminan Kinerja Teknis Komponen Arsitektur Pada Bangunan Rumah Susun Sederhana Sewa Di DKI Jakarta” yang dijabarkan oleh Andi Harapan Siregar ini dimaksudkan untuk menyampaikan berbagai aspek yang dipertimbangkan dalam penjaminan kinerja teknis komponen arsitektur bangunan rusunawa, agar target umur bangunan 50 tahun yang ditetapkan pemerintah dapat tercapai.

Indikasi kegagalan balok kayu laminasi lem adalah berupa kegagalan lentur. Parameter modulus penampang elastik balok kayu laminasi berguna untuk desain komponen struktur balok pada bangunan khususnya pada perhitungan kekuatan balok dan kekakuan balok sebagai persyaratan *serviceability*. Hal tersebut dibahas oleh Yosafat Aji Pranata, Anang Kristianto, dan Aan Darmawan dalam tulisan “Modulus Penampang Elastik Balok Kayu Jabon Glulam”. Bahasan berjudul “Perbandingan Perilaku Lentur Balok Bambu Menggunakan Sifat Mekanik yang Diperoleh dengan Metode Rata-rata dan Persentil Ke-5” disusun oleh Inggar Septhia Irawati dan Urwatul Wusqo, bertujuan untuk meningkatkan pemahaman dan perhatian perencana dalam penerapan nilai persentil ke-5 hasil pengujian lentur statik dalam memperoleh MoE dan MoR yang digunakan pada perencanaan struktur balok bambu.

Selamat Membaca.

Bandung, Mei 2020
Redaksi

UCAPAN TERIMA KASIH

Redaksi pelaksana Jurnal Permukiman mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi, khususnya para Mitra Bestari Jurnal Permukiman Volume 15 Nomor 1 Mei 2020 :

1. Dr. Ir. Tri Padmi
2. Dr. Sri Astuti, MSA.
3. Ir. Indra Budiman Syamwil, MSc., Ph. D.
4. Prof. Dr. Ir. Bambang Subiyanto, M. Agr.
5. Dr. Eng. Aris Aryanto, ST. MT.

TIMBULAN DAN KOMPOSISI SAMPAH WISATA PANTAI INDONESIA, STUDI KASUS: PANTAI PANGANDARAN

Indonesia Coastal Tourism Solid Waste Generation and Composition, Case Study: Pangandaran Beach

Amallia Ashuri, Tuti Kustiasih

Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman

Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

Jl. Panyaungan Cileunyi Wetan Kabupaten Bandung 40393

Surel: amallia.ashuri@puskim.pu.go.id, utut_albar@yahoo.com

Diterima : 13 November 2019;

Disetujui : 10 Maret 2020

Abstrak

Pantai Pangandaran yang berlokasi di Kabupaten Pangandaran merupakan salah satu destinasi wisata yang terkenal di Provinsi Jawa Barat dan destinasi wisata strategis nasional. Peningkatan jumlah wisatawan di Pantai Pangandaran belum disertai dengan pengelolaan persampahan yang baik menyebabkan penumpukan sampah pada saat musim puncak liburan sehingga terjadi penurunan estetika, ketidaknyamanan pengunjung, serta pencemaran lingkungan. Untuk itu perlu dikembangkan suatu sistem pengelolaan sampah untuk sampah wisata dan bawaan laut yang dihasilkan di Pantai Pangandaran. Dalam penelitian ini dilakukan suatu studi mengenai timbulan dan komposisi sampah wisata dan bawaan laut dimana hasilnya diharapkan dapat dijadikan dasar oleh stakeholder terkait dalam menentukan sistem pengelolaan maupun teknologi pengolahan sampah yang tepat untuk diterapkan di Pantai Pangandaran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa timbulan sampah dari hotel di Pantai Pangandaran cenderung tinggi, salah satunya disebabkan oleh penggunaan kamar yang melebihi kapasitas. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa sampah wisata banyak didominasi oleh sampah dapur dan sisa makanan (44,68%) serta sampah daun (13,48%). Kedua jenis sampah ini dapat diolah dengan baik dengan pengomposan maupun biodigester. Sementara sampah bawaan laut didominasi oleh sampah plastik (28,32%), batang kayu (25,15%), dan batok kelapa (27,33%). Reduksi sampah bawaan laut dapat dilakukan dengan cara menjual kembali sampah kepada bandar sampah. Selain itu, pengelolaan sampah bawaan laut tidak terlepas dari pengelolaan sampah daerah aliran sungai yang bermuara di pantai karena sampah bawaan laut banyak berasal dari darat.

Kata Kunci: Wisata pantai, Pantai Pangandaran, timbulan sampah, komposisi sampah, sampah bawaan laut

Abstract

Pangandaran beach which is located in Pangandaran District is one of distinguish tourism destination in West Java Province and on of national strategic tourism destination. The increasing number of visitors in Pangandaran Beach has not been accompanied by proper waste management so it caused solid waste accumulation at peak season which caused aesthetic decline, visitors inconvenience, and environmental pollution. Therefore, solid waste management for tourism solid waste and marine debris in Pangandaran Beach is needed to be develop. Hence, this research conducted a study of solid waste generation and composition. The results of this research are expected to be used by relevant stakeholders in determining appropriate solid waste processing technology and management system that could be applied in Pangandaran Beach as a coastal tourism destination. Research results showed that waste generation from hotels in Pangandaran Beach tend to be high due to room overuse that exceeding its capacity. Besides that, the research results also showed that the composition of tourism solid waste is dominated by kitchen waste (44.68%) and garden waste (13.48%). These type of solid waste could be reduced by using biological process such as composting and anaerobic digestion. While marine debris is dominated by plastic (28.32%), wood (25.15%), and coconut shell (27.33%). Marine debris reduction could be done by selling it to informal sector. In addition, marine debris management cannot be separated from solid waste management of its watershed because of marine debris in Pangandaran dominated by solid waste from the watershed.

Keywords: Coastal tourism, Pangandaran Beach, solid waste generation, solid waste composition, marine debris

PENDAHULUAN

Sektor pariwisata dapat membuka dan memperluas lapangan pekerjaan, meningkatkan pendapatan daerah setempat, dan secara umum memberikan keuntungan ekonomi pada suatu negara (Mateu-Sbert et al. 2013; Othman, Mohamed, dan Khairi 2012; Mudrikah 2014). Sektor kepariwisataan pada tahun 2008 berkontribusi terhadap 3,09% dari total *gross domestic product* (GDP) Indonesia dan pada tahun 2009, kontribusinya meningkat menjadi 3,25%. Pada tahun 2009, devisa dari pariwisata merupakan kontributor terbesar ketiga devisa negara Indonesia, setelah minyak dan gas bumi serta minyak kelapa sawit (Mudrikah 2014). Sektor wisata yang banyak dikembangkan oleh Indonesia selaku negara kepulauan adalah wisata pantai dan laut dengan mengoptimalkan pengembangan ekosistem pesisir dan laut dengan mengedepankan keindahan alam serta biota laut (Kurniawan et al. 2016).

Dampak negatif dari aktivitas wisata terjadi saat tingkat penggunaan potensi lingkungan oleh pengunjung lebih besar dari daya dukungnya. Pengembangan wisata yang konvensional dan tidak berkelanjutan dapat menyebabkan bahaya terhadap lingkungan alami daerah sekitarnya, seperti erosi, peningkatan pencemaran, penurunan biodiversitas, hilangnya habitat alami, dan lainnya (Sunlu 2002). Tantangan yang cukup serius datang dari masalah pengolahan air limbah dan pengelolaan persampahan dimana keduanya dapat berdampak pada kerusakan lingkungan, penurunan estetika, serta pengurangan kenyamanan dan kesehatan. Laju timbulan sampah yang berasal dari akomodasi dan tempat makan di wilayah wisata meningkat dengan cepat yang menyebabkan peningkatan vektor penyakit, seperti lalat dan tikus. Selain vektor penyakit, dapat terjadi pula resiko sampah terbakar yang berasal dari timbunan sampah (Sealey dan Smith 2014).

Sampah lain yang dapat mencemari kawasan wisata pantai ialah sampah bawaan laut. Sampah ini berasal dari sampah laut yang terdampar di pantai sehingga mengotori pantai. Sampah laut merupakan sampah manufaktur yang memasuki lingkungan laut dari berbagai sumber. Sampah laut biasanya berupa sampah yang *inert* seperti plastik, kain, logam, *styrofoam*, dan kayu. Namun dewasa ini, plastik menjadi sampah yang dominan dari sampah laut (Sheavly dan Register 2007; Thiel et al. 2013; Thompson et al. 2011). Sampah laut biasanya terdampar di pantai dalam jumlah yang besar dari segi volume. Bila sampah ini tidak ditangani dengan tepat maka akan menyebabkan penurunan estetika pantai dan kenyamanan pengunjung pantai.

Kabupaten Pangandaran memiliki banyak destinasi wisata, mulai dari cagar alam, wisata sungai, dan wisata pantai. Namun sebagai kabupaten yang baru terbentuk pada tahun 2012, Kabupaten Pangandaran masih harus mengembangkan sistem persampahan terutama yang mendukung aktivitas wisata. Sampah masih dikelola dengan sistem konvensional, yaitu kumpul-angkut-buang, sementara praktik 3R masih dilakukan secara sporadis oleh kelompok masyarakat secara mandiri.

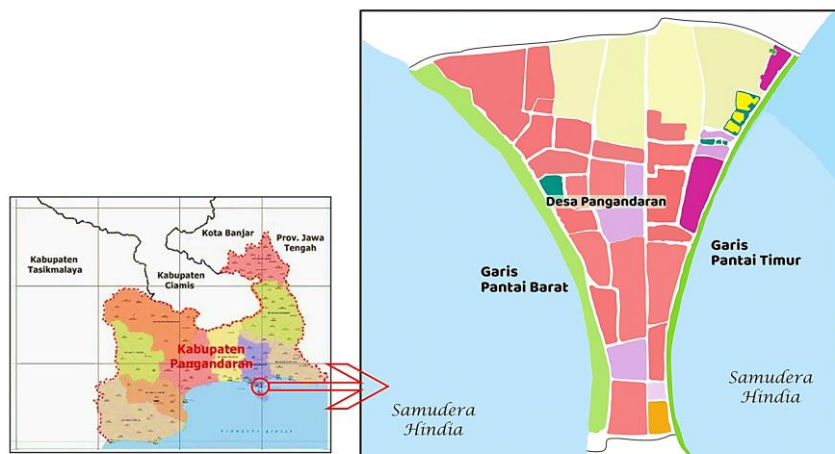
Masalah timbul ketika puncak musim liburan tiba dimana sampah yang dihasilkan oleh pengunjung tidak dapat diangkut karena akses menuju TPA terhalang oleh padatnya kendaraan, terutama kendaraan pengunjung. Hal ini menyebabkan sampah menumpuk di dalam kawasan wisata. Sampah tidak dapat diolah secara insitu karena Kabupaten Pangandaran belum memiliki sarana pengolahan persampahan setempat. Untuk mengatasi permasalahan persampahan tersebut maka dibutuhkan suatu sistem pengelolaan sampah yang tepat dan mampu mereduksi volume sampah yang harus diangkut ke TPA.

Secara umum, penanganan sampah bergantung pada karakteristik sampah. Kajian timbulan dan komposisi sampah menjadi penting dalam proses pengembangan sistem pengelolaan sampah, termasuk pengelolaan sampah pariwisata pantai. Melihat pentingnya hal tersebut maka penelitian ini ditujukan untuk mengetahui timbulan dan komposisi sampah di sumber dari aktivitas wisata berupa akomodasi, warung, dan restoran serta sampah bawaan laut dari kawasan wisata Pantai Pangandaran. Data timbulan dan komposisi sampah ini diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan bagi stakeholder terkait untuk mengelola persampahan di kawasan wisata pantai di Kabupaten Pangandaran, khususnya di kawasan Pantai Pangandaran sebagai salah satu destinasi wisata strategis nasional (Sumaryana 2018).

METODE

Lokasi Penelitian

Pantai Pangandaran merupakan salah satu objek wisata alam yang terkenal di Jawa Barat yang berlokasi di Kabupaten Pangandaran (Gambar 1). Pantai ini menjadi salah satu kawasan wisata strategis nasional seperti yang tertuang dalam PP No. 50 Tahun 2011 mengenai Rencana Induk Pembangunan Kepariwisata Nasional /Ripparnas (Sumaryana 2018).

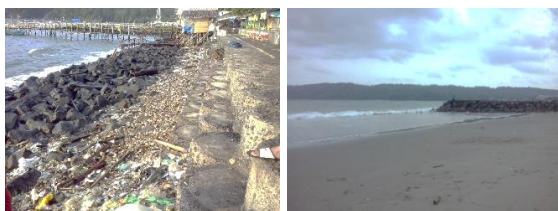


Gambar 1 Kabupaten Pangandaran dan Pantai Pangandaran

Pantai Pangandaran memiliki 2 karakter fisik pantai yang berbeda yaitu pantai berpasir putih (Pantai Barat) dan pantai berkarang (Pantai Timur) (Gambar 2 dan Gambar 3). Panjang total Pantai Pangandaran adalah 5.552 m, dimana panjang Pantai Barat 3.184 m dan panjang Pantai Timur 2.368 m. Terdapat pula pantai yang berpasir putih di kedua sisi (Barat dan Timur) dari Tanjung Pananjung, dimana hamparan pasir putih yang terletak di sisi Barat sepanjang 532 m, sedangkan disisi Timur sepanjang 395 m (Nugroho dan Yusuf 2013).



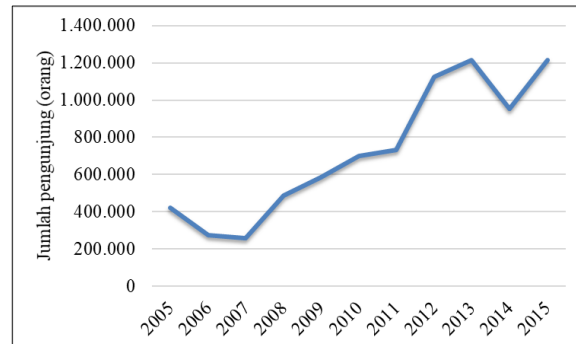
Gambar 2 Pantai Barat Pantai Pangandaran



Gambar 3 Pantai Timur Pantai Pangandaran

Jumlah wisatawan yang mengunjungi Pantai Pangandaran cenderung mengalami peningkatan

walaupun sempat menurun saat pasca tsunami pada periode 2006-2007. Namun dengan intervensi program peningkatan citra Pantai Pangandaran melalui media cetak dan media elektronik maka sejak tahun 2008, jumlah wisatawan kembali meningkat (Rakhman et al. 2014). Gambar 4 menunjukkan bahwa jumlah pengunjung yang datang ke Pantai Pangandaran cenderung meningkat setiap tahunnya.



Gambar 4 Jumlah Pengunjung Pantai Pangandaran

Penentuan Timbulan

Pengukuran timbulan sampah dibagi berdasarkan jenis sumber sampah, yaitu sumber titik dan sumber garis. Sumber titik meliputi 3 hotel berbintang, 2 hotel melati, 2 rumah makan, dan 30 warung. Sementara sumber garis meliputi sampah bawaan laut di sepanjang Pantai Barat dan Pantai Timur.

Pengukuran timbulan sampah dari sumber titik dilakukan dengan menggunakan metode acuan dari SNI 19-2964-1994 tentang metode pengambilan dan pengukuran contoh timbulan dan komposisi sampah perkotaan. Pengukuran dilakukan selama delapan hari berturut-turut di tempat pengumpulan sampah.

Sumber sampah yang dijadikan sampel merupakan sumber sampah yang menjadi pusat aktivitas wisata yang terdiri dari hotel, rumah makan, dan warung. Hotel berbintang diwakili oleh empat hotel, hotel diwakili oleh lima hotel, rumah makan diwakili oleh dua rumah makan, dan warung diwakili oleh sepuluh warung di masing-masing Pantai Barat dan Pantai Timur Pangandaran.

Sampah yang akan diukur dimasukkan ke dalam wadah pengukur berukuran 500 liter setelah penuh kotak dihentakan tiga kali kemudian dihitung volume setelah dihentakan. Berat sampah yang dimasukkan ke dalam kotak 500 L kemudian ditimbang beratnya. Hal ini bertujuan untuk mengukur densitas sampah. Perhitungan densitas sampah dapat dilihat pada Persamaan 1. Sampah yang dihasilkan oleh setiap sumber sampah kemudian dibagi dengan jumlah unit penghasil sampah sehingga dapat diketahui timbulan sampah untuk setiap sumber sampah. Perhitungan timbulan sampah dapat dilihat pada Persamaan 2 dan Persamaan 3.

$$\rho \text{ (kg/m}^3\text{)} = \frac{W \text{ (kg)}}{V \text{ (m}^3\text{)}} \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{Timbulan sampah (kg/unit)} = \frac{W \text{ (kg)}}{u \text{ (unit)}} \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{Timbulan sampah (L/unit)} = \frac{W / \rho}{u \text{ (unit)} \times 1000} \dots\dots\dots (3)$$

Pengukuran timbulan sampah dari sumber garis dilakukan dengan menggunakan metode transek. Transek garis 100 meter dibentangkan sejajar garis pantai dengan lebar transek batas air pasang sampai air surut terendah dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Penentuan Garis Transek
(Azhar et al. 2003)

Perhitungan timbulan dengan metode ini dilakukan untuk menghitung sampah bawaan laut di Pantai Barat dan Pantai Timur dimana masing-masing

pantai dibuat tiga segmen transek di sebelah utara, di tengah, dan di sebelah selatan. Semua sampah yang berukuran lebih dari 2,5 cm dikumpulkan kemudian dimasukkan ke dalam kotak 200 liter untuk mengukur densitas sampah. Sampah yang telah dikumpulkan kemudian ditimbang. Timbulan sampah dihitung dengan membagi berat sampah yang dikumpulkan dibagi dengan luas transek. Hasil pengukuran jumlah timbulan yang diperoleh ditabulasi dalam satuan kg/m²/satuan waktu atau L/m²/satuan waktu (Azhar et al. 2003).

Penentuan Komposisi Sampah

Pengukuran komposisi dilakukan pada titik sampling yang sama dengan pengukuran timbulan sampah. Sampah yang telah dimasukkan ke dalam kotak densitas dikeluarkan kembali dan dipisahkan berdasarkan komponen komposisi sampah dan masing-masing ditimbang beratnya. Komposisi sampah dipisahkan menjadi sampah dapur, sampah kebun, ranting, plastik daur ulang, plastik residu, kertas, gelas/kaca, nappies, karet/kulit, kain, styrofoam, kayu, logam, B3, batok kelapa, dan sampah residu. Perhitungan komposisi sampah dapat dilihat pada Persamaan 4.

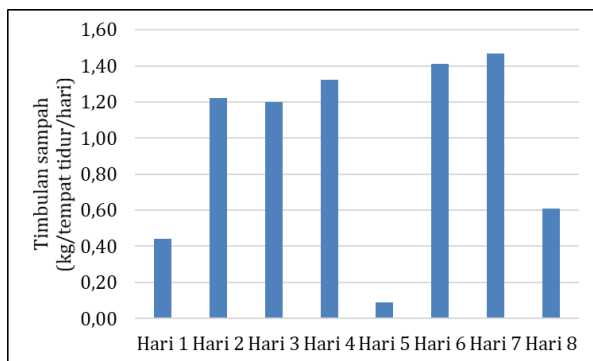
$$\text{Komposisi sampah} = \frac{\text{berat komponen (kg)}}{\text{berat total (kg)}} \times 100\% \quad (4)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

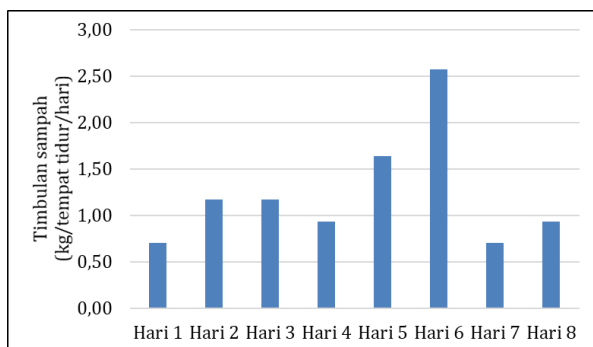
Hotel

Berdasarkan hasil pengukuran, rata-rata timbulan yang dihasilkan dari hotel berbintang dan hotel melati masing-masing adalah 0,97 kg/tempat-tidur/hari dan 1,23 kg/tempat tidur/hari dengan densitas 243 kg/m³ untuk hotel berbintang dan 310,71 kg/m³ untuk hotel melati. Timbulan sampah hotel berbintang dan hotel melati di Pantai Pangandaran dapat dilihat pada Gambar 6.a.

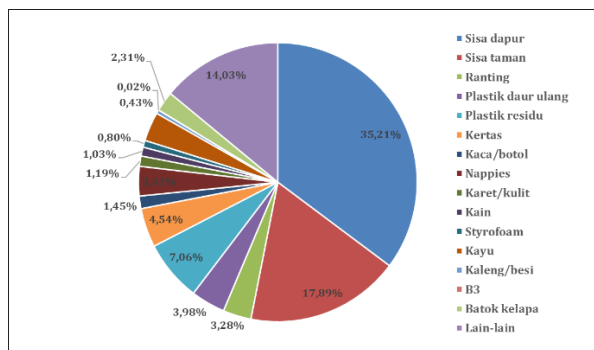
Hotel melati menghasilkan sampah yang lebih tinggi dibandingkan dengan hotel berbintang (Gambar 6.b) dikarenakan pengunjung di hotel melati banyak membawa makanan dari luar untuk dimakan di hotel. Timbulan sampah yang dihasilkan oleh hotel di Pantai Pangandaran tergolong tinggi jika dibandingkan dengan timbulan sampah hotel di Kota Bukittinggi, yaitu sebesar 0,49 kg/tempat-tidur/hari dan timbulan sampah hotel di Kota Pekanbaru yaitu sebesar 0,29 kg/tempat tidur/hari (Ruslinda dan Indah 2007; Sari et al. 2015). Salah satu penyebabnya adalah penggunaan kamar melebihi kapasitas seharusnya dimana dalam satu kamar hotel di Pangandaran dapat diisi oleh lebih dari empat orang.



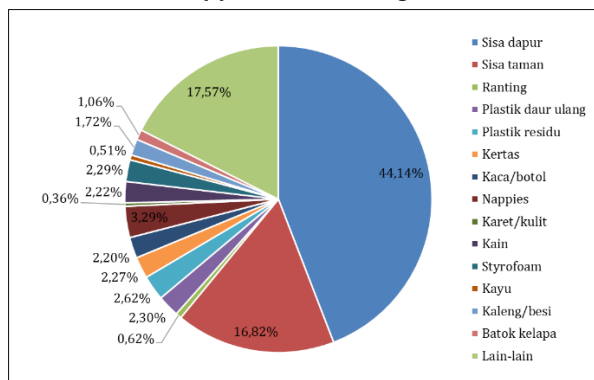
(a) Hotel berbintang



(b) Hotel melati

Gambar 6 Timbulan Sampah Hotel di Pantai Pangandaran


(a) Hotel berbintang



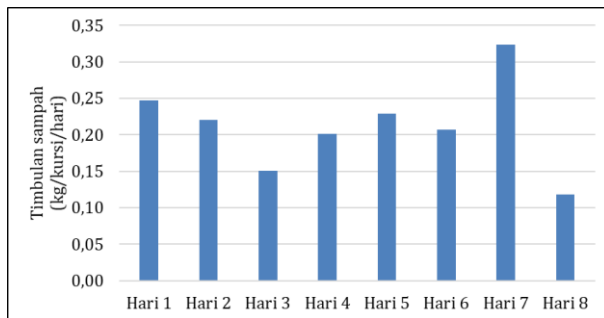
(b) Hotel melati

Gambar 7 Komposisi Sampah Hotel di Pantai Pangandaran

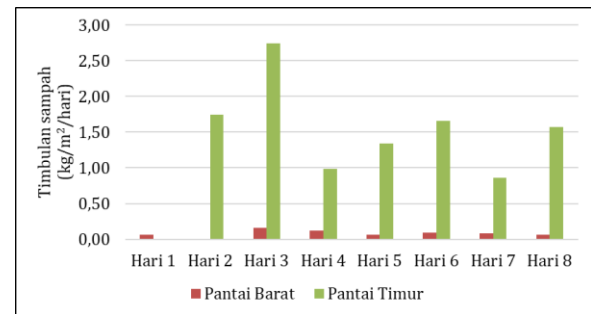
Komposisi sampah baik dari hotel berbintang maupun hotel melati didominasi oleh sisa makanan yang mencapai 35,21% untuk hotel berbintang dan 44,14% untuk hotel melati. Sisa makanan yang ditemukan berasal dari dapur hotel dan sisa makanan yang dibawa oleh pengunjung dari luar hotel. Sampah lain yang banyak ditemukan dari hotel di Pangandaran adalah sampah kebun berupa daun sebanyak 17,89% untuk hotel berbintang dan 16,82% untuk hotel melati. Sampah lain yang hingga saat ini belum diolah adalah sampah batok kelapa yakni sebesar 14,03% untuk hotel berbintang dan 17,57% untuk hotel melati. Sementara jumlah sampah plastik kurang dari 15% yang disebabkan sejumlah besar plastik yang dapat di daur ulang sudah diambil terlebih dahulu oleh pemulung atau sudah dijual oleh karyawan hotel. Persentase komponen sampah lain yang dihasilkan oleh hotel berbintang dan hotel melati dapat dilihat pada Gambar 7.

Rumah Makan

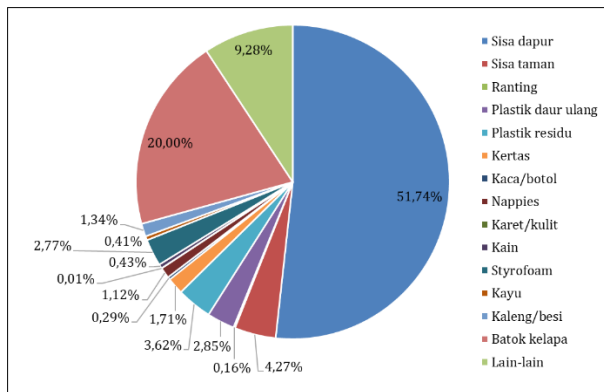
Berdasarkan hasil pengukuran di lapangan, rata-rata timbulan yang dihasilkan dari rumah makan di Pantai Pangandaran adalah 0,21 kg/kursi/hari dengan fluktuasi timbulan dapat dilihat pada Gambar 8. Densitas sampah yang berasal dari rumah makan adalah 264,22 kg/m³. Sampah dari rumah makan diangkut ke TPS setiap hari untuk menghindari bau karena lebih dari setengah sampah yang dihasilkan oleh rumah makan adalah sampah dapur dan sisa makanan pengunjung yang cepat membusuk (Gambar 9). Sebagian sampah dapur tersebut diambil oleh pekerja untuk dijadikan pakan unggas dan hewan ternak. Selain sampah dapur, rumah makan juga menghasilkan sampah batok kelapa sebanyak 20% namun sampah ini tidak dimanfaatkan dan langsung dibuang ke TPA. Sampah jenis lain yang banyak dihasilkan dari rumah makan adalah sampah cangkang kerang yang dikategorikan sebagai sampah residu sebanyak 9,28%.



Gambar 8 Timbulan Sampah Rumah Makan di Pantai Pangandaran



Gambar 10 Timbulan Sampah Warung di Pantai Pangandaran



Gambar 9 Komposisi Sampah Rumah Makan di Pantai Pangandaran

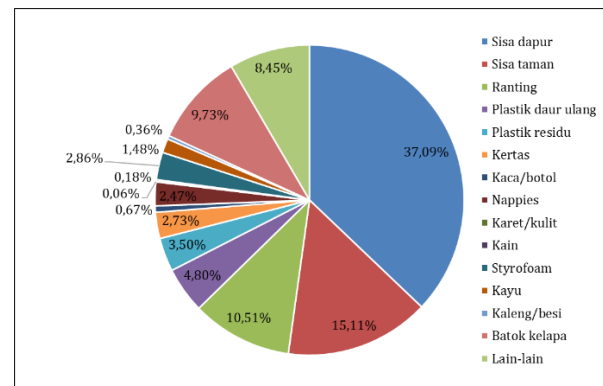
Warung

Timbulan dan komposisi sampah warung dalam penelitian ini berasal warung dengan konstruksi semi permanen yang terdapat di pinggir Pantai Barat dan Pantai Pangandaran. Warung di Pantai Barat terdiri atas 23 kelompok pedagang dengan total pedagang 2.429 pedagang. Sedangkan Pantai Timur memiliki 3 kelompok pedagang dengan total pedagang 350 pedagang. Jumlah pedagang di Pantai Barat lebih banyak dibandingkan dengan Pantai Timur karena Pantai Barat memiliki bibir pantai yang luas dan landau serta segmen pantai berpasir yang lebih luas dibandingkan Pantai Timur.

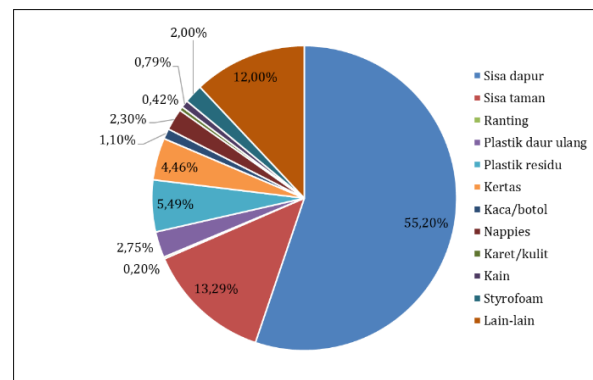
Rata-rata timbulan sampah yang dihasilkan dari warung di Pantai Barat adalah 0,08 kg/m²/hari sementara rata-rata timbulan Pantai Timur adalah 1,36 kg/m²/hari. Timbulan sampah selama delapan hari dapat dilihat pada Gambar 10.

Timbulan Pantai Barat cenderung lebih kecil dibandingkan dengan Pantai Timur disebabkan oleh perbedaan jenis barang yang dijual di kedua pantai tersebut berbeda. Warung di Pantai Barat banyak menjual makanan ringan dan souvenir sedangkan di warung Pantai Timur selain makanan ringan dan souvenir dijual juga seafood sehingga sampah organik yang dihasilkan menjadi lebih banyak.

Jenis sampah yang banyak dihasilkan dari warung baik di Pantai Barat maupun Pantai Timur adalah sampah sisa makanan atau sampah dapur kemudian disusul oleh sampah taman berupa daun yang berasal dari pohon-pohon di tepi pantai. Sementara persentase sampah plastik dari warung di kedua sisi pantai hampir sama adalah 8% (Gambar 11).



(a) Pantai Barat



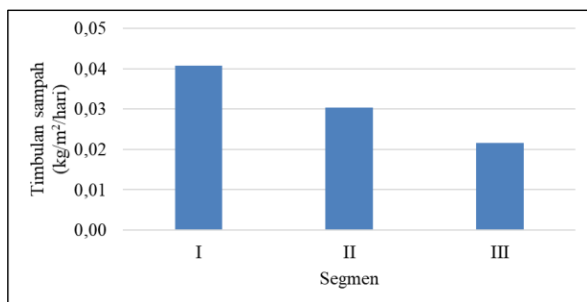
(b) Pantai Timur

Gambar 11 Komposisi Sampah Warung di Pantai Pangandaran

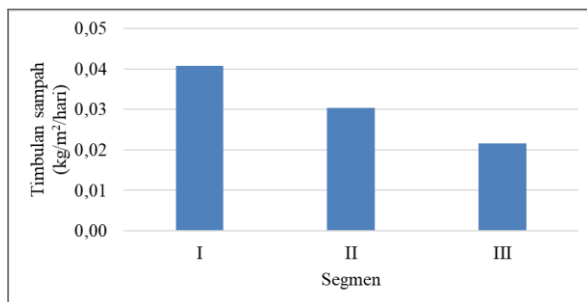
Sampah Bawaan Laut

Rata-rata sampah bawaan laut di Pantai Barat dan Pantai Timur masing-masing adalah 0,03 kg/m²/hari dan 0,84 kg/m²/hari. Sampah bawaan laut lebih banyak timbul di Pantai Timur karena Pantai Timur

merupakan muara dari beberapa sungai yang termasuk ke dalam DAS Citanduy-Cimanuk, seperti Sungai Cikidang, Sungai Putrappingan, Sungai Majingklak, dan Sungai Citanduy. Akibatnya pada saat musim hujan yang bertepatan dengan musim angin timur yang terjadi pada bulan Juni – Agustus, sampah dari hulu sungai sebagian besar terbawa ke Pantai Timur. Pada beberapa titik sampah dari sungai bercampur dengan sampah nelayan sehingga sampah di Pantai Timur menjadi semakin banyak. Fenomena ini sejalan dengan fenomena yang terjadi di Brazil Utara dimana sampah bawaan laut lebih banyak terkumpul pada pantai yang menjadi muara sungai dan stabil dimana sampah berasal dari permukiman di hulu sungai (Santos, Friedrich, dan Ivar do Sul 2009). Oleh karena itu, penanganan sampah bawaan laut di Pantai Timur tidak dapat lepas dari penanganan sampah di DAS Cimanuk-Citanduy.



(a) Pantai Barat



(b) Pantai Timur

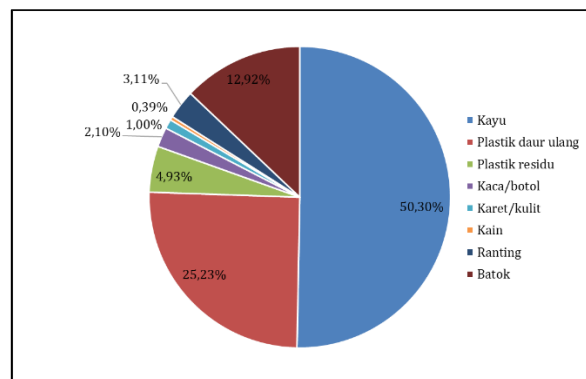
Gambar 12 Timbulan Sampah Bawaan Laut Pantai Pangandaran

Komposisi sampah bawaan laut di Pantai Timur didominasi oleh batang kayu (50,3%) kemudian diikuti oleh sampah botol plastik dan plastik pembungkus makanan (25,23%), sampah lain yang juga banyak ditemui di Pantai Timur adalah batok kelapa, yaitu sebanyak 12,92% (Gambar 13.a). Sementara sampah bawaan laut di Pantai Barat lebih didominasi oleh batok kelapa (41,74%) diikuti oleh sampah botol plastik dan plastik pembungkus makanan (22,57%) seperti yang ditampilkan pada Gambar 13.b. Sampah bawaan laut dari Pantai Barat dan Pantai Timur biasanya dibersihkan pada setiap hari Jum'at dalam program Jum'at Bersih yang melibatkan masyarakat, pedagang, swasta, dan dinas-

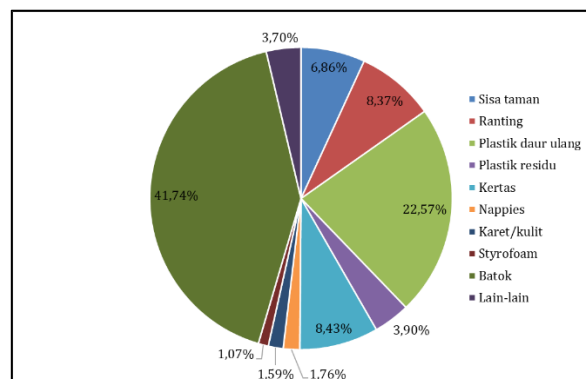
Tabel 1 Rata-Rata Komposisi Sampah Aktivitas Wisata dan Bawaan Laut Pantai Pangandaran

No.	Komponen	Komposisi (%)	
		Aktivitas pariwisata	Sampah bawaan laut
1.	Sisa dapur	44.68%	
2.	Sisa taman	13.48%	3.43%
3.	Ranting	2.95%	5.74%
4.	Plastik daur ulang	3.34%	23.90%
5.	Plastik residu	4.46%	4.42%
6.	Kertas	3.14%	4.22%
7.	Kaca/botol	1.14%	1.05%
8.	Nappies	2.52%	0.88%
9.	Karet/kulit	0.41%	1.30%
10.	Kain	0.93%	0.19%
11.	Styrofoam	2.14%	0.54%
12.	Kayu	1.15%	25.15%
13.	Kaleng/besi	0.77%	
14.	B3	0.005%	
15.	Batok kelapa	9.02%	27.33%
16.	Lain-lain	9.87%	1.85%

dinas di Kecamatan Pangandaran. Sampah yang berhasil dikumpulkan dari kedua pantai langsung diangkut ke TPA dengan menggunakan truk pengangkut sampah dan tidak mengalami pengolahan sama sekali.



(a) Pantai Barat



(b) Pantai Timur

Gambar 13 Komposisi Sampah Bawaan Laut Pantai Pangandaran

Potensi Reduksi Sampah

Berdasarkan hasil pengukuran komposisi diketahui bahwa sampah aktivitas wisata yang melingkupi hotel, rumah makan, dan warung didominasi oleh sampah dapur dan sisa makanan sebanyak 44,68% dan sampah taman berupa daun sebanyak 13,48% (Tabel 1).

Kedua jenis sampah ini dapat diolah melalui proses biologis, seperti pengomposan maupun dalam biodigester. Sampah plastik yang dapat didaur ulang dan masih bernilai ekonomis dapat dijual kepada bandar sampah maupun diolah kembali menjadi barang yang memiliki nilai seni. Sampah lain yang dapat dimanfaatkan kembali dan masih memiliki nilai ekonomi adalah kertas, karet/kulit, kaca/gelas, kain, dan logam. Faktor *recovery* dari masing-masing komponen dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Faktor *Recovery* Sampah

No.	Komponen	Faktor <i>recovery</i> (%)
1.	Sampah organik	53
2.	Plastik	51
3.	Kaleng/besi	66
4.	Kertas	44
5.	Gelas	29

Sampah bawaan laut didominasi oleh batang kayu (25,15%) dan sampah botol plastik dan kemasan makanan (23,9%). Kedua jenis sampah ini dapat direduksi dengan cara menjual plastik kepada bandar sedangkan batang kayu dapat dimanfaatkan dengan cara mengeringkannya dan menjadikannya sebagai kayu bakar karena sebagian masyarakat Pangandaran masih menggunakan kayu bakar untuk keperluan sehari-harinya. Sementara sampah batok kelapa yang juga banyak ditemukan terutama di Pantai Barat. Hingga saat ini, batok kelapa belum dimanfaatkan dan langsung dibuang ke TPA.

KESIMPULAN

Sumber sampah wisata pada umumnya terbagi menjadi dua, yaitu sampah aktivitas wisata dan sampah bawaan laut. Pada penelitian ini sampah aktivitas wisata melingkupi hotel, rumah makan, dan warung di pinggir pantai. Sampah aktivitas wisata dapat diklasifikasikan sebagai sumber titik dimana pengukuran timbulan dan komposisi mengacu pada SNI 19-2964-1994 tentang metode pengambilan dan pengukuran contoh timbulan dan komposisi sampah perkotaan. Sementara sampah bawaan laut diklasifikasikan ke dalam sumber garis dimana pengukuran timbulan dan komposisi dilakukan dengan menggunakan metode transek. Berdasarkan hasil pengukuran, diketahui rata-rata timbulan untuk hotel berbintang adalah 0,97 kg/tempat-tidur/hari, hotel melati sebesar 1,23 kg/tempat-tidur/hari,

rumah makan 0,21 kg/kursi/hari, warung di Pantai Barat sebesar 0,08 kg/m²/hari, warung di Pantai Timur sebesar 1,36 kg/m²/hari, sampah bawaan laut Pantai Barat 0,03 kg/m²/hari, dan sampah bawaan laut Pantai Timur sebesar 0,84 kg/m²/hari. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa sampah wisata banyak didominasi oleh sampah dapur dan sisa makanan (44,68%) serta sampah daun (13,48%). Kedua jenis sampah ini dapat diolah dengan baik dengan proses biologis seperti pengomposan maupun dalam biodigester. Sementara sampah bawaan laut didominasi oleh sampah plastik (28,32%), batang kayu (25,15%), dan batok kelapa (27,33%). Reduksi sampah bawaan laut dapat dilakukan dengan cara menjual kembali sampah kepada bandar sampah. Selain itu, pengelolaan sampah bawaan laut tidak terlepas dari pengelolaan sampah daerah aliran sungai yang bermuara di pantai karena sampah bawaan laut banyak berasal dari darat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini sepenuhnya didanai oleh Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dinas Pekerjaan Umum, Tata Ruang, Perumahan Rakyat dan Kawasan Permukiman Kabupaten Pangandaran yang telah membantu selama proses pengukuran timbulan dan komposisi di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Azhar, Irdez, Hanny Tioho, Benny Pratasik, dan FORPPELA Steering Committee. 2003. "Panduan Pemantauan Wilayah Pesisir oleh FORPPELA (1)." In *Koleksi Dokumen Proyek Pesisir 1997-2003, Seri Pemantauan Wilayah Pesisir*, diedit oleh M. Knight dan S. Tighe. Rhode Island: Coastal Resources Center, University of Rhode Island.
- Kurniawan, Fery, Luky Adrianto, Dietrich G. Bengen, dan Lilik Budi Prasetyo. 2016. "Vulnerability Assessment of Small Islands to Tourism: The Case of The Marine Tourism Park of the Gili Matra Islands, Indonesia." *Global Ecology and Conservation* 6 (April): 308-26. <https://doi.org/10.1016/J.GECCO.2016.04.001>.
- Mateu-Sbert, Josep, Ignacio Ricci-Cabello, Ester Villalonga-Olives, dan Elena Cabeza-Irigoyen. 2013. "The Impact of Tourism on Municipal Solid Waste Generation: The case of Menorca Island (Spain)." *Waste Management* 33 (12): 2589-93. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2013.08.0>

- 07.
- Mudrikah, A. 2014. "Kontribusi Sektor Pariwisata Terhadap GDP Indonesia Tahun 2004-2009." *Economics Development Analysis Journal* 3 (2): 362-71.
- Nugroho, Prasetyo, dan Muh Yusuf. 2013. "Strategi Pengembangan Ekowisata di Pantai Pangandaran Kabupaten Ciamis Pasca Tsunami." *Journal Of Marine Research* 2 (2): 11-21.
- Othman, Norasmah, Suzana Mohamed, dan Farlizawati Khairi. 2012. "Tourism Activities and Its Impact on Environmental Sustainability in Coastal Areas." *International Business Management* 6 (6): 629-33.
- Rakhman, Cecep Ucu, Dadang Suganda, Reiza D. Dienaputra, dan Sapta Nirwandar. 2014. "Community - Based Tourism Development Model in the District of Pangandaran." *International Journal of Culture and History* 1 (1):34.<https://doi.org/10.5296/ijch.v1i1.4970>.
- Ruslinda, Yenni, Shinta Indah, dan Widya Laylani. 2012. "Sampah Nondomestik Kota Bukittinggi " *Jurnal Teknik Lingkungan Unand* 9 (1): 1 – 12.
- Santos, Isaac R., Ana Cláudia Friedrich, dan Juliana Assunção Ivar do Sul. 2009. "Marine Debris Contamination along Undeveloped Tropical Beaches from Northeast Brazil." *Environmental Monitoring and Assessment* 148 (1-4): 455-62. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0175-z>.
- Sari, Siti, Elvi Yenie, dan Shinta Elystia. 2015. "Studi Timbulan, Komposisi dan Karakteristik Fisika dan Kimia (Proximate Analysis) Sampah Non Domestik di Kecamatan Tampan Kota Pekanbaru." *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau* 2 (Februari): 1-11.
- Sealey, Kathleen Sullivan, dan Jarrell Smith. 2014. "Recycling for Small Island Tourism Developments: Food Waste Composting at Sandals Emerald Bay, Exuma, Bahamas." *Resources, Conservation and Recycling* 92 (November): 25-37. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.08.008>.
- Sheavly, S. B., dan K. M. Register. 2007. "Marine Debris & Plastics: Environmental Concerns, Sources, Impacts and Solutions." *Journal of Polymers and the Environment* 15 (4): 301-5. <https://doi.org/10.1007/s10924-007-0074-3>.
- Sumaryana, Asep. 2018. "Tourism and the Welfare of Pangandaran People." *Review of Integrative Business and Economics Research* 7: 210-20. <https://search.proquest.com/docview/1969775943?accountid=17242>.
- Sunlu, Ugur. 2002. "Environmental Impacts of Tourism Local Resources and Global Trades: Environments and Agriculture in The Mediterranean Region." In *CIHEAM (Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens. No 57). Conference on the Relationships between Global Trades and Local Resources in the Mediterranean Region*, 4:263-70. Bari. <http://om.ciheam.org/article.php?IDPDF=4001977><http://www.ciheam.org/%5Cnhttp://om.ciheam.org/>.
- Thiel, M., I. A. Hinojosa, L. Miranda, J. F. Pantoja, M. M. Rivadeneira, dan N. Vásquez. 2013. "Anthropogenic Marine Debris in the Coastal Environment: A multi-year Comparison Between Coastal Waters and Local Shores." *Marine Pollution Bulletin* 71 (1-2): 307-16. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.01.005>.
- Thompson, Richard C, Bruce E La Belle, Hindrik Bouwman, dan Lev Neretin. 2011. "Marine Debris as a Global Environmental Problem: Introducing a Solutions-Based Framework Focused on Plastic." In *Global Environment Facility. Plastic Pollution ilmpacts on Marine Wldlife. Endangered Species Research*, 225-247. Washiton DC: Rapport de STAP (Scientific and Technical Advisory Panel).

**PENGARUH TINGKAT KERAMAHAN LINGKUNGAN PERUMAHAN
BAGI PEJALAN KAKI TERHADAP AKTIVITAS FISIK
DAN KESEHATAN MASYARAKAT
KASUS: PERUMAHAN MARGAHAYU RAYA, BANDUNG**

***The Influence of a Pedestrian-Friendly Environment
on Physical Activity and Public Health
Case: Margahayu Raya Housing, Bandung***

Petrus Natalivan Indradjati, Murni Elfrida

Sekolah Arsitektur, Perencanaan dan Pengembangan Kebijakan,
Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesha No.10, Bandung
Surel: natalivan@sappk.itb.ac.id; murni.elfrida96@gmail.com

Diterima: 12 November 2019 ; Disetujui: 03 Maret 2020

Abstrak

Banyak penelitian menunjukkan hubungan antara penggunaan lahan campuran, kepadatan, fasilitas, dan jaringan jalan pada lingkungan perumahan dengan perilaku aktivitas fisik seperti berjalan dan bersepeda penghuninya. Di Indonesia, studi hubungan lingkungan yang ramah pejalan kaki dengan perilaku aktivitas fisik dan kesehatan masyarakat sangat terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini penting mengingat tingginya angka kematian akibat penyakit tidak menular yang salah satu penyebabnya adalah karena kurangnya aktivitas fisik. Aktivitas yang memadai dan teratur setidaknya 150 menit per minggu dapat mengurangi faktor risiko kelebihan berat badan dan obesitas, hipertensi dan peningkatan gula darah dan lipid darah yang memicu penyakit jantung, stroke, diabetes, dan kanker. Penelitian ini bertujuan untuk melihat hubungan antara karakteristik pola perilaku aktivitas fisik dan kesehatan masyarakat berdasarkan tingkat keramahan lingkungan bagi pejalan kaki di Perumahan Margahayu Raya Bandung. Penelitian ini bersifat eksploratif dengan metode kuantitatif dengan menggunakan analisis statistik deskriptif. Penelitian dilakukan pada dua karakter lingkungan yang berbeda, yaitu di lingkungan perumahan yang cenderung lebih ramah pejalan kaki dan lingkungan yang kurang ramah pejalan kaki. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan signifikan perilaku aktivitas fisik dari dua karakter lingkungan perumahan tersebut. Analisis hubungan antara lingkungan dan kesehatan dengan perilaku aktivitas fisik sangat lemah, tetapi memiliki hubungan positif antara perilaku bersepeda dengan lingkungan dan perilaku kesehatan dan olahraga dengan lingkungan.

Kata Kunci: Lingkungan terbangun, aktivitas fisik, kesehatan masyarakat, ramah pejalan kaki, Bandung

Abstract

Many studies have shown the relationship between mixed land use, density, facilities, and road networks in a residential environment with inhabitant's physical activity behavior such as walking and cycling. In Indonesia, studies on pedestrian-friendly environment in relation to physical activity behavior and public health are very limited. This research is important considering the high mortality rate due to non-infectious diseases because of low or lack of physical activity. An adequate and regular activity for at least 150 minutes per week can reduce risk factors for being overweight and obese, hypertension and an increase in blood sugar and blood lipids that may trigger heart disease, stroke, diabetes, and cancer. This research is intended to study the relationship between the characteristics of physical activity behavior patterns and public health based on the level of environmental friendliness for pedestrians in Margahayu Raya Housing Bandung. This research is carried out with quantitative methods using descriptive statistical analysis. This research was conducted on two different environmental characteristics: a residential environment that tends to be more pedestrian friendly and a less pedestrian friendly environment. The results indicate that there are no significant differences in the physical activity behavior of the two characteristics of the housing environment. Analysis of the relationship between the environment and physical fitness is very weak but has a positive relationship between cycling behavior with the pedestrian-friendly environment, and physical fitness and activities with the pedestrian-friendly environment.

Keywords: Built environment, physical activity, public health, pedestrian friendly, Bandung

PENDAHULUAN

Aktivitas fisik didefinisikan oleh World Health Organization (WHO Europe 2006) sebagai gerakan tubuh yang dihasilkan oleh otot rangka yang membutuhkan pengeluaran energi. Namun, istilah "aktivitas fisik" tidak dapat disamakan dengan "exercise" atau "latihan", karena latihan adalah subkategori aktivitas fisik yang direncanakan, terstruktur, berulang dan terarah, sehingga kemajuan atau pemeliharaan satu atau lebih dari komponen kebugaran fisik adalah tujuannya (WHO 2018). Aktivitas fisik adalah kegiatan olahraga serta aktivitas fisik lainnya yang melibatkan gerakan tubuh dan dilakukan sebagai bagian dari bermain, bekerja, aktivitas pekerjaan rumah tangga, kegiatan rekreasi dan sebagai transportasi aktif. Aktivitas fisik dapat dilakukan di mana saja dan tidak memerlukan peralatan yang banyak, seperti berjalan kaki penuh untuk berbelanja ke tempat belanja atau ke fasilitas terdekat, bersepeda sebagai transportasi atau kegiatan rekreasi, berjalan kaki sebagai kegiatan rekreasi di ruang publik terdekat, maupun melakukan olah raga kecil seperti senam, *jogging*, dan sebagainya. Aktivitas fisik yang teratur sebagai gaya hidup akan meningkatkan kesehatan (Zhao et al. 2019). Melakukan aktivitas fisik dengan intensitas sedang tetapi secara teratur memiliki manfaat signifikan bagi kesehatan, terutama mengurangi faktor risiko Penyakit Tidak Menular (PTM).

Kurangnya aktivitas fisik teridentifikasi sebagai faktor risiko utama keempat untuk kematian global yaitu sebesar 6%. Kurangnya aktivitas fisik merupakan faktor penyebab risiko yang signifikan munculnya PTM seperti stroke, diabetes, kardiovaskular dan kanker. Secara global, pada tahun 2008, sekitar 31% orang dewasa berusia 15 tahun ke atas tidak cukup aktif melakukan aktivitas fisik (pria 28% dan wanita 34%), dan sekitar 3,2 juta kematian setiap tahun disebabkan oleh aktivitas fisik yang tidak mencukupi (WHO 2018). Tingkat aktivitas fisik yang kurang semakin meningkat di banyak negara, hal tersebut berimplikasi besar pada kesehatan masyarakat di seluruh dunia dan meningkatkan faktor risiko PTM dengan semakin meningkatnya penderita tekanan darah tinggi, gula darah yang tinggi dan kelebihan berat badan, sehingga aktivitas fisik yang tidak cukup diperkirakan menjadi penyebab utama sekitar 21-25% kanker payudara dan kanker usus besar, 27% diabetes, dan sekitar 30% penyakit jantung iskemik (WHO 2018).

Kecenderungan peningkatan PTM yang terjadi dalam beberapa dekade terakhir ini di tingkat global juga terjadi di Indonesia baik angka kesakitan (morbiditas) maupun angka kematiannya (mortalitas). Indonesia sebagai negara dengan

aktivitas fisik yang rendah, khususnya berjalan (Althoff et al. 2017), PTM berkontribusi hingga 73 % dari kematian pada Tahun 2017 (Kementerian Kesehatan RI 2018). Hasil ini selaras dengan temuan oleh Karuranga et al. (2018) bahwa Indonesia termasuk negara yang berada pada posisi 6 dunia dengan jumlah diabetes terbanyak, yaitu sekitar 10,3 juta jiwa setelah Cina (114,4 juta jiwa), India (72,9 juta jiwa), Amerika Serikat (30,2 juta jiwa), Brasil (12,5 juta jiwa), dan Meksiko (12 juta jiwa).

Kurangnya aktivitas fisik diindikasikan karena faktor lingkungan di kawasan perumahan. Salvo et al. (2018) meninjau bagaimana atribut lingkungan dapat mempengaruhi perilaku aktivitas fisik dalam konteks penelitian kesehatan masyarakat pada kelompok usia dewasa. Berjalan adalah perilaku aktivitas fisik yang paling umum dari orang dewasa, untuk itu perlu diketahui inovasi lingkungan yang mungkin dapat mempengaruhi tingkat partisipasi penghuni perumahan dalam melakukan aktivitas fisik. Penelitian tentang faktor lingkungan yang terkait dengan berjalan kaki dan aktivitas fisik lainnya menunjukkan hasil yang menjanjikan, meskipun masih terbatas, namun pola temuan menunjukkan hal yang positif. Estetika lingkungan setempat, kemudahan fasilitas untuk berjalan (jalan setapak, jalan kecil), aksesibilitas ke fasilitas (toko, pantai) yang dalam jarak berjalan, tingkat lalu lintas di jalan, dan gabungan atribut lingkungan semuanya telah ditemukan terkait dengan berjalan untuk tujuan tertentu. Penelitian yang dilakukan oleh Siquera Reis et al. (2013) dan Ivory et al. (2015) menunjukkan bahwa proporsi berjalan untuk tujuan pergerakan di lingkungan yang memiliki tingkat keramahan bagi pejalan kaki yang tinggi, lebih banyak dibandingkan lingkungan dengan tingkat keramahan bagi pejalan kaki yang rendah dan dipengaruhi oleh faktor kepadatan dan konektivitas jalan. Lingkungan yang memiliki tingkat keramahan bagi pejalan kaki yang tinggi juga memiliki kondisi keberagaman guna lahan yang tinggi, akses yang mudah menuju guna lahan campuran/nonperumahan, konektivitas jalan yang baik, memiliki estetika, dan aman dari kejahatan (Adlakha, Hipp, dan Brownson 2016).

Studi lain yang pernah dilakukan juga menunjukkan bahwa atribut lingkungan fisik seperti keindahan, destinasi, keselamatan lingkungan perumahan serta karakteristik sosial demografis berkaitan dengan peningkatan aktivitas fisik (Salvo et al. 2018). Demikian juga dengan kepadatan, keragaman, desain, dan jarak (Zhao et al. 2019). Variabel kepadatan populasi atau hunian, keragaman, desain, konektivitas, aksesibilitas, jarak ke sistem transportasi umum dan penggunaan lahan campuran mendorong aktivitas fisik berjalan kaki dan bersepeda (Ribeiro dan Hoffmann 2018; Kang 2018).

Meskipun banyak studi dilakukan, namun masih terdapat tantangan konseptual yang signifikan terkait bagaimana faktor lingkungan tertentu dapat menentukan dan mempengaruhi pilihan dalam melakukan aktivitas fisik, keadaan lingkungan mempunyai pengaruh kuat terhadap perilaku tersebut dibandingkan pengaruh dari sisi kognitif (McCormack et al. 2017). Studi dari beragam kondisi lingkungan perumahan, sosial-ekonomi akan memperkaya pemahaman dan perdebatan teoritis terkait hubungan antara struktur ruang atau lingkungan terbangun (perumahan) dengan berjalan kaki atau aktivitas fisik lainnya yang dilakukan (Kang 2015).

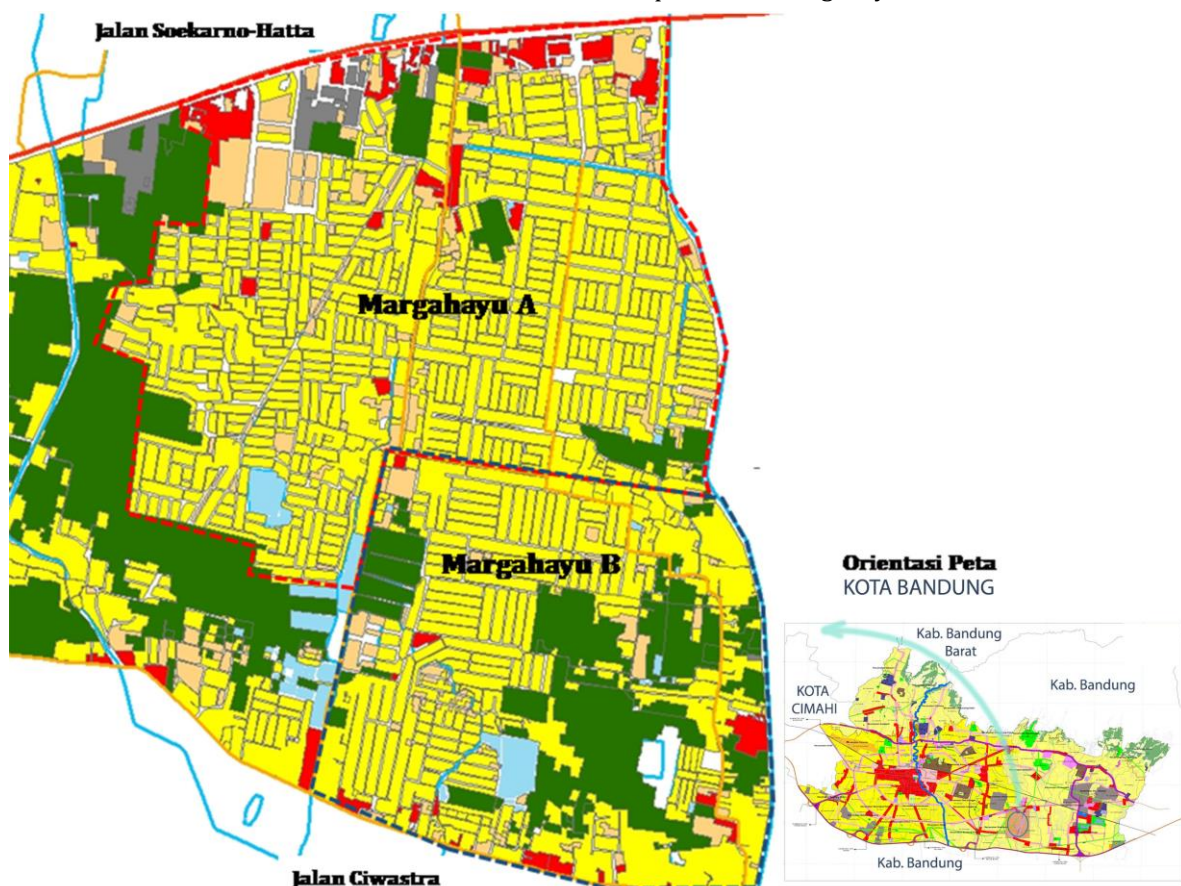
METODE

Penelitian ini bertujuan untuk melihat keterkaitan kondisi lingkungan perumahan yang ramah untuk pejalan kaki dan pengaruhnya terhadap aktivitas fisik serta persoalan kesehatan penghuni. Penelitian ini bersifat eksploratif, yaitu mengeksplorasi secara luas tentang penyebab atau hal-hal yang mempengaruhi aktivitas fisik (Arikunto 2002). Lingkup materi yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah tingkat keramahan lingkungan perumahan terhadap pejalan

kaki, aktivitas fisik, dan kesehatan masyarakat di wilayah studi.

Studi kasus penelitian adalah perumahan Margahayu Raya, Kota Bandung berdasarkan karakteristik perumahan dan variabel-variabel yang diduga berpengaruh pada aktivitas fisik. Berdasarkan literatur, kasus studi dibagi menjadi dua wilayah kajian, Margahayu A yang relatif dekat dengan fasilitas dan transportasi umum dan Margahayu B yang relatif lebih jauh (lihat Gambar 1).

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif untuk melihat hubungan antarvariabel (Cresswel 2014). Sumber data penelitian ini menggunakan sumber data primer dan sumber data sekunder. Data sekunder yang digunakan dalam bentuk literatur, sedangkan data primer diperoleh dengan observasi/pengamatan dan kuesioner. Pengamatan dilakukan untuk mengamati kondisi lingkungan perumahan Margahayu Raya dan menilai tingkat keramahan lingkungan perumahan untuk berjalan kaki. Teknik pengambilan sampel kuesioner yang digunakan dalam penelitian ini adalah *simple random sampling* dengan metode sistematis. Total responden penelitian ini adalah 200, dengan 98 responden di Margahayu A dan 102 responden di Margahayu B.



Gambar 1 Wilayah Penelitian

Berdasarkan kajian literatur, variabel yang digunakan untuk mengukur tingkat keramahan lingkungan perumahan bagi pejalan kaki mencakup variabel desain jalan dan sistem sirkulasi; kepadatan; kegiatan campuran; aksesibilitas, dan; jarak pejalan kaki ke angkutan umum (Tabel 1). Selain penilaian didasarkan pada indikator variabel pada tabel tersebut, tingkat keramahan lingkungan untuk pejalan kaki, juga diperoleh dari persepsi responden.

Metode analisis menggunakan dua teknik statistik yaitu deskriptif dan asosiasi. Statistik deskriptif digunakan untuk menganalisis data dengan cara mendeskripsikan atau menggambarkan data yang telah dikumpulkan apa adanya tanpa bermaksud membuat kesimpulan yang berlaku untuk umum atau generalisasi. Metode analisis asosiasi digunakan untuk melihat hubungan perilaku aktivitas fisik masyarakat dengan kesehatan masyarakat dan tingkat keramahan lingkungan untuk pejalan kaki.

Analisis korelasi dilakukan menggunakan korelasi Gamma dan Somers, karena data dalam bentuk ordinal dan memiliki sedikit (tidak lebih dari lima atau enam) nilai dari masing-masing variabel. Pengukuran asosiasi menyiratkan nilai numerik untuk menentukan tingkat asosiasi atau kekuatan hubungan antarvariabel. Dua variabel dikatakan berhubungan jika perilaku suatu variabel mempengaruhi variabel lainnya. Jika tidak mempengaruhi variabel lainnya, maka kedua variabel

ini disebut saling independen atau tidak berhubungan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penilaian Tingkat Keramahan Lingkungan Perumahan

Observasi digunakan untuk menilai tingkat keramahan lingkungan perumahan. Berdasarkan penilaian tersebut, dapat dilihat lingkungan perumahan Margahayu A adalah daerah dengan lingkungan perumahan yang lebih ramah bagi pejalan kaki (7 dari 13 indikator lingkungan ramah pejalan kaki terpenuhi), dibandingkan lingkungan perumahan Margahayu B (5 dari 13 indikator lingkungan ramah pejalan kaki terpenuhi). Perumahan Margahayu A lebih mempunyai akses yang lebih baik ke transportasi publik dan fasilitas dibandingkan Margahayu B. Persepsi responden terhadap tingkat keramahan lingkungan perumahan untuk pejalan kaki menunjukkan tidak adanya perbedaan yang signifikan antara Margahayu A dan Margahayu B. Kedua wilayah studi dinilai tidak cukup ramah pejalan kaki dari persepsi terkait keamanan, kemenarikan lingkungan, dan fasilitas. Penilaian berbeda terkait aksesibilitas, lingkungan perumahan Margahayu A dinilai lebih ramah karena tingkat kemudahan akses ke fasilitas angkutan umum, dan fasilitas penunjang sehari-hari.

Tabel 1 Variabel dan Indikator untuk Penilaian Tingkat Keramahan Lingkungan Perumahan untuk Pejalan Kaki

Variabel	Sub Variabel	Indikator
Desain jalan dan sistem sirkulasi	Interkonektivitas (jumlah persimpangan dibandingkan dengan jumlah persimpangan ditambah jalan buntu/ <i>culdesac</i>)	Semakin tinggi rasio, semakin besar konektivitas
	Blok (jumlah blok dibandingkan dengan jumlah unit rumah)	Semakin sedikit rumah, semakin besar konektivitas
	Panjang jalan buntu (<i>culdesac</i>)	Semakin pendek, semakin besar konektivitas
Kepadatan	Luas kavling	Semakin kecil, semakin padat
	Kepadatan hunian (jumlah hunian dibandingkan luas area perumahan)	Semakin tinggi rasio, semakin padat
	Luas lantai	Semakin kecil, semakin padat
Kegiatan Campuran Aksesibilitas	Jumlah kavling non perumahan	Jumlah lahan nonperumahan
	Jarak komersil	Semakin dekat jaraknya, semakin tinggi aksesibilitasnya
	Jarak pemberhentian angkutan umum	Semakin dekat jaraknya, semakin tinggi aksesibilitasnya
	Jarak taman	Semakin dekat jaraknya, semakin tinggi aksesibilitasnya
Jarak Pejalan Kaki ke Angkutan Umum	Persentase hunian/jumlah hunian yang terlayani komersial angkutan umum dan taman	Semakin banyak, semakin tinggi aksesibilitas pejalan

Sumber: (Brownson et al. 2004; Saelens, Sallis, dan Frank 2003; Salvo et al. 2018; Ribeiro dan Hoffmann 2018; Kang 2017; 2018)

Tabel 2 Tingkat Keramahan Lingkungan Perumahan Terhadap Pejalan Kaki

Variabel	Margahayu A	Margahayu B	Penilaian Margahayu A	Penilaian Margahayu B
A. Desain jalan dan sistem sirkulasi				
Interkonektivitas	Hampir Berbentuk Grid 1	Hampir Menyerupai Grid 1	Konektivitas tinggi	Konektivitas cukup tinggi
Blok	1/18	1/24	Konektivitas tinggi	Konektivitas tinggi
Panjang Jalan Buntu	0	0	Konektivitas cukup tinggi	Konektivitas rendah
			Konektivitas tinggi	Konektivitas tinggi
B. Kepadatan				
Luas Kavling	149,5 (m ²)	184 (m ²)	Tinggi	Tinggi
Kepadatan hunian	40,54 Rumah/ha	37,5 Rumah/ha	Sedang	Sedang
Luas Lantai	102 (m ²)	144 (m ²)	Tinggi	Tinggi
C. Lahan Campuran				
Komersial	MIM Griya Super Indo Borma Kantor pos 2 Kantor 5 Pos Polisi 1	Griya	Lebih Banyak	Sangat Kurang
Fasilitas sosial- umum	Fasilitas: TK 2 SD 3 SMP 1 SMK 3 RS 2 Lapangan 3 Taman 18 Masjid 11 Gedung serbaguna 2	Fasilitas: TK 4 SD 4 SMP 1 Puskesmas 1 RS Ibu dan Anak 1 Klinik 1 Lapangan 2 Masjid 5	Lebih Lengkap dan Banyak	Cukup Lengkap dan Banyak
D. Aksesibilitas				
dalam jarak berjalan kaki	dalam jarak berjalan kaki	dalam jarak berjalan kaki	Konektivitas tinggi	Konektivitas cukup tinggi
Jarak Pemberhentian Angkutan umum	dalam jarak berjalan kaki	dalam jarak berjalan kaki	Konektivitas tinggi	Konektivitas cukup tinggi
Jarak Taman	dalam jarak berjalan kaki	dalam jarak berjalan kaki	Konektivitas tinggi	Konektivitas cukup tinggi
E. Jarak Pejalan Kaki terhadap Fasilitas				
Jarak Pejalan Kaki	Lebih dekat	Relatif lebih jauh	Konektivitas tinggi	Konektivitas cukup tinggi
Total			7/13	5/13

Perilaku Aktivitas Fisik dan Masalah Kesehatan Responden

Analisis perilaku aktivitas fisik dan kondisi kesehatan penghuni perumahan/responden didasarkan pada karakteristik usia, jenis kelamin, pendapatan dan kepemilikan kendaraan. Tabel dibawah ini merupakan kompilasi dari hasil perilaku aktivitas fisik dan masalah kesehatan responden dalam bentuk indeks massa tubuh (kelebihan berat badan/obesitas) berdasarkan profil responden.

Hasil analisis statistik dengan membandingkan dua wilayah studi, menunjukkan bahwa lingkungan perumahan yang cenderung tidak ramah pejalan kaki (Margahayu B) sedikit lebih banyak melakukan aktivitas fisik, akan tetapi perbedaannya tidak besar, sehingga dapat dikatakan perilaku aktivitas fisik pada dua wilayah tidak terdapat perbedaan yang signifikan.

Perbandingan berdasarkan karakteristik sosial-ekonomi masyarakat, menunjukkan bahwa kelompok

Tabel 3 Kompilasi Perilaku Aktivitas Fisik dan Masalah Kesehatan Responden

Variabel	Sub Variabel	MARGAHAYU A		MARGAHAYU B	
		Aktif Melakukan Aktivitas Fisik	Kesehatan	Aktif Melakukan Aktivitas Fisik	Kesehatan
Usia	Produktif	29%	40% Obesitas	36%	45% Obesitas
	Lanjut Usia	42%	60% Obesitas	28%	55% Obesitas
Jenis Kelamin	Laki-laki	61%	35% Obesitas	48%	42% Obesitas
	Perempuan	39%	65% Obesitas	52%	58% Obesitas
Pendapatan	< 5 jt	46%	71% Obesitas	30%	47% Obesitas
	> 5 jt	25%	29% Obesitas	34%	53% Obesitas
Kepemilikan Kendaraan	Punya	49%	75% *	56%	65%*
	Tidak Punya	51%	25% *	44%	35%*

Keterangan:

1. Jumlah responden Margahayu A 98 responden, sedangkan Margahayu B 102 responden.
2. Usia produktif pada rentang 17 tahun hingga 55 tahun, sedangkan lanjut usia pada rentang usia lebih dari 55 tahun.
3. Dikatakan aktif melakukan aktivitas fisik apabila setidaknya dua kali dalam seminggu melakukan aktivitas fisik atau minimal 150 menit dalam seminggu menurut standar WHO.
4. Obesitas apabila indeks massa tubuh (berat badan (kg) dibagi dengan kuadrat tinggi badan (m^2) > 27 kg/m^2 .
5. * mempunyai penyakit terkait rendahnya aktivitas fisik.

responden usia lanjut di Margahayu A lebih aktif, dibandingkan di Margahayu B dimana yang lebih aktif adalah kelompok responden usia produktif. Hal ini mengindikasikan bahwa terdapat perbedaan perilaku aktivitas fisik berdasarkan usia pada kedua wilayah studi. Berdasarkan jenis kelamin ditemukan bahwa terdapat perbedaan karakteristik aktivitas fisik yang dilakukan. Di Margahayu A laki-laki lebih aktif, sedangkan di Margahayu B, perempuan lebih aktif. Pada kedua wilayah studi ditemukan bahwa kelebihan berat badan/obesitas baik di Margahayu A dan Margahayu B lebih banyak pada responden berusia lanjut dan perempuan.

Berdasarkan karakteristik pendapatan ditemukan juga perbedaan. Dimana masyarakat yang berpendapatan kurang dari 5 juta lebih banyak melakukan aktivitas fisik di Margahayu A, yang mengindikasikan ada keterpaksaan melakukan aktivitas fisik karena faktor ekonomi. Sedangkan di Margahayu B, yang lebih banyak melakukan aktivitas fisik adalah masyarakat berpendapatan lebih dari 5 juta. Berdasarkan pendapatan ini juga ditemukan bahwa masyarakat yang aktif melakukan aktivitas fisik di kedua wilayah studi adalah responden yang kelebihan berat badan/obesitas.

Hasil analisis tersebut diatas menunjukkan bahwa perilaku aktivitas fisik dan dampaknya terhadap masalah kesehatan tidak memiliki perbedaan yang signifikan antara kedua wilayah penelitian (Margahayu A dan Margahayu B). Kondisi ini menunjukkan bahwa perilaku aktivitas fisik tidak didorong oleh faktor lingkungan. Demikian juga

perilaku aktivitas fisik tidak berpengaruh pada indeks massa tubuh. Analisis di atas juga menunjukkan bahwa perilaku aktivitas fisik tidak dipengaruhi oleh usia, jenis kelamin, pendapatan dan kepemilikan kendaraan.

Asosiasi Perilaku Aktivitas Fisik dengan Lingkungan dan Kesehatan

Analisis statistik asosiasi untuk melihat hubungan antara penilaian responden terhadap keramahan lingkungan terhadap pejalan kaki dengan perilaku aktivitas fisik dan hubungan aktivitas fisik yang dilakukan dengan indeks massa tubuh. Hasil analisis disajikan berdasarkan jenis aktivitas fisik di kedua wilayah studi. Berikut adalah hipotesis yang digunakan:

$H_0 = 0$ (menunjukkan bahwa tidak ada korelasi signifikan)

$H_1 \neq 0$ (menunjukkan bahwa ada korelasi signifikan)

H_0 diterima jika $\text{sig} > 0,05$.

Tabel 4 adalah hasil analisis asosiasi dengan tes Somers dan Gamma. Dari nilai Somers dan Gamma, dapat dilihat bahwa arahnya negatif, sehingga arah hubungannya tidak langsung/*unidirectional*. Nilai yang didapat mendekati 0, sehingga kedekatan hubungan sangat lemah, skor Approx. Sig. dapat dilihat nilainya lebih dari 0,05. Analisis menggunakan *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) dengan tingkat kepercayaan 95%, menunjukkan signifikansi > 0,05, maka H_0 diterima. Tidak ada korelasi yang signifikan dalam variabel perilaku

Tabel 4 Nilai Variabel Somers dan Gamma Aktivitas Fisik dengan Penilaian Lingkungan dan Indeks Massa Tubuh

Margahayu A			Margahayu B		
Environmental Assessment	Value	Approx. Sig.	Environmental Assessment	Value	Approx. Sig.
Somers'	-0.119	0.205	Somers'	-0.110	0.236
Gamma	-0.188	0.205	Gamma	-0.161	0.236
IMT			IMT		
Somers'	-0.08	0.387	Somers'	-0.103	0.244
Gamma	0.14	0.287	Gamma	-0.173	0.244

berjalan dengan penilaian lingkungan yang ramah pejalan kaki dan perilaku berjalan dengan indeks massa tubuh.

Perilaku berjalan kaki tidak memiliki hubungan dengan penilaian lingkungan oleh responden dan pada indeks massa tubuh responden. Arah hubungan menunjukkan negatif, hal ini mengindikasikan bahwa arah hubungannya tidak satu arah, sehingga apabila perilaku berjalan kaki tinggi, maka dua variabel lainnya rendah.

Perilaku bersepeda tidak memiliki hubungan dengan penilaian lingkungan oleh responden dan pada indeks massa tubuh responden. Akan tetapi arah hubungan menunjukkan positif, sehingga apabila perilaku bersepeda tinggi maka penilaian lingkungan dan indeks massa tubuh responden juga akan tinggi.

Perilaku olah raga juga didapatkan tidak memiliki hubungan dengan ketiga variabel. Akan tetapi pada lingkungan perumahan Margahayu B, terdapat kedekatan hubungan yang lemah dan ada korelasi yang signifikan pada perilaku olah raga dengan penilaian lingkungan oleh responden. Selain itu, ketiga variabel memiliki arah hubungan yang berbeda, yaitu arah positif antara perilaku olah raga dengan penilaian lingkungan responden dan arah negatif antara perilaku olah raga dengan indeks massa tubuh (kelebihan berat badan /obesitas).

Hasil analisis statistik asosiasi menunjukkan bahwa kedekatan hubungan antara perilaku aktivitas fisik dengan tingkat keramahan lingkungan perumahan terhadap pejalan kaki dan indeks massa tubuh sangat lemah. Arah hubungan negatif, sehingga perilaku berjalan akan tinggi tetapi penilaian lingkungan dan indeks massa tubuh rendah atau sebaliknya. Signifikansi diperoleh $> 0,05$, sehingga tidak ada korelasi yang signifikan.

Dari karakteristik perilaku aktivitas fisik dan kesehatan masyarakat tersebut, faktor dominan yang

menjadi pendorong masyarakat melakukan aktivitas fisik adalah alasan kesehatan. Didukung dengan lebih banyaknya jumlah usia lanjut yang kelebihan berat badan/obesitas dibanding usia produktif, sehingga dapat disimpulkan bahwa perilaku aktivitas fisik masyarakat tidak terlihat dapat didorong oleh faktor lingkungan terbangun yang ramah, akan tetapi lebih cenderung oleh faktor kesehatan, baik untuk mengurangi faktor risiko penyakit kronis atau menjaga tubuh untuk tetap bugar. Dari hasil analisis ditemukan sebanyak lebih dari 60% keluarga di kedua wilayah studi memiliki anggota keluarga yang menderita penyakit terkait kurang aktivitas fisik seperti jantung, kolesterol, hipertensi, dan diabetes.

KESIMPULAN

Hasil analisis menunjukkan bahwa aktivitas fisik pada dua karakteristik lingkungan perumahan tidak berbeda secara signifikan. Demikian juga penelitian ini menunjukkan bahwa tingkat keramahan lingkungan perumahan untuk berjalan kaki tidak cukup berpengaruh pada dorongan untuk melakukan aktivitas fisik, baik untuk berjalan kaki, bersepeda maupun berolah raga. Temuan ini berbeda dengan apa yang ditemukan oleh penelitian-penelitian yang mencoba melihat hubungan antara aktivitas fisik dengan lingkungan yang ramah untuk pejalan kaki (lihat Saelens, Sallis, dan Frank 2003; Ribeiro dan Hoffmann 2018; Kang 2017; 2018).

Penelitian ini menunjukkan bahwa faktor diluar desain lingkungan perumahan lebih berpengaruh terhadap dorongan untuk melakukan aktivitas fisik. Faktor ekonomi menunjukkan adanya unsur keterpaksaan dalam melakukan aktivitas fisik. Demikian juga 'vonis' terhadap penyakit PTM tertentu lebih dominan mendorong responden untuk berjalan kaki, bersepeda maupun berolahraga. Responden melakukan aktivitas fisik karena penyakit yang dideritanya, bukan untuk mencegah munculnya penyakit. Persepsi responden yang menilai

lingkungan perumahannya cukup ramah untuk pejalan kaki tidak mampu mendorong untuk melakukan aktivitas fisik. Penelitian ini dilakukan pada dua kasus lingkungan perumahan yang karakteristiknya mirip (pada lingkungan perumahan kelas menengah). Pengaruh ini mungkin akan berbeda untuk karakteristik perumahan untuk kelompok perumahan mewah atau perumahan untuk masyarakat berpendapatan rendah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Lembaga Pengabdian Masyarakat (LPPM-ITB) sebagai lembaga yang mendanai dan mengelola kegiatan Program Penelitian, Pengabdian Kepada Masyarakat dan Inovasi (P3MI) di Institut Teknologi Bandung.

DAFTAR PUSTAKA

- Adlakha, Deepti, J. Aaron Hipp, dan Ross C. Brownson. 2016. "Neighborhood-based Differences in Walkability, Physical Activity, and Weight Status in India." *Journal of Transport and Health* 3 (4): 485–99. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2016.10.008>.
- Althoff, Tim, Rok Sosič, Jennifer L. Hicks, Abby C. King, Scott L. Delp, dan Jure Leskovec. 2017. "Large-scale Physical Activity Data Reveal Worldwide Activity Inequality." *Nature* 547 (7663): 336–39. <https://doi.org/10.1038/nature23018>.
- Arikunto, Suharsimi. 2002. *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktek*. Jakarta: PT. Rineka Cipta.
- Brownson, Ross C, Jen Jen Chang, Amy A Eyler, Barbara E Ainsworth, Karen A Kirtland, Brian E Saelens, dan James F Sallis. 2004. "Measuring the environment for friendliness toward physical activity: a comparison of the reliability of 3 questionnaires." *American Journal of Public Health* 94 (3): 473–83.
- Cresswel, John. 2014. *Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches. Research design*. 4 ed. Sage publications. <https://doi.org/10.2307/3152153>.
- Ivory, Vivienne C., Tony Blakely, Jamie Pearce, Karen Witten, Nasser Bagheri, Hannah Badland, dan Grant Schofield. 2015. "Could Strength of Exposure to the Residential Neighbourhood Modify Associations between Walkability and Physical Activity?" *Social Science and Medicine* 147: 232–41. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2015.10.053>.
- Kang, Chang Deok. 2015. "The Effects of Spatial Accessibility and Centrality to Land Use on Walking in Seoul, Korea." *Cities* 46: 94–103. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2015.05.006>.
- . 2017. "Measuring the Effects of Street Network Configurations on Walking in Seoul, Korea." *Cities* 71: 30–40. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2017.07.005>.
- . 2018. "The S + 5Ds: Spatial Access to Pedestrian Environments and Walking in Seoul, Korea." *Cities* 77: 130–41. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2018.01.019>.
- Karuranga, Suvi, Joao da Rocha Fernandes, Yadi Huang, dan Belma Malanda. 2018. *IDF Diabetes Atlas 8 eds*. International Diabetes Federation.
- Kementerian Kesehatan RI. 2018. "Profil Kesehatan Indonesia. Indonesia." Jakarta: Sekretariat Jenderal Kementerian Kesehatan RI.
- McCormack, Gavin R., Bronwen Thornton, Jim Walker, Peter Sargious, dan John Brown. 2017. "Walk21 Calgary – (re)Connecting Community through Walking." *Journal of Transport and Health* 7: S1–3. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2017.11.140>.
- Ribeiro, Ana Isabel, dan Elaine Hoffmann. 2018. "Development of a Neighbourhood Walkability Index for Porto Metropolitan Area. How Strongly is Walkability Associated with Walking for Transport?" *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15 (12): 2767. <https://doi.org/10.3390/ijerph15122767>.
- Saelens, Brian E., James F. Sallis, dan Lawrence D. Frank. 2003. "Environmental Correlates of Walking and Cycling: Findings from the Transportation, Urban Design, and Planning Literatures." *Annals of Behavioral Medicine* 25 (2): 80–91. https://doi.org/10.1207/S15324796ABM2502_03.
- Salvo, Grazia, Bonnie M. Lashewicz, Patricia K. Doyle-Baker, dan Gavin R. McCormack. 2018. "Neighbourhood Built Environment Influences on Physical Activity among Adults: A Systematized Review of Qualitative Evidence." *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15 (5): 897. <https://doi.org/10.3390/ijerph15050897>.
- Siqueira Reis, Rodrigo, Adriano Akira Ferreira Hino, Cassiano Ricardo Rech, Jacqueline Kerr, dan Pedro Curi Hallal. 2013. "Walkability and Physical Activity: Findings from Curitiba, Brazil." *American Journal of Preventive Medicine* 45 (3): 269–75. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2013.04.020>.

- WHO. 2018. *World Health Statistics 2018: Monitoring Health For The SDG's*. Geneva: World Health Organization.
- WHO Europe. 2006. *Promoting Physical Activity and Active Living in Urban Environment: The Role of Local Government*. WHO Regional Office for Europe.
- Zhao, Lizhen, Zhenjiang Shen, Yanji Zhang, dan Yan Ma. 2019. "The impact of the Community Built Environment on The Walking Times of Residents in a Community in the Downtown Area of Fuzhou." *Sustainability (Switzerland)* 11 (3): 691.
<https://doi.org/10.3390/su11030691>.

ASPEK-ASPEK PENJAMINAN KINERJA TEKNIS KOMPONEN ARSITEKTUR PADA BANGUNAN RUMAH SUSUN SEDERHANA SEWA DI DKI JAKARTA

Technical Life Assurance of Architectural Components of Low-Cost Multistoried Rental Housing in Jakarta

Andi Harapan Siregar

Teknik Arsitektur, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Komputer Indonesia,
Jl. Dipatiukur No. 112–116, Bandung, Jawa Barat

Surel: andiharapan@yahoo.com

Diterima: 02 Februari 2020; Disetujui: 23 April 2020

Abstrak

Bukti empiris di lapangan menunjukkan bahwa kondisi teknis komponen arsitektur sangat berpengaruh pada kinerja bangunan rumah susun sederhana sewa. Terdapat 4 komponen arsitektur yang mempengaruhi kinerja teknis bangunan, yaitu: atap, dinding, lantai, dan utilitas. Kondisi teknis komponen bangunan ini dipengaruhi oleh: kualitas material, desain, kualitas pengerjaan, kondisi lingkungan luar serta perilaku penggunaan, dan perawatan. Tulisan ini dimaksudkan untuk menyampaikan berbagai aspek yang dipertimbangkan dalam penjaminan kinerja teknis komponen arsitektur bangunan rumah susun sederhana sewa, agar target umur bangunan 50 tahun yang ditetapkan pemerintah dapat dicapai. Aspek-aspek penjaminan kinerja teknis komponen arsitektur dikembangkan melalui skenario perancangan umur teknis setiap komponen arsitektur pada bangunan rumah susun sederhana sewa untuk menemukan aspek-aspek sensitif yang mempengaruhi umur teknis tiap komponen arsitektur dan besaran pengaruhnya kepada umur teknis bangunan. Dalam penulisan ini diterapkan: 1) pendekatan studi pustaka terkait berbagai riset terdahulu yang kemudian dilakukan survei lapangan, 2) wawancara terhadap pengelola dan penghuni Rusunawa dan 3) dilakukan metode Delphi. Metode Delphi digunakan untuk menjangkau berbagai pengetahuan para ahli dalam kinerja bangunan Rusunawa yang dipengaruhi oleh komponen arsitektur. Tiga aspek utama yang mempengaruhi kinerja teknis komponen arsitektur, yaitu: 1) kualitas material, 2) kualitas pengerjaan, dan 3) kualitas perawatan. Dengan menentukan umur teknis komponen arsitektur, pihak manajemen operasional bangunan dari Rusunawa dapat merencanakan tindakan yang dilakukan sepanjang umur teknis bangunan 50 tahun.

Kata Kunci: Penjaminan kinerja teknis, komponen arsitektur, Rusunawa, metode Delphi, Jakarta

Abstract

Empirical evidence has shown that technical condition of the architectural components significantly influenced the building performance of low-cost multistoried rental housing (Rusunawa). There are four architectural components that affect the building technical performance, namely: roof, wall, floor, and utilities. The quality of these architectural components depends on material quality, design quality, craftsmanship quality, environment quality, user quality, and maintenance quality. This paper aims to establish technical performance assurance modelling for low-cost multistoried rental housing in Jakarta, with the objective of securing the 50 years targeted building age. The research objective is to identify sensitive aspects that can affect the scenarios of technical life and the magnitude of its influence. The research comprises three stages: 1) literature review, 2) data collection on aspects that affect the technical performance of the architectural components in low-cost rental housing, 3) analysis of aspects that affect the technical performance of architectural components in low-cost rental housing with Delphi Method. Technical lives of architectural components are influenced by three main aspects: 1) material quality, 2) craftsmanship quality, and 3) maintenance quality. By setting up technical life of architectural components, the operational management of low-cost rental housing can be planned along 50-years of the building age.

Keywords: Technical performance assurance, architectural components, Rusunawa (low-cost rental housing), Delphi method, Jakarta

PENDAHULUAN

Bangunan sebagai sebuah aset, membutuhkan kepastian umur bangunan yang layak huni dalam perencanaannya. Penetapan umur bangunan dimulai dengan penetapan skenario umur teknis bangunan, sesuai dengan standar dan peraturan yang berlaku atau kesepakatan dari para stakeholder (pemilik, pengelola, perancang, penghuni, dan pihak terkait lain-lain). Skenario umur teknis bangunan berbeda untuk tiap fungsi bangunan. Penetapan skenario umur teknis bangunan akan mempengaruhi pengambilan keputusan di dalam tahapan daur hidup bangunan, seperti pemilihan dan penetapan material bangunan, biaya konstruksi, kualitas kontraktor, serta sasaran kinerja teknis lainnya seperti kenyamanan, kesehatan, keselamatan, serta kemudahan operasional dan perawatan (Koles, Hitchcock, dan Sherman 1996).

Skenario umur teknis bangunan akan mempengaruhi tahap desain (O'Sullivan et al. 2004), tahap konstruksi serta tahap operasional dan perawatan (Hitchcock 2002; De Silva et al. 2016). Pada tahap desain, skenario umur teknis bangunan akan menjadi rujukan bagi penentuan umur teknis komponen bangunan, yang meliputi komponen struktur maupun komponen arsitektur, yang dinyatakan dalam bentuk spesifikasi, sehingga dicapai kualitas layanan bangunan yang memenuhi target umur yang direncanakan. Kualitas layanan dipengaruhi oleh berbagai aspek, yaitu: material yang digunakan, kualitas desain, kualitas pengerjaan, kualitas penggunaan, kualitas lingkungan luar, dan kualitas perawatan (O'Sullivan et al. 2004; De Silva et al. 2016). Semakin tinggi kualitas layanan yang diberikan, maka semakin tinggi potensi bangunan untuk mencapai umur teknis yang direncanakan. Jika umur teknis bangunan ditetapkan 50 tahun, maka setiap komponen bangunan harus direncanakan untuk mendukung tercapainya kualitas layanan 50 tahun.

Jika kualitas layanan berada di bawah standar, maka akan terjadi degradasi kinerja bangunan, yang menyebabkan kondisi-kondisi tidak diharapkan (Appelqvist dan Keijer 1994), seperti: fungsi bangunan yang buruk, biaya perawatan yang tinggi, perbaikan yang harus dilakukan sebelum waktunya, lingkungan yang tidak mendukung kebutuhan untuk tinggal dan bekerja, proses penurunan kualitas komponen bangunan yang abnormal, kinerja teknis keseluruhan bangunan yang buruk. Kondisi ini bisa dihindari apabila aspek-aspek yang berpengaruh terhadap degradasi kinerja bangunan tersebut dapat diantisipasi dan dikendalikan, yaitu melalui penjaminan umur bangunan, yang dipengaruhi oleh kondisi teknis komponen bangunan serta proses

penggunaan dan pemeliharaan. Menurut Appelqvist dan Keijer (1994) kondisi teknis komponen bangunan dipengaruhi oleh aspek material, aspek desain, aspek pengerjaan, aspek kondisi lingkungan luar, aspek perilaku penggunaan, dan aspek pemeliharaan.

Komponen arsitektur merupakan fokus penjaminan kinerja bangunan pada penelitian ini, karena pengaruh komponen ini terhadap kinerja umur bangunan signifikan disebabkan oleh umur komponen yang lebih pendek dari umur bangunan yang direncanakan.

Degradasi kinerja bangunan menurut Ashworth (1996) dapat dibedakan menjadi 2, yaitu: *deterioration* dan *obsolescence*. *Deterioration* disebabkan oleh kinerja teknis, sedangkan *obsolescence* disebabkan oleh kinerja nonteknis, seperti kinerja fungsional bangunan, kinerja ekonomi bangunan, dan kinerja sosial bangunan. Menurut Marteinsson (2005), *obsolescence* lebih disebabkan oleh subjektivitas pemilik atau penghuni, misalnya suatu komponen bangunan tidak sesuai lagi dengan selera penghuni atau tren jaman, sehingga perlu diganti. Yang dimaksud dengan degradasi pada paper ini adalah *deterioration* atau degradasi yang disebabkan oleh kinerja teknis.

Kasus studi di dalam penelitian ini adalah rumah susun sederhana sewa (Rusunawa) yang berlokasi di DKI Jakarta. Rusunawa merupakan solusi untuk mengatasi masalah hunian di kota besar. Bertambahnya jumlah penduduk yang datang ke kota besar (khususnya Jakarta), menyebabkan volume permintaan akan kebutuhan hunian khususnya untuk masyarakat berpenghasilan rendah semakin meningkat. Pemecahan terhadap masalah ini ditempuh melalui rencana pemerintah pada tahun 2005 untuk membangun 1000 Rusun di Indonesia, dengan fokus pada pembangunan Rusun Sederhana Sewa, yang sudah direalisasikan sejak tahun 2008.

Rusun merupakan tipologi bangunan hunian yang relatif baru di Indonesia, sehingga belum memiliki patokan/ standar untuk penjaminan kinerjanya. Kinerja bangunan yang buruk yang terjadi pada Rumah Susun Sewa (Rusuna) disebabkan sistem pengelolaan operasional dan perawatan bangunan yang tidak baik (Kimpraswil 2002). Rusuna di Jakarta menjadi perhatian adalah Rusuna Tanah Abang, Bidaracina, Pulo Gebang, Klender dan Cengkareng, semuanya merupakan Rusuna yang kondisi fisik bangunannya buruk. Menurut Kimpraswil (2002) kondisi diakibatkan oleh manajemen pembangunan yang kurang baik, biaya pembangunan yang terbatas dan tidak adanya model dan standar yang dapat dijadikan patokan. Kondisi fisik bangunan dan sistem

operasional bangunan yang seharusnya masih berfungsi dengan baik sesuai perencanaan umur bangunan, yaitu 30 tahun, kenyataannya sudah rusak jauh sebelum mencapai batas umur tersebut (baru 10 tahun sudah mengalami kerusakan parah), akibat dari degradasi kinerja bangunan tersebut, terutama komponen arsitektur, seperti penutup atap, dinding luar bangunan, dan utilitas bangunan. Degradasi kinerja fisik ke-3 komponen tersebut dapat dilihat secara visual, bahkan pada beberapa Rusuna komponen utilitasnya sudah tidak layak pakai.

Sistem kepemilikan rusun sederhana adalah hak milik, dimana sistem operasional dan perawatan bangunan diserahkan kepada pemilik unit rusun tersebut. Belajar dari pengalaman tersebut, mulai tahun 2005 sistem kepemilikan rusun sederhana oleh pemerintah telah diubah menjadi sistem sewa atau rusun sederhana sewa (Rusunawa).

Pengelolaan rusun sederhana sepenuhnya dapat dilakukan oleh pemerintah. Namun permasalahan baru yang muncul adalah tidak adanya perencanaan umur teknis Rusunawa dan komponennya, terutama komponen arsitektur. Penentuan komponen hanya didasarkan pada biaya total proyek, tanpa memperhatikan prioritas komponen tersebut (semua komponen disamaratakan). Akibatnya pada beberapa Rusuna, struktur bangunan masih terlihat baik (kokoh) tetapi atap bangunan sudah rusak (bocor) dan utilitas (khususnya pipa air) tidak berfungsi lagi, seperti di Rusuna Pulo Gebang dan Klender.

Operasional dan perawatan Rusuna yang lemah disebabkan tidak adanya petunjuk perawatan bangunan yang seharusnya diberikan oleh konsultan perencana. Komponen arsitektur yang mempunyai umur terbatas, tidak diketahui kapan akan dirawat dan diganti, padahal penggantian dan perawatan sangat penting dilakukan. Dari 20 rusun yang dibangun di Jakarta, belum ditemukan perencanaan umur untuk komponen arsitekturnya, padahal batas umur bangunan 50 tahun yang ditetapkan pemerintah sudah lebih lama dari sebelumnya. Penetapan umur ini yang panjang tentunya akan mempengaruhi operasional dan jadwal perawatan bangunan, khususnya komponen arsitektur. Pemerintah perlu segera menerapkan model penjaminan kinerja bangunan untuk mencapai umur tersebut, sehingga pengalaman terdahulu yang sudah terjadi pada rusun-rusun di Jakarta dapat dihindari.

Penjaminan kinerja teknis bangunan merupakan bagian penting dari proses perencanaan rusun sederhana sewa, agar secara ekonomi tetap terjangkau oleh calon penghuni, efisien dan terjamin di dalam operasional dan perawatannya, serta sesuai umur teknis bangunan yang direncanakan. Dalam

penelitian ini, penulis mencoba membangun model penjaminan kinerja teknis komponen arsitektur bangunan Rusunawa di DKI Jakarta. Setiap komponen arsitektur akan dibuat struktur penjaminan kinerja fisiknya berdasarkan aspek-aspek yang mempengaruhinya.

Berdasarkan latar belakang buruknya kinerja teknis Rusunawa yang disebabkan lemahnya perhatian pada kinerja teknis komponen arsitektur bangunan tersebut, memunculkan sebuah pertanyaan penelitian yaitu; aspek-aspek apa saja yang perlu dipertimbangkan untuk penjaminan kinerja teknis komponen arsitektur pada bangunan Rusunawa di DKI Jakarta.

Ruang Lingkup dan Batasan dalam penelitian ini adalah;

- a) Kasus Rusunawa yang diteliti dalam tulisan ini berada di kota Jakarta, sehingga pengaruh perbedaan lokasi dapat diabaikan.
- b) Bangunan Rusun yang dikaji adalah sistem sewa, sehingga penghuni tidak berperan di dalam penggantian dan perubahan komponen bangunan.
- c) Komponen bangunan yang dijadikan kajian adalah komponen arsitektural bangunan, yang umur teknis-nya lebih rendah dari umur teknis bangunan. Komponen ini mencakup: 1) Atap (penutup atap), 2) Dinding (permukaan luar saja), 3), Jendela, 4) Pintu, 5) Langit-langit (penutup permukaan langit-langit), 6) Lantai (hanya penutup lantai saja), dan 7) Utilitas (hanya pipa air bersih dan air kotor saja).

METODE

Kajian Pustaka dan Persiapan

Pada tahap ini dilakukan kajian pustaka tentang kinerja fisik bangunan dan komponen bangunan serta aspek-aspek yang mempengaruhinya, serta skenario umur teknis bangunan Rusunawa. Pada tahap persiapan disusun kerangka sampling dan penentuan 14 bangunan Rusunawa sebagai sampel purposif.

Penentuan komponen bangunan

Komponen arsitektural yang dikaji dapat dikelompokkan menjadi 7, yaitu: Komponen Atap, Komponen Dinding Luar, Komponen Jendela, Komponen Pintu, Komponen Langit-Langit, Komponen Lantai, dan Komponen Utilitas.

Aspek-aspek penentu kinerja komponen arsitektur

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data berbagai aspek yang mempengaruhi kinerja teknis komponen arsitektur. Dari kajian teori didapatkan bahwa 7

aspek yang mempengaruhi perencanaan umur teknis bangunan dan komponen bangunan, yaitu: kualitas material, kualitas desain, kualitas pengerjaan, kualitas lingkungan luar, kualitas lingkungan dalam, kualitas penggunaan, dan kualitas perawatan. Setiap aspek mempunyai pengaruh yang berbeda-beda terhadap kinerja teknis bangunan dan komponen bangunan.

Penentuan Rusunawa

Penentuan sampel ditujukan untuk mengetahui kondisi fisik bangunan dan komponen arsitekturnya, serta untuk mengetahui pengaruh umur komponen bangunan terhadap kondisi fisik bangunan.

Rusunawa yang menjadi sampel adalah yang dibangun sebelum tahun 2005. Terdapat 33 Rusunawa yang tersebar di DKI Jakarta, di mana penentuan Rusunawa dilakukan secara purposif dengan kriteria sebagai berikut:

1. Bangunan Rusunawa berlokasi di DKI Jakarta, dibangun oleh BUMN (Badan Usaha Milik Negara) dan BUMD (Badan Usaha Milik Daerah) dengan sistem sewa (Rusunawa) dan milik (Rusunami) atau gabungan keduanya.
2. Bangunan Rusunawa Sederhana memiliki ketinggian lebih dari 3 lantai, sudah dihuni lebih dari 5 tahun, memiliki jumlah unit hunian ≥ 100 unit dengan stratifikasi jumlah unit hunian 100-500, 501-1000, ≥ 1001 , serta memiliki kelengkapan data dan informasi yang diperlukan untuk analisis.

Tahap Pengamatan Rusunawa

Pengumpulan data tentang kinerja fisik komponen arsitektur pada Rusunawa dilaksanakan dengan langkah strategi berikut:

1. Pendataan umum tentang bangunan berdasarkan data 14 Rusunawa dengan umur, kondisi fisik, lokasi, dan jumlah unit yang berbeda. 14 Rusunawa tersebut adalah: 1) Bendungan Hilir II, 2) Tanah Abang, 3) Pasar Jumat, 4) Kemayoran, 5) Cengkareng, 6) Sindang Koja, 7) Budha Tzu Chi, 8) Klender, 9) Bidaracina, 10) Karet Tengsin, 11) Kebon Kacang, 12) Pulo Gebang (Seruni), 13) Tebet I, dan 14) Pulo Gadung.
2. Wawancara dengan penghuni dan pengelola untuk mengetahui frekuensi dan tingkat partisipasi penghuni dan pengelola di dalam operasional bangunan serta pemeliharaan komponen arsitektur. Penghuni yang diwawancara dipilih secara purposif.
3. Pengamatan lapangan untuk menilai kinerja fisik komponen arsitektur rumah susun yang dijadikan sampel, dengan rating penilaian yaitu tujuh (7) tingkat degradasi yang menunjukkan kondisi fisik komponen arsitektur. Rating 7 merupakan kondisi yang paling baik, dicapai oleh komponen arsitektur yang masih baru dipasang, sedangkan

rating 1 merupakan kondisi yang menggambarkan komponen yang paling buruk, di mana komponen dinyatakan gagal dan tidak dapat digunakan lagi. Rating 1 dan 2 mempersyaratkan komponen harus diganti, sedangkan rating 3 mempersyaratkan komponen harus diperbaiki.

Tahap Delphi Study

Metode Delphi digunakan dalam penelitian ini untuk mengetahui aspek-aspek penyebab buruknya kinerja fisik komponen arsitektur pada bangunan Rusunawa di DKI Jakarta. Metode ini dipilih karena permasalahan dan proses pembangunannya baik di DKI Jakarta atau di kota-kota besar lainnya di Indonesia melibatkan banyak stakeholder, baik dari lembaga pemerintah, BUMN, BUMD, lembaga pendidikan, maupun para investor swasta.

Metode Delphi diterapkan dalam 2 tahap (*rounds*). Tahap ke-1 disebut Delphi 1 dilakukan pada bulan Maret dan April 2009, untuk mengetahui respon responden (*expert*) terhadap aspek-aspek dan penyebab aspek kinerja fisik komponen arsitektur. Hasil yang didapatkan adalah teridentifikasinya berbagai aspek yang mempengaruhi kinerja komponen arsitektur dan penyebab-penyebab dari aspek tersebut.

Sedangkan tahap ke-2 atau Delphi 2 dilakukan pada bulan Juni sampai dengan Agustus 2009, untuk mengetahui respon dari responden terhadap hasil Delphi 1, dan apakah responden akan mengubah pendapatnya sesuai hasil dari Delphi 1 tersebut.

Daur Hidup Bangunan

Bangunan merupakan sebuah produk yang diwujudkan melalui proses oleh stakeholder (pemilik, konsultan/ perancang, kontraktor/ pembangunan, dan pengelola). Sebagai sebuah produk, bangunan memiliki daur hidup. Istilah daur hidup bangunan merujuk pada keseluruhan proses pengadaan dan pemanfaatan bangunan yang dilaksanakan secara sistematis (teratur, memiliki tahap-tahap dan prosedur yang jelas) (Preiser 2006; Marteinsson 2005; Illingworth 1993). Preiser (2006) membagi daur hidup bangunan ke dalam beberapa tahapan yang berurutan atau sekuensial yang disebut sebagai "*integrative framework*", yaitu tahap perencanaan, pemrograman, desain, konstruksi, dan penghunian, dimana luaran dari tahap sebelumnya menjadi masukan atau umpan balik bagi tahap berikutnya.

Umur Teknis Bangunan

Umur teknis bangunan (*building technical life*) dan durabilitas (*durability*) merupakan 2 terminologi yang saling terkait. Menurut Canadian Standard

Associates (1995), durabilitas merujuk pada kemampuan bangunan atau komponen bangunan untuk bertahan terhadap degradasi dan terus berlanjut untuk bertahan (berkinerja) sesuai dengan fungsinya di dalam lingkungan yang telah didefinisikan. Lebih lanjut Duling dan Jacobus (2007) menyatakan bahwa degradasi dapat terjadi karena 3 faktor, yaitu: 1) lingkungan luar /*external climate*, 2) lingkungan dalam /*internal climate*, dan 3) lingkungan operasional /perilaku penghuni.

Leppänen et al. (1999) membedakan umur teknis suatu bangunan ke dalam 3 kategori, yaitu: 1) *Functional services life*, yang merujuk pada umur fungsional bangunan. Bangunan-bangunan perumahan di Eropa, umur fungsionalnya antara 20 – 25 tahun. 2) *Technical services life*, yang merujuk pada umur teknis bangunan. Untuk bangunan-bangunan perumahan di Eropa, umur teknisnya antara 75 – 100 tahun. 3) *Economic services life*, yang merujuk pada umur ekonomis bangunan. Untuk bangunan-bangunan perumahan di Eropa, umur ekonominya sekitar 50 tahun.

Building Industry Authority (1992), mengistilahkan *building lifespan* sebagai umur teknis, telah membuat peraturan tentang umur teknis bangunan sebagai berikut: 1) Untuk struktur, mencakup komponen bangunan seperti lantai struktural dan dinding struktural, umur teknis dari komponen tersebut lebih dari 50 tahun. 2) Untuk komponen utilitas (*services*) yang susah diakses, dan fiktur-fiktur yang tersembunyi dari dinding luar yang merupakan bagian dari struktur bangunan; umur teknis komponen tersebut antara 20 - 50 tahun. 3) Untuk komponen dinding luar lainnya seperti pintu dan jendela mempunyai umur teknis kurang lebih 15 tahun. 4) Untuk lapisan dinding luar (seperti cat), umur teknis dari komponen tersebut adalah kurang lebih 5 tahun.

Perancangan Umur Teknis Bangunan

Perancangan umur teknis bangunan menurut ISO 15686-2 dipengaruhi oleh berbagai aspek yang sangat tergantung pada fungsi bangunan dan kriteria yang ditetapkan untuk bangunan tersebut (ISO 15686-2 2001). Aspek-aspek yang mempengaruhi umur teknis rencana adalah: kualitas material (fA), kualitas desain (fB), kualitas pengerjaan (fC), kualitas lingkungan luar dan dalam (fD), kualitas penggunaan (fE), kualitas perawatan (fF), dan kondisi-kondisi umum lainnya (fG).

Hubungan antara aspek dan umur teknis rencana dirumuskan melalui persamaan *factor method* (metode faktor). Di dalam metode faktor umur bangunan atau komponen yang diperkirakan (baik dari standar atau perkiraan umur dari pabrik) dapat

diukur dengan mengalikan aspek-aspek yang mempengaruhi umur teknis rencana dan umur yang diperkirakan. Umur yang diperkirakan disebut sebagai umur teknis referensi (*reference technical life*). Umur teknis acuan didapatkan dari standar umur bangunan (sesuai fungsi bangunan) atau dari industri produk komponen bangunan. Setiap aspek merupakan suatu fungsi tersendiri yang mempunyai faktor pengaruh terhadap umur teknis referensi.

Variabel Penentu Aspek-Aspek Yang Mempengaruhi Kinerja Teknis

Variabel penentu kualitas material

Secara umum dari berbagai riset yang dilakukan, faktor penyebab kualitas material adalah: jenis material, mutu material, kesesuaian dengan lingkungan, kesesuaian dengan sistem bangunan, dan biaya material. Jenis material sangat mempengaruhi kinerja fisik bangunan maupun komponen bangunan. Shohet, Puterman, dan Gilboa (2002) meneliti pengaruh penggunaan jenis material terhadap komponen langit-langit bangunan. Salah satu faktor yang menyebabkan perbedaan umur langit-langit adalah jenis material yang digunakan. Shohet, Puterman, dan Gilboa (2002) menambahkan bahwa jenis material sangat terkait dengan biaya material, umumnya semakin baik jenis material maka semakin mahal harga material tersebut. Hovde (2005) misalnya menyatakan bahwa faktor-faktor penyebab baik-buruknya kualitas material adalah: jenis material, mutu material, kesesuaian dengan lingkungan, dan kesesuaian dengan sistem bangunan. Hovde belum meneliti bagaimana pengaruh biaya material terhadap kualitas material.

Variabel penentu kualitas desain

Kualitas desain tidak hanya dipengaruhi oleh desain bentuk bangunan. Preiser (2006) menyatakan bahwa koordinasi antar disiplin merupakan faktor yang menentukan kualitas desain. Silva et al. (2016) menyatakan bahwa kualitas desain dipengaruhi oleh 3 variabel, yaitu: 1) kualitas perancang, 2) kesesuaian desain dengan lingkungan luar, dan 3) kelengkapan informasi (spesifikasi).

Secara umum, dari berbagai riset yang dilakukan, variabel penentu kualitas desain dapat diidentifikasi sebagai berikut: 1) kriteria desain, 2) kualitas perancang, 3) kesesuaian dengan lingkungan, 4) kelengkapan informasi, 5) koordinasi antar disiplin.

Variabel penentu kualitas pengerjaan

Kualitas pengerjaan dipengaruhi oleh berbagai variabel. Hovde (2005) dalam risetnya menyatakan 2 variabel utama penentu kualitas material, yaitu: 1) kualitas pekerja (tukang), dan 2) metode

membangun. Teo, Chew, dan Narasimhan (2005) menyatakan 3 variabel penentu kualitas pengerjaan di Singapura, yaitu: 1) kualitas kontraktor, 2) kelengkapan dokumen konstruksi, dan 3) kualitas pengawas. Secara umum berbagai kajian menyatakan bahwa variabel penyebab kualitas pengerjaan adalah: 1) metode membangun, 2) kualitas pekerja, 3) kualitas kontraktor, 4) kualitas pengawas, 5) kelengkapan dokumen konstruksi.

Variabel penentu kualitas lingkungan luar

Pengaruh kualitas lingkungan luar terhadap bangunan sangat spesifik, tergantung dari lokasi bangunan-bangunan tersebut. Hal ini disebabkan oleh variabel penentu dari kualitas lingkungan luar. De Silva et al. (2016) di dalam penelitiannya menyatakan bahwa kualitas lingkungan luar untuk komponen dinding luar dipengaruhi oleh: 1) temperatur, 2) kelembaban, 3) radiasi matahari, 4) angin, dan 5) curah hujan. Marteinsson (2005) menyatakan bahwa kualitas lingkungan luar dipengaruhi oleh: 1) kelembaban, 2) temperatur, 3) radiasi matahari, dan 4) angin.

Variabel penentu kualitas penggunaan

Pengguna berperan penting di dalam menentukan kinerja fisik bangunan. Shohet, Puterman, dan Gilboa (2002) menyatakan bahwa buruknya kinerja fisik langit-langit disebabkan oleh minimnya kesadaran penghuni untuk merawat komponen tersebut dan tindakan vandalisme. Gaspar dan Brito (2005) menyatakan bahwa terdapat 4 variabel yang menentukan kualitas penggunaan, yaitu: 1) jumlah penghuni, 2) aktivitas penghuni, 3) kepranataan, dan 4) kesadaran penghuni. Menurut Teo, Chew, dan Narasimhan (2005), variabel utama yang menentukan kualitas penggunaan di Singapura adalah vandalisme.

Secara umum dari berbagai kajian tentang kualitas penggunaan, dapat dirangkum bahwa variabel penentu kualitas penggunaan adalah: 1) jumlah penghuni, 2) aktivitas penghuni, 3) kesadaran penghuni, 4) kepranataan, dan 5) vandalisme.

Variabel penentu kualitas perawatan

Perawatan menurut Shohet, Puterman, dan Gilboa (2002) sangat berpengaruh terhadap kinerja fisik komponen langit-langit. Variabel penentu kualitas perawatan menurut Shohet dkk. adalah: 1) biaya perawatan, 2) intensitas perawatan, dan kualitas pengelola. Marteinsson (2005) menyatakan kualitas perawatan ditentukan oleh 2 variabel, yaitu: 1) intensitas perawatan, dan 2) manual perawatan, sementara menurut (Khuncumchoo, Augenbroe, dan Thomas (2007) kualitas perawatan untuk komponen atap ditentukan oleh variabel sebagai berikut: 1)

intensitas perawatan, 2) kualitas pengelola, 3) biaya perawatan, dan 4) administrasi perawatan.

Secara umum dari berbagai kajian tentang kualitas perawatan, dapat dirangkum bahwa kualitas perawatan ditentukan oleh variabel sebagai berikut: 1) manual perawatan, 2) intensitas perawatan, 3) kualitas pengelola, 4) biaya perawatan, dan 5) administrasi perawatan.

Komponen bangunan

Seperti dinyatakan oleh Marteinsson (2005), kinerja teknis bangunan sangat tergantung kepada kualitas berbagai komponen yang digunakannya. Komponen bangunan menurut Balaras et al. (2005) terbagi atas 2, yaitu komponen arsitektural dan komponen struktural. Menurut Mayer dan Bourke (2005), komponen struktural merupakan komponen yang sifatnya permanen dengan kategori umur panjang (diatas 50 tahun). Sedangkan komponen arsitektur mempunyai umur yang lebih pendek dibanding dengan umur teknis bangunan yang direncanakan.

Degradasi kinerja teknis dan faktor yang mempengaruhinya

Kinerja bangunan bukanlah sesuatu yang bersifat statis (Koles, Hitchcock, dan Sherman 1996). Sesuai perjalanan waktu, bangunan akan mengalami degradasi kinerja teknis (*performance degradation*) yang disebabkan oleh berbagai faktor yang mempengaruhinya. Lebih lanjut Koles, Hitchcock, dan Sherman (1996) menyatakan bahwa degradasi bangunan merupakan hal yang biasa terjadi pada bangunan, dipengaruhi oleh 2 penyebab. Penyebab pertama adalah umur dari komponen dan bangunan. Umur komponen dan bangunan mempunyai hubungan dengan kinerja fisik dari komponen dan bangunan tersebut.

Semakin panjang umur komponen maka kinerja teknis dari komponen tersebut semakin baik. Jika pada titik tertentu komponen sudah mengalami degradasi kinerja teknis sehingga tidak sesuai lagi dengan standar teknis yang dipersyaratkan, maka komponen tersebut harus segera diperbaiki atau diganti. Penyebab kedua adalah terjadi penurunan kinerja teknis secara tiba-tiba sehingga tidak sesuai lagi dengan yang diharapkan (di bawah standar). Penurunan yang sifatnya tiba-tiba, dapat disebabkan oleh berbagai aspek, antara lain pengaruh iklim dan kualitas pengerjaan yang buruk.

Rusun Sederhana Di DKI Jakarta

Jakarta sebagai salah satu kota dengan tingkat kepadatan penduduk tinggi menghadapi permasalahan dalam memenuhi kebutuhan perumahan dan permukiman bagi masyarakat

berpenghasilan rendah. Menurut data dari Dinas Perumnas Provinsi Daerah Khusus Ibu Kota (DKI) Jakarta pada tahun 2005, permintaan akan tempat tinggal naik, mencapai 562.046 unit. Dengan asumsi pertumbuhan penduduk 1,29% per tahun, maka pada tahun 2015 Jakarta akan dihuni oleh 10,4 juta warga. Dalam rentang waktu sepuluh tahun ke depan akan muncul permintaan hunian baru, yaitu sebanyak 700.000 rumah. Untuk memenuhinya, setiap tahun harus dibangun 70.000 hunian, padahal Jakarta yang luasnya 66.152 Ha hanya memiliki 39.691,20 Ha lahan untuk perumahan. Inilah yang membuat rencana pembangunan *landed house* dan Rusun yang sebelumnya berbanding 70 : 30 kini menjadi 60 : 40.

Penyediaan rumah susun untuk MBR di Jakarta disediakan oleh pemerintah melalui Perum Perumnas dan Pemerintah kota (Dinas Perumahan DKI). Program pembangunan rumah susun sederhana sudah dimulai sejak tahun 1983 sampai sekarang. Rusun Sederhana mulai dibangun pada tahun 1983 di Jakarta Pusat, yaitu Rusun Tanah Abang dan Kebon Kacang, yang dikelola oleh Perum Perumnas. Sejak tahun 1987 Dinas Perumahan DKI telah mulai membangun rumah susun sederhana dengan sistem jual kepada penghuni, tetapi pada tahun 1995 sistem jual diganti menjadi sistem sewa. Pengadaan Rusun sederhana di Jakarta tidak hanya dilakukan oleh pemerintah, juga oleh BUMN (Badan Usaha Milik Negara) dan BUMD (Badan Usaha Milik Daerah), serta oleh swasta. Pengelolaan Rusun dari pihak BUMN dipercayakan ke pada Perum Perumnas, sedangkan dari pihak BUMD dipercayakan kepada Perusahaan Daerah Sarana Jaya.

Berdasarkan data Dinas Perumahan Provinsi DKI, dari tahun 1983 sampai tahun 2005 telah terbangun 33 buah Rusun sederhana yang lokasinya tersebar di Jakarta. Ke-33 Rusun tersebut mempunyai kapasitas dan ketinggian yang berbeda-beda dan di bawah lembaga pengelola yang berbeda-beda pula.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Aspek Yang Mempengaruhi Kinerja Teknis Bangunan

Aspek-aspek yang mempengaruhi kinerja teknis komponen bangunan secara umum dapat diidentifikasi sebagai berikut: 1) kualitas material, 2) kualitas desain, 3) kualitas pengerjaan, 4) kualitas lingkungan luar (dianggap sama sesuai batasan penelitian), 5) kualitas penggunaan, dan 6) kualitas perawatan, yang didapatkan dari kajian pustaka.

Aspek kualitas material dipengaruhi oleh 5 variabel, yaitu: 1) jenis material, 2) mutu material, 3) kesesuaian dengan lingkungan, 4) kesesuaian dengan sistem bangunan (*compatibility*), dan 5) biaya material.

Aspek kualitas desain dipengaruhi oleh 5 variabel, yaitu: 1) kriteria desain, 2) kualitas perancang, 3) kesesuaian desain dengan lingkungan, 4) kelengkapan informasi (spesifikasi), dan 5) koordinasi antar disiplin.

Aspek kualitas pengerjaan dipengaruhi oleh 5 variabel, yaitu: 1) metode membangun, 2) kualitas pekerja (tukang), 3) kualitas kontraktor, 4) kualitas pengawas, dan 5) kelengkapan dokumen konstruksi.

Aspek kualitas lingkungan dipengaruhi oleh 5 variabel, yaitu: 1) temperatur, 2) kelembaban (*moisture*), 3) radiasi matahari, 4) angin, dan 5) hujan/ curah hujan dan panas.

Aspek pengguna (penghuni) dipengaruhi oleh 5 variabel, yaitu: 1) jumlah penghuni (beban hunian), 2) aktivitas penghuni, 3) kesadaran penghuni, 4) kepranataan, dan 5) vandalisme.

Aspek kualitas perawatan dipengaruhi oleh 5 variabel, yaitu: 1) manual perawatan, 2) intensitas perawatan, 3) kualitas pengelola, 4) biaya perawatan, dan 5) administrasi perawatan.

Setiap aspek maupun variabel penentu aspek mempunyai besaran pengaruh yang berbeda-beda terhadap kinerja teknis komponen arsitektur. Besarnya pengaruh setiap aspek dan variabel penentu aspek ditentukan dengan menggunakan metode Delphi yang melibatkan para ahli (pihak-pihak yang terlibat di dalam pembangunan Rusunawa).

Survei Kondisi Teknis 14 Bangunan Rumah Susun Sederhana

Data empirik tentang kinerja teknis komponen arsitektur didapatkan melalui survei lapangan terhadap 14 bangunan rumah susun sederhana di DKI Jakarta yang dipilih secara purposif, dengan menggunakan rating.

Survei dilakukan pada bulan Juli dan Agustus 2008. Hasil survei lapangan dijadikan rujukan utama dalam penyusunan kuesioner bagi studi Delphi yang dilakukan terhadap 47 responden pakar dalam bidang perumahan. Data umum ke-14 bangunan rumah susun sederhana yang disurvei merujuk seperti pada tabel 1.

Tabel 1 Data Bangunan Rumah Susun Sederhana yang Disurvei

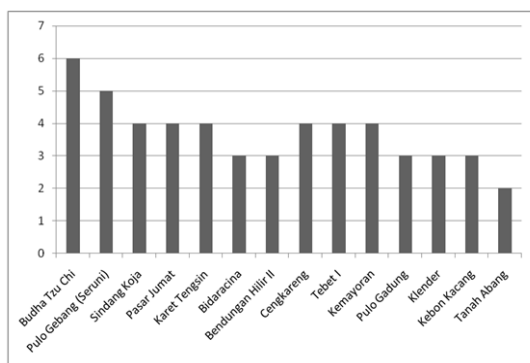
No	Data Umum					
	Nama Rusuna	Umur	Pengelola	Jmh Lantai	Jmh Unit	Jmh Blok
1	Budha Tzu Zhi	5	Swasta	5	1100	55
2	Pulo Gebang (Seruni)	6	Perumnas	5	240	4
3	Sindang Koja	8	DKI	6	348	3
4	Pasar Jumat	10	Perumnas	10	120	2
5	Karet Tengsin	11	DKI	5	160	4
6	Bidaracina	12	DKI	5	688	7
7	Bendungan Hilir II	12	DKI	10	614	3
8	Cengkareng	12	Perumnas	4	1728	10
9	Tebet I	13	DKI	5	340	4
10	Kemayoran	16	Perumnas	5	2742	57
11	Pulo Gadung	16	Perumnas	4	160	2
12	Klender	22	Perumnas	4	1280	78
13	Kebon Kacang	24	Perumnas	4	664	8
14	Tanah Abang	26	Perumnas	4	960	60

Dalam survei lapangan dilakukan penilaian terhadap kondisi teknis 7 komponen arsitektur bangunan, yaitu: 1) atap, 2) dinding luar, 3) jendela, 4) pintu, 5) langit-langit, 6) utilitas, dan 7) lantai.

Kondisi teknis komponen atap

Penilaian terhadap kondisi teknis komponen arsitektur atap didasarkan kepada elemen pembentuknya, yaitu: 1) kuda-kuda, 2) gording, 3) kaso, 4) reng, 5) penutup atap, dan 6) lisplang.

Kode yang diberikan untuk komponen atap adalah K1, yang terdiri atas: kuda-kuda (K1.1), gording (K1.2), kaso (K1.3), reng (K1.4), penutup atap (K1.5) dan lisplang (K1.6). Rata-rata rating komponen atap 14 Rusuna merujuk pada gambar 1.



Gambar 1 Rating Kondisi Teknis Komponen Atap 14 Rusunawa

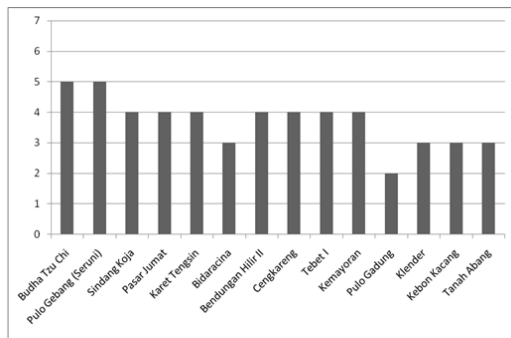
Rata-rata rating adalah 3 dan 4, menunjukkan bahwa komponen atap rusun tersebut sudah memerlukan perbaikan minor. Rumah susun sederhana Budha Tzu Zhi memiliki rating paling tinggi untuk komponen atap dibandingkan dengan rumah susun sederhana lainnya. Sedangkan rumah susun Tanah Abang mempunyai nilai yang paling rendah yaitu 2 berarti komponen tersebut sudah harus diganti atau dinyatakan gagal (buruk).

Penurunan kinerja teknis ke-14 rumah susun mempunyai persamaan regresi: $K1 = 5.5343822 - 0.150713 \text{ Umur} + 0.0067488 (\text{Umur}-13.7857)^2$. R2 bernilai 0,72 yang berarti hubungan antara kondisi teknis komponen atap dengan umur bangunan berkaitan erat. Umur bangunan mempunyai pengaruh yang cukup signifikan terhadap kondisi teknis komponen atap. Terdapat beberapa Rusuna yang mempunyai umur lebih tua, tetapi kinerja teknisnya sama dengan Rusuna yang mempunyai umur masih muda karena adanya faktor lain yang turut berkontribusi pada penurunan kinerja teknis komponen atap. Penurunan kinerja teknis ke-14 rumah susun sederhana sudah mulai terjadi ketika bangunan selesai dibangun. Pada umur 5 tahun komponen atap sudah mengalami degradasi kinerja teknis (nilai 6), bahkan terdapat Rusuna yang baru berumur antara 5 – 10 tahun kinerja teknis komponen atapnya bernilai 4, artinya sudah membutuhkan perbaikan.

Kondisi teknis komponen dinding luar

Dinding yang dimaksud di dalam paper ini adalah dinding luar bangunan, yang hanya berkaitan dengan permukaan dinding tersebut. Penilaian terhadap kondisi teknis komponen dinding didasarkan kepada lapisan permukaan luar dinding, yaitu bagian yang dicat. Penilaian dilakukan terhadap arah dinding, karena terkait dengan pengaruh matahari terhadap dinding luar, yaitu dinding arah utara (K2.1), dinding arah selatan (K2.2), dinding arah timur (K2.3), dan dinding arah barat (K2.4).

Hasil penilaian lapangan menunjukkan bahwa kondisi dinding luar rata-rata adalah 3 dan 4, berarti sudah diperlukan perbaikan (repair) dan bilamana perlu rehabilitasi. Rusun Pulo Gebang dan Rusunawa Budha Tzu Chi mempunyai kondisi dinding luar yang paling tinggi (nilai 5), menunjukkan bahwa pada kedua bangunan tersebut dilakukan perawatan dinding luar secara berkala. Dinding luar Rusuna Pulo Gadung memiliki kondisi yang paling buruk (nilai 2), berarti komponen bangunan telah mengalami *deterioration* (penurunan kinerja teknis) dan membutuhkan tindakan renovasi, seperti pada gambar 2.



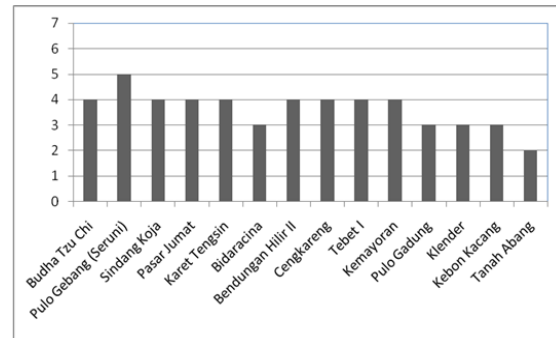
Gambar 2 Kondisi Teknis Komponen Dinding Luar 14 Rusunawa

Umur bangunan mempunyai pengaruh yang lebih kecil pada komponen dinding jika dibandingkan dengan komponen atap. Persamaan regresi untuk kinerja teknis komponen dinding adalah: $K2 = 5.0997645 - 0.119963 \text{ Umur} + 0.0070293 (\text{Umur} - 13.7857)^2$. Kecilnya pengaruh umur bangunan disebabkan oleh pendeknya umur komponen dinding berdasarkan standar, yaitu 5 – 7 tahun (untuk umur permukaan/ cat dinding). Rusuna Budha Tzu Chi yang baru berumur 5 tahun dan Rusuna Pulo Gebang (Seruni) yang baru berumur 6 tahun mempunyai kinerja teknis komponen dinding yang baik, karena bangunan relatif masih baru.

Kondisi teknis komponen jendela

Penilaian terhadap kondisi teknis komponen jendela didasarkan kepada elemen pembentuknya, yaitu: rangka jendela unit hunian (K3.1), penutup/ daun jendela unit hunian (K3.2), rangka jendela fasilitas umum (K3.3), dan penutup/ daun jendela fasilitas umum (K3.4). Kondisi teknis komponen jendela pada rumah susun sederhana Tanah Abang merupakan yang paling buruk (nilai 2), berarti komponen bangunan mengalami *deterioration* yang sangat parah, sehingga membutuhkan tindakan renovasi. Sedangkan kondisi teknis komponen jendela yang paling baik adalah Rusuna Pulo Gebang (nilai 5), dapat dilihat pada gambar 4.

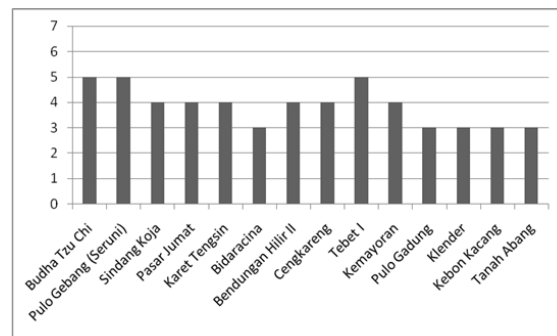
Bila dilihat dari perbandingan umur bangunan, Rusuna Tanah Abang mempunyai umur yang berbeda jauh dengan Rusuna Pulo Gebang. Umur Rusuna Tanah Abang sudah mencapai 26 Tahun, sedangkan Pulo Gebang baru berumur 6 tahun. Pengaruh umur bangunan terhadap komponen jendela cukup signifikan berdasarkan pada persamaan regresi dari kinerja teknis komponen jendela yaitu: $K3 = 5.6326539 - 0.1488893 \text{ Umur} + 0.0053868 (\text{Umur} - 13.7857)^2$. Berdasarkan standar, umur jendela berkisar antara 15 sampai 25 tahun, hampir mendekati umur bangunan yang direncanakan yaitu 30 tahun.



Gambar 3 Kondisi Teknis Komponen Jendela 14 Rusunawa

Kondisi teknis komponen pintu

Penilaian terhadap kondisi teknis komponen pintu didasarkan kepada elemen pembentuknya, mengacu gambar 4, yaitu: rangka pintu unit hunian (K4.1), penutup/ daun pintu unit hunian (K4.2), rangka pintu fasilitas umum (K4.3), dan penutup/ daun pintu fasilitas umum (K4.4). Rusuna Tanah Abang (26 tahun), Kebon Kacang (24 tahun), Bidaracina (12 tahun), Pulo Gadung (16 tahun) dan Klender (22 tahun) mempunyai kondisi teknis komponen pintu paling rendah (nilai 3).



Gambar 4 Kondisi Teknis Komponen Pintu

Hal ini cukup wajar untuk Rusuna Tanah Abang, Kebon Kacang, dan Klender, karena hampir mencapai umur yang direncanakan, yaitu 30 tahun. Tetapi untuk Rusuna Bidaracina yang baru berumur 12 tahun merupakan kondisi yang buruk, karena belum mencapai setengah umur bangunan yang direncanakan (30 tahun) kondisi teknis komponen pintunya sudah bernilai 3.

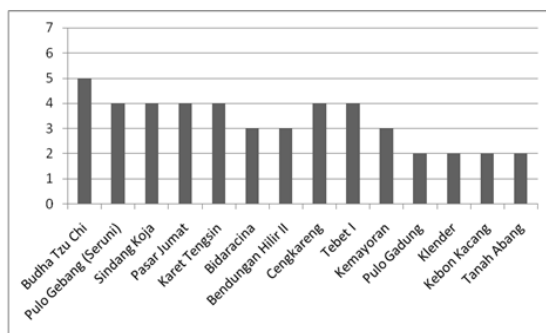
Kinerja teknis komponen pintu mempunyai persamaan regresi sebagai berikut: $K4 = 5.5012017 - 0.1330184 \text{ Umur} + 0.0068413 (\text{Umur} - 13.7857)^2$. Umur bangunan cukup berpengaruh terhadap kinerja teknis komponen pintu. Sama seperti komponen jendela, umur bangunan komponen pintu (standar: 15 – 25 tahun) mendekati umur bangunan yang direncanakan. Penurunan kinerja teknis pintu mulai terjadi pada umur 10 – 16 tahun. Pada saat itu, pintu

seharusnya mendapatkan perawatan dan perbaikan sesuai dengan kondisi teknis dari komponen tersebut, agar dapat mencapai umur bangunan yang direncanakan.

Kondisi teknis komponen langit-langit

Langit-langit di Rusuna umumnya menyatu dengan lantai, kecuali pada lantai teratas yang berhubungan langsung dengan atap. Penilaian terhadap kondisi teknis langit-langit hanya dilakukan kepada penutup langit-langit, yang dibedakan menjadi: 1) komponen langit-langit unit hunian lantai teratas (K5.1), 2) komponen langit-langit unit hunian lantai 1 s/d lantai sebelum teratas (K5.2), 3) komponen langit-langit kamar mandi lantai teratas (K5.3), 4) komponen langit-langit kamar mandi lantai 1 s/d lantai sebelum teratas (K5.4), 5) komponen langit-langit fasilitas umum lantai teratas (K5.5), dan 6) komponen langit-langit fasilitas umum lantai 1 s/d lantai sebelum teratas (K5.6).

Hasil pengamatan pada gambar 5, menunjukkan bahwa kondisi teknis komponen langit-langit Rusuna Pulo Gadung, Klender, Kebon Kacang dan Tanah Abang yang berumur 16, 22, 24, dan 26 tahun sangat rendah (nilai 2), berarti komponen bangunan telah mengalami *deterioration* yang sangat buruk sehingga membutuhkan tindakan renovasi. Buruknya kondisi teknis Rusuna Klender, Kebon Kacang, dan Tanah Abang beralasan karena umur bangunan yang sudah mendekati batas umur yang direncanakan, yaitu 30 tahun, tetapi Rusuna Pulo Gebang seharusnya mempunyai kondisi teknis dengan nilai yang lebih tinggi. Kondisi teknis Rusuna Budha Tzu Chi mempunyai nilai kondisi teknis paling tinggi (nilai 5), dimana bangunan baru berumur 5 tahun. Rusuna Pulo Gebang (6 tahun) yang hanya mempunyai perbedaan umur 1 tahun dengan Rusuna Budha Tzu Chi mempunyai kondisi teknis komponen langit-langit yang lebih rendah (nilai 4).



Gambar 5 Kondisi Teknis Komponen Langit-Langit

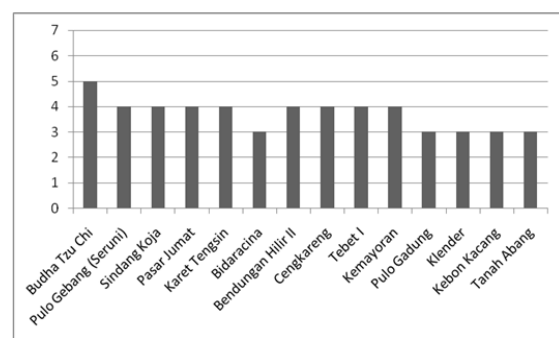
Komponen langit-langit untuk bangunan Rusuna umumnya merupakan bagian dari lantai bangunan. Langit-langit ke-14 Rusuna yang ditinjau umumnya

diletakkan pada lantai teratas dan sebagian pada lantai 1. Kondisi teknis komponen langit-langit cukup dipengaruhi oleh umur bangunan. Persamaan pengaruh umur bangunan terhadap kinerja teknis langit-langit adalah sebagai berikut: $K5 = 5.2226006 - 0.1502857 \text{ Umur} + 0.0035346 (\text{Umur}-13.7857)^2$. Penurunan kinerja teknis komponen langit-langit secara visual mulai terjadi ketika bangunan berumur 5 - 10 tahun. Pada umur bangunan antara 20 - 25 tahun, kinerja teknis seluruh komponen langit-langit sudah sangat buruk.

Kondisi teknis komponen utilitas

Penilaian terhadap kondisi teknis komponen utilitas didasarkan kepada elemen pembentuknya, yaitu: 1) pipa air bersih pada unit hunian lantai teratas (K6.1), 2) pipa air kotor pada unit hunian lantai teratas (K6.2), 3) pipa air bersih pada unit hunian lantai 1 s/d lantai sebelum teratas (K6.3), 4) pipa air kotor unit hunian lantai 1 s/d lantai sebelum teratas (K6.4), 5) pipa air bersih pada fasilitas umum (K6.5), dan 6) pipa air kotor pada fasilitas umum (K6.6).

Kondisi teknis komponen utilitas pada fasilitas umum di rumah susun sederhana Bidaracina (12 tahun), Pulo Gadung (16 tahun), Klender (22 tahun), Kebon Kacang (24 tahun) dan Tanah Abang (26 tahun) mencapai nilai paling rendah (3), selain disebabkan oleh umur bangunan, juga disebabkan oleh berbagai aspek, yaitu: 1) perilaku penghuni yang tidak mau merawat fasilitas umum tersebut, 2) kurangnya perhatian PPRS terhadap perawatan fasilitas umum.



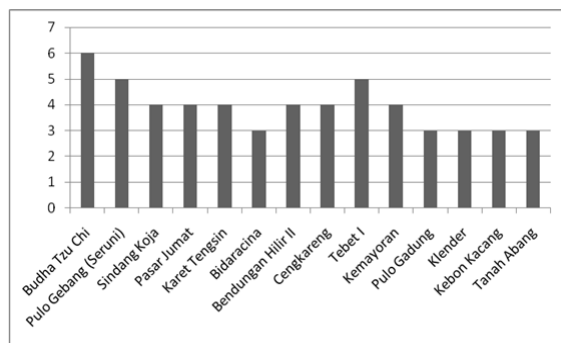
Gambar 6 Kondisi Teknis Komponen Utilitas

Pengaruh umur bangunan terhadap kinerja teknis komponen utilitas tidak sebesar komponen lainnya. Beberapa bangunan yang mempunyai umur sama atau lebih kecil mempunyai kinerja teknis yang sama atau lebih baik. Persamaan regresi kinerja teknis komponen utilitas adalah sebagai berikut: $K6 = 4.7779513 - 0.0841008 \text{ Umur} + 0.0025079 (\text{Umur}-13.7857)^2$. Terdapat aspek-aspek lain selain umur bangunan yang menyebabkan penurunan kinerja komponen utilitas, yaitu kualitas material yang digunakan, proses pengerjaan, dan perawatan.

Kondisi teknis komponen lantai

Penilaian terhadap kondisi teknis komponen lantai didasarkan kepada elemen pembentuknya, yaitu: penutup lantai unit hunian (K7.1), penutup lantai kamar mandi unit hunian (K7.2), penutup lantai fasilitas umum (K7.3), dan penutup lantai lain-lain (kamar mandi umum) (K7.4).

Rusuna Bidaracina (12 tahun), Pulo Gadung (16 tahun), Klender (22 tahun), Kebon Kacang (24 tahun), dan Tanah Abang (26 tahun) merupakan Rusuna yang mempunyai kondisi teknis komponen lantai buruk (nilai 3), khususnya untuk fasilitas umum. Pada Rusuna Bidaracina dan Pulo Gadung yang berumur 12 dan 16 tahun (setengah dari umur Rusuna yang direncanakan, yaitu 30 tahun) sudah terjadi degradasi kinerja teknis komponen lantai. Degradasi yang terjadi disebabkan oleh beberapa aspek, yaitu: 1) perilaku penghuni, termasuk jumlah penghuni per unit yang melebihi kapasitas yang ditentukan, dan 2) kurangnya perawatan, karena tidak berfungsinya pengelola. Berbeda dengan Rusuna Budha Tzu Chi (5 tahun), dengan berfungsinya pengelola, kondisi teknis komponen lantai Rusuna tersebut paling tinggi (nilai 6). Rusuna Tebet 1 yang mempunyai umur 13 tahun mempunyai kondisi teknis komponen lantai yang masih baik (nilai 5). Berperannya pengelola (PPRS) di Rusuna Tebet 1 menjadikan kondisi teknis komponen arsitektur pada Rusuna ini dapat dipertahankan pada kondisi baik.



Gambar 7 Kondisi Teknis Komponen Lantai

Umur bangunan cukup berpengaruh terhadap kinerja teknis komponen lantai, penurunan kondisi teknis komponen lantai terjadi pada umur 12 s/d 15 tahun. Persamaan regresi kinerja teknis terhadap umur bangunan adalah sebagai berikut: $K7 = 5.5012017 - 0.1330184 \text{ Umur} + 0.0068413 (\text{Umur} - 13.7857)^2$. Terdapat beberapa Rusuna yang mempunyai umur yang lebih tinggi, tetapi kinerja teknis komponen lantainya lebih baik atau sama dengan bangunan yang mempunyai umur lebih rendah.

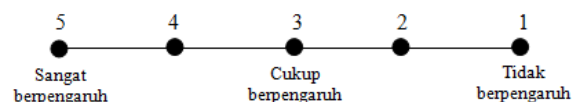
Penilaian Kinerja Teknis Komponen Arsitektur Berdasarkan Delphi Study

Hasil Delphi 1 digunakan untuk mengetahui pilihan responden terhadap skenario biaya investasi dan perawatan untuk setiap komponen berdasarkan aspek yang ditentukan sebelumnya. Dari Delphi 2 didapatkan skenario investasi awal yang dianggap paling sesuai untuk setiap komponen arsitektural Rusunawa, dengan mempertimbangkan berbagai aspek relevan yang mempengaruhi kinerja fisik masing-masing komponen tersebut.

Besaran pengaruh aspek didapatkan dari metode studi Delphi. Selain mengetahui besaran pengaruh aspek terhadap kinerja teknis komponen arsitektur, metode Delphi juga digunakan untuk menentukan prioritas komponen untuk melakukan analisis sensitivitas. Semakin tinggi besaran pengaruh aspek di dalam analisis sensitivitas, maka semakin sensitif komponen tersebut mempengaruhi kinerja teknis bangunan. Semakin sensitif suatu komponen mempengaruhi kinerja teknis bangunan, maka semakin diprioritaskan komponen tersebut.

Delphi tahap 1

Dalam Delphi tahap 1 responden diminta untuk menilai pengaruh dari 6 aspek, yaitu: 1) kualitas material, 2) kualitas desain, 3) kualitas pengerjaan, 4) kualitas lingkungan luar, 5) kualitas penggunaan, dan 6) kualitas perawatan terhadap kinerja teknis komponen arsitektur, yang meliputi atap, dinding, pintu, jendela, langit-langit, lantai, dan utilitas. Penilaian responden diberikan dalam skala likert, dengan gambaran sebagai berikut.



Gambar 8 Skala Likert untuk Menilai Pengaruh Aspek-Aspek Pada Kinerja Teknis Setiap Komponen Arsitektur

Setiap komponen arsitektur mempunyai tingkat prioritas yang berbeda dalam perencanaan, perancangan maupun operasional/ *maintenance* rumah Rusuna. Berdasarkan hasil Delphi 1 dapat diketahui tingkat prioritas setiap komponen beserta aspek-aspek yang mempengaruhinya.

Secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa terdapat 3 aspek yang pengaruhnya dinilai paling signifikan terhadap hampir semua komponen arsitektur Rusunawa, yaitu: 1) kualitas material (aspek A), 2) kualitas pengerjaan (aspek C), dan 3) kualitas perawatan (aspek F). Nilai rerata pengaruh

setiap aspek tersebut berada di atas 4, bahkan ada yang mendekati 5.

Menurut keterangan responden, ketiga aspek ini sangat berkaitan dengan biaya. Aspek kualitas material perlu diperhatikan mengingat Rusuna dirancang dengan umur yang cukup lama (semenjak tahun 2005 ditetapkan 50 tahun). Peningkatan syarat umur bangunan akan berdampak kepada tuntutan kualitas komponen bangunan, khususnya komponen arsitektur. Pemilihan komponen arsitektur yang umumnya mempunyai umur di bawah 50 tahun, harus dipertimbangkan secara matang. Dengan kualitas material yang sangat baik, pengerjaan komponen yang baik, serta perawatan yang baik pula, maka komponen arsitektur akan dapat mencapai tingkat kinerja teknis yang optimum.

Aspek yang mempunyai nilai rata-rata paling rendah adalah kualitas lingkungan luar. Lokasi rusun yang relatif sama (di Jakarta) menyebabkan penilaian terhadap aspek ini tidak terlalu signifikan.

Delphi tahap 2

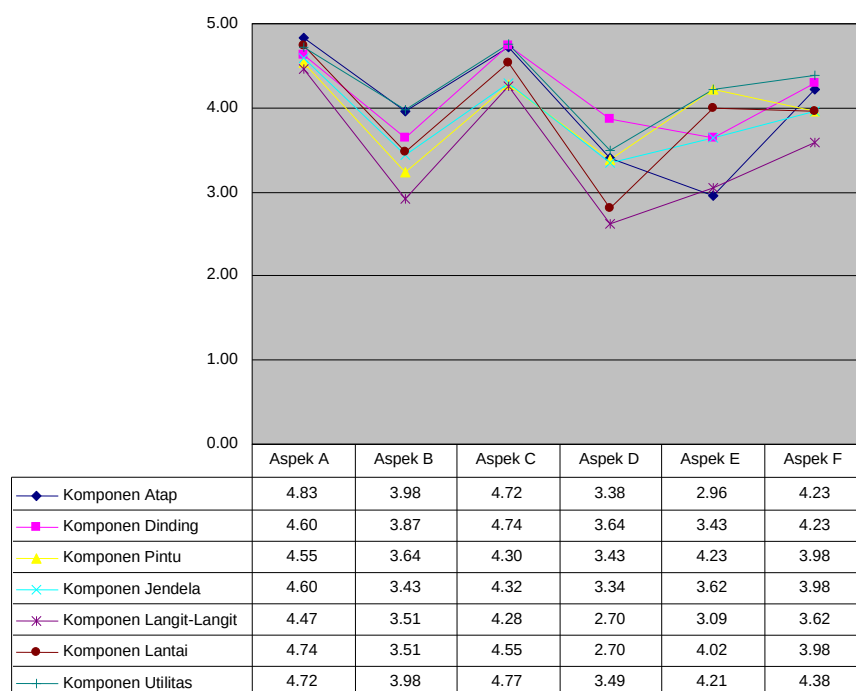
Delphi tahap 2 dilakukan untuk menajaring pendapat 47 orang pakar yang sama untuk menilai kembali aspek-aspek yang ditanyakan pada Delphi Tahap 1 dan memberitahukan hasil yang didapatkan dari tahap 1, apakah akan merubah pendapat mereka atau tidak.

Pada tahap 2 ini responden tidak merubah pendapat mereka, bahkan lebih mempertegas aspek yang paling mempengaruhi, seperti terlihat pada gambar berikut ini.

Terdapat 3 variabel penentu yang mempunyai nilai tertinggi untuk kualitas material, yaitu: 1) mutu material, 2) jenis material, dan 3) biaya material. Mutu material, jenis material dan biaya material menurut penilaian responden paling menentukan kualitas material setiap komponen, dan ketiga variabel ini saling mempengaruhi. Mutu material yang baik ditentukan oleh jenis material dan harga. Semakin tinggi mutu material, semakin baik pula jenis material dan semakin mahal harga material tersebut.

Pengaruh variabel kriteria desain dan kualitas desain oleh responden dinilai sangat berkaitan erat. Jika kualitas perancang baik, kriteria desain yang dibuat atau ditentukan oleh pemilik dapat disusun dan diterjemahkan ke dalam bentuk desain dengan baik. Dapat disimpulkan bahwa variabel yang mempengaruhi kualitas desain dari setiap komponen secara signifikan adalah: 1) kriteria desain, 2) kualitas perancang, dan 3) kelengkapan informasi.

Responden menyatakan bahwa variabel yang paling mempengaruhi kualitas pengerjaan untuk setiap komponen arsitektur adalah kualitas pekerja (tukang), metode membangun, dan kualitas



Keterangan:

Aspek A: Kualitas Material

Aspek B: Kualitas Desain

Aspek C: Kualitas Pengerjaan

Aspek D: Kualitas Lingkungan Luar

Aspek E: Kualitas Penggunaan

Aspek F: Kualitas Perawatan

Gambar 9 Pengaruh Keenam Aspek terhadap Komponen Arsitektur

kontraktor. Pengaruh variabel penentu kualitas pengerjaan paling signifikan untuk komponen utilitas dan atap.

Nilai setiap variabel yang menentukan kualitas pengerjaan relatif tinggi, dengan nilai terendah 3,54. Hal ini mengindikasikan bahwa seluruh variabel menentukan kualitas pengerjaan komponen arsitektur. Variabel kualitas pekerja pada semua komponen tampil sebagai faktor dominan. Menurut penilaian responden kualitas tukang di Indonesia, khususnya yang terlibat dalam pembangunan rumah susun sederhana, masih sangat rendah. Kontraktor diharapkan turut berperan dalam memilih dan mempersiapkan tukang yang berkualitas.

Lemahnya kepranataan dan kurangnya kesadaran penghuni, menurut penilaian para responden, merupakan 2 variabel yang paling mempengaruhi kualitas penggunaan. Penghuni rumah susun sederhana umumnya tidak mematuhi peraturan yang telah ada sejak lama, seperti Peraturan Pemerintah Republik Indonesia nomor 4 tahun 1988. Pada tahun 2007 peraturan penghunian rumah susun sederhana dipertegas, meliputi sistem penghunian, calon penghuni, dll. Jika pengelola menerapkan peraturan dengan disiplin dan masyarakat penghuni rumah susun sederhana menyadari akan pentingnya peraturan tersebut, maka pengaruh negatif yang terjadi dapat diminimumkan.

Kualitas perawatan menurut responden merupakan salah satu faktor yang harus diperhatikan di dalam penjaminan kinerja komponen arsitektur bangunan rumah susun sederhana. Variabel utama yang mempengaruhi kualitas perawatan adalah biaya perawatan, kualitas pengelola, dan intensitas perawatan.

Biaya perawatan merupakan faktor yang selama ini menjadi masalah di dalam perawatan rumah susun sederhana. Hasil studi lapangan terhadap 14 rumah susun menunjukkan bahwa tidak ada kontribusi biaya perawatan dari pihak penghuni. Perawatan dilakukan hanya jika ada komponen arsitektur yang sudah rusak parah, padahal seluruh komponen arsitektur memerlukan perawatan rutin untuk mencapai umur bangunan yang telah ditetapkan. Penghuni ataupun pengelola tidak menyadari bahwa kualitas komponen arsitektur harus senantiasa dipelihara dengan baik agar selaras dengan umur bangunan yang ditargetkan.

Lemahnya sistem pengelolaan juga menjadi salah satu penghambat dalam penjaminan kualitas perawatan. Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 4 Tahun 1988 ataupun dalam peraturan terbaru tahun 2007, masyarakat penghuni rumah susun berhak

memperoleh subsidi untuk perawatan Rusuna. Tetapi rumitnya sistem administrasi untuk memperoleh dana subsidi perawatan menyebabkan para penghuni cenderung membiarkan komponen arsitektur rusak atau terpaksa menggantinya tanpa dana dan pengetahuan yang memadai.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengamatan terhadap komponen arsitektur Rusunawa, bahwa komponen arsitektur pada bangunan Rusunawa sangat rentan terhadap risiko degradasi kinerja teknis sepanjang periode umur bangunan yang ditetapkan. Umur kinerja teknis komponen bangunan umumnya lebih pendek dari umur kinerja teknis bangunan, oleh karena itu umur teknis komponen arsitektur perlu dirancang dengan teliti sepanjang umur bangunan yang ditentukan (50 tahun).

Hasil Delphi 1 dan 2 menunjukkan adanya 3 aspek yang berpengaruh signifikan terhadap kinerja teknis komponen arsitektur Rusunawa dengan nilai ≥ 4 , yaitu: 1) kualitas material, 2) kualitas pengerjaan, dan 3) kualitas perawatan.

Dari hasil Delphi 1 dan 2 dapat diketahui 4 (empat) komponen arsitektur yang perlu diperhatikan, yaitu: atap, dinding luar, lantai, dan utilitas.

Kualitas material perlu dipertimbangkan pada tahap perencanaan dengan memperhatikan variabel utama penentunya, yaitu: jenis material, mutu material, dan biaya material. Kualitas desain perlu dipertimbangkan pada tahap perancangan (desain) dengan memperhatikan variabel utama penentunya, yaitu: kriteria desain, kualitas perancang, dan kelengkapan informasi. Kualitas pengerjaan perlu dipertimbangkan pada tahap konstruksi, dengan memperhatikan variabel utama penentunya, yaitu: kualitas pekerja (tukang), kualitas kontraktor, dan metode membangun. Kualitas penggunaan perlu diperhatikan pada tahap operasional, dengan memperhatikan variabel utama penentunya, yaitu: kesadaran penghuni, kepranataan, dan vandalisme. Kualitas lingkungan luar perlu diperhatikan dengan memperhatikan variabel penentu utamanya, yaitu: kelembaban, hujan dan panas, dan temperatur. Kualitas perawatan perlu dipertimbangkan pada tahap perencanaan dan perancangan, dengan memperhatikan variabel utamanya, yaitu: biaya perawatan, kualitas pengelola, dan intensitas perawatan.

Kualitas penggunaan sulit diduga, karena sangat tergantung pada pola perilaku penghuni. Peraturan yang ketat dan sistem seleksi dalam mengelola rumah

susun sederhana sewa harus ditegakkan secara tegas, sehingga perilaku penghuni yang cenderung merusak (vandalisme) dapat diminimalkan. Dalam penelitian ini perilaku penghuni tidak termasuk dalam lingkup kajian, hanya disinggung jika relevan dengan tajuk yang sedang dibahas.

Berdasarkan sifat atau karakteristiknya, aspek-aspek yang mempengaruhi kinerja teknis komponen arsitektur dapat dibedakan menjadi 3 hal. Pertama, yang dapat direncanakan dan hanya sifatnya internal, seperti kualitas material, kualitas desain, dan kualitas pengerjaan; Kedua, yang tidak dapat direncanakan dan sifatnya eksternal, seperti kualitas lingkungan luar dan kualitas penggunaan; Ketiga, yang dapat direncanakan tetapi memiliki peluang perubahan yang tidak terduga, seperti kualitas perawatan.

Pemerintah harus melihat pembangunan Rusunawa sebagai suatu proses daur hidup, di mana kondisi pada suatu tahapan akan menentukan kondisi tahapan berikutnya. Peran pemerintah pada saat ini terbatas pada tahap perencanaan, misalnya penentuan umur teknis bangunan selama 50 tahun, tetapi belum mempertimbangkan bagaimana mencapai umur tersebut, karena peraturan pembangunan yang ada masih sangat umum, terutama berkaitan dengan komponen arsitektur yang umurnya jauh lebih rendah dari umur bangunan dan membutuhkan perawatan dan penggantian yang lebih intensif dibandingkan komponen struktur.

Buruknya kinerja teknis bangunan Rusunawa, semata-mata tidak hanya disebabkan oleh minimnya biaya pembangunan, tidak adanya biaya operasional, atau kurangnya kesadaran dan tanggung jawab penghuni, tetapi terutama disebabkan oleh paradigma pembangunan yang tidak tepat, yang dianut oleh pemerintah selama ini. Dalam pembangunan Rusunawa pemerintah hanya menempatkan diri sebagai pihak penyedia (provider), yang berfungsi merencanakan dan membangun bukan sebagai penjamin yang menjamin kelayakan huni Rusunawa selama daur hidup bangunan. Tanpa komitmen pemerintah untuk bertanggung jawab dalam pengelolaan dan perawatan bangunan Rusunawa, penetapan 50 tahun umur bangunan Rusunawa hanyalah sekedar “*lip service*”.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada pengurus dan warga Rusunawa, khususnya Rusunawa di DKI Jakarta yang telah memberikan waktu dalam pengumpulan data untuk riset ini. Terimakasih pula untuk para responden

Delphi Study yang sudah meluangkan waktunya untuk mengisi kuesioner yang diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Appelqvist, Ingert, dan Ulf Keijer. 1994. *Building Integrity - Interactions between Building Parts, Systems and The Actors of the Building Process*.
- Ashworth, Allan. 1996. “Estimating the Life Expectancies of Building Components in Life-Cycle Costing Calculations.” *Journal of Structural Survey* 14 (2): 4–8.
- Balaras, Constantinos, Popi Droutsa, Elena Dascalaki, dan Simone Kontoyiannidis. 2005. “Service Life Of Building Elements & Installations in European Apartment Buildings.” In *International Conference On Durability of Building Materials and Components*. Lyon, 17-20 April 2005.
- CSA. 1995. “S478-95: Guideline on Durability in Buildings.” *Canadian Standards Association, Rexdale, Canada*.
- Duling, Mc, dan Johannes Jacobus. 2007. “Towards The Development of Transition Probability Matrices in The Markovian Model for The Predicted Service Life of Buildings.” Doctoral Thesis: University of Pretoria.
- Gaspar, Pedro Lima, dan Jorge de Brito. 2005. “Assessment of The Overall Degradation Level of an Element, Based on Field Data.” In *10th DBMC International Conference On Durability of Building Materials and Components*. 17-20 April 2005.
- Hitchcock, Robert J. 2002. “Metracker version 1.5: Life-Cycle Performance Metrics Tracking.”
- Hovde, P J. 2005. “The Factor Method—a Simple Tool to Service Life Estimation.” In *Proceeding of International Conference On Durability of Building Materials and Components*. Lyon: France: 17-20 April 2005.
- Illingworth, John. 1993. *Construction Methods and Planning*. London: E & FN Spon.
- ISO 15686-2. 2001. “Buildings and Construction Assets-Service Life Planning-Part 2: Services Life Prediction Procedures.” Geneva: International Standard Organisations.
- Khuncumchoo, Non, Godfried Augenbroe, dan Linda Thomas. 2007. “Roof Maintenance Record Analysis toward Proactive Maintenance Policies.” In *Proceeding of COBRA 2007*. London: UK: RICS.
- Kimpraswil. 2002. “Perencanaan dan Perancangan Arsitektur Rumah Susun Sederhana.” Bandung: Pusat Litbang Permukiman.

- Koles, G, R Hitchcock, dan M Sherman. 1996. "Metrics for Building Performance Assurance." Lawrence Berkeley Lab., CA (United States).
- Leppänen, Pekka, Sakari Pulakka, Mikko Saari, dan Hannu Viitanen. 1999. "Life-Cycle-Cost Optimised Wooden Multi-Storey Apartment Building." Espoo, Finland: Technical Research Centre of Finland.
- Martinson, Björn. 2005. "Service Life Estimation in The Design of Buildings: A Development of The Factor Method." Sweden: KTH Research School, Center for Built Environment. Thesis.
- Mayer, P D, dan K P Bourke. 2005. "Durability Rankings for Building Component Service Life Prediction." In *10th International Conference on Durability of Building Materials and Components, Lyon, France*, 546-53. 17-20 April 2005.
- O'Sullivan, D T J, M M Keane, Dennis Kelliher, dan Robert J Hitchcock. 2004. "Improving Building Operation by Tracking Performance Metrics Throughout The Building Lifecycle (BLC)." *Energy and Buildings* 36 (11): 1075-90.
- Preiser, Wolfgang. 2006. *Assessing Building Performance*. Diedit oleh Jacqueline Vischer. Routledge.
- Shohet, I M, M Puterman, dan E Gilboa. 2002. "Deterioration Patterns of Building Cladding Components for Maintenance Management." *Construction Management & Economics* 20 (4): 305-14.
- Silva, Nayanthara De, Malik Ranasinghe, dan Chathura Ranjan De Silva. 2016. "Risk Analysis in Maintainability of High-Rise Buildings Under Tropical Conditions using Ensemble Neural Network." *Facilities Management* 34: 1-30.
- Teo, Evelyn Ai Lin, M Y L Chew, dan Harikrishna Narasimhan. 2005. "An Assessment of Factors Affecting the Service Life of External Paint Finish on Plastered Facades." In *10th International Conference on Durability of Buildings Materials and Components (DBMC)*, 570-82. Lyon, França: 17-20 April 2005.

MODULUS PENAMPANG ELASTIK BALOK KAYU JABON GLULAM

Elastic Section Modulus of Glulam Jabon Timber Beams

Yosafat Aji Pranata, Anang Kristianto, Aan Darmawan

Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha

Jalan Suria Sumantri 65 Bandung, 40164, Jawa Barat

Surel: yosafat.ap@gmail.com, anang.kristianto@gmail.com, valfa007@gmail.com

Diterima: 03 Desember 2019 ; Disetujui: 12 Maret 2020

Abstrak

Modulus penampang elastik balok merupakan salah satu parameter yang berkaitan dengan kekuatan dan kekakuan balok, secara khusus berhubungan dengan momen inersia penampang. Modulus penampang elastik balok kayu utuh (solid) tidak sama dengan balok kayu laminasi untuk studi kasus balok dengan ukuran penampang sama, hal ini dikarenakan momen inersia penampang balok laminasi perhitungannya berbeda dengan balok utuh akibat adanya slip antar lamina pada saat beban bekerja serta besarnya modulus elastisitas yang tidak sama pada setiap lamina, sehingga perilaku lentur balok menjadi satu kesatuan dalam kaitannya dengan kekuatan balok. Tujuan penelitian ini adalah mempelajari modulus penampang elastik balok kayu laminasi lem (glulam). Ruang lingkup penelitian yaitu benda uji balok terbuat dari kayu Jabon (*Anthocephalus cadamba* Miq.) ukuran penampang 60x160 mm, jumlah lamina 4 (empat), sistem laminasi menggunakan lem super adhesive, pengujian lentur menggunakan metode four-point loading test, perilaku lentur yang ditinjau adalah kekuatan lentur, modulus penampang elastik, dan rasio daktilitas balok. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa modulus penampang elastik dan tegangan lentur balok kayu laminasi lem lebih rendah dibandingkan balok kayu utuh dengan rasio sebesar 0,54, serta rasio daktilitas balok kayu laminasi diperoleh sebesar 1,28 sehingga termasuk dalam kriteria daktilitas terbatas. Hasil pengujian mengindikasikan bahwa kegagalan balok kayu laminasi lem adalah berupa kegagalan lentur. Parameter modulus penampang elastik balok kayu laminasi berguna untuk desain komponen struktur balok pada bangunan khususnya pada perhitungan kekuatan balok dan kekakuan balok sebagai persyaratan serviceability.

Kata Kunci: Rigiditas lentur, balok, laminasi, lem, jabon

Abstract

The elastic cross-section modulus of the beam is one of the parameters related to the strength and stiffness of the beam, specifically related to the inertia moment of the cross-section. The elastic cross-section modulus of solid timber beam is not the same as laminated timber beam for the case study of beam with the same cross-section size, this is because the inertia moment of cross-section of the laminated beam calculation is different from the solid beam due to slippage between lamina when the load is working and the magnitude of the elastic modulus which is not the same in every lamina, so that the flexural behavior of the beam becomes a single unit in relation to the strength of the beam. The purpose of this study was to study the elastic cross-section modulus of glue-laminated wood (glulam). The scope of the study is the beam test object made of Jabon wood (*Anthocephalus cadamba* Miq.) 60x160 mm cross-section size, 4 (four) lamina numbers, lamination system using super adhesive glue, flexural testing using the four-point loading test method, the flexural behavior that is review are flexural strength, elastic cross-section modulus, and beam ductility ratio. The results showed that the elastic cross-section modulus and the flexural stress of the laminated timber beams were lower than the solid timber beams with a ratio of 0.54, and the ductility ratio of the laminated wooden beams was 1.28 so that they were categorized in the limited ductility criteria. The test results indicate that the failure of glue-laminated timber beams is a failure of bending. The elastic modulus cross-section parameters of laminated timber beams are useful for the design of beam structure components in buildings, especially in the calculation of beam strength and beam stiffness as a serviceability requirement.

Keywords: Flexural rigidity, beam, laminated, glue, jabon

PENDAHULUAN

Balok laminasi lem atau Glulam (*glue-laminated*) merupakan balok yang disusun dari dua atau lebih lamina kayu dan dirangkai secara vertikal, horisontal, atau kombinasi silang, sehingga didapatkan penampang yang lebih besar sesuai kebutuhan. Sistem laminasi bermanfaat untuk mengatasi permasalahan keterbatasan dimensi bahan kayu yang ada. Sistem perekatan dilakukan dengan menggunakan lem yang telah diuji kekuatan gesernya sehingga slip antar lamina kayu dapat direduksi seminimal mungkin.

Salah satu manfaat balok laminasi adalah dapat menghasilkan ukuran penampang yang lebih besar sesuai kebutuhan dari dua atau lebih lamina-lamina kayu, sebagai contoh balok kayu ukuran penampang 60 mm x 40 mm apabila disusun sebanyak empat lamina maka akan menghasilkan ukuran penampang 60 mm x 160 mm. Masing-masing lamina tersebut direkatkan menggunakan perekat/lem.

Tujuan penelitian ini adalah melakukan pengujian lentur balok kayu laminasi lem (glulam) untuk mendapatkan data empiris parameter modulus penampang elastik.

Parameter modulus penampang elastik diperlukan khususnya untuk perhitungan kekuatan lentur (F_b) balok dengan penampang tidak solid, sebagai contoh balok laminasi. Kekuatan lentur merupakan salah satu parameter utama terkait analisis dan desain balok (komponen struktur lentur) pada bangunan gedung.

Perkembangan penelitian balok kayu laminasi lem (*glulam*) sudah sangat pesat. Dimulai dari penelitian untuk mempelajari perilaku lentur balok, penelitian terkait rigiditas balok, penelitian variasi jenis kayu, penelitian variasi sistem laminasi yang digunakan, penelitian terkait usulan metode-metode perkuatan untuk meningkatkan kinerja lentur, sampai dengan penelitian untuk mengetahui kinerja dan perilaku lentur akibat beban jangka panjang.

Penelitian sebelumnya terkait perilaku dan kekuatan lentur balok kayu laminasi telah dilakukan oleh Kamiya (1985), Bohnhoff et al. (1989), dan Gliniorz, Mosalam, dan Natterer (2002), dengan hasil secara umum kekuatan lentur lebih rendah dibandingkan balok kayu utuh.

Penelitian terkait perbandingan kekuatan lentur balok kayu utuh dan balok kayu laminasi lem telah dilakukan oleh Ezeagu et al. (2015) untuk kayu jenis daun jarum (*softwood*). Hasil penelitian memperlihatkan bahwa kekuatan lentur balok kayu

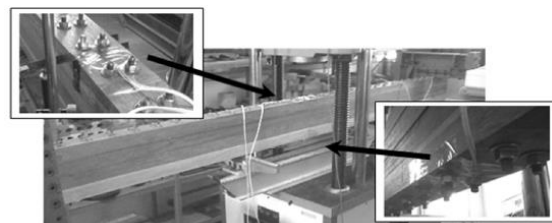
laminasi lem lebih rendah berkisar 37%-66% dibandingkan dengan kayu utuh. Dari segi manfaat, kayu laminasi lem memberikan manfaat dimensi dan ukuran penampang yang lebih besar.



Gambar 1 Pengujian Balok Kayu Laminasi oleh (Ezeagu et al. 2015)

Penelitian kekuatan lentur balok laminasi lem dengan pendekatan analitis dan numerik telah dilakukan oleh Muhammed dan Arya (2015), balok menggunakan sistem laminasi horizontal dengan variasi ketebalan lamina yang berbeda-beda. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa ketebalan lamina tidak berpengaruh signifikan terhadap kekuatan lentur balok laminasi.

Penelitian terkait rasio modulus penampang elastik balok kayu laminasi telah dilakukan sebelumnya oleh Pranata, Suryoatmono, dan Tjondro (2011; 2012) yaitu sistem laminasi mekanik menggunakan alat sambung baut. Penelitian dilakukan terhadap 6 (enam) jenis kayu Indonesia. Hasil penelitian secara umum memperlihatkan bahwa rasio modulus penampang elastik balok kayu laminasi-baut berkisar antara 0,38–0,91. Rasio modulus penampang elastik (S) balok laminasi mekanik dapat mencapai kondisi rasio 0,91 terhadap balok utuh, hal ini dapat tercapai dengan spasi antar baut 100 mm, sehingga pada saat balok dibebani lentur, slip yang terjadi antar lamina dapat berkurang, sehingga momen inersia penampang balok laminasi mendekati momen inersia penampang balok utuh.



Gambar 2 Penelitian Terkait Modulus Penampang Elastik Balok Kayu Laminasi Mekanis (Pranata, Suryoatmono, dan Tjondro 2012)

Penelitian kekuatan lentur sistem laminasi-baut dengan orientasi arah laminasi vertikal juga telah dilakukan oleh Pranata dan Suryoatmono (2019). Tujuan orientasi sistem lamina pada arah vertikal adalah untuk mendapatkan dimensi lebar (b) yang

lebih besar dan bermanfaat sebagai sistem struktur lantai (*slab*) bangunan bertingkat. Hasil penelitian membahas tentang kekuatan lentur sistem laminasi akibat beban gravitasi dan perilaku struktur lantai akibat beban getaran.

Penelitian balok laminasi lem (*glulam*) dengan kombinasi lebih dari satu jenis kayu telah dilakukan oleh (Chauf dan Dewi 2016) dengan hasil penelitian adalah diperoleh model struktur laminasi yang efisien dan kekuatan lentur yang optimal dengan tipe kegagalan yaitu getas.

Penelitian perilaku lentur balok laminasi lem akibat beban jangka panjang (*long-term behavior*) telah dipelajari oleh Massaro dan Malo (2019) untuk jenis kayu *Norway Spruce*. Penelitian dilakukan dengan pendekatan pengujian eksperimental dan analisis numerik.

METODE

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan melakukan studi eksperimental di laboratorium. Secara umum tahapan penelitian terdiri dari 4 (empat) tahap, yaitu tahap pertama studi literatur terkait modulus elastisitas balok kayu, rigiditas lentur balok kayu, kayu laminasi lem, serta tata cara pengujian lentur kayu berdasarkan ASTM. tahap kedua yaitu pembuatan benda uji balok kayu laminasi lem. Tahap ketiga adalah pengujian eksperimental di laboratorium. Tahap keempat adalah proses mengolah data kurva kapasitas lentur balok yaitu kurva hubungan beban versus peralihan menjadi parameter rigiditas lentur balok kayu laminasi, kekuatan lentur balok kayu laminasi, dan rasio daktilitas peralihan balok.

Ruang lingkup penelitian yaitu sebagai berikut:

1. Benda uji balok terbuat dari kayu Jabon (*Anthocephalus cadamba* Miq.).
2. Jumlah lamina 4 (empat), dengan ukuran masing-masing lamina adalah 60 mm x 40 mm, sehingga membentuk ukuran penampang balok 60 mm x 160 mm.
3. Sistem laminasi menggunakan lem *super adhesive* yaitu Jenis *Strong Epoxy*.
4. Metode perekatan adalah metode *press* pada sistem laminasi kayu dengan menggunakan dudukan pelat dan alat pengencang baut, teknik pengencangan baut menggunakan metode *snug tight* sesuai AISC 360-16 (AISC 2016).
5. Jumlah benda uji adalah 3 (tiga) buah benda uji balok. Panjang balok (jarak antar tumpuan) adalah 1500 mm.

6. Pengujian lentur mengacu pada standar ASTM D198 (ASTM 2015), dengan metode pengujian destruktif *four-point bending test*.
7. Perilaku lentur yang ditinjau adalah modulus penampang elastik, kekuatan lentur, dan rasio daktilitas balok.

Balok Kayu Laminasi Lem (Glulam)

Glulam adalah susunan beberapa lapis kayu direkatkan satu sama lain menjadi satu kesatuan dengan mereduksi kemungkinan terjadinya diskontinuitas atau slip antar lamina. Sistem laminasi merupakan salah satu upaya menghasilkan desain penampang balok kayu yang ekonomis dan memenuhi prinsip struktural.

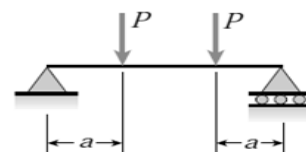
Perekat merupakan material dengan sifat dominan berupa kimiawi. Lamina-lamina kayu yang direkatkan oleh lem akan memungkinkan berdampak pada perubahan sifat mekanis kayu, khususnya kekakuan dan kekuatan lentur. Apabila balok disusun dengan jumlah lamina yang semakin banyak, maka semakin besar pula luas bidang rekatan, sehingga dampaknya berkaitan pula dengan tipe perekat terhadap kinerja kekakuan dan kekuatan.

Deformasi balok

Modulus elastisitas adalah kemiringan proporsional garis linier dari kurva hubungan beban dan deformasi (dalam rentang beban elastik), dalam konteks ini adalah beban lentur pada balok dan deformasi adalah lendutan balok akibat adanya beban yang bekerja. Untuk kondisi balok sederhana dengan beban 2 (dua) buah terpusat pada masing-masing jarak sejauh a dari tumpuan masing-masing seperti ilustrasi pada Gambar 3, maka hubungan deformasi terhadap beban dinyatakan dalam Persamaan 1 (Goodno dan Gere 2018).

$$\delta = \frac{P \cdot a}{24EI} (3L^2 - 4a^2) \dots\dots\dots (1)$$

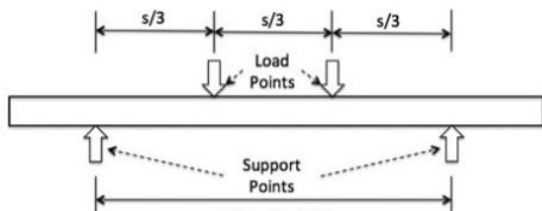
dengan δ adalah deformasi, P adalah beban terpusat pada jarak a dari tumpuan, L adalah panjang bentang balok dari tumpuan-ke-tumpuan, E (atau MoE) adalah modulus elastisitas balok kayu (arah longitudinal), dan I adalah momen inersia penampang balok.



Gambar 3 Balok Dengan Beban 2 Buah Beban P Pada Jarak Sebesar a Dari Masing-Masing Tumpuan (Goodno dan Gere 2018)

Pengujian lentur kayu

Benda uji lentur kayu untuk pengujian sifat mekanika lentur dapat dibuat berdasarkan acuan spesifikasi benda uji primer dan benda uji sekunder sesuai standar ASTM D143 (ASTM 2014). Metode pengujian lentur dapat mengacu sesuai metode pengujian *center-point loading test* ASTM D143 (ASTM 2014) atau metode pengujian *four-point loading test* ASTM D198 (ASTM 2015). Kecepatan pembebanan (*crosshead*) untuk keperluan uji lentur adalah 2,5 mm/menit. Gambar 4 memperlihatkan skematik metode pengujian lentur dengan metode *four-point loading test*.



Gambar 4 Metode Pengujian *Four-Point Loading Test* (ASTM 2015)

Kekuatan lentur adalah kekuatan batas proporsional yang dapat dicapai kayu ketika komponen kayu tersebut mengalami kegagalan akibat momen lentur, sedangkan pada kondisi kekuatan batas ultimit disebut *Modulus of Rupture* (MoR). Kekuatan lentur pada kondisi beban batas proporsional (f_B) dapat dihitung dengan menggunakan dasar teori tegangan normal-lentur sesuai Persamaan 2.

$$f_B = \frac{M \cdot y}{I} \quad (2)$$

Parameter f_B adalah kekuatan lentur pada kondisi beban batas (titik batas) proporsional, M adalah momen lentur akibat beban yang bekerja, dan y adalah jarak dari titik berat penampang ke serat tepi terluar penampang balok.

Berdasarkan metode ASTM D143 (ASTM 2014), maka kriteria kegagalan lentur balok terdiri dari beberapa klasifikasi sesuai kondisi retak yang terjadi. Klasifikasi kegagalan balok salah satunya adalah *simple tension*, yaitu terjadi retak pada serat terluar bagian tarik kemudian retak menjalar pada arah sejajar serat.

Modulus penampang elastik

Modulus penampang elastik (S) adalah momen inersia penampang balok (I) dibagi dengan jarak dari titik berat penampang ke serat tepi terluar (y) dalam rentang beban batas elastik.

$$S = \frac{I}{y} \quad (3.a)$$

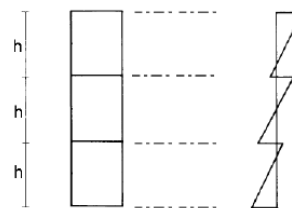
$$S_{\text{eff}} = k_s \cdot S \quad (3.b)$$

Persamaan 2 selanjutnya dapat ditulis,

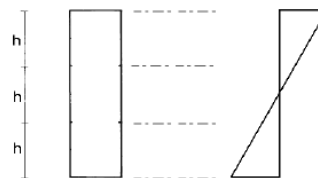
$$f_B = \frac{M}{S} \quad (4.a)$$

$$f_{B-\text{lam}} = \frac{M}{S_{\text{eff}}} \quad (4.b)$$

S_{eff} adalah modulus penampang elastik balok laminasi dan k_s adalah rasio modulus penampang elastik balok laminasi terhadap balok utuh. Sedangkan $f_{B-\text{lam}}$ adalah kekuatan lentur balok laminasi (Pranata, Suryatmono, dan Tjondro 2012).



(a). Balok laminasi (Pranata, Suryatmono, dan Tjondro 2012).



(b). Balok dengan penampang *solid*.

Gambar 5 Skematik Ilustrasi Perilaku Lentur Balok Laminasi dan Balok Dengan Penampang Utuh.

Perilaku slip antar lamina terjadi karena kompatibilitas regangan antara lem dan lamina tidak bekerja sempurna sehingga perilaku lentur balok laminasi tidak seperti balok utuh, tetapi tetap terjadi interaksi parsial antar lamina, ilustrasi selengkapnya ditampilkan pada Gambar 5.a (distribusi tegangan normal-lentur pada penampang balok laminasi) dan Gambar 5.b (distribusi tegangan normal-lentur pada penampang balok utuh).

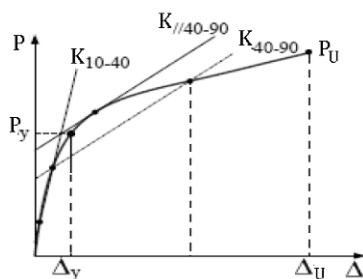
Persamaan 5 merupakan pengembangan dari Persamaan 1 khususnya untuk perhitungan deformasi balok kayu laminasi dengan beban yaitu P_{lam} maka besarnya rigiditas lentur balok laminasi sebesar k_{EI} lebih rendah dibandingkan rigiditas lentur balok berpenampang utuh (*solid*). k_{EI} dalam hal ini adalah rasio rigiditas lentur balok kayu laminasi-lem (*glulam*).

$$\delta = \frac{P_{\text{lam}} a}{24(k_{\text{El}} \cdot E \cdot I)} (3L^2 - 4a^2) \dots\dots\dots (5)$$

Metode penentuan titik batas proporsional dan titik batas ultimit

Hasil pengujian eksperimental adalah berupa kurva hubungan beban versus deformasi, yaitu secara umum terdapat 2 kondisi pembebanan yang pertama kondisi rentang beban elastik dan kondisi beban pasca-elastik. Hal ini memerlukan metode untuk menentukan titik batas (beban batas) proporsional. Berdasarkan hasil penelitian Muñoz et al. (2008) maka terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk menentukan titik batas proporsional yaitu metode CEN, metode CSIRO, metode Karacabeyli dan Ceccotti, metode Yasumura dan Kawai, metode EEEP dan metode Offset 5%. Masing-masing metode diperuntukkan untuk tipe pengujian eksperimental properti mekanika kayu yang berbeda-beda.

Metode Yasumura dan Kawai banyak disarankan sebagai metode yang paling relevan untuk material kayu, prinsip dasar yaitu kekakuan inisial dihitung pada kondisi 10%, 40%, dan 90% titik batas (beban batas) ultimit (P_U). Rentang kondisi elastik ditentukan dari pertemuan dua garis, yaitu garis pertama adalah garis linier yang menghubungkan antara garis yang terbentuk dari pertemuan titik 10%- P_U dan 40%- P_U , sedangkan garis kedua adalah yang terbentuk dari pertemuan titik 40%- P_U dan 90%- P_U yang telah digeser sejajar sampai berimpit pada kurva beban-deformasi hasil pengujian. Ilustrasi selengkapnyanya ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Ilustrasi Metode Yasumura dan Kawai (Muñoz et al. 2008)

Kekuatan lentur dan keawetan kayu Jabon

Dalam penelitian ini digunakan bahan material kayu Jabon (*Anthocephalus cadamba* Miq.). Kayu Jabon banyak ditemui di berbagai pulau di Indonesia. Berdasarkan Atlas Kayu Indonesia (Martawijaya et al. 2005), kayu Jabon termasuk dalam kategori kelas kuat III-IV dengan rentang berat jenis berkisar antara 290-560 kg/m³. Pada kondisi kering, kekuatan lentur (F_b) kayu Jabon pada kondisi batas proporsional

adalah 37,96 MPa dan pada kondisi batas ultimit (*Modulus of Rupture* atau MoR) adalah 67,79 MPa. Modulus elastisitas (E atau MoE) kayu Jabon adalah 6670,80 MPa.

Dalam kaitannya dengan keawetan kayu sebagai komponen penyusun bangunan gedung, terutama terhadap serangan rayap kayu, kayu Jabon termasuk dalam kategori kelas II, sedangkan daya tahan terhadap serangan jamur pelapuk kayu termasuk dalam kategori kelas IV-V. secara umum kayu Jabon termasuk dalam kategori keterawetan kelas sedang.

Modulus Elastisitas Dinamik

Metode pengujian tidak merusak (non-destruktif) khususnya untuk pengujian material kayu merupakan salah satu metode untuk mendapatkan data empiris parameter Modulus Elastisitas Dinamik (E_{dyn}) yang dihitung berdasarkan hubungan dengan berat jenis kayu (ρ , satuan kg/m³) dan kecepatan gelombang (v , satuan m/detik), yaitu menggunakan Persamaan 6 (CBS-CBT 2011).

$$E_{\text{dyn}} = \rho V^2 10^{-6} \dots\dots\dots (6)$$

Hubungan antara Modulus Elastisitas Dinamik (E_{dyn}) dan Modulus Elastisitas (E) telah dipelajari sebelumnya antara lain oleh Raymond et al. (2007), Benoit dan Sandoz (2011), Nowak, Hamrol-Bielecka, dan Jasieński (2015), dan Poggi (2017). Raymond et al. (2007) dalam penelitiannya menyampaikan hubungan antara Modulus Elastisitas dengan Modulus Elastisitas Dinamik yang dinyatakan dalam Persamaan 7 sebagai berikut,

$$E = 0,899 E_{\text{dyn}} ; R^2 = 0,93 \dots\dots\dots (7)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, dilakukan pengujian balok kayu laminasi lem dengan bahan material kayu Jabon (*Anthocephalus cadamba* Miq.). Lamina kayu mempunyai ukuran penampang 60 mm x 40 mm, sistem laminasi yang digunakan adalah horisontal dengan jumlah lamina sebanyak 4 (empat) lamina, sehingga terbentuk balok dengan ukuran penampang 60 mm x 160 mm. Sistem laminasi menggunakan lem *super adhesive* jenis *Strong Epoxy*. Perilaku lentur yang ditinjau adalah rigiditas lentur, kekuatan lentur, dan rasio daktilitas balok. Proses pembuatan benda uji meliputi pemilahan kayu, pembuatan lamina kayu, dan pembuatan balok laminasi dengan lem.

Gambar 7 memperlihatkan proses pengukuran kadar air untuk mengetahui kadar air pada masing-masing lamina kayu. Seluruh benda uji disusun pada kondisi

kadar air berkisar 7,0 % s.d. 11,5 %. Hasil ini memperlihatkan bahwa kayu dalam kondisi kering mengacu pada peraturan kayu Indonesia SNI 7973:2013 (BSN 2013).



Gambar 7 Proses Pengukuran Kadar Air Pada Lamina Kayu.

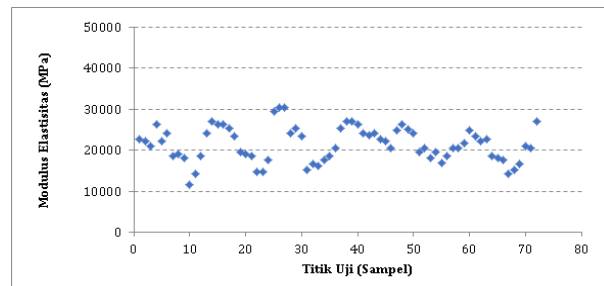
Gambar 8 memperlihatkan proses pemilahan kayu, yaitu pengujian sifat mekanika kayu Modulus Elastisitas masing-masing lamina kayu. Metode yang digunakan adalah uji non-destruktif (uji tidak merusak) dengan metode *direct measurement* dengan menggunakan alat uji Sylvatest TRIO (CBS-CBT 2011). Metode *direct measurement* merupakan salah satu metode pengukuran tidak merusak pada material kayu yang diperkenalkan oleh Benoit dan Sandoz (2011; CBS-CBT 2011) dengan alat ukur Sylvatest DUO yang dalam perkembangannya ditingkatkan kemampuannya dan mengalami perubahan nama alat ukur Sylvatest TRIO. Metode uji tidak merusak pada kayu Indonesia telah dilakukan sebelumnya oleh Pranata dan Tobing (2016) yaitu penelitian sifat mekanika kayu Rumah Tradisional Minangkabau, serta oleh Pranata dan Rusli (2019) yaitu penelitian sifat mekanika Rumah Tradisional Minahasa.

Dalam penelitian ini benda uji berjumlah 3 balok dan masing-masing balok terdiri dari 4 lamina kayu, sehingga jumlah kayu yang digunakan adalah 12 batang. Seluruh batang selanjutnya diuji dengan menggunakan pengujian non-destruktif, dengan masing-masing batang diuji pada 6 titik sampel. Total titik uji adalah 72 titik sampel.



Gambar 8 Proses Pengujian Non-Destruktif untuk Mendapatkan Sifat Mekanika Modulus Elastisitas Dinamik.

Hasil pengujian non-destruktif selengkapnya ditampilkan pada Gambar 9. Perhitungan Modulus Elastisitas Dinamik dilakukan dengan menggunakan Persamaan 6 dengan berat jenis kayu Jabon yaitu 425 kg/m^3 . Selanjutnya perhitungan Modulus Elastisitas dilakukan dengan menggunakan Persamaan 7.



Gambar 9 Hasil pengujian Non-Destruktif: Modulus Elastisitas (E) dengan Satuan MPa.

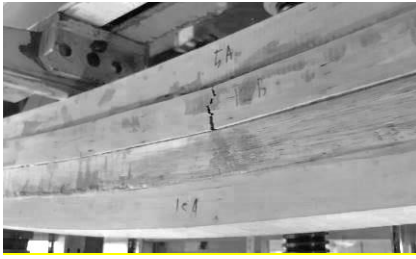
Hasil pengujian memperlihatkan bahwa Modulus Elastisitas rata-rata lamina kayu adalah 21433,93 MPa dengan Deviasi Standar sebesar 4145,33 MPa dan Koefisien Variasi sebesar 19,34%. Nilai Koefisien Variasi yang diperoleh adalah kurang dari 25% (SNI 7973 : 2013) sehingga secara umum seluruh batang kayu dapat digunakan sebagai lamina kayu. Data empiris modulus elastisitas yang diperoleh selanjutnya menjadi acuan bagi penyusunan lamina-lamina kayu pada balok laminasi.

Gambar 10 memperlihatkan proses pengujian salah satu benda uji balok kayu laminasi.



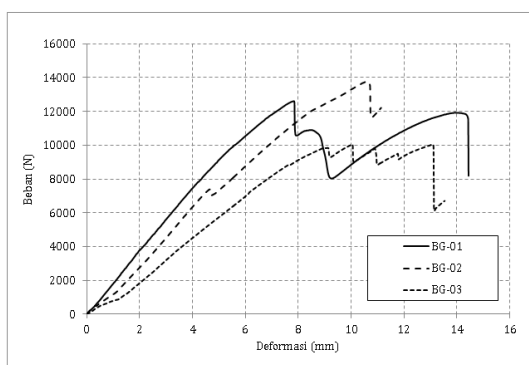
Gambar 10 Proses Pengujian Balok Laminasi Benda Uji.

Metode pengujian adalah *four-point loading test* dengan jarak a sebesar 500 mm ($1/3$ bentang balok). Selanjutnya Gambar 11 memperlihatkan ragam kegagalan balok yang terjadi pada benda uji yaitu *simple tension*, hal ini sesuai dengan salah satu model kegagalan benda uji lentur berdasarkan ASTM D143 (ASTM 2014), sehingga kegagalan yang diharapkan terjadi sesuai dengan hasil pengujian.



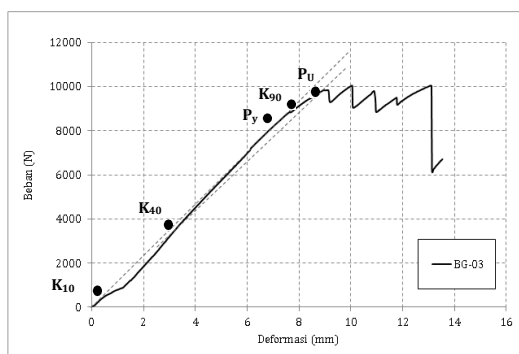
Gambar 11 Ragam Kegagalan Balok yang Terjadi untuk Seluruh Benda Uji yaitu *Simple Tension*.

Gambar 12 memperlihatkan kurva diagram hubungan beban versus deformasi balok. Hasil pengujian seluruh benda uji memperlihatkan trend kurva yang hampir sama, deformasi maksimum berkisar antara 7,65 mm s.d. 10,54 mm, beban maksimum berkisar antara 9,98 kN s.d. 13,74 kN.



Gambar 12 Kurva Diagram Hubungan Beban Versus Deformasi Balok.

Gambar 13 memperlihatkan contoh perhitungan titik batas proporsional (beban batas proporsional) dan titik batas ultimit (beban batas ultimit). Perhitungan titik batas proporsional (P_y) menggunakan literatur Muñoz et al. (2008) dengan menggunakan Metode Yasumura dan Kawai.



Gambar 13 Perhitungan Titik Batas Proporsional (Beban Batas Proporsional) dan Titik Batas Ultimit (Beban Batas Ultimit) pada Benda Uji BG-03.

Hasil perhitungan selengkapnya ditampilkan pada Tabel 1. Hasil Tabel 1 memperlihatkan bahwa rasio

daktilitas peralihan balok rata-rata adalah sebesar 1,28. Beban batas proporsional rata-rata adalah sebesar 10,43 kN, beban batas ultimit rata-rata adalah sebesar 12,07 kN.

Tabel 1 Hasil Perhitungan Titik Batas (Beban Batas) Proporsional dan Ultimit, dan Rasio Daktilitas Balok.

Benda Uji	P_y (kN)	d_y (mm)	P_u (kN)	D_u (mm)	μ
BG-01	10,51	5,97	12,49	7,65	1,28
BG-02	12,14	8,62	13,74	10,54	1,22
BG-03	8,66	7,44	9,98	9,93	1,33
rerata	10,43	7,34	12,07	9,37	1,28

Selanjutnya dengan menggunakan Persamaan 1, Persamaan 2 Persamaan 3, dan Persamaan 4 dilakukan perhitungan rasio rigiditas lentur balok laminasi. Hasil perhitungan selengkapnya ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Perhitungan Rasio Rigiditas Lentur Balok Laminasi.

Benda Uji	M_y (kN.mm)	f_{b-lam} (MPa)	f_b (MPa)	k_s
BG-01	5250,71	20,51	37,96	0,54
BG-02	6067,72	23,70	37,96	0,62
BG-03	4329,69	16,91	37,96	0,45
rerata	5216,04	20,38	37,96	0,54

Perhitungan modulus penampang elastik dan tegangan lentur dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3 dan Persamaan 4. Hasil Tabel 2 memperlihatkan bahwa kekuatan lentur balok kayu laminasi-lem rata-rata adalah 20,38 MPa, sedangkan kekuatan lentur balok utuh sesuai referensi Atlas Kayu Indonesia adalah sebesar 37,96 MPa. Maka diperoleh rasio modulus penampang elastik balok rata-rata adalah sebesar 0,54.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian adalah kekuatan lentur balok kayu laminasi lem lebih rendah dibandingkan balok kayu utuh, dalam penelitian ini diperoleh rasio modulus penampang elastik sebesar 0,54, rasio daktilitas balok kayu laminasi diperoleh sebesar 1,28.

Hasil pengujian mengindikasikan bahwa kegagalan balok kayu laminasi lem adalah berupa kegagalan lentur mengacu pada kriteria kegagalan lentur sesuai ASTM D143.

Parameter modulus penampang elastik (S) balok kayu laminasi berguna untuk desain komponen struktur balok pada bangunan khususnya pada perhitungan kekuatan balok dan kekakuan balok sebagai persyaratan *serviceability*. Dalam peraturan kayu Indonesia, parameter tersebut digunakan untuk perhitungan kekuatan lentur terkoreksi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan pada Universitas Kristen Maranatha melalui Hibah Penelitian Internal sehingga penulis dapat mengadakan pengujian, dan melakukan kegiatan penelitian tanpa kendala. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Fernando Salim, Christianto, Eki Romario, Diego Jundo Banjar Nahor, Muhammad Maruf, dan Stefanny Abigail sehingga proses pembuatan benda uji dan pengujian dapat berjalan dengan lancar di Laboratorium Struktur.

DAFTAR PUSTAKA

- American Institute of Steel Construction. 2016. "Specification for Structural Steel Buildings, ANSI/AISC 360-16." USA.
- American Society for Testing and Materials. 2014. "ASTM D143-14 Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber, ASTM International." West Conshohocken, PA.
- . 2015. "ASTM D198-15 Standard Test Methods of Static Tests of Lumber in Structural Sizes, ASTM International." West Conshohocken, PA.
- Badan Standardisasi Nasional. 2013. "Spesifikasi Desain untuk Konstruksi Kayu SNI 7973:2013." BSN.
- Benoit, Y, dan J L Sandoz. 2011. "New Wooden Poles Grading Using Non-Destructive Technology." In *21st International Conference on Electricity Distribution, Frankfurt*, 6–9.
- Bohnhoff, David R., Steven M. Cramer, Russell C. Moody, dan Calvin O. Cramer. 1989. "Modeling vertically mechanically laminated lumber." *Journal of Structural Engineering (United States)* 115 (10): 2661–79. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1989\)115:10\(2661\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1989)115:10(2661)).
- CBS-CBT. 2011. "Sylvatest TRIO User Manual." CBS-CBT.
- Chauf, Kusnindar Abdul, dan Sri Murni Dewi. 2016. "Structural Efficiency and Flexure Strength of Mix-Glulam Timber Beams are Composed of Sengon and Coconut Wood as Green Material Constructions." In *The 2nd International Multidisciplinary Conference*. Vol. 1. Jakarta: Universitas Muhammadiyah Jakarta. November 15th, 2016.
- Ezeagu, C A, A F Eromosele, H Okoro, U J Chukwujkwu, dan T B Emetomo. 2015. "Flexural Strength of solid and glue-laminated timber beams." *American Journal of Engineering Science and Technology Research* 3 (1): 1–14.
- Gliniorz, Kai Uwe, Khalid M. Mosalam, dan Julius Natterer. 2002. "Modeling of layered timber beams and ribbed shell frameworks." *Composites Part B:Engineering* 33 (5): 367–81. [https://doi.org/10.1016/S1359-8368\(02\)00020-3](https://doi.org/10.1016/S1359-8368(02)00020-3).
- Goodno, Barry J., dan James M. Gere. 2018. *Mechanics of Materials*. Eight. Boston: Cengage Learning.
- Kamiya, Fumio. 1985. "The Nonlinear Bending Behavior of Nailed Layered Components: Part I. Nailed Layered Beams." *Wood and Fiber Science* 17 (1): 117–31.
- Martawijaya, A, I Kartasujana, K Kadir, dan S P Among. 2005. "Atlas Kayu Indonesia Jilid I Cetakan ke Tiga (edisi revisi)." *Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan*. Bogor: Departemen Kehutanan.
- Massaro, Francesco Mirko, dan Kjell Arne Malo. 2019. "Long-term behaviour of Norway spruce glulam loaded perpendicular to grain." *European Journal of Wood and Wood Products* 77 (5): 821–32. <https://doi.org/10.1007/s00107-019-01437-4>.
- Muhammed, C K Umama, dan R Arya. 2015. "Analytical Study on Flexural Behaviour of Glued Laminated Timber." *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* 4 (4): 2485–93. <https://doi.org/10.15680/IJIRSET.2015.0404051>.
- Muñoz, Williams, Alexander Salenikov, Mohammad Mohammad, dan Pierre Quenneville. 2008. "Determination of yield point and ductility of timber assemblies: In search for a harmonised approach." In *10th World Conference on Timber Engineering 2008*, 2:1064–71.
- Nowak, T, K Hamrol-Bielecka, dan J Jasieński. 2015. "Experimental testing of glued laminated timber members using ultrasonic and stress wave techniques." In *Proc. of the International Conference on Structural Health Assessment of Timber Structures-SHATIS*, 15:523–33.
- Poggi, Francesco. 2017. "Bending Properties of Commercial Wood-based Panels by NDT Methods." Master Thesis in Forestry and Wood Technology: Linnaeus University.

- Pranata, Yosafat Aji, dan Heri Lumban Tobing. 2016. "Non-destructive Testing to Obtain the Dynamic Elastic Modulus of the Existing Minangkabau Wooden House." In *International Conference on Technology, Innovation, Society (ICTIS)*, 389–93. <https://doi.org/10.21063/ictis.2016.1060>.
- Pranata, Yosafat Aji, dan Muhammad Rusli. 2019. "Non-Destructive Testing of The Existing Timber Columns of Minahasa Traditional House." In *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 10:313–22. IAEME Publication.
- Pranata, Yosafat Aji, dan Bambang Suryoatmono. 2019. *Systruktur Kayu: Analisis dan Desain dengan LRFD*. Bandung: Remaja Rosdakarya.
- Pranata, Yosafat Aji, Bambang Suryoatmono, dan Johannes Adhijoso Tjondro. 2011. "The Flexural Rigidity Ratio of Indonesian Timber Bolt-Laminated Beam." In *EACEF-International Conference of Civil Engineering*, 1:33. Yogyakarta: Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- . 2012. "Rasio Modulus Penampang Elastik Balok Kayu Laminasi-Baut." *Jurnal Teknik Sipil* 19 (3): 223. <https://doi.org/10.5614/jts.2012.19.3.4>.
- Raymond, Carolyn A., B. Joe, R. Evans, dan R. L. Dickson. 2007. "Relationship between timber grade, static and dynamic modulus of elasticity, and SilviScan properties for Pinus radiata in New South Wales." *New Zealand Journal of Forestry Science* 37 (2): 186–96.

PERBANDINGAN PERILAKU LENTUR BALOK BAMBU MENGUNAKAN SIFAT MEKANIK YANG DIPEROLEH DENGAN METODE RATA-RATA DAN PERSENTIL KE-5

Comparison of Bamboo Beam Behavior using Mechanical Properties Obtained from Average and 5th Percentile Method

Inggar Septhia Irawati, Urwatul Wusqo

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Gadjah Mada,
Jalan Grafika 2 Yogyakarta, Indonesia

Surel: inggar_septhia@ugm.ac.id, urwatul.wusqo@mail.ugm.ac.id

Diterima: 26 Februari 2020; Disetujui: 29 April 2020

Abstrak

Penggunaan bambu sebagai material konstruksi meningkat seiring dengan isu lingkungan yang semakin banyak dibahas. Namun demikian, tidak ada regulasi yang secara spesifik mengatur tentang desain konstruksi bambu di Indonesia. Penentuan sifat mekanik bambu di Indonesia kebanyakan masih diambil dari rata-rata hasil pengujian di laboratorium, sementara ISO 22156 mengatur penggunaan nilai persentil kelima dari hasil pengujian. Oleh karena itu, studi komparasi perilaku bambu yang nilai sifat mekanik dihitung menggunakan metode rata-rata dan persentil ke-5 hasil pengujian sangat penting untuk dilakukan karena akan meningkatkan perhatian dan pemahaman para perencana untuk menggunakan sifat mekanik dari persentil ke-5 hasil pengujian dalam perencanaan struktur bambu. Makalah ini menyajikan hasil studi komparasi perilaku lentur balok bambu yang sifat mekanik lentur, modulus elastisitas lentur dan modulus patah, dihitung menggunakan 3 metode yaitu metode rata-rata, metode persentil ke-5 ISO 22156, dan metode persentil ke-5 hubungan antara modulus elastisitas dan modulus lentur. Hasil analisis menunjukkan bahwa penggunaan modulus elastisitas dan modulus patah bambu yang didapatkan dari metode rata-rata hasil pengujian laboratorium tidak disarankan karena memberikan nilai kapasitas beban, baik pada beban maksimum maupun beban pada kondisi lendutan ijin, yang lebih tinggi dibandingkan data beban pada kedua kondisi yang diperoleh dari hasil pengujian lentur statik. Hal ini akan meningkatkan risiko kegagalan pada struktur bambu. Selain itu, hasil analisis menunjukkan bahwa persyaratan kekakuan adalah faktor yang lebih menentukan pada perencanaan struktur balok bambu. Penggunaan nilai modulus elastisitas dan modulus patah yang diperoleh dari metode ISO 22156 lebih direkomendasikan.

Kata Kunci: Perilaku lentur bambu, modulus elastisitas lentur, modulus patah, metode rata-rata, metode persentil ke-5

ABSTRACT

The use of bamboo as a structural element was increased as the environmental issues became an important topic worldwide. However, in Indonesia, there was no specific standard design of bamboo structure. The determination of the mechanical properties of bamboo mostly based on the average of the laboratory test result whereas ISO 22156 recommend using the 5th percentile of the bamboo bending test results. Hence, a comparative study of bamboo structural behavior calculated by using mechanical properties derived from those different methods is crucial to increase the engineer's awareness to apply the 5th percentile values of the laboratory test result as the bending properties. This paper presents the result of the comparative study on the *Gigantochloa atroviolacea* bamboo beam flexural behavior regarding the bamboo bending properties determined by three different methods i.e. the average method, the 5th percentile in accordance with ISO 22156 method, and the 5th percentile method based on modulus of elasticity - modulus of rupture correlation. The result shows that the use of the bending properties derived from the average method of the laboratory test was not recommended because it overestimate the actual modulus of elasticity and modulus of rupture of bamboo. Thus, it increases the probability of the structural failure on the bamboo structure. However, the most decisive factor in the bamboo beam design is the stiffness requirements. In this case, the use of bending properties resulted from ISO 22156 method is recommended.

Keywords: Bamboo bending behaviour, modulus of elasticity, modulus of rupture, average method, 5th percentile method

PENDAHULUAN

Bambu merupakan material alami yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan di berbagai bidang kehidupan. Bambu dapat digunakan sebagai material penyusun panel bambu, bahan tekstil, bioenergi, arang, karbon aktif, lantai, kerajinan, dan mebel (Gupta dan Kumar 2008). Hal ini menunjukkan bahwa bambu memiliki banyak keunggulan.

Bambu merupakan material yang ramah lingkungan dan memiliki peran penting dalam proses penyerapan karbon dunia (Sohel et al. 2015). Bambu merupakan tanaman cepat tumbuh yang dapat dipanen pada usia 3-5 tahun. Hingga saat ini diketahui bahwa terdapat 1400 jenis bambu di seluruh dunia (Hebel et al. 2016). Material bambu juga memiliki beberapa kelemahan diantaranya, sifatnya yang menyerap air, perilaku kembang-susut, durabilitas yang rendah, serta rentan terhadap serangan jamur dan serangga (Kim et al. 2011; Hebel et al. 2016). Meskipun demikian, beberapa metode pengawetan bambu (baik dengan cara tradisional maupun menggunakan bahan kimia) dapat digunakan untuk meningkatkan ketahanan bambu terhadap serangan jamur dan serangga (Liese 2004; Singha dan Borah 2017).

Dalam bidang teknik sipil, penggunaan bambu sebagai elemen struktural baik dalam bentuk bambu utuh maupun bambu rekayasa dapat ditemui sebagai *scaffolding*, balok, kolom, dan lantai (Dey dan Chetia 2018). Bambu juga dapat digunakan sebagai material untuk *geogrid*, rumah, dan jembatan pejalan kaki (Wu 2014; Majid 2015; Muhsin, Febriany, dan Hidayati 2015; Nurdiah 2016; Paraskeva, Grigoropoulos, dan Dimitrakopoulos 2017; Ye dan Fu 2018). Penggunaan material bambu sebagai material konstruksi yang ramah lingkungan semakin meningkat seiring dengan semakin banyaknya permasalahan lingkungan yang menjadi isu penting dunia. Selain itu, hasil penelitian yang menyebutkan bahwa sifat mekanik bambu mendekati sifat mekanik kayu keras (Huang, Sun, dan Musso 2017) semakin memperluas penggunaan bambu dalam bidang konstruksi sebagai alternatif material pengganti kayu.

Di Indonesia, bambu juga banyak digunakan sebagai bahan konstruksi (Nurdiah 2016). Dalam proses perencanaan balok bambu, bambu diasumsikan sebagai material isotropis dan elastik linear. Langkah awal yang sangat penting untuk dilakukan dalam perencanaan adalah menentukan sifat mekanik lentur bambu, yaitu modulus elastis (*Modulus of Elasticity*, *MOE*) dan modulus patah (*Modulus of Rupture*, *MOR*). ISO 22156 telah mengatur prosedur untuk menentukan sifat mekanik lentur bambu untuk perencanaan balok bambu, yaitu sifat mekanik lentur

diambil dari persentil ke-5 hasil uji lentur bambu (Sari 2015; Paraskeva, Grigoropoulos, dan Dimitrakopoulos 2017). Namun, di Indonesia umumnya perencana menggunakan nilai sifat mekanik lentur bambu yang diperoleh dari rata-rata hasil uji lentur, bukan dari metode persentil ke-5 (Patmasari 2006; Nugroho 2008; Putra 2008; Asmoro 2014; Wulandari 2015; Prihadi dan Pratama 2016; Mulia 2016; Majid 2015; Sari 2015). Hal ini disebabkan oleh peraturan tentang tata cara perencanaan struktur bambu secara spesifik belum tersedia di Indonesia. Untuk meningkatkan pemahaman dan perhatian perencana Indonesia dalam penerapan nilai persentil ke-5 pada hasil pengujian lentur statik untuk memperoleh *MOE* dan *MOR*, informasi hasil penelitian tentang perbandingan perilaku lentur balok bambu yang diperoleh dengan menggunakan sifat mekanik lentur bambu *MOE* dan *MOR* dari dua metode yang berbeda (metode rata-rata dan metode persentil ke-5) sangat diperlukan. Namun penelitian tentang perbandingan perilaku lentur tersebut belum pernah dilakukan (Janseen 2000; Kaminski, Laurence, dan Trujillo 2016; Kaminski et al. 2016). Oleh karena itu, perbandingan perilaku lentur balok bambu dengan mempertimbangkan *MOE* dan *MOR* yang didapatkan dari metode rata-rata dan metode persentil data ke-5 telah dilakukan dan hasilnya disampaikan dalam naskah publikasi ini.

Berdasarkan hasil kajian pustaka, penentuan sifat mekanik lentur (*MOE* dan *MOR*) bambu dengan metode rata-rata dan metode persentil ke-5 dapat dijabarkan lagi menjadi tiga metode, yaitu metode rata-rata (Howell 2011), metode persentil ke-5 berdasarkan ISO 22156 (Technical Committee ISO/TC 165 2004), dan metode persentil ke-5 dengan berdasarkan hubungan *MOE-MOR* (El-Osta, Badran, dan El-Wakeel 1979; Baillères, Hopwell, dan Boughton 2009; Baillères et al. 2012; Baar, Tippner, dan Rademacher 2015). Dalam penelitian ini, ketiga metode tersebut digunakan untuk menentukan nilai *MOE* dan *MOR*. Kemudian, analisis numerik balok bambu menggunakan input data *MOE* dan *MOR* yang didapatkan dari ketiga metode dilakukan. Hasil analisis numerik selanjutnya dibandingkan dengan hasil pengujian lentur statik laboratorium untuk mengetahui perbedaan tingkat keamanan (kekuatan) dan kenyamanan (kekakuan) dari struktur balok bambu yang dirancang.

METODE

Penelitian dilakukan dengan menggunakan data sekunder pengujian lentur statik hasil penelitian yang dilakukan oleh Lubis (Lubis 2019). Analisis *studentized residual* dilakukan untuk menghilangkan

data pencilan dalam menentukan nilai *MOE* dan *MOR*. Meskipun dalam ISO 22156 tidak disebutkan ketentuan untuk menghilangkan data pencilan, namun data ini perlu dihilangkan karena dapat mempengaruhi nilai sifat mekanik yang didapatkan. Kemudian, nilai *MOE* dan *MOR* bambu ditentukan melalui tiga (3) metode yang berbeda, yaitu:

1. metode rata-rata,
2. metode persentil ke-5 sesuai dengan ISO 22156 (selanjutnya disebut dengan metode ISO 22156),
3. metode persentil ke-5 mempertimbangkan hubungan antara nilai *MOE-MOR* (selanjutnya disebut dengan metode hubungan *MOE-MOR*).

Ketiga nilai *MOE* dan *MOR* yang didapatkan dari tiga metode tersebut selanjutnya digunakan sebagai input data untuk melakukan analisis numerik. Oleh karena itu, terdapat tiga analisis numerik yang dikerjakan secara terpisah, yaitu analisis numerik yang dilakukan dengan menggunakan data *MOE* dan *MOR* hasil metode rata-rata, metode ISO 22156 dan metode hubungan *MOE-MOR*. Ketiga analisis numerik menggunakan dimensi geometrik bambu yang sama. Hasil analisis numerik kemudian dievaluasi untuk mengetahui tingkat keamanan dan kenyamanan struktur balok bambu.

Data Sekunder Hasil Uji Lentur

Seperti yang telah disampaikan sebelumnya, hasil pengujian lentur statik yang dilakukan oleh Lubis (2019) digunakan dalam penelitian ini. Bambu yang digunakan adalah Bambu Wulung (*Gigantochloa atrovioleacea*), berusia 3 - 5 tahun, dan berasal dari daerah Seyegan, Sleman. Pada pengujian tersebut, terdapat 20 sampel balok bambu yang diuji, yang diberi nama 1W hingga 20W. Sampel pengujian bambu diawetkan menggunakan larutan boraks dengan konsentrasi 5% dengan metode *Vertical Soak Diffusion* (VSD) atau yang biasa dikenal dengan metode pengawetan gravitasi. Proses pengawetan dilakukan dalam 15 hari (Lubis 2019).

Lubis (2019) melakukan pengujian lentur *three point bending test*, seperti yang diilustrasikan dalam Gambar 1. Diameter sampel bambu yang digunakan berkisar antara 60 mm sampai 90 mm. Ketebalan bambu berkisar antara 5 mm hingga 15 mm. Panjang balok bambu yang digunakan melebihi 30D, di mana D merupakan diameter luar bambu.

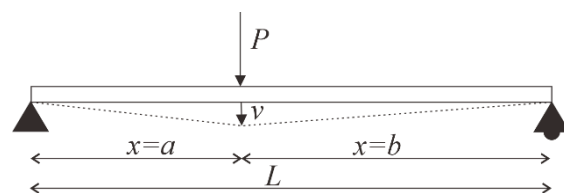
Dalam penelitian ini, nilai *MOE* dan *MOR* yang diperoleh dari hasil penelitian Lubis (2019) dengan menggunakan Persamaan (1) dan Persamaan (2) kemudian diolah menggunakan metode rata-rata, metode ISO 22156 dan metode hubungan *MOE-MOR* untuk mendapatkan sifat mekanik lentur bambu *MOE* dan *MOR* yang digunakan untuk perencanaan. Kurva beban-defleksi hasil pengujian Lubis (2019)

digunakan untuk menjustifikasi tingkat keamanan dan kenyamanan struktur balok bambu.

$$MOE = \frac{1}{lv} \frac{Pba^3}{6L} - \frac{Pb(L^2-b^2)a}{6L} \dots\dots\dots (1)$$

$$MOR = \frac{My}{I} \dots\dots\dots (2)$$

Pada Persamaan (1), *P* menunjukkan nilai beban, *L* merupakan panjang bentang, *v* adalah defleksi, *I* adalah momen inersia penampang, *M* adalah nilai momen lentur bambu, dan *y* adalah tinggi garis netral yang bernilai sebesar setengah dari diameter bambu. Nilai *a* dan *b* merupakan jarak beban terhadap tumpuan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Set-up Pengujian *Three Point Bending Test*
Sumber : Lubis-2019, dengan modifikasi

Penentuan Nilai Sifat Mekanik Lentur Bambu

Rata-rata dari hasil uji lentur

Sifat mekanik lentur bambu umumnya diperoleh dengan metode rata-rata hasil pengujian lentur. Jika terdapat sejumlah *n* data, misalnya *x*₁, *x*₂, *x*₃, ... *x*_{*n*}, maka, nilai rata-rata data ini dapat ditentukan menggunakan Persamaan (3).

$$m = \frac{\sum x}{n} \dots\dots\dots (3)$$

ISO 22156

Menurut ISO 22156, nilai karakteristik bambu, *R_k*, yang mewakili sifat material bambu dapat dihitung menggunakan Persamaan (4).

$$R_k = R_{0,05} \left(1 - \frac{2.7 \frac{s}{m}}{\sqrt{n}} \right) \dots\dots\dots (4)$$

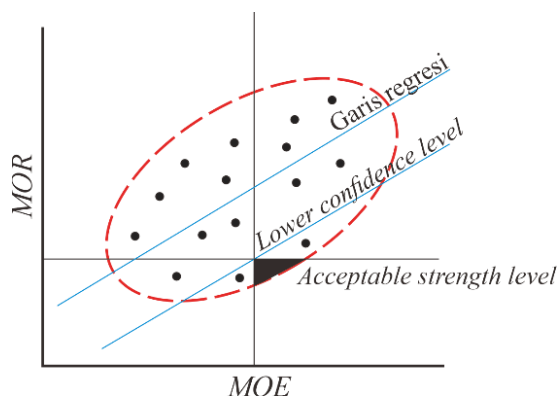
Pada Persamaan (3), *R_{0.05}* adalah nilai persentil ke-5 dari hasil pengujian, *m* adalah nilai rata-rata hasil pengujian, dan *s* adalah standar deviasi. Nilai karakteristik sendiri merupakan nilai persentil ke-5 dengan selang kepercayaan 75% yang mempresentasikan populasi (Technical Committee ISO/TC 165 2004). Nilai persentil ke-5 hasil pengujian dapat dicari menggunakan Persamaan (5).

$$R_{0,05} = \text{Data ke } - \frac{5(n+1)}{100} \dots\dots\dots (5)$$

Hubungan antara MOE dan MOR

Secara umum, sifat mekanik lentur *MOE* dan *MOR* dapat dihitung secara terpisah tanpa mempertimbangkan hubungan antar masing-masing variabel seperti yang dijelaskan pada sub-sub bab sebelumnya. Namun, beberapa penelitian kayu dan bambu menunjukkan bahwa terdapat korelasi antara nilai *MOE* dan *MOR*. Beberapa hasil penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa nilai koefisien korelasi, r , yang menunjukkan hubungan antara nilai *MOE* dan *MOR* berkisar antara 0,237-0,925 (El-Osta, Badran, dan El-Wakeel 1979; Baillères, Hopwell, dan Boughton 2009; Baillères et al. 2012; Baar, Tippner, dan Rademacher 2015). Menurut teori statistik, nilai r bervariasi dari -1 hingga 1, dimana dua buah variabel dikatakan memiliki korelasi yang positif jika $r = 1$, dan memiliki korelasi negatif jika $r = -1$, serta saling tidak memiliki hubungan satu sama lain jika nilai r sama dengan atau mendekati 0 (Howell 2011).

Dalam Wood Handbook (Forest Products Laboratory - USDA 2010), disebutkan bahwa *acceptable level strength* dari material kayu dapat ditentukan dengan membuat *lower confidence line* dengan selang kepercayaan 95%. Analisis statistik perlu dilakukan terlebih dahulu agar *acceptable level strength* dapat diperoleh. Data hasil pengujian laboratorium disajikan dalam bentuk diagram *scatterplot*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, untuk mengetahui hubungan antara nilai *MOE* dan *MOR*. Sumbu x menunjukkan nilai *MOE*, sedangkan sumbu y menunjukkan nilai *MOR*. Selanjutnya, dibuat persamaan garis regresi linier menggunakan Persamaan (6) sampai (9).



Gambar 2 Hubungan antara *MOE* dan *MOR*
Sumber: Forest Laboratory Product-2010, dengan modifikasi

$$r = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx}S_{yy}}} \quad (6)$$

$$S_{xy} = \sum (x - \bar{x})(y - \bar{y}) \quad (7)$$

$$S_{xx} = \sum (x - \bar{x})^2 \quad (8)$$

$$S_{yy} = \sum (y - \bar{y})^2 \quad (9)$$

Dalam Persamaan (6), r adalah koefisien korelasi yang menunjukkan hubungan antar variabel. Persamaan garis regresi dapat didefinisikan menggunakan Persamaan (10), dengan β_1 adalah kemiringan garis, dan β_0 adalah perpotongan antara garis regresi dan sumbu y . Nilai β_1 dan β_0 dapat dihitung menggunakan Persamaan (11) dan (12).

$$y = \beta_0 + \beta_1 x \quad (10)$$

$$\beta_1 = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} \quad (11)$$

$$\beta_0 = \bar{y} - \beta_1 \bar{x} \quad (12)$$

Persamaan untuk *lower confidence line* dapat dihitung menggunakan Persamaan (13) sampai (15). $\bar{\beta}_0$ merupakan perpotongan antara garis batas bawah dengan sumbu y , yang mana nilainya dapat dihitung menggunakan Persamaan (14). Nilai t pada Persamaan (14) adalah nilai t kritis distribusi t , nilai s_e pada Persamaan (15) merupakan nilai *standard error of estimate*, dan nilai k pada Persamaan (16) menunjukkan jumlah ordo polinomial dari sejumlah data n yang digunakan.

$$y = \bar{\beta}_0 + \beta_1 x \quad (13)$$

$$\bar{\beta}_0 = \beta_0 \pm t \cdot s_e \quad (14)$$

$$s_e = S_{YX} \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{S_{xx}}} \quad (15)$$

$$S_{YX} = \sqrt{\frac{\sum Y^2 - \beta_0 \sum Y - \beta_1 \sum XY}{n - k - 1}} \quad (16)$$

Persamaan *lower confidence line* yang didapatkan kemudian digunakan untuk mencari nilai *MOR* dengan memasukkan nilai *MOE* yang didapatkan dari nilai persentil ke-5 dari pengujian lentur di laboratorium.

Analisis Numerik

Analisis numerik struktur balok bambu dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak SAP2000. Dalam penelitian ini, material bambu diasumsikan sebagai bahan yang berperilaku linier dan isotropik. Beberapa parameter input data untuk analisis numerik seperti *MOE* dan *MOR* diperoleh dari hasil analisis data menggunakan 3 metode seperti yang telah dijelaskan sebelumnya.

Balok bambu dimodelkan sebagai elemen balok 1D yang memiliki penampang berongga, dengan diameter luar sebesar 78,43 mm dan ketebalan

sebesar 10,57 mm. Panjang balok bambu total adalah 2502,5 mm. Semua parameter geometrik diperoleh dari data rata-rata yang diukur oleh Lubis (2019). Balok bambu diberikan tumpuan sederhana pada ujung-ujungnya, yaitu berupa sendi dan rol. Balok bambu diberi beban terpusat yang terletak di $0,48L$ atau pada lokasi 1189,64 mm dari salah satu tumpuan. Beban ini diterapkan secara bertahap pada balok bambu dengan kenaikan beban sebesar 0,5 kN hingga mencapai kapasitas maksimumnya. Model analisis numerik dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Skema Pemodelan dalam SAP 2000

Kapasitas maksimum dari balok bambu dapat dihitung menggunakan Persamaan (17) dan (18). MOR_b adalah MOR bambu hasil analisis dengan metode rata-rata, metode ISO 22156 dan metode hubungan $MOE-MOR$. Secara tipikal, MOE bambu hasil analisis dengan metode rata-rata, metode ISO 22156 dan metode hubungan $MOE-MOR$ diberi notasi MOE_b .

Dengan diketahuinya nilai MOR bambu, maka kapasitas momen lentur balok bambu M_{max} dapat dihitung menggunakan Persamaan (17). Selanjutnya, untuk mengetahui kapasitas beban maksimum P_{max} seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, Persamaan (18) dapat digunakan. I_y adalah momen inersia terhadap sumbu y dan y_b adalah jarak garis netral yang diukur dari serat terluar balok bambu.

$$M_{max} = \frac{MOR_b I_y}{y_b} \dots\dots\dots (17)$$

$$P_{max} = \frac{M_{max}(a+b)}{a.b} \dots\dots\dots (18)$$

Seperti telah dijelaskan sebelumnya, dalam penelitian ini dibuat 3 jenis model numerik yang dibedakan atas sifat mekaniknya. Perbedaan ketiga jenis model ini disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Jenis Pemodelan

Jenis	Metode Perolehan Sifat Mekanik Lentur
Model A	Metode rata-rata
Model B	ISO 22156
Model C	Hubungan antara MOE and MOR

Pada model pertama (model A), MOE dan MOR bambu yang digunakan berasal dari metode rata-rata hasil uji lentur. Pada model kedua (model B), MOE dan MOR

bambu yang digunakan ditentukan menggunakan persamaan yang ada pada ISO 22156. Pada model ketiga (model C), MOE dan MOR bambu yang digunakan dihitung dengan metode hubungan $MOE-MOR$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat Mekanik Lentur Bambu

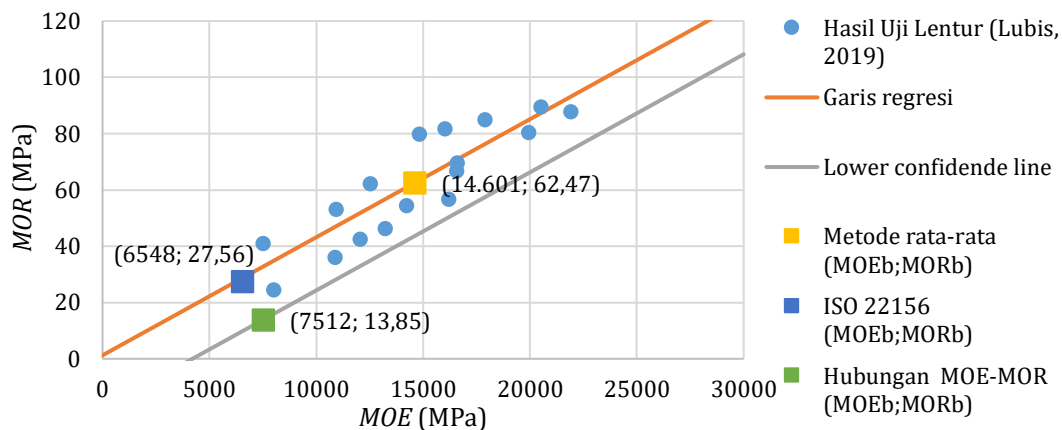
Seperti telah dijelaskan sebelumnya, sifat mekanik lentur bambu dalam penelitian ini dihitung dengan tiga metode yang berbeda (metode rata-rata, metode ISO 22156, metode hubungan $MOE-MOR$). Tabel 2 dan Gambar 4 menunjukkan bahwa MOE_b dan MOR_b yang diperoleh dari metode rata-rata hasil pengujian laboratorium lentur statik memberikan nilai yang paling tinggi dibandingkan dengan dua metode lainnya. Lebih detil, MOE_b yang didapatkan dari metode rata-rata, masing-masing, lebih tinggi 223% dan 194% dibandingkan dengan MOE_b yang dihitung dengan menggunakan metode ISO 22156 dan metode hubungan $MOE-MOR$. Selanjutnya, MOR_b yang didapatkan dari metode rata-rata masing-masing juga bernilai 227% dan 451% lebih tinggi dibandingkan MOR_b yang dihitung menggunakan metode ISO 22156 dan hubungan $MOE-MOR$. Hal ini sangat wajar, karena MOE_b dan MOR_b yang diperoleh menggunakan metode ISO 22156 dan hubungan $MOE-MOR$ diambil dari nilai persentil ke-5 uji lentur statik bambu. Dapat dikatakan bahwa dengan persentil ke-5 maka hanya 5% dari hasil pengujian lentur berada di bawah nilai yang dihasilkan.

Tabel 2 Sifat Mekanik Lentur Bambu

Properti Lentur	Metode Rata-rata	ISO 22156	Hubungan antara $MOE-MOR$
MOE_b (MPa)	14601	6548	7512
MOR_b (MPa)	62,47	27,56	13,85

Penentuan sifat mekanik lentur bambu berdasarkan ISO 22156 mempertimbangkan selang kepercayaan sebesar 75%, sedangkan pada metode hubungan $MOR-MOE$ digunakan selang kepercayaan sebesar 95%. Penggunaan selang kepercayaan yang cukup tinggi ini mengakibatkan nilai MOE_b dan MOR_b yang dihasilkan dari metode ISO 22156 dan metode hubungan $MOE-MOR$ lebih konservatif dibandingkan dengan metode rata-rata.

Perhitungan menggunakan Persamaan (4) berdasarkan metode ISO 22156 menghasilkan nilai MOE_b dan MOR_b masing-masing sebesar 6548 MPa dan 27,56 MPa. Nilai MOE_b dan MOR_b yang dihitung dari persentil ke-5 hasil pengujian lentur dengan



Gambar 4 Sifat Mekanik Lentur dari Bambu Wulung

mempertimbangkan hubungan antara MOE - MOR adalah 7512 MPa dan 13,85 MPa. MOE_b yang diperoleh dari metode ISO 22156 lebih rendah dari MOE_b yang diperoleh dari metode hubungan antara MOE - MOR . Namun, hal ini berlaku kebalikan untuk nilai MOR_b . Perbedaan sifat mekanik lentur yang dihitung berdasarkan ISO 22156 dan hubungan MOE - MOR dapat dilihat pada Tabel 3. Rasio MOE_b dan MOR_b yang dihitung berdasarkan ISO 22156 terhadap MOE_b dan MOR_b yang dihitung berdasarkan hubungan MOE - MOR masing-masing adalah 0,87 dan 1,98.

Tabel 3 Perbandingan Properti Lentur Bambu dari Metode ISO 22156 dan Hubungan MOE - MOR

Properti lentur	ISO 22156	Hubungan MOE - MOR	Rasio
MOE_b (MPa)	6548	7512	0,87
MOR_b (MPa)	27,56	13,85	1,98

Kapasitas Lentur Balok Bambu

Kapasitas lentur dari balok bambu dihitung menggunakan Persamaan (17) sehingga kapasitas beban maksimum yang dapat ditahan diperoleh. Hasil perhitungan kapasitas beban maksimum dapat dilihat dalam Tabel 4. Kapasitas beban maksimum yang diperoleh dari hasil perhitungan dengan menggunakan metode rata-rata, ISO 22156, dan hubungan MOE - MOR adalah 3390 N, 1496 N, dan 752 N. Rasio kapasitas beban maksimum yang dihitung dengan menggunakan MOR_b berasal dari metode rata-rata (P_A) terhadap kapasitas beban maksimum yang dihitung menggunakan MOR_b berasal dari metode ISO 22156 (P_B) adalah 2,27. Rasio kapasitas beban maksimum yang dihitung dengan menggunakan MOR_b berasal dari metode rata-rata (P_A) terhadap kapasitas beban maksimum yang dihitung dengan menggunakan MOR_b berasal dari metode hubungan MOE - MOR (P_C) adalah 4,51. Nilai-nilai ini secara tidak langsung mencerminkan faktor keamanan struktur balok bambu. Berdasarkan Tabel

4, dapat dilihat bahwa penggunaan sifat mekanik lentur MOR_b yang diperoleh berdasarkan hubungan MOE - MOR untuk mendesain balok bambu memberikan faktor keamanan terbesar.

Tabel 4 Beban Maksimum Balok Bambu Wulung

	Metode rata-rata	ISO 22156	Hubungan antara MOE - MOR
P (N)	3390	1496	752
P_A/P	1,00	2,27	4,51

Berdasarkan Tabel 4, juga dapat diketahui bahwa P_B bernilai 98,94% lebih tinggi dari nilai P_C walaupun keduanya menggunakan nilai MOR_b yang diperoleh dari persentil ke-5. Perbedaan nilai P_B dan P_C yang mencapai 98,94% disebabkan karena perbedaan selang kepercayaan yang digunakan. MOR_b yang digunakan untuk menghitung P_B diperoleh dari metode ISO 22156 dengan selang kepercayaan 75% sedangkan MOR_b yang digunakan untuk menghitung P_C diperoleh dari metode hubungan MOE - MOR dengan selang kepercayaan 95%. Semakin tinggi selang kepercayaan yang digunakan maka semakin tinggi faktor amannya.

Kurva Beban-Lendutan

Perbandingan kurva beban-lendutan Model A yang dihasilkan dari analisis numeris menggunakan SAP2000 terhadap kurva beban-lendutan hasil pengujian lentur yang dilaksanakan di laboratorium oleh Lubis (2019) dapat dilihat pada Gambar 5. Pola yang dihasilkan oleh kurva beban-lendutan Model A terletak di tengah-tengah data yang diperoleh dari hasil pengujian lentur laboratorium. Hal ini disebabkan oleh *input* data MOE_b dan MOR_b yang ditetapkan untuk model A merupakan MOE dan MOR rata-rata dari hasil pengujian lentur. Selanjutnya, beban maksimum dari masing-masing sampel uji lentur hasil pengujian lentur statis di laboratorium

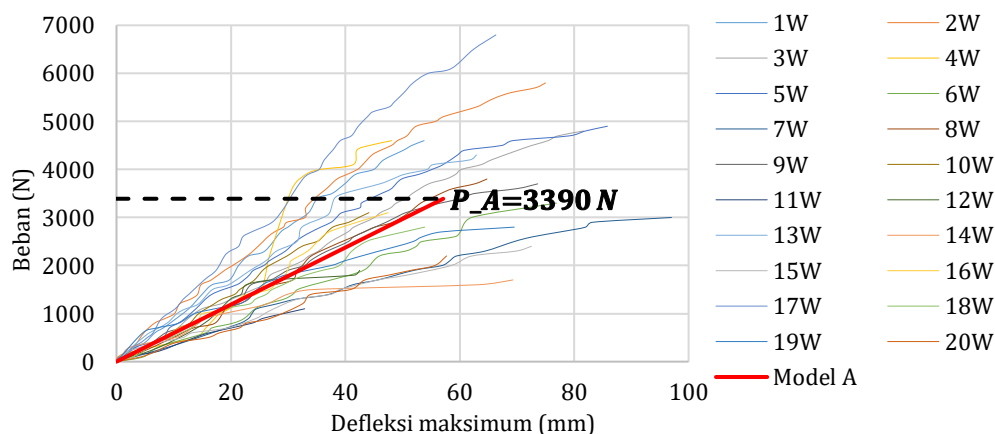
yang dilakukan oleh Lubis (2019) dapat dilihat pada Tabel 5. Seperti dijelaskan sebelumnya, nilai kapasitas beban maksimum yang dihitung berdasarkan MOR_b dari metode rata-rata, P_A , adalah sebesar 3390 N.

Berdasarkan Gambar 5 dan Tabel 5, dapat diketahui bahwa 11 dari 20 sampel bambu mengalami kegagalan sebelum beban lateral yang bekerja mencapai P_A . 11 sampel yang mengalami kegagalan tersebut adalah sampel dengan kode 6W, 7W, 10W, 11W, 12W, 14W, 15W, 16W, 18W, 19W, dan 20W.

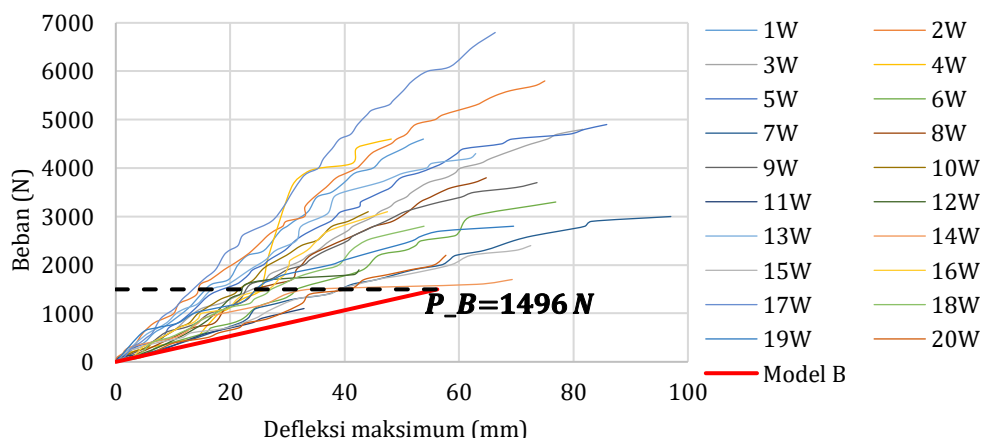
Gambar 6 menunjukkan perbandingan kurva beban-lendutan antara hasil analisis numerik Model B dan hasil pengujian lentur statik. Nilai kapasitas beban maksimum yang dihitung berdasarkan MOR_b yang didapatkan dari ISO 22156, P_B , adalah sebesar 1496 N. Gambar 6 dan Tabel 5 menunjukkan bahwa hanya ada 1 dari 20 sampel bambu yang mengalami kegagalan sebelum beban mencapai P_B , yaitu sampel 11W.

Gambar 7 menunjukkan perbandingan kurva beban-lendutan antara hasil analisis numerik Model C dan pengujian lentur statik di laboratorium. Besarnya beban maksimum yang dihitung berdasarkan MOR_b yang diperoleh dengan menggunakan metode hubungan $MOE-MOR$, P_C , adalah sebesar 752 N. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5, tidak ditemukan sampel bambu yang mengalami kegagalan sebelum mencapai P_C .

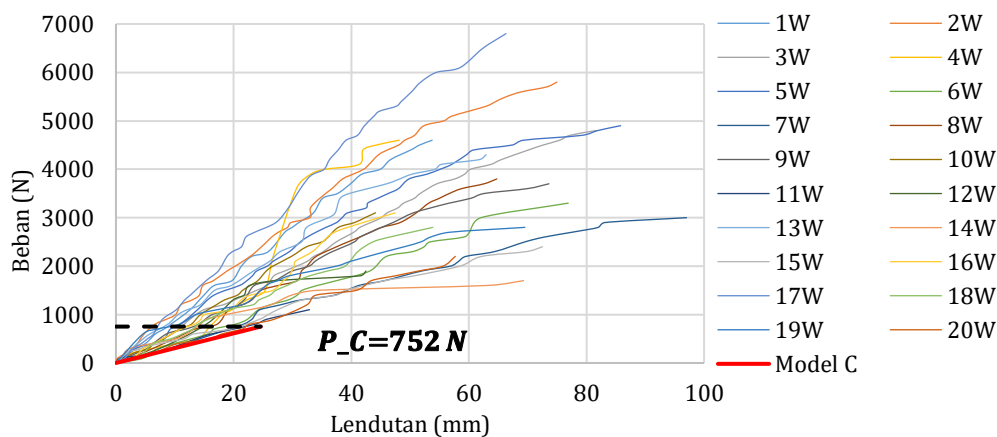
Berdasarkan hasil perbandingan antara kurva beban-lendutan yang diperoleh dari hasil pengujian lentur dan kurva beban-lendutan yang diperoleh dari hasil analisis numerik (Gambar 5 sampai Gambar 7), jumlah sampel balok bambu yang gagal sebelum mencapai kapasitas beban maksimum dari Model A jauh lebih banyak daripada Model B dan C. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah balok bambu yang mengalami kegagalan sebelum kapasitas beban maksimum rencana tercapai sangat berkaitan dengan persentil dan selang kepercayaan yang digunakan untuk memprediksi sifat mekanik lentur bambu MOR_b .



Gambar 5 Perbandingan Antara Hasil Analisis Numerik Model A dengan Hasil Pengujian



Gambar 6 Perbandingan Antara Hasil Analisis Numerik Model B dengan Hasil Pengujian



Gambar 7 Perbandingan Antara Hasil Analisis Numerik Model B dengan Hasil Pengujian

Tabel 5 Hasil Pengujian Lentur (Lubis, 2019)

Sampel	Diameter sampel (mm)	$P_{max}(N)$	Keterangan	Sampel	Diameter sampel (mm)	$P_{max}(N)$	Keterangan
1W	78,28	4600	-	11W	69,68	1100	kurang dari P_A dan P_B
2W	88,13	5800	-	12W	78,53	1900	kurang dari P_A
3W	78,95	4800	-	13W	79,85	4300	-
4W	83,80	4600	-	14W	63,48	1700	kurang dari P_A
5W	90,20	4900	-	15W	66,43	2500	kurang dari P_A
6W	85,43	3300	kurang dari P_A	16W	83,53	3100	kurang dari P_A
7W	72,18	3000	kurang dari P_A	17W	75,93	6800	-
8W	83,08	3800	-	18W	87,75	2800	kurang dari P_A
9W	80,33	3700	-	19W	72,15	2800	kurang dari P_A
10W	78,05	3100	kurang dari P_A	20W	72,90	2200	kurang dari P_A

Nilai rata-rata MOR_b yang digunakan untuk Model A mendekati nilai persentil ke-50 data pengujian lentur rata-rata. Akibatnya, ada 55% (11 dari 20) balok bambu yang nilai beban puncaknya lebih rendah dari kapasitas beban maksimum yang dihitung, P_A . Pada Model B, nilai MOR_b yang digunakan didapat dari persentil ke-5 hasil uji lentur statik dengan selang kepercayaan 75%, sehingga sebanyak 5% (1 dari 20) sampel balok bambu mengalami kegagalan sebelum beban yang dikenakan pada struktur balok mencapai kapasitas beban maksimum rencana P_B . Sementara itu, pada Model C tidak ditemukan balok bambu yang mengalami kegagalan sebelum beban yang dikenakan mencapai kapasitas beban maksimum rencana P_C yang dihitung dengan menggunakan nilai MOR_b hasil persentil ke-5 dengan selang kepercayaan 95%. Penggunaan sifat lentur yang diperoleh dari metode rata-rata (Model A) akan memberikan probabilitas kegagalan yang lebih tinggi dibandingkan dengan model lain (Model B dan Model C). Akibatnya, risiko kegagalan konstruksi bambu akan lebih tinggi ketika perencana menggunakan nilai sifat mekanik lentur

bambu MOR yang diperoleh dari rata-rata data hasil pengujian lentur statik bambu.

Pengamatan lebih lanjut terhadap kurva beban-lendutan hasil analisis numerik balok bambu yang menggunakan MOR_b yang diperoleh dari nilai persentil ke-5 dari metode ISO 22156 dengan metode hubungan $MOE-MOR$ dilakukan. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa pemakaian MOR_b yang diperoleh dengan metode hubungan $MOE-MOR$ dalam menghitung kapasitas balok bambu akan memberikan hasil yang lebih konservatif dibandingkan dengan pemakaian MOR_b yang diperoleh dengan metode ISO 22156.

Selain persyaratan kekuatan struktural yang dinyatakan oleh kapasitas beban maksimum balok bambu (P_A , P_B , P_C), masih terdapat persyaratan kekakuan yang harus dipenuhi. Dalam penelitian ini, kekakuan bambu diamati melalui lendutan maksimum yang diijinkan. Mengacu pada SNI 2002 tentang tata cara perencanaan struktur kayu untuk

bangunan gedung, lendutan yang terjadi pada struktur tidak boleh melampaui $L/300$, dimana L adalah bentang balok (BSN 2002). Peraturan ini digunakan sebagai acuan dalam penelitian, mengingat belum adanya standar yang secara khusus mengatur struktur bambu di Indonesia.

Dengan menerapkan persyaratan lendutan maksimum, besarnya lendutan ijin dari model balok bambu seperti yang diilustrasikan dalam Gambar 3 adalah 8,34 mm. Besarnya beban terpusat yang bekerja pada balok bambu ketika lendutan ijin tercapai dapat dilihat pada Gambar 8 dan Tabel 6. Ketika lendutan ijin tercapai, beban lateral yang bekerja pada balok bambu Model A, Model B, dan Model C masing-masing adalah 495 N, 222 N, dan 255 N.

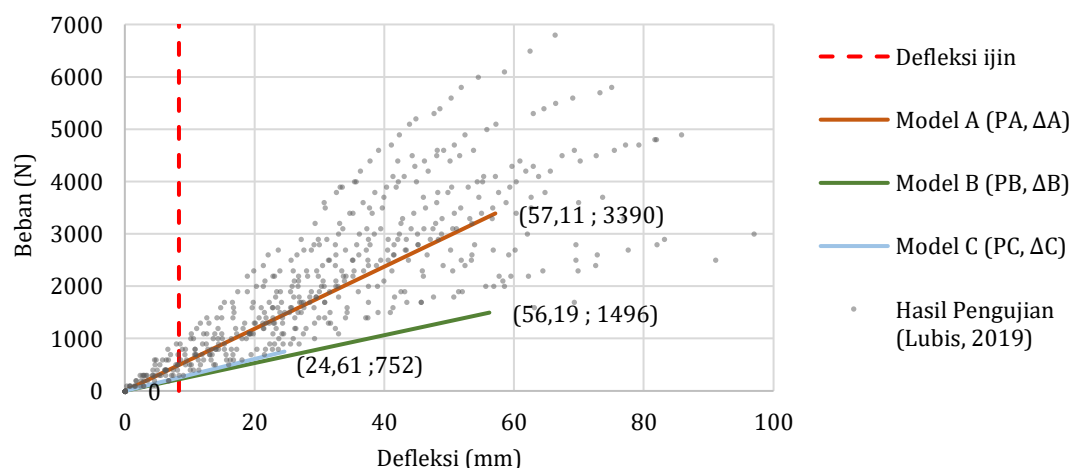
Tabel 6 Beban Terpusat Maksimum pada Saat Lendutan Ijin Tercapai

	Metode rata-rata (Model A)	ISO 22156 (Model B)	Hubungan antara MOE dan MOR (Model C)
P (N)	495	222	255

Gambar 8 menunjukkan bahwa penerapan Model A pada perencanaan struktur balok bambu akan membuat balok bambu menjadi lebih kaku dari kondisi aktualnya. Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa lendutan ijin (8,34 mm) dicapai Model A ketika beban titik bekerja sebesar 495 N pada balok bambu. Pada nilai beban titik tersebut, lendutan pada balok yang terjadi pada Model B dan Model C masing-masing adalah 18,60 mm dan 16,21 mm. Nilai lendutan tersebut 223% dan 194% lebih besar dibandingkan dengan lendutan pada Model A.

Mengacu pada Gambar 8 dan Tabel 6, ketika lendutan yang diijinkan terjadi, rasio beban antara Model B terhadap Model C adalah 0,87. Sedangkan, rasio beban maksimum Model B (P_B) terhadap Model C (P_C) adalah 1,99. Hal ini menunjukkan bahwa dalam hal persyaratan kekuatan, Model C akan memberikan hasil yang lebih konservatif dibandingkan dengan Model B. Sebaliknya, dalam hal persyaratan kekakuan, Model B memberikan kapasitas beban yang lebih rendah daripada Model C karena lendutan ijin model B telah tercapai ketika kapasitas beban maksimum P_B masih lebih kecil dari kapasitas beban maksimum P_C . Mempertimbangkan bahwa besarnya beban untuk mencapai lendutan ijin lebih kecil dibandingkan dengan kapasitas beban maksimum rencana, maka dapat disimpulkan bahwa faktor yang paling menentukan dalam perencanaan balok bambu adalah persyaratan kekakuan. Oleh karena itu, penggunaan Model B (ISO 22156) untuk merancang struktur balok bambu dinilai lebih sesuai.

Berdasarkan kurva hubungan beban-lendutan hasil uji lentur statik (Gambar 5 hingga Gambar 7) dapat dilihat bahwa balok bambu memiliki perilaku nonlinier setelah lendutan pada balok bambu melampaui batas proporsionalnya. Sementara itu, model yang dibuat dari penelitian ini mengasumsikan bahwa material bambu berperilaku linier, sehingga kurva hubungan beban-lendutan yang didapatkan juga menunjukkan perilaku linier. Namun demikian, pada Gambar 8 menunjukkan bahwa lendutan ijin sebesar 8,34 mm terletak di daerah linier. Beban yang bekerja pada saat lendutan ijin tercapai lebih kecil daripada beban maksimum saat MOR_b tercapai, sehingga lendutan menjadi batasan dalam desain struktur balok bambu. Dengan demikian, asumsi bambu sebagai material elastis linier masih dapat digunakan dalam perencanaan dimensi struktur balok bambu.



Gambar 8 Perbandingan Antara Hasil Analisis Numeris dengan Hasil Pengujian Lentur

KESIMPULAN

Penelitian tentang perbandingan perilaku balok bambu menggunakan sifat mekanik yang diperoleh dengan menggunakan metode rata-rata, metode ISO 22156, dan metode hubungan *MOE-MOR* dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan pemahaman dan perhatian perencana Indonesia dalam penerapan nilai persentil ke-5 hasil pengujian lentur statik dalam memperoleh *MOE* dan *MOR* yang digunakan pada perencanaan struktur balok bambu.

Berdasarkan hasil perbandingan terhadap perilaku lentur balok bambu, dapat disimpulkan bahwa:

Penggunaan MOR_b yang diperoleh dari metode rata-rata pengujian lentur dalam perencanaan struktur balok bambu tidak direkomendasikan. Dengan menggunakan metode rata-rata, 55% bambu mengalami kegagalan sebelum beban yang bekerja mencapai kapasitas beban maksimum.

Pada tinjauan aspek kekuatan, penggunaan nilai MOR_b bambu yang dihitung menggunakan metode hubungan *MOE-MOR* memberikan hasil yang paling konservatif.

Pada tinjauan aspek kekakuan, penggunaan MOE_b yang diperoleh dari metode ISO 22156 akan memberikan hasil yang paling konservatif.

Berdasarkan hasil penelitian, beban pada saat defleksi maksimum ijin tercapai lebih rendah daripada kapasitas beban maksimum struktur balok bambu sehingga faktor penentu dalam perencanaan struktur balok bambu adalah persyaratan kekakuan. Dengan kata lain, nilai modulus elastisitas MOE_b dan modulus patah MOR_b yang diperoleh dari metode ISO 22156 lebih direkomendasikan untuk digunakan dalam desain struktur balok bambu.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada yang telah memberikan dukungan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Asmoro, Benediktus Dwi Adi. 2014. "Evaluation of Wide Span Bamboo Truss Building (Case Study: The Temporary Bamboo Building Of Catholic Church St. Jacobus Klodran, Bantul, Yogyakarta)." Universitas Gadjah Mada.

Baar, Jan, Jan Tippner, dan Peter Rademacher. 2015. "Prediction of Mechanical Properties - Modulus of Rupture and Modulus of Elasticity - of Five Tropical Species by Nondestructive Methods."

Maderas: Ciencia y Tecnologia 17 (2): 239–52.
<https://doi.org/10.4067/S0718-221X2015005000023>.

Baillères, Henri, Gary Hopewell, Geoff Boughton, dan Loic Brancheriau. 2012. "Strength and Stiffness Assessment Technologies for Improving Grading Effectiveness of Radiata Pine Wood." *BioResources* 7 (1): 1264–82.
<https://doi.org/10.15376/biores.7.1.1264-1282>.

Baillères, Henri, Garry Hopwell, dan Geoffrey Boughton. 2009. "MOE and MOR Assessment Technologies for Improving Graded Recovery of Exotic Pines in Australia." Victoria.

BSN. 2002. "SNI 2002- Tata Cara Perencanaan Struktur Kayu untuk Bangunan Gedung." Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Dey, Abhijeet, dan Nayanmoni Chetia. 2018. "Experimental Study of Bamboo Reinforced Concrete Beams Having Various Frictional Properties." *Materials Today: Proceedings* 5 (1): 436–44.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.103>.

El-Osta, M. L. M, A. Badran, dan A. O. K. El-Wakeel. 1979. "Prediction of Modulus of Rupture from Elasticity for Some Egyptian Hardwoods." *Wood and Fiber Science*, 147–54.

Forest Products Laboratory - USDA. 2010. "Wood Handbook: Wood as an Engineering Material." *General Technical Report FPL-GTR-190*. Madison: Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
[https://doi.org/General Technical Report FPL-GTR-190](https://doi.org/General%20Technical%20Report%20FPL-GTR-190).

Gupta, Anu, dan Ajit Kumar. 2008. "Potential of Bamboo in Sustainable Development." *Asia Pacific Business Review* 4 (3): 100–107.
<https://doi.org/10.1177/097324700800400312>.

Hebel, Dirk E, Felix Heisel, Alireza Javadian, Karsten Schlesier, Nikita Aigner, Simon Lee, dan Philipp Müller. 2016. "Green Steel - Constructing Alternatives Out of Bamboo." Exhibition opened on 29.06.2016 at Tokyo University, Japan.

Howell, David C. 2011. *Fundamental Statistics for the Behavioral Sciences*. Wadsworth: Cengage Learning.

Huang, Zujian, Yimin Sun, dan Florian Musso. 2017. "Assessment of Bamboo Application in Building Envelope by Comparison with Reference Timber." *Construction and Building Materials* 156: 844–60.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.026>.

- Janseen, Jules J.A. 2000. "Designing and Building with Bamboo." *Audio Over IP*. Beijing: INBAR. <https://doi.org/10.1016/b978-0-240-81244-1.00005-5>.
- Kaminski, Sebastian, Andrew Laurence, dan David Trujillo. 2016. "Structural Use of Bamboo : Part 1: Introduction to Bamboo." *The Structural Engineer: Journal of the Institution of Structural Engineer* 94 (8): 40–43.
- Kaminski, Sebastian, Andrew Laurence, David Trujillo, Ian Feltham, dan Felipe López Delgado. 2016. "Structural Use of Bamboo Part 3: Design Values." *The Structural Engineer: Journal of the Institution of Structural Engineer* 94 (12): 42–45.
- Kim, Jae Jin, Sung Suk Lee, Jong Bum Ra, Hwanhwi Lee, Nayoon Huh, dan Gyu Hyeok Kim. 2011. "Fungi Associated with Bamboo and Their Decay Capabilities." *Holzforschung* 65 (2): 271–75. <https://doi.org/10.1515/HF.2011.004>.
- Liese, W. 2004. "Preservation of a Bamboo Culm in Relation to its Structure." *Simposio Internacional Guadua*, 20–30. CD-ROM.
- Lubis, Rizky Oulia Omara P. 2019. "Sifat Mekanika dan Fisika Bambu Wulung." Universitas Gadjah Mada.
- Majid, Abdul. 2015. "Perancangan Jembatan Pejalan Kaki Rangka Bambu Petung Tipe Howe Truss Bentang 20 Meter dengan Optimasi Ketinggian Camber." Universitas Gadjah Mada.
- Muhsin, Ardiana, Lendya Maria Febriany, dan Hesty Noor Hidayati. 2015. "Material Bambu sebagai Konstruksi pada Great Hall Eco Campus Outward Bound Indonesia" 3 (3): 1–11.
- Mulia, H. Z. 2016. "Perancangan Jembatan Bambu Tipe Asymmetric Cable Stay." Tugas Akhir. Universitas Gadjah Mada.
- Nugroho, Antaria Dwi. 2008. "Perencanaan Struktur Rumah Bertingkat Tahan Gempa dengan Konstruksi Bambu." Universitas Gadjah Mada.
- Nurdiah, Esti Asih. 2016. "The Potential of Bamboo as Building Material in Organic Shaped Buildings." *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 216 (October 2015): 30–38. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.12.004>.
- Paraskeva, T. S., G. Grigoropoulos, dan E. G. Dimitrakopoulos. 2017. "Design and Experimental Verification of Easily Constructible Bamboo Footbridges for Rural areas." *Engineering Structures* 143: 540–48. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.04.044>.
- Patmasari, Dyah. 2006. "Sistem Perencanaan Struktur Bangunan Bambu." Universitas Gadjah Mada.
- Prihadi, Wisnu Rachmad, dan Galeh Nur Indriatno Putra Pratama. 2016. "Konfigurasi Batang Pada Perancangan Rangka Atap Bambu." *Informasi dan Ekspose Hasil Riset Teknik Sipil dan Arsitektur (Inersia)* 12 (2): 173–83. <https://doi.org/10.21831/inersia.v12i2.12592>.
- Putra, Bayu Satrio. 2008. "Analisis Struktur Bangunan Bambu Tahan Gempa serta Pelaksanaannya." Universitas Gadjah Mada.
- Sari, Indah Permata. 2015. "Perancangan Jembatan Bambu Tipe Arc Bridge Berdasarkan ISO 22156:2004." Universitas Gadjah Mada.
- Singha, Bebija L, dan R K Borah. 2017. "Traditional Methods of Post Harvest Bamboo Treatment for Durability Enhancement." *International Journal of Scientific & Engineering Research* 8 (1): 518–22.
- Sohel, Md Shawkat Islam, Mohammed Alamgir, Sayma Akhter, dan Mizanur Rahman. 2015. "Carbon Storage in a Bamboo (*Bambusa vulgaris*) Plantation in the Degraded Tropical Forests: Implications for Policy Development." *Land Use Policy* 49: 142–51. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.07.011>.
- Technical Committee ISO/TC 165. 2004. "ISO 22156:2004 Bamboo — Structural Design." Switzerland.
- Wu, Wenqing. 2014. "Experimental Analysis of Bending Resistance of Bamboo Composite I-Shaped Beam." *Journal of Bridge Engineering* 19 (4): 1–13. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)BE.1943-5592.0000557](https://doi.org/10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0000557).
- Wulandari, Oktarina. 2015. "Redesain Jembatan Bambu Pejalan Kaki di Berbah, DIY." Universitas Gadjah Mada.
- Ye, Fei, dan Wenxi Fu. 2018. "Physical and Mechanical Characterization of Fresh Bamboo for Infrastructure Projects." *Journal of Materials in Civil Engineering* 30 (2): 1–10. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0002132](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002132).

Volume 15 No. 1 Mei 2020

Jurnal Permukiman

ISSN : 1907 – 4352

E-ISSN : 2339 – 2975

Kumpulan Abstrak

DDC: 628.4

Timbulan Dan Komposisi Sampah Wisata Pantai Indonesia, Studi Kasus: Pantai Pangandaran

Ashuri, Amallia, Tuti Kustiasih

Jurnal Permukiman Vol. 15 No. 1 Mei 2020, hal. : 1 – 9

Pantai Pangandaran yang berlokasi di Kabupaten Pangandaran merupakan salah satu destinasi wisata yang terkenal di Provinsi Jawa Barat dan destinasi wisata strategis nasional. Peningkatan jumlah wisatawan di Pantai Pangandaran belum disertai dengan pengelolaan persampahan yang baik menyebabkan penumpukan sampah pada saat musim puncak liburan sehingga terjadi penurunan estetika, ketidaknyamanan pengunjung, serta pencemaran lingkungan. Untuk itu perlu dikembangkan suatu sistem pengelolaan sampah untuk sampah wisata dan bawaan laut yang dihasilkan di Pantai Pangandaran. Dalam penelitian ini dilakukan suatu studi mengenai timbulan dan komposisi sampah wisata dan bawaan laut dimana hasilnya diharapkan dapat dijadikan dasar oleh stakeholder terkait dalam menentukan sistem pengelolaan maupun teknologi pengolahan sampah yang tepat untuk diterapkan di Pantai Pangandaran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa timbulan sampah dari hotel di Pantai Pangandaran cenderung tinggi, salah satunya disebabkan oleh penggunaan kamar yang melebihi kapasitas. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa sampah wisata banyak didominasi oleh sampah dapur dan sisa makanan (44,68%) serta sampah daun (13,48%). Kedua jenis sampah ini dapat diolah dengan baik dengan pengomposan maupun biodigester. Sementara sampah bawaan laut didominasi oleh sampah plastik (28,32%), batang kayu (25,15%), dan batok kelapa (27,33%). Reduksi sampah bawaan laut dapat dilakukan dengan cara menjual kembali sampah kepada bandar sampah. Selain itu, pengelolaan sampah bawaan laut tidak terlepas dari pengelolaan sampah daerah aliran sungai yang bermuara di pantai karena sampah bawaan laut banyak berasal dari darat.

Kata kunci: Wisata pantai, Pantai Pangandaran, timbulan sampah, komposisi sampah, sampah bawaan laut

DDC: 725.5

Pengaruh Tingkat Keramahan Lingkungan Perumahan Bagi Pejalan Kaki Terhadap Aktivitas Fisik Dan Kesehatan Masyarakat Kasus: Perumahan Margahayu Raya, Bandung

Indrajati, Petrus Natalivan, Murni Elfrida

Jurnal Permukiman Vol. 15 No. 1 Mei 2020, hal. : 10 – 18

Banyak penelitian menunjukkan hubungan antara penggunaan lahan campuran, kepadatan, fasilitas, dan jaringan jalan pada lingkungan perumahan dengan perilaku aktivitas fisik seperti berjalan dan bersepeda penghuninya. Di Indonesia, studi hubungan lingkungan yang ramah pejalan kaki dengan perilaku aktivitas fisik dan kesehatan masyarakat sangat terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini penting mengingat tingginya angka kematian akibat penyakit tidak menular yang salah satu penyebabnya adalah karena kurangnya aktivitas fisik. Aktivitas yang memadai dan teratur setidaknya 150 menit per minggu dapat mengurangi faktor risiko kelebihan berat badan dan obesitas, hipertensi dan peningkatan gula darah dan lipid darah yang memicu penyakit jantung, stroke, diabetes, dan kanker. Penelitian ini bertujuan untuk melihat hubungan antara karakteristik pola perilaku aktivitas fisik dan kesehatan masyarakat berdasarkan tingkat keramahan lingkungan bagi pejalan kaki di Perumahan Margahayu Raya Bandung. Penelitian ini bersifat eksploratif dengan metode kuantitatif dengan menggunakan analisis statistik deskriptif. Penelitian dilakukan pada dua karakter lingkungan yang berbeda, yaitu di lingkungan perumahan yang cenderung lebih ramah pejalan kaki dan lingkungan yang kurang ramah pejalan kaki. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan signifikan perilaku aktivitas fisik dari dua karakter lingkungan perumahan tersebut. Analisis hubungan antara lingkungan dan kesehatan dengan perilaku aktivitas fisik sangat lemah, tetapi memiliki hubungan positif antara perilaku bersepeda dengan lingkungan dan perilaku kesehatan dan olahraga dengan lingkungan.

Kata kunci: Lingkungan terbangun, aktivitas fisik, kesehatan masyarakat, ramah pejalan kaki, Bandung

DDC: 674.1

Perbandingan Perilaku Lentur Balok Bambu Menggunakan Sifat Mekanik Yang Diperoleh Dengan Metode Rata-Rata Dan Persentil Ke-5

Irawati, Inggar Septhia, Urwatul Wusqo

Jurnal Permukiman Vol. 15 No. 1 Mei 2020, hal. : 43 – 53

Penggunaan bambu sebagai material konstruksi semakin meningkat seiring dengan isu lingkungan yang semakin banyak dibahas. Namun demikian, tidak ada regulasi yang secara spesifik mengatur tentang desain konstruksi bambu di Indonesia. Penentuan sifat mekanik bambu di Indonesia kebanyakan masih diambil dari rata-rata hasil pengujian di laboratorium, sementara ISO 22156 mengatur penggunaan nilai persentil kelima dari hasil pengujian. Oleh karena itu, studi komparasi perilaku bambu yang nilai sifat mekanik dihitung menggunakan metode rata-rata dan persentil ke-5 hasil pengujian sangat penting untuk dilakukan karena akan meningkatkan perhatian dan pemahaman para perencana untuk menggunakan sifat mekanik dari persentil ke-5 hasil pengujian dalam perencanaan struktur bambu. Makalah ini menyajikan hasil studi komparasi perilaku lentur balok bambu yang sifat mekanik lentur, modulus elastisitas lentur dan modulus patah, dihitung menggunakan 3 metode yaitu metode rata-rata, metode persentil ke-5 ISO 22156, dan metode persentil ke-5 hubungan antara modulus elastisitas dan modulus lentur. Hasil analisis menunjukkan bahwa penggunaan modulus elastisitas dan modulus patah bambu yang didapatkan dari metode rata-rata hasil pengujian laboratorium tidak disarankan karena memberikan nilai kapasitas beban, baik pada beban maksimum maupun beban pada kondisi lendutan ijin, yang lebih tinggi dibandingkan data beban pada kedua kondisi yang diperoleh dari hasil pengujian lentur statik. Hal ini akan meningkatkan risiko kegagalan pada struktur bambu. Selain itu, hasil analisis menunjukkan bahwa persyaratan kekakuan adalah faktor yang lebih menentukan pada perencanaan struktur balok bambu. Penggunaan nilai modulus elastisitas dan modulus patah yang diperoleh dari metode ISO 22156 lebih direkomendasikan.

Kata kunci: Perilaku lentur bambu, modulus elastisitas lentur, modulus patah, metode rata-rata, metode persentil ke-5

DDC: 620.112

Modulus Penampang Elastik Balok Kayu Jabon Glulam

Pranata, Yosafat Aji, Anang Kristianto, Aan Darmawan

Jurnal Permukiman Vol. 15 No. 1 Mei 2020, hal. : 34 – 42

Modulus penampang elastik balok merupakan salah satu parameter yang berkaitan dengan kekuatan dan kekakuan balok, secara khusus berhubungan dengan momen inersia penampang. Modulus penampang elastik balok kayu utuh (solid) tidak sama dengan balok kayu laminasi untuk studi kasus balok dengan ukuran penampang sama, hal ini dikarenakan momen inersia penampang balok laminasi perhitungannya berbeda dengan balok utuh akibat adanya slip antar lamina pada saat beban bekerja serta besarnya modulus elastisitas yang tidak sama pada setiap lamina, sehingga perilaku lentur balok menjadi satu kesatuan dalam kaitannya dengan kekuatan balok. Tujuan penelitian ini adalah mempelajari modulus penampang elastik balok kayu laminasi lem (glulam). Ruang lingkup penelitian yaitu benda uji balok terbuat dari kayu Jabon (*Anthocephalus cadamba* Miq.) ukuran penampang 60x160 mm, jumlah lamina 4 (empat), sistem laminasi menggunakan lem super adhesive, pengujian lentur menggunakan metode four-point loading test, perilaku lentur yang ditinjau adalah kekuatan lentur, modulus penampang elastik, dan rasio daktilitas balok. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa modulus penampang elastik dan tegangan lentur balok kayu laminasi lem lebih rendah dibandingkan balok kayu utuh dengan rasio sebesar 0,54, serta rasio daktilitas balok kayu laminasi diperoleh sebesar 1,28 sehingga termasuk dalam kriteria daktilitas terbatas. Hasil pengujian mengindikasikan bahwa kegagalan balok kayu laminasi lem adalah berupa kegagalan lentur. Parameter modulus penampang elastik balok kayu laminasi berguna untuk desain komponen struktur balok pada bangunan khususnya pada perhitungan kekuatan balok dan kekakuan balok sebagai persyaratan serviceability.

Kata kunci: Rigiditas lentur, balok, laminasi, lem, jabon

DDC: 720.288

Aspek-Aspek Penjaminan Kinerja Teknis Komponen Arsitektur Pada Bangunan Rumah Susun Sederhana Sewa Di DKI Jakarta

Siregar, Andi Harapan

Jurnal Permukiman Vol. 15 No. 1 Mei 2020, hal. : 19 – 33

Bukti empiris di lapangan menunjukkan bahwa kondisi teknis komponen arsitektur sangat berpengaruh pada kinerja bangunan rumah susun sederhana sewa. Terdapat 4 komponen arsitektur yang mempengaruhi kinerja teknis bangunan, yaitu: atap, dinding, lantai, dan utilitas. Kondisi teknis komponen bangunan ini dipengaruhi oleh: kualitas material, desain, kualitas pengerjaan, kondisi lingkungan luar serta perilaku penggunaan, dan perawatan. Tulisan ini dimaksudkan untuk menyampaikan berbagai aspek yang dipertimbangkan dalam penjaminan kinerja teknis komponen arsitektur bangunan rumah susun sederhana sewa, agar target umur bangunan 50 tahun yang ditetapkan pemerintah dapat dicapai. Aspek-aspek penjaminan kinerja teknis komponen arsitektur dikembangkan melalui skenario perancangan umur teknis setiap komponen arsitektur pada bangunan rumah susun sederhana sewa untuk menemukan aspek-aspek sensitif yang mempengaruhi umur teknis tiap komponen arsitektur dan besaran pengaruhnya kepada umur teknis bangunan. Dalam penulisan ini diterapkan: 1) pendekatan studi pustaka terkait berbagai riset terdahulu yang kemudian dilakukan survei lapangan, 2) wawancara terhadap pengelola dan penghuni Rusunawa dan 3) dilakukan metode Delphi. Metode Delphi digunakan untuk menjangkau berbagai pengetahuan para ahli dalam kinerja bangunan rusunawa yang dipengaruhi oleh komponen arsitektur. 3 aspek utama yang mempengaruhi kinerja teknis komponen arsitektur, yaitu: 1) kualitas material, 2) kualitas pengerjaan, dan 3) kualitas perawatan. Dengan menentukan umur teknis komponen arsitektur, pihak manajemen operasional bangunan dari Rusunawa dapat merencanakan tindakan yang dilakukan sepanjang umur teknis bangunan 50 tahun.

Kata kunci: Penjaminan kinerja teknis, komponen arsitektur, Rusunawa, metode Delphi, Jakarta

Abstract

DDC: 628.4

Indonesia Coastal Tourism Solid Waste Generation and Composition, Case Study: Pangandaran Beach Ashuri, Amallia, Tuti Kustiasih

Jurnal Permukiman Vol. 15 No. 1 May 2020, p. : 1 – 9

Pangandaran beach which is located in Pangandaran District is one of distinguish tourism destination in West Java Province and on of national strategic tourism destination. The increasing number of visitors in Pangandaran Beach has not been accompanied by proper waste management so it caused solid waste accumulation at peak season which caused aesthetic decline, visitors inconvenience, and environmental pollution. Therefore, solid waste management for tourism solid waste and marine debris in Pangandaran Beach is needed to be develop. Hence, this research conducted a study of solid waste generation and composition. The results of this research are expected to be used by relevant stakeholders in determining appropriate solid waste processing technology and management system that could be applied in Pangandaran Beach as a coastal tourism destination. Research results showed that waste generation from hotels in Pangandaran Beach tend to be high due to room overuse that exceeding its capacity. Besides that, the research results also showed that the composition of tourism solid waste is dominated by kitchen waste (44.68%) and garden waste (13.48%). These type of solid waste could be reduced by using biological process such as composting and anaerobic digestion. While marine debris is dominated by plastic (28.32%), wood (25.15%), and coconut shell (27.33%). Marine debris reduction could be done by selling it to informal sector. In addition, marine debris management cannot be separated from solid waste management of its watershed because of marine debris in Pangandaran dominated by solid waste from the watershed.

Keywords: Coastal tourism, Pangandaran Beach, solid waste generation, solid waste composition, marine debris

DDC: 725.5

The Influence of a Pedestrian-Friendly Environment on Physical Activity and Public Health Case: Margahayu Raya Housing, Bandung

Indradjati, Petrus Natalivan, Murni Elfrida

Jurnal Permukiman Vol. 15 No. 1 May 2020, p. : 10 – 18

Many studies have shown the relationship between mixed land use, density, facilities, and road networks in a residential environment with inhabitant's physical activity behavior such as walking and cycling. In Indonesia, studies on pedestrian-friendly environment in relation to physical activity behavior and public health are very limited. This research is important considering the high mortality rate due to non-infectious diseases because of low or lack of physical activity. An adequate and regular activity for at least 150 minutes per week can reduce risk factors for being overweight and obese, hypertension and an increase in blood sugar and blood lipids that may trigger heart disease, stroke, diabetes, and cancer. This research is intended to study the relationship between the characteristics of physical activity behavior patterns and public health based on the level of environmental friendliness for pedestrians in Margahayu Raya Housing Bandung. This research is carried out with quantitative methods using descriptive statistical analysis. This research was conducted on two different environmental characteristics: a residential environment that tends to be more pedestrian friendly and a less pedestrian friendly environment. The results indicate that there are no significant differences in the physical activity behavior of the two characteristics of the housing environment. Analysis of the relationship between the environment and physical fitness is very weak but has a positive relationship between cycling behavior with the pedestrian-friendly environment, and physical fitness and activities with the pedestrian-friendly environment.

Keywords: Built environment, physical activity, public health, pedestrian friendly, Bandung

DDC: 674.1

Comparison of Bamboo Beam Behavior using Mechanical Properties Obtained from Average and 5th Percentile Method

Irawati, Inggar Septhia, Urwatul Wusqo

Jurnal Permukiman Vol. 15 No. 1 May 2020, p. : 43 – 53

The use of bamboo as a structural element was increased as the environmental issues became an important topic worldwide. However, in Indonesia, there was no specific standard design of bamboo structure. The determination of the mechanical properties of bamboo mostly based on the average of the laboratory test result whereas ISO 22156 recommend using the 5th percentile of the bamboo bending test results. Hence, a comparative study of bamboo structural behavior calculated by using mechanical properties derived from those different methods is crucial to increase the engineer's awareness to apply the 5th percentile values of the laboratory test result as the bending properties. This paper presents the result of the comparative study on the *Gigantochloa atroviolacea* bamboo beam flexural behavior regarding the bamboo bending properties determined by three different methods i.e. the average method, the 5th percentile in accordance with ISO 22156 method, and the 5th percentile method based on modulus of elasticity - modulus of rupture correlation. The result shows that the use of the bending properties derived from the average method of the laboratory test was not recommended because it overestimate the actual modulus of elasticity and modulus of rupture of bamboo. Thus, it increases the probability of the structural failure on the bamboo structure. However, the most decisive factor in the bamboo beam design is the stiffness requirements. In this case, the use of bending properties resulted from ISO 22156 method is recommended.

Keywords: Bamboo bending behaviour, modulus of elasticity, modulus of rupture, average method, 5th percentile method

DDC: 620.112

Elastic Section Modulus of Glulam Jabon Timber Beams

Pranata, Yosafat Aji, Anang Kristianto, Aan Darmawan

Jurnal Permukiman Vol. 15 No. 1 May 2020, p. : 34 – 42

The elastic cross-section modulus of the beam is one of the parameters related to the strength and stiffness of the beam, specifically related to the inertia moment of the cross-section. The elastic cross-section modulus of solid timber beam is not the same as laminated timber beam for the case study of beam with the same cross-section size, this is because the inertia moment of cross-section of the laminated beam calculation is different from the solid beam due to slippage between lamina when the load is working and the magnitude of the elastic modulus which is not the same in every lamina, so that the flexural behavior of the beam becomes a single unit in relation to the strength of the beam. The purpose of this study was to study the elastic cross-section modulus of glue-laminated wood (glulam). The scope of the study is the beam test object made of Jabon wood (*Anthocephalus cadamba* Miq.) 60x160 mm cross-section size, 4 (four) lamina numbers, lamination system using super adhesive glue, flexural testing using the four-point loading test method, the flexural behavior that is review are flexural strength, elastic cross-section modulus, and beam ductility ratio. The results showed that the elastic cross-section modulus and the flexural stress of the laminated timber beams were lower than the solid timber beams with a ratio of 0.54, and the ductility ratio of the laminated wooden beams was 1.28 so that they were categorized in the limited ductility criteria. The test results indicate that the failure of glue-laminated timber beams is a failure of bending. The elastic modulus cross-section parameters of laminated timber beams are useful for the design of beam structure components in buildings, especially in the calculation of beam strength and beam stiffness as a serviceability requirement

Keywords: Flexural rigidity, beam, laminated, glue, jabon

DDC: 720.288

Technical Life Assurance of Architectural Components of Low-Cost Multistoried Rental Housing in Jakarta
Siregar, Andi Harapan

Jurnal Permukiman Vol. 15 No. 1 May 2020, p. : 19 – 33

Empirical evidence has shown that technical condition of the architectural components significantly influenced the building performance of low-cost multistoried rental housing (Rusunawa). There are four architectural components that affect the building technical performance, namely: roof, wall, floor, and utilities. The quality of these architectural components depends on material quality, design quality, craftsmanship quality, environment quality, user quality, and maintenance quality. This paper aims to establish technical performance assurance modelling for low-cost multistoried rental housing in Jakarta, with the objective of securing the 50 years targeted building age. The research objective is to identify sensitive aspects that can affect the scenarios of technical life and the magnitude of its influence. The research comprises three stages: 1) literature review, 2) data collection on aspects that affect the technical performance of the architectural components in low-cost rental housing, 3) analysis of aspects that affect the technical performance of architectural components in low-cost rental housing with Delphi Method. Technical lives of architectural components are influenced by three main aspects: 1) material quality, 2) craftsmanship quality, and 3) maintenance quality. By setting up technical life of architectural components, the operational management of low-cost rental housing can be planned along 50-years of the building age.

Keywords: Technical performance assurance, architectural components, Rusunawa (low-cost rental housing), Delphi method, Jakarta

Indeks Subjek / Subjek Indexs**A**

Aktivitas fisik, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18

B

Bambu, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54

Biodigester, 1, 8

C

Coastal tourism, 1, 2

D

Delphi, 19, 22

E

Elastis, MOE, non-destruktif, 34, 36, 38, 39, 43, 53

F

Flexural rigidity, MOR, 36, 38, 39, 40

G

Gamma, 13, 16

Gigantochloa atroviolacea, 45, 48, 54

H

Hidup, 20, 22, 32

Hipertensi, 10, 17

Hotel, 1, 3, 4, 5, 8

I

Inert, 2

Integrative framework, Design, 22

J

Jabon, Glulam, 34, 36, 38, 39

K

Komposisi sampah, 1, 2, 3, 4, 6, 8

Konektivitas, 11

L

Laut, Pantai, 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8

Lendutan balok, 36, 43, 49, 50, 51, 52

M

Modulus, 34, 36, 39, 43, 53

N

Nelayan, 6

O

Observasi, 13

P

Pejalan kaki, Pedestrian, 10, 11

Perumahan, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 23, 25

Plastik, Styrofoam, 2, 4

Public health, Penyakit, 2, 10, 11, 12, 13, 15, 17

Q

Quesioner, 13, 26, 32

R

Recovery, 8

Rigiditas, 35, 36, 38, 39, 40

S

Sampah, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8

Standar, ISO, 43, 45, 47, 48, 49, 51, 53

Swasta, 7, 22, 25

T

Timbulan, Gundukan, 1, 2, 3, 4, 6

Transek, 4

V

Vandalisme, 24, 25, 32

Vertikal, 35

W

Wilayah, 2, 12, 14, 15, 16, 17

Pedoman Penulisan Naskah

1. Redaksi menerima naskah karya ilmiah ilmu pengetahuan dan teknologi bidang permukiman, baik dari dalam dan luar lingkungan Pusat Litbang Permukiman
2. Naskah yang diusulkan untuk dimuat dalam Jurnal permukiman haruslah tulisan yang belum pernah dipublikasikan dalam majalah ilmiah lainnya. Naskah dapat ditulis dalam Bahasa Indonesia atau Bahasa Inggris dengan menggunakan kaidah bahasa tulis yang baik dan benar
3. Naskah disampaikan ke redaksi dalam bentuk file digital "MS Word" jumlah halaman naskah maksimum 15 halaman termasuk abstrak, gambar, tabel dan daftar pustaka
4. Naskah akan dinilai oleh dewan penelaah (mitra bebestari). Kriteria penilaian meliputi kebenaran isi, derajat, orisinalitas, kejelasan uraian dan kesesuaian dengan sasaran jurnal. Dewan penelaah berwenang mengembalikan naskah untuk direvisi atau menolaknya
5. Dewan redaksi/peelaah berhak memperbaiki naskah tanpa mengubah isi dan pengertiannya, serta akan berkonsultasi dahulu dengan penulis apabila dipandang perlu untuk mengubah isi naskah. Penulis bertanggung jawab atas pandangan dan pendapatnya di dalam naskah
6. Jika naskah disetujui untuk diterbitkan, penulis harus segera menyempurnakan dan menyampaikannya kembali ke redaksi paling lambat satu minggu setelah tanggal persetujuan
7. Bila naskah diterbitkan, penulis akan mendapatkan *reprint* (cetak lepas) sebanyak 3 eksemplar dan naskah akan menjadi hak milik instansi penerbit
8. Naskah yang tidak dapat diterbitkan akan diberitahukan kepada penulis dan naskah tidak akan dikembalikan, kecuali ada permintaan lain dari penulis
9. Keterangan yang lebih terperinci dapat menghubungi Sekretariat Redaksi
10. Secara teknis persyaratan naskah adalah :

Sistematika penulisan :

- **Bagian awal:** Judul, Keterangan Penulis, Abstrak. Abstrak disusun dalam satu alinea antara 150-200 kata berisi: alasan penelitian dilakukan, pernyataan singkat apa yang telah dilakukan (metode), pernyataan singkat apa yang telah ditemukan, pernyataan singkat apa yang telah disimpulkan disertai minimal 5 kata kunci. Judul, Abstrak dan Kata Kunci disusun dalam 2 (dua) bahasa (Indonesia – Inggris).
- **Bagian Utama :** Pendahuluan, Metode, Hasil dan Pembahasan, Kesimpulan
- **Bagian akhir:** Ucapan Terima Kasih, Daftar Pustaka dan Lampiran (jika ada)

Teknik penulisan:

- a. Naskah ditulis pada kertas ukuran A4 *portrait* (210 x 297 mm), ketikan satu spasi dengan 2 kolom, jarak kolom pertama dan kedua 1 cm.
- b. Margin: tepi atas 3 cm, tepi bawah 2,5 cm, sisi kiri 3 cm dan kanan 2 cm. Alinea baru diberi tambahan spasi (+ ENTER).

Penggunaan huruf:

- Judul, ditulis di tengah halaman, Cambria 14 pt. Kapital **Bold**
 - Isi Abstrak, Cambria 10 pt *italic*, 1 spasi
 - Judul Bab ditulis di tepi kiri, Cambria Kapital 11pt, **Bold**
 - Judul Sub Bab, Cambria *Tittle Case* 11pt, **Bold**
 - Isi, Cambria 10 pt, 1 spasi
 - Penomoran halaman menggunakan angka arab
- c. Daftar Pustaka sebaiknya menggunakan referensi terbaru, maksimal penerbitan 5 (lima) tahun terakhir, kecuali untuk *handbook* yang belum ada cetakan revisi/ terbaru.
 - d. Pustaka dalam teks (*in text citation*), sumber pustaka suatu kutipan atau cuplikan dalam teks ditulis dalam dengan aturan sebagai berikut (*authors – date*);
 - Penulis tunggal: nama akhir penulis/ nama *family* (tanpa inisial, kecuali ada kerancuan) dengan tahun publikasi.
 - Dua penulis : kedua nama *family* penulis dicantumkan dengan tahun publikasi
 - Tiga penulis atau lebih : nama *family* penulis pertama diikuti dengan et al. dan tahun publikasi, Contohnya (Sabaruddin et al. 2013)
 - Sumber pustaka dapat ditulis langsung dalam teks dalam suatu tanda kurung (). Bila terdapat beberapa sumber pustaka maka urutan penulisan adalah berdasarkan abjad dan kemudian berdasarkan tahun publikasi. CONTOH: " ... seperti diungkap dalam penelitian terdahulu (Allan 1996a, 1996b, 1999; Allan and Jones 1995). Armstrong et al. (2010) telah menyatakan bahwa ... "
 - e. Daftar pustaka ditulis sesuai contoh sebagai berikut:

Buku/monograf (satu pengarang)

Pollan, Michael. 2006. *The Omnivore's Dilemma: A Natural History of Four Meals*. New York: Penguin.

Artikel Jurnal (tiga pengarang)

Sabaruddin, Arief, Tri Harso Karyono, Rumiati R. Tobing. 2013. Metoda Kovariansi dalam Penilaian Kinerja Kemampuan Adaptasi Bangunan terhadap Lingkungan. *Jurnal Permukiman* Vol. 8 No. 1 April 2013: 30-38.

Situs Web

Achenbach, Joel. 2015. "Why Do Many Reasonable People Doubt Science?". *National Geographic*. <http://ngm.nationalgeographic.com> (diakses 15 Juni 2015).



KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN
PUSAT LITBANG PERUMAHAN DAN PERMUKIMAN

