



PILARS

JURNAL SIPIL
DAN ARSITEKTUR

OPEN



ACCESS

E-ISSN 2988-5973

JURNAL SIPIL DAN ARSITEKTUR



PILARS	Volume 2	Nomor 4	Desember 2024	Hal 1-62	Semarang-Jawa Tengah
---------------	---------------------	----------------	--------------------------	-----------------	---------------------------------



Departemen Sipil dan Perencanaan
Sekolah Vokasi
Universitas Diponegoro
Semarang - Jawa Tengah
Jl. Gubernur Mochtar, Tembalang, Kecamatan Tembalang,
Kota Semarang, Jawa Tengah 50275

JURNAL

SIPIl DAN ARSITEKTUR



Volume 2 Nomor 4 Desember 2024

Ketua Editor	: Asri Nurdiana, S.T., M.T.	(UNDIP)
Dewan Editor	: Oky Kurnia Putra, S.T.	(UNDIP)
Dewan Redaksi	: Drs. Hartono, M.T.	(UNDIP)
	Riza Susanti, S.T., M.T.	(UNDIP)
	Shifa Fauziyah, S.T., M.T.	(UNDIP)
	Previari Umi Pramesti, S.T., M.T.	(UNDIP)
	Ratih Widiastuti, S.T., M.T.	(UNDIP)
Dewan Reviewer	: Bambang Setiabudi, S.T., M.T.	(UNDIP)
	Dr. Arnis Rochma Harani, S.T., M.T.	(UNDIP)
	Dr. Resza Riskiyanto, S.T., M.T.	(UNDIP)
	Ir. M. Mirza Abdillah Pratama, S.T., M.T.	(UNM)
	Helen Gianditha Wayangkau	(UNCEN)

Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur (PILARS) merupakan jurnal terbuka berfokus pada karya ilmiah di bidang teknik sipil dan arsitektur. Jurnal PILARS terbit sebanyak 4 kali dalam satu tahun (Maret, Juni, September, dan Desember). Redaksi menerima artikel ilmiah terkait dengan hasil penelitian dan survei yang erat kaitannya dengan bidang teknik sipil dan arsitektur. Submit artikel melalui laman *website* <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/pilars/index>.

Penerbit :
Departemen Sipil dan Perencanaan

Alamat :
Departemen Sipil dan Perencanaan Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro Jl. Gubernur Mochtar, Tembalang, Kecamatan Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah 5027

JURNAL SIPIL DAN ARSITEKTUR

Volume 2 Nomor 4 Desember 2024

DAFTAR ISI

1. Batu Bata Merah Ramah Lingkungan Menggunakan Bahan Campuran Abu Serbuk Kayu dan Serbuk Kaca
(Irwinsyah Aprillio P.P, Naufal Bagus Setiawan, Bambang Setiabudi, Shifa Fauziyah)1-8
2. Evaluasi Fasilitas dan Aksesibilitas pada Gedung Kantor BPJS Kesehatan Sleman
(Adena Putri Br Surbakti, Hermin Werdiningsih) 9-15
3. Perencanaan Ulang Jembatan Kalibanger Integrasi BIM 4D
(Syifa Pradita, Bambang Setiabudi, Asri Nurdiana) 16-25
4. Pengaruh Penambahan Abu Sekam Terhadap Kuat Tekan, Daya Serap Air, dan Kinerja Termal pada Bata Beton
(Muhammad Akmal Rusmawan, Shifa Fauziyah, Hartono) 26-33
5. Pengaruh Penggunaan Plastik LDPE (*Low Density Polyethylene*) Sebagai Substitusi Aspal dan Serbuk Kaca Sebagai Substitusi *Filler* pada Campuran LASTON AC-WC
(Muhammad Rheza Fakhri Syakir, Raihan Dany A, Shifa Fauziyah, Riza Susanti) 34-50
6. Pengoptimalisasian Pencahayaan Buatan pada Kamar Tidur (Studi Kasus: Kamar Kos D'Paris Putri)
(Tantya Galuh Puspa Hendika, Chely Novia Bramiana) 51-56
7. Analisis Pengaruh Limbah Keramik sebagai Substitusi Semen Terhadap Inovasi Dinding Partisi Kalsiboard
(Ivander Satria Sapulette, Adventus, Hartono, Shifa Fauziyah) 57-62

Batu bata merah ramah lingkungan menggunakan bahan campuran abu serbuk kayu dan serbuk kaca

Irwinsyah Aprillio Putra Pratama^{a*}, Naufal Bagus Setiawan^a, Bambang Setiabudia^a, Shifa Fauziyah^a

^{a*}, ^a Teknik Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro, Indonesia

ARTICLE INFO

Corresponding author:

Email:

irwinsyah.aprillio@gmail.com

Article history:

Received : 13 June 2024

Accepted : 25 June 2024

Publish : 30 December 2024

Keywords:

ash sawdust, brick compressive strength test, brick water absorption test, glass powder, red bricks

ABSTRACT

Along with the times in the Industrial Revolution 4.0, innovation in the construction field is needed to achieve a specific innovative idea. One is making red bricks using a mixture of ash, sawdust, and glass powder. For the composition used in red bricks with a mixture of ash, sawdust, and glass powder amounting to 0%, and 2.5% and 0%, 2.5%, 5%, and 7.5% of the weight of the bricks used, based on these percentages, it can also reduce the price of production materials. The researchers did the test method by testing the brick's compressive strength and the absorbency of water. This aims to find out how significant the influence of the mixture of ash, sawdust, and glass powder is on the quality of the brick's compressive strength and the level of water absorption in the brick. It is hoped that the research of red bricks using a mixture of ash, sawdust, and glass powder is expected to be an alternative solution for the utilization of red brick mixture materials to reduce the cost efficiency of production materials and to determine the quality results of brick compressive strength and water responsiveness to bricks based on the test method to be carried out.

Copyright © 2024 PILARS-UNDIP

1. Pendahuluan

Bata merupakan salah satu bahan yang digunakan untuk pasangan bata. Tergantung pada jenisnya, batu bata dicirikan oleh bahannya. Batu bata yang umum antara lain batu bata beton, batu bata ringan, batu bata merah, dan batu bata kaca, dan batu bata merah merupakan salah satu batu bata yang digunakan dalam konstruksi. Batu bata merah dibuat dari tanah liat, dijemur di bawah sinar matahari, lalu dibakar. Kelemahannya seperti dimensi bata yang kecil mempengaruhi waktu pemasangan, produksi yang tidak efisien dan bergantung pada cuaca. sehingga perlu ditingkatkan lagi keunggulannya.

Salah satu kemungkinan adalah peneliti menggunakan campuran kayu dan serbuk kaca untuk membuat batu bata merah. Abu serbuk gergaji dipilih karena Indonesia memiliki banyak industri pengolahan kayu. Namun industri ini punya tantangan tersendiri berupa limbah serbuk gergaji yang jumlahnya sebanyak 780.000 m³ per tahun (Mutiarra dkk, 2016). Abu serbuk kayu terkandung silika SiO₂ hingga 85% serta dapat meningkatkan ikatan antar partikel (Farlin Rosyad dkk, 2019). Sedangkan, serbuk kaca sendiri dipilih karena banyaknya sampah kaca yang tidak dapat didaur ulang, yaitu mencapai 2,31 juta ton di tahun 2020 (Maulid Purnawan dkk, 2022). Kandungan serbuk kaca yaitu SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, dan CaO seperti pada semen Portland (Nursyamsi et al., 2016).

Untuk menverifikasi, peneliti berencana menguji batu tersebut sesuai SNI 15-2094-2000. Dengan uji daya serap air dan uji kuat tekan pada batu bata konvensional dan batu bata ramah lingkungan

produksi para peneliti. Dengan daya serap air bata merah <20%, dan kuat tekan minimal 5MPa. Serta menganalisis biaya produksi batu bata merah ramah lingkungan.

Berdasarkan penelitian terdahulu, dikembangkan bata merah abu serbuk gergaji dengan komposisi terbaik yaitu 2,5% (Faisol Khoufi As, Oyong Novareza, Purnomo Budi Santoso, 2017). Bata merah menggunakan bubuk kaca dengan komposisi berbeda juga dikembangkan. Tujuan dari penelitian ini adalah menggabungkan dua campuran tersebut dan mencari komposisi campuran optimal dengan kualitas lebih baik dibandingkan dengan bata merah biasa.

2. Data dan metode

2.1. Metode penelitian

Penelitian menggunakan metode eksperimental, diawali dengan survei literasi sebagai acuan dalam mengumpulkan data dan informasi. Pengujian mengacu pada SNI 15-2094-2000. Sedangkan bahan campuran berupa serbuk gergaji, abu dan serbuk kaca dirujuk dari jurnal, tesis, dan disertasi peneliti lain. Setelah memperoleh metode eksperimen, penelitian dilakukan di laboratorium Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.

2.2. Pembuatan material penyusun

Peneliti menggunakan tanah liat yang biasa digunakan oleh pembuat bata merah konvensional. Abu serbuk gergaji didapat dari UD Bandung Jaya, di Tembalang, Kota Semarang. Serbuk gergaji dibakar hingga menghasilkan abu serbuk gergaji. Pengolahan serbuk kaca dilakukan dengan cara mengumpulkan limbah kaca *limeglass* dan digiling menjadi serbuk kaca. Selanjutnya diayak memakai mesin *sieve shaker* hingga diperoleh serbuk kaca gradasi khusus yang tertahan dan lolos saringan No. 100 dan saringan No. 200. Gambar 1 merupakan ilustrasi proses pengayakan serbuk kaca yang dilakukan peneliti.



Gambar 1. Proses pengayakan serbuk kaca

2.3. Job mix design batu bata merah

Dalam pembuatan batu bata merah ramah lingkungan, di perlukan komposisi penyusun/*job mix design* tiap jenis untuk mengetahui kandungan yang ada di dalam batu bata merah yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. *Job mix design* batu bata merah

No	Variasi	Bahan Campuran				
		Tanah Liat (%)	Sekam Padi (%)	Abu Serbuk Kayu (%)	Serbuk Kaca (%)	Air (L)
1	Jenis 1	95	5	-	-	0,3
2	Jenis 2	97,50	-	2,50	-	0,3
3	Jenis 3	95	-	2,50	2,50	0,3
4	jenis 4	92,50	-	2,50	5	0,3
5	Jenis 5	90	-	2,50	7,50	0,3

2.4. Prosedur riset

2.4.1. Prosedur produksi

Berikut merupakan cara produksi batu bata merah ramah lingkungan dengan menggunakan campuran abu serbuk kayu dan serbuk kaca:

- i) Membakar serbuk kayu dan menggiling serbuk kaca
- ii) Mengayak serbuk kaca
- iii) Menyiapkan material lain yang diperlukan
- iv) Menimbang berat bahan sesuai persentase yang direncanakan
- v) Mencampur bahan hingga rata seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2



Gambar 2. Proses produksi batu bata merah

- vi) Memasukan bahan yang sudah tercampur ke cetakan batu bata
- vii) Memadatkan dan meratakan campuran yang ada di cetakan
- viii) Menjemur dan meratakan campuran selama dua sampai dengan lima hari
- ix) Membakar benda uji selama empat hari untuk proses perekatan bahan campuran, kemudian mendinginkan benda uji selama dua sampai dengan tiga hari

2.4.2. Prosedur pengujian daya serap air

Berikut merupakan daya serap air batu bata merah ramah lingkungan dengan menggunakan campuran abu serbuk kayu dan serbuk kaca:

- i) Memasukkan benda uji ke *oven* selama 24 jam seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3



Gambar 3. Proses pengujian daya serap air

- ii) Mengeluarkan benda uji dari *oven* untuk ditimbang sebagai berat kering
- iii) Merendam benda uji selama 24 jam
- iv) Setelah direndam, keringkan benda uji
- v) Menimbang benda uji untuk mendapatkan berat basah

2.5. Prosedur pengujian kuat tekan

Berikut merupakan prosedur pengujian kuat tekan batu bata merah ramah lingkungan dengan menggunakan campuran abu serbuk kayu dan serbuk kaca:

- i) Memotong sampel batu merah yang berukuran 20x10x5 cm menjadi dua bagian yang sama panjang
- ii) Menyiapkan *polywood* sesuai dengan ukuran benda uji sebagai *capping* bawah
- iii) Mengoleskan *polywood* dengan oli untuk selanjutnya direndam hingga kondisi jenuh
- iv) Mengolesi mortar pada bagian *polywood* yang telah diolesi oli
- v) Menempelkan bata bagian bawah dengan mortar
- vi) Melapisi bata bagian atas dengan mortar setebal 10 mm
- vii) Menempel bata bagian atas dengan mortar sisi atas bata bagian bawah seperti ditunjukkan pada Gambar 4



Gambar 4. Proses pembuatan benda uji untuk proses pengujian kuat tekan

- viii) Membuat *capping* sisi atas bata merah bagian atas dengan tebal yang sama dan rata
- ix) Mengeringkan lapisan mortar yang ada di bata merah
- x) Memasukkan bata merah yang sudah memiliki *capping* atas dan bawah ke alat *compression test*
- xi) Menggunakan alat *compression test* untuk mengetahui hasil uji kuat tekan batu bata merah

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Hasil pengujian daya serap air

Menurut SNI 15-2094-2000, dengan resapan air <20%. Pengujian menunjukkan bata tipe 1 dan 2 tidak memenuhi standar. Bata tipe 3, 4, dan 5 memenuhi standar. Sesuai dengan sifat serbuk kaca yang dapat menurunkan persentase resapan air (Miftahul Husna, 2022). Hasil pengujian dan analisis daya serap air disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Tabel perhitungan daya serap air batu bata merah pada masing-masing jenis

Jenis	Sampel	(B-A)/A x 100%	Hasil (%)	Daya Serap Rata-rata (%)	Ketentuan Yang Berlaku	Keterangan	
1	A	(2,050-1,645)/1,645 x 100%	24,62	24,58	SNI 15-2094-2000 mensyaratkan daya serap air harus di bawah 20%	Tidak Memenuhi Persyaratan	
	B	(2,095-1,690)/1,690 x 100%	23,96				
	C	(1,915-1,530)/1,530 x 100%	25,16				
2	A	(2,015-1,600)/1,600 x 100%	25,93	26,91			Tidak Memenuhi Persyaratan
	B	(1,890-1,470)/1,470 x 100%	28,57				
	C	(1,910-1,513)/1,513 x 100%	26,23				
3	A	(1,865-1,565)/1,565 x 100%	19,16	19,75			Memenuhi Persyaratan
	B	(1,890-1,590)/1,590 x 100%	18,86				
	C	(1,855-1,530)/1,530 x 100%	21,24				
4	A	(1,805-1,562)/1,562 x 100%	15,55	15,91			Memenuhi Persyaratan
	B	(1,845-1,590)/1,590 x 100%	16,03				
	C	(1,825-1,571)/1,571 x 100%	16,16				
5	A	(1,795-1,530)/1,530 x 100%	17,32	16,74			Memenuhi

Jenis	Sampel	$(B-A)/A \times 100\%$	Hasil (%)	Daya Serap Rata-rata (%)	Ketentuan Yang Berlaku	Keterangan
	B	$(1,805-0,513)/1,590 \times 100\%$	16,35			Persyaratan
	C	$(1,745-1,497)/1,497 \times 100\%$	16,56			

3.2. Hasil pengujian kuat tekan

Berdasarkan ketentuan SNI 15-2094-2000, kuat tekan bata dibagi tiga kelas: kelas 50 dengan kuat tekan 5 MPa, kelas 100 dengan kuat tekan 10 MPa, dan kelas 150 dengan kuat tekan 15 MPa. Hasil pengujian menunjukkan semua tipe memenuhi standar SNI yang ada. Tipe 2, 3, dan 4 menunjukkan peningkatan kuat tekan. Hal ini dapat terjadi karena abu serbuk gergaji mengandung SiO₂ sebagai bahan pengikat (Faiz Mudhofir dkk, 2017). Namun tipe 5 menurunkan kuat tekan, dikarenakan proporsi serbuk kaca terlalu tinggi akan menurunkan kuat tekan dan meningkatkan resapan airnya (Miftahul Husna, 2022). Hasil uji dan analisis kuat tekan batu bata merah disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi hasil kuat tekan batu bata merah

Variasi	Sampel	F/A	Kuat Tekan (MPa)	Rata-Rata (MPa)	Ketentuan menurut SNI yang berlaku	Keterangan				
1	A	(57x1000)/0,01	5,7	5,967	5 MPa - 15 MPa	Memenuhi Persyaratan				
	B	(62x1000)/0,01	6,2							
	C	(60x1000)/0,01	6							
2	A	(71x1000)/0,01	7,1	7,333		5 MPa - 15 MPa	Memenuhi Persyaratan			
	B	(76x1000)/0,01	7,6							
	C	(73x1000)/0,01	7,3							
3	A	(77x1000)/0,01	7,7	7,667			5 MPa - 15 MPa	Memenuhi Persyaratan		
	B	(53x1000)/0,01	7,5							
	C	(78x1000)/0,01	7,8							
4	A	(84x1000)/0,01	8,4	8,167				5 MPa - 15 MPa	Memenuhi Persyaratan	
	B	(82x1000)/0,01	8,2							
	C	(79x1000)/0,01	7,9							
5	A	(72x1000)/0,01	7,2	7,233					5 MPa - 15 MPa	Memenuhi Persyaratan
	B	(71x1000)/0,01	7,1							
	C	(74x1000)/0,01	7,4							

3.3. Analisis biaya produksi

Analisis biaya produksi diperlukan untuk mencari harga produksi yang dibutuhkan untuk membuat satu buah jenis bata merah. Harga satuan didapat dari hasil wawancara dengan para produsen batu bata merah. Harga tanah liat per Kg di banderol Rp. 170, sedangkan harga sekam padi per Kg di banderol Rp.1000. Untuk abu serbuk kayu mengingat didapatkan secara cuma-cuma, peneliti menganggap biaya material abu serbuk kayu di angka Rp.100 per Kg. Sedangkan serbuk kaca, peneliti menetapkan harga satuan di Rp.400 mengingat serbuk kaca didapatkan dari proses pengolahan limbah. Harga produksi batu bata tiap jenis akan dijabarkan lebih dalam di Tabel 4.

Tabel 4. Harga produksi batu bata merah jenis I

Item Pekerjaan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah	Satuan	Harga (Rp)
MATERIAL				
Tanah Liat	170	2,185	Kg	371
Sekam Padi	1.000	0,115	Kg	115

Item Pekerjaan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah	Satuan	Harga (Rp)
Air	Rp -	0,3	l	
Total Biaya Material				486
Upah Pekerja	300.000	0,001	OH	300
Total Harga Pekerja				300
Total Biaya Produksi				786

Tabel 5. Harga produksi batu bata merah jenis II

Item Pekerjaan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah	Satuan	Harga (Rp)
MATERIAL				
Tanah Liat	170	2,243	Kg	381
Abu Serbuk Kayu	100	0,058	Kg	6
Air		0,300	l	
Total Biaya Material				387
Upah Pekerja	300.000	0,001	OH	300
Total Harga Pekerja				300
Total Biaya Produksi				687

Tabel 6. Harga produksi batu bata merah jenis III

Item Pekerjaan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah	Satuan	Harga (Rp)
MATERIAL				
Tanah Liat	170	2,185	Kg	371
Abu Serbuk Kayu	100	0,058	Kg	6
Serbuk Kaca	400	0,058	Kg	23
Air		0,300	l	
Total Biaya Material				400
Upah Pekerja	300.000	0,001	OH	300
Total Harga Pekerja				300
Total Biaya Produksi				700

Tabel 7. Harga produksi batu bata merah jenis IV

Item Pekerjaan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah	Satuan	Harga (Rp)
MATERIAL				
Tanah Liat	170	2,128	Kg	362
Abu Serbuk Kayu	100	0,058	Kg	6
Serbuk Kaca	400	0,115	Kg	46
Air		0,300	l	
Total Biaya Material				413
Upah Pekerja	300.000	0,001	OH	300
Total Harga Pekerja				300
Total Biaya Produksi				713

Tabel 8. Harga produksi batu bata merah jenis IV

Item Pekerjaan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah	Satuan	Harga (Rp)
MATERIAL				
Tanah Liat	170	2,070	Kg	352
Abu Serbuk Kayu	100	0,058	Kg	6
Serbuk Kaca	400	0,173	Kg	69
Air		0,300	l	
Total Biaya Material				427

Item Pekerjaan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah	Satuan	Harga (Rp)
Upah Pekerja	300.000	0,001	OH	300
Total Harga Pekerja				300
Total Biaya Produksi				727

Apabila di lihat dari segi efisiensi biaya maka variasi dua merupakan variasi dengan biaya produksi terendah sebesar Rp. 687 namun output daya serap airnya tidak sesuai ketentuan SNI-15-2094-2000. Sedangkan jika dilihat dari persentase optimum secara keseluruhan, variasi ke 4 merupakan variasi terbaik yang sesuai ketentuan SNI-15-2094-2000, memperoleh angka daya serap air terbaik 15,91 %, dan nilai kuat tekan terbaik sebesar 8,167 MPa, dengan biaya produksi sebesar Rp.713. Sehingga bata merah variasi 4 lebih murah dari biaya produksi batu bata merah konvensional sebesar Rp.786 dengan selisih biaya produksi sebesar Rp.73 per satu buah batu bata merah.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil riset yang telah dilakukan, batu bata merah ramah lingkungan terbaik berada di jenis IV dengan kadar campuran tanah liat sebesar 92,5%, abu serbuk kayu sebanyak 2,5%, dan serbuk kaca sebesar 5%. Dengan daya serap air sebesar 15,91% dan kuat tekan sebesar 8,167 MPa, sehingga bata tersebut berada di kelas 50. Hal ini dapat terjadi karena pengaruh kimiawi abu serbuk kayu dan komposisi serbuk kaca yang optimal.

Ucapan terima kasih

Terima kasih kepada Universitas Diponegoro, Dosen pembimbing beserta seluruh pihak yang telah membantu proses keberlangsungan pelaksanaan hingga akhir penelitian ini. Ucapan terimakasih penulis sampaikan juga untuk teman-teman yang sudah membantu penelitian ini.

Referensi

- Andayono T., 2017, Kualitas Batu Bata Pasca Sosialisasi Persyaratan Pokok Membangun Rumah Lebih Aman Gempa, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
- Ardi, Andi Wahyuni, Muh. Said L., dan Iswadi. (2016). UJI KUAT TEKAN, DAYA SERAP AIR DAN DENSITAS MATERIAL BATU BATA DENGAN PENAMBAHAN AGREGAT LIMBAH BOTOL KACA. Makassar: Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.
- As, Faisol Khoufi, Oyong Novareza, dan Budi Purnomo. (2017). PENINGKATAN KUALITAS PRODUK BATU BATA MERAH DENGAN MEMANFAATKAN LIMBAH ABU SERAT SABUT KELAPA DAN ABU SERBUK GERGAJI. Semarang: Universitas Stikubank.
- Hamzah, Syahrani, Ihsan, dan Rahmaniah. (2016). PENGARUH PENAMBAHAN ABU SERBUK GERGAJI KAYU JATI PUTIH, DAN ABU SAMPAH ORGANIK TERHADAP KUAT TEKAN DAN DAYA SERAP AIR BATU BATA MERAH. Makassar: Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.
- Husnah, Miftahul, Abdul Halim Daulay, dan Siska. (2022). PENGARUH PENAMBAHAN AGREGAT LIMBAH BOTOL KACA DAN ABU SERABUT KELAPA TERHADAP KARAKTERISTIK BATU BATA. Medan: Universitas Islam Negeri Sumatera Utara.
- Mahardhika, Gita dan Naufal Dzaky Firnas. (2023). PENGARUH LIMBAH SERBUK KAYU SEBAGAI PENGANTI SEKAM PADI DAN BAHAN TAMBAH LIMBAH POLYPROPYLENE TERHADAP KUALITAS BATU BATA MERAH. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Medika, Yovanda Putra, Elhusna, dan Ade Sri Wahyuni. (2018). PENGARUH PROSES PENGADUKAN TANAH LIAT TERHADAP KUAT TEKAN BATA MERAH. Bengkulu: UNIVERITAS BENGKULU.
- Mudhofir, Faiz, Sulhadi, dan Mahardika Prasetya Aji. (2017). KUALITAS GENTENG TANAH LIAT DENGAN CAMPURAN SERBUK KACA. Jakarta: Universitas Negeri Jakarta.
- Nursyamsi, Ivan Indrawan, dan Ika Pujy Hastuty. (2016). PEMANFAATAN SERBUK KACA SEBAGAI BAHAN TAMBAH DALAM PEMBUATAN BATAKO. Malang: Universitas Muhammadiyah Malang.
- Purnawan, Maulid, Martha Fani Cahyandito, dan Tb. Benito A. Kurnani. (2022). POTENSI Sirkular Ekonomi Limbah Kaca (CULLET) BAGI INDUSTRI KACA LEMBARAN DI INDONESIA. Bandung: Jurnal Keramik dan Gelas Indonesia Vol. 31 No. 1.
- Rahman, H., Wisnumurti, Zacoeb, A., 2016, Uji Kuat Tekan Bata Merah Menggunakan Mortar Pasir Kwarsa, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang, Jalan MT. Haryono 167 Malang 65145, Jawa Timur

- Ratri, Amaryllis Kartika, Sriatun, dan Adi Darmawan. (2008). Pengaruh Serbuk Kaca dan Variasi Suhu Pembakaran pada Pembuatan Genteng Lempung Sedimentasi Banjir Kanal Timur Kota Semarang terhadap Kuat Tekan serta Daya Serapnya terhadap Air. Semarang: Universitas Diponegoro.
- SII-0021-1978. (1978). Jakarta: Kementerian Perindustrian
- SNI 15:2094-2000. (2000). Jakarta: BSN
- Winata, Al Havis Ari. (2022). PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH BOTOL KACA TERHADAP DAYA SERAP AIR DAN UJI KUAT TEKAN BATU BATA MERAH. Bukit Tinggi: Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat.

Evaluasi fasilitas dan aksesibilitas pada gedung kantor BPJS kesehatan Sleman

Adena Putri Br Surbaktia*, Hermin Werdiningsih^a

^a, ^a Teknik Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro, Indonesia

ARTICLE INFO

Corresponding author:

Email:

adena.p.sbt@gmail.com

Article history:

Received : 08 June 2024

Accepted : 25 June 2024

Publish : 30 December 2024

Keywords:

accessibility, assessment, BPJS health, facilities, office

ABSTRACT

User diversity in a public building brings up the diversity of user needs. In providing user needs, universal design is the correct answer. However, the importance of universal design's application to create an environment without physical boundaries, age, or gender has not yet been widely realized. Therefore, the need for activities in a building is often not fulfilled, especially for people with disabilities. This also occurs in most office buildings in Indonesia, where the facilities and accessibility provided by offices do not yet meet universal design standards. Facilities and accessibility are among the things that should be considered to ensure that activities carried out within buildings are not hindered. This research aims to evaluate the facilities and accessibility in the BPJS Health Office building in the Sleman branch to determine its compliance with universal design standards. The method applied in this research is a quantitative descriptive approach and evaluative analysis. The data analyzed consists of site data and building data related to the design object in the form of Detailed Engineering Design (DED) drawings. The results of this research indicate that several facilities are already available in the BPJS Sleman Office building, including doors, corridors, ramps, stairs, toilets, and parking areas. However, the facilities and accessibility in the building are not fully compliant with the standards outlined in Ministerial Regulation PUPR No. 14 of 2017 concerning Building Accessibility Requirements. Therefore, recommendations are needed regarding adjustments to the facility and accessibility needs in the BPJS Sleman Office building based on the standards outlined in Ministerial Regulation PUPR No. 14 of 2017.

Copyright © 2024 PILARS-UNDIP

1. Pendahuluan

Dilansir dari Badan Pusat Statistik tahun 2022, data menunjukkan sekitar 8% atau 22,5 juta orang di Indonesia merupakan penyandang disabilitas. Sesuai dengan UU. No. 8 Tahun 2016 mengenai Penyandang Disabilitas, definisi disabilitas merujuk kepada setiap orang dengan keterbatasan fisik, intelektual, sensorik, dan/atau mental. Kelompok yang termasuk di dalamnya diantaranya lain, bayi dan anak-anak, orang tua, ibu hamil, pengguna kursi roda, orang yang bergerak dengan bantuan alat, serta orang dengan gangguan penglihatan dan pendengaran.

Fasilitas publik merupakan sarana yang disediakan untuk kepentingan umum yang digunakan oleh beragam pengguna dengan beragam kebutuhan. Dengan demikian, dibutuhkan penerapan desain universal pada fasilitas publik. Desain universal, menurut Ronal L. Mace, ialah sebagai suatu konsep yang penerapannya pada perancangan berbagai hal (seperti produk/barang, lingkungan, bangunan, fasilitas dan ruang publik, program komputer dan layanan) bertujuan agar semua kelompok pengguna dapat menggunakannya dengan efisiensi yang maksimal, tanpa perlu dilakukannya proses adaptasi atau penyediaan desain khusus. Dalam belasan tahun terakhir, muncul definisi baru mengenai desain

universal oleh Steinfeld dan Maisel. Desain universal merupakan proses yang memberi kemungkinan dan pemberdayaan untuk keberagaman populasi yang meningkatkan kinerja manusia, kesejahteraan dan kesehatan, dan partisipasi sosial. Namun berdasarkan beberapa sumber, upaya dalam penerapan universal desain pada fasilitas umum, termasuk bangunan publik, masih banyak yang belum memenuhi standar aksesibilitas. Kementerian PUPR sendiri terus berupaya dalam pemenuhan pembangunan infrastruktur yang dapat diakses oleh semua orang serta memiliki fasilitas yang ramah terhadap anak-anak, perempuan, orang tua dan difabel. Hal ini dijelaskan dalam prdoman yang menjadi Standar Teknis Fasilitas dan Aksesibilitas Pada Bangunan Gedung dan Lingkungan yang tercantum dalam Peraturan Menteri PU No. 30/PRT/M/2006.

Saat ini, kebutuhan akan aksesibilitas dan fasilitas bagi difabel pada bangunan perkantoran di Indonesia yang masih belum terpenuhi, bahkan terabaikan. Sebagai bangunan publik, kantor seharusnya memperhatikan standar kemudahan bangunan gedung dalam mengupayakan kemudahan akses bagi seluruh pengguna bangunan. Kantor dalam KBBI, pengertian dari kantor ialah suatu tempat, baik berupa gedung, rumah, atau ruangan, di mana pekerjaan atau aktivitas kerja dilakukan, dan juga dikenal sebagai tempat kerja. Moekijat (2008) menjelaskan bahwa kantor adalah setiap tempat yang biayanya digunakan untuk menjalankan pekerjaan administratif, terlepas dari nama yang diberikan pada tempat tersebut.

Kantor BPJS Kesehatan Cabang Sleman merupakan bangunan publik berupa kantor pelayanan umum dengan pengguna bangunan dari berbagai kalangan usia dan gender. Gedung kantor BPJS Kesehatan Sleman akan dikaji berdasarkan Persyaratan Kemudahan Bangunan Gedung dalam Peraturan Menteri PUPR Nomor 14/PRT/M/2017 terhadap fasilitas dan aksesibilitas pada bangunan tersebut. Adapun fasilitas didefinisikan sebagai hal yang dapat mempermudah dan meningkatkan efisiensi dalam pencapaian suatu tujuan tertentu oleh Zakiah Daradjat. Sementara menurut Suryo Subroto, fasilitas merujuk pada apapun yang mampu memperlancar dan mempermudah pelaksanaan suatu usaha, baik berupa barang maupun uang. Berdasarkan ketentuan UU No. 8 Tahun 2016 tentang Penyandang Disabilitas Pasal 1 angka 8, aksesibilitas mengacu pada penyediaan kemudahan kepada penyandang difabel agar mereka dapat mencapai kesetaraan dalam semua aspek kehidupan dan penghidupan. Adapun standar teknis untuk bangunan yang aksesibel dan fasilitasnya tertera dalam Peraturan Menteri PUPR No. 14 tahun 2017 tentang Persyaratan Kemudahan Bangunan Gedung disajikan pada Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3.

Tabel 1. Standar teknis hubungan horizontal

No.	Sub Variable	Rincian Teknis
Pintu		
1	Bukaan	Lebar efektif untuk pintu utama ≥ 90 cm, pintu lainnya ≥ 80 cm.
2	Ruang bebas	Ruang bebas berukuran ≥ 170 cm x 170 cm untuk pintu ayun dengan arah buka keluar pada luar ruangan, dan $\geq 152,5$ cm x 152,5 cm pada dalam ruangan
3	Handle	Jarak tinggi maksimal antara <i>handle</i> dan permukaan lantai sebesar 110 cm Tidak licin, dan bukan tuas putar Tipe tuas, tarik dan dorong, memiliki ujung dengan bentuk yang melengkung ke dalam
4	Pengaman	Pintu kaca diberikan tanda yang kontras dan mudah terlihat
Koridor		
1	Lebar efektif	Minimal ukuran 92 cm, disarankan 152 cm
2	Penanda	Petunjuk arah yang jelas dan informatif
3	Material penutup lantai	Tidak licin

Tabel 2. Standar teknis hubungan vertikal

No.	Sub Variable	Rincian Teknis
Tangga		
1	Dimensi	Tinggi pijakan 15-17 cm Lebar pijakan minimal 28-30 cm. Lebar minimal tangga 120 cm. Pijakan memiliki ukuran yang seragam. Maksimal 12 anak tangga sebelum bordes.

No.	Sub Variable	Rincian Teknis
2	Tekstur lantai	Tidak berlubang
3	Derajat kemiringan	Maksimum 35°
4	Handrail	Minimal ada pada salah satu sisi tangga. Rentang tinggi 65-80 cm. Bagian ujung <i>handrail</i> bulat atau dibelokkan ke arah lantai, dinding atau tiang. Dilengkapi dengan huruf Braille
5	Blauster	Dilengkapi pada sisi tangga yang tidak terdapat dinding. Kisi - kisi rapat
6	Nosing	Lebar maksimal 4 cm
Ramp		
1	Derajat kemiringan	Pada interior maksimal 6° atau 1:10. Pada eksterior maksimal 5° atau dengan perbandingan 1:12 antara tinggi dan kemiringan.
2	Dimensi	Lebar minimal 95cm (tanpa kanstin) dan 120 (dengan kanstin)
3	Panjang jalur	Maksimum 900 cm
4	Tepi pengaman	Tinggi minimal tepi pengaman 10 cm.
5	Lantai	Bertekstur dan tidak licin
6	Handrail	Terdapat (<i>handrail</i> pada kedua sisi ram. Penambahan <i>handrail</i> di tengah untuk ram dengan lebar > 220 cm.) Jarak antara dinding <i>handrail</i> minimal 5 cm Ketinggisan <i>handrail</i> 80 cm dari permukaan lantai
Lift		
Pada bangunan gedung yang memiliki ketinggian > 1 lantai, disediakan lift dengan penyesuaian kebutuhan dan fungsi bangunan gedung.		

Tabel 3. Standar teknis sarana dan prasarana

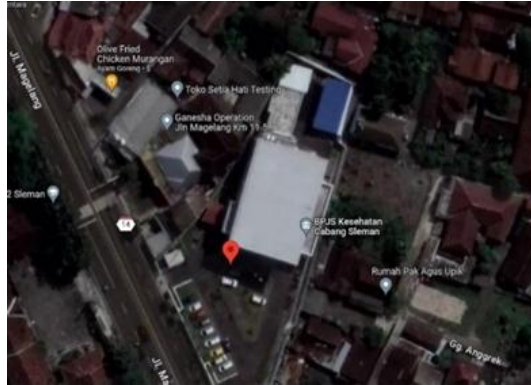
No.	Sub Variable	Rincian Teknis
Toilet		
1	Dimensi	Ukuran ruang $\geq 80 \times 155$ cm untuk toilet umum Ukuran ruang $\geq 152,5 \times 227,5$ cm untuk toilet difabel
2	Pintu	Lebar ≥ 70 cm untuk toilet umum Lebar ≥ 90 cm untuk toilet difabel, membuka ke arah luar
3	Persentase luasan	2% dari luas lantai bangunan gedung
4	Wastafel	Ukuran minimal 45 x 60 cm Ketinggian wastafel 85 cm, 75 cm untuk difabel Ruang bebas minimal 60 cm
5	Urinal	Ketinggian kloset 45 cm untuk pengguna kursi roda
Tempat Parkir		
1	Persentase luasan	20%-30% dari luas lantai bangunan gedung
2	Dimensi area	Ukuran 370 x 500 cm untuk parkir Tunggal dan 620 x 500 cm untuk parkir ganda (parkir mobil difabel) Ukuran 230 x 500 cm untuk parkir mobil pengguna lainnya Parkir sepeda motor 70 x 200 cm
3	Jarak pencapaian	Maksimal 60 m dari pintu masuk bangunan
4	Penanda	Simbol penanda parkir penyandang difabel berwarna kontras, dan memiliki penahan ban
Rambu dan Marka		
Informatif dan mudah terlihat Ukuran disesuaikan dengan jarak baca Jenis material tahan cuaca Warna yang kontras		

2. Data dan metode

2.1. Objek penelitian

Penelitian ini dilakukan di Kantor BPJS Sleman berlokasi di Jl. Magelang No.KM.14, Jetis, Triharjo, Kec. Sleman, Kab. Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Bangunan ini merupakan gedung 3 lantai dengan luas lahan 2.316 m² yang ditunjukkan pada Gambar 1. Adapun batasan lahan bangunan ialah sebagai berikut:

Sebelah timur	: Alifs Bakery, rumah warga
Sebelah barat	: Indomaret Murangan, Ganesha Operation, dan rumah warga
Sebelah utara	: Rumah warga
Sebelah Selatan	: Jalan raya



Gambar 1. Lokasi kantor BPJS Sleman

2.2. Metode penelitian

Penelitian ini akan mengevaluasi kesesuaian fasilitas dan aksesibilitas gedung kantor BPJS kesehatan Sleman terhadap standar yang ada dalam Peraturan Menteri PUPR No. 14 tahun 2017 tentang Persyaratan Kemudahan Bangunan Gedung. Metode yang diterapkan dalam penelitian ini ialah metode deskriptif kuantitatif dan analisis evaluatif. Perolehan data kuantitatif dilakukan dengan studi pustaka, pemahaman gambar kerja, dan studi analisis. Adapun metode analisis evaluatif yang akan dilakukan yaitu dengan pengumpulan data melalui buku pedoman universal desain, artikel dan jurnal, penelitian terdahulu. serta standar yang tertera pada Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 14 Tahun 2017 tentang Persyaratan kemudahan Bangunan Gedung. Data yang akan dievaluasi berdasarkan standar tersebut diperoleh dari gambar kerja (DED) bangunan. Dengan menganalisis data-data tersebut, maka akan dilakukan evaluasi terhadap bangunan kantor BPJS Sleman dengan mengidentifikasi fasilitas dan aksesibilitas serta kesesuaiannya dengan standar yang berlaku.

2.3. Metode pengumpulan data

Data bangunan gedung yang akan dievaluasi berupa gambar kerja (DED) bangunan dan dokumentasi objek penelitian diperoleh dari pihak konsultan PT. Aretas Wicaksana yang ditunjukkan pada Gambar 2 sedangkan dokumentasi kondisi eksisting disajikan pada Gambar 3.



Gambar 2. Gambar kerja kantor BPJS Sleman



Gambar 3. Dokumentasi kantor BPJS Sleman

3. Hasil dan pembahasan

Berdasarkan analisis yang mengacu pada standar Peraturan Menteri PUPR No.14/PRT/M/2017 terhadap gedung kantor BPJS Kesehatan cabang Sleman, memperoleh data hasil yang masing-masing disajikan pada Tabel 4, Tabel 5, dan Tabel 6.

Tabel 4. Standar teknis hubungan horizontal

No	Sub Variable	Rincian Teknis	Hasil Analisis	
Pintu			Sesuai	Tidak Sesuai
1	Bukaan	Lebar efektif untuk pintu utama ≥ 90 cm, pintu lainnya ≥ 80 cm.	PJ1, PJ2, PJ3, P1, P2, P3, P4, P5, P7, P8, P8', P9	
2	Ruang bebas	Ruang bebas berukuran ≥ 170 cm x 170 cm untuk pintu ayun dengan arah buka keluar pada luar ruangan, dan $\geq 152,5$ cm x 152,5 cm pada dalam ruangan	PJ1, PJ3, P2, P8', P9	P5, P6
3	Handle	Jarak tinggi maksimal antara <i>handle</i> dan permukaan lantai sebesar 110 cm	PJ1, PJ2, PJ3, P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P8', P9	
		Tidak licin, dan bukan tuas putar	PJ1, PJ2, PJ3, P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P8', P9	
		Tipe tuas, tarik dan dorong, memiliki ujung dengan bentuk yang melengkung ke dalam	PJ1, PJ2, PJ3, P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P8', P9	
4	Pengaman	Pintu kaca diberikan tanda yang kontras dan mudah terlihat		PJ1, PJ2
Koridor				
1	Lebar efektif	Minimal ukuran 92 cm, disarankan 152 cm	K1, K2	
2	Penanda	Petunjuk arah yang jelas dan informatif		K1, K2
3	Material penutup lantai	Tidak licin	K1, K2	

Tabel 5. Standar teknis hubungan vertikal

No	Sub Variable	Rincian Teknis	Hasil Analisis	
Tangga			Sesuai	Tidak Sesuai
1	Dimensi	Tinggi pijakan 15-17 cm	T1, T2	
		Lebar pijakan minimal 28-30 cm.	T1, T2	
		Lebar minimal tangga 120 cm.	T1, T2	
		Pijakan memiliki ukuran yang seragam.	T1, T2	
		Maksimal 12 anak tangga sebelum bordes.		

No	Sub Variable	Rincian Teknis	Hasil Analisis	
			T1, T2	
2	Tekstur lantai	Tidak berlubang	T1, T2	
3	Derajat kemiringan	Maksimum 35°	T1, T2	
4	Handrail	Minimal ada pada salah satu sisi tangga. Rentang tinggi 65-80 cm. Bagian ujung <i>handrail</i> bulat atau dibelokkan ke arah lantai, dinding atau tiang. Dilengkapi dengan huruf Braille	T1, T2	T1, T2
5	Blauster	Dilengkapi pada sisi tangga yang tidak terdapat dinding.	T1, T2	T1, T2
6	Nosing	Kisi - kisi rapat Lebar maksimal 4 cm	T1, T2	
Ramp				
1	Derajat kemiringan	Pada interior maksimal 6° atau 1:10. Pada eksterior maksimal 5° atau dengan perbandingan 1:12 antara tinggi dan kemiringan.	- R1	
2	Dimensi	Lebar minimal 95cm (tanpa kanstin) dan 120 (dengan kanstin)	R1	
3	Panjang jalur	Maksimum 900 cm	R1	
4	Tepi pengaman	Tinggi minimal tepi pengaman 10 cm.		R1
5	Lantai	Bertekstur dan tidak licin	R1	
6	Handrail	Terdapat (<i>handrail</i> pada kedua sisi ram. Penambahan <i>handrail</i> di tengah untuk ram dengan lebar > 220 cm.) Jarak antara dinding <i>handrail</i> minimal 5 cm Ketinggisan <i>handrail</i> 80 cm dari permukaan lantai		R1
				R1
Lift				
Pada bangunan gedung yang memiliki ketinggian > 1 lantai, disediakan lift dengan penyesuaian kebutuhan dan fungsi bangunan gedung.			Tidak Sesuai	

Tabel 6. Standar teknis sarana dan prasarana

No	Sub Variable	Rincian Teknis	Hasil Analisis	
Toilet			Sesuai	Tidak Sesuai
1	Dimensi	Ukuran ruang ≥ 80 x 155 cm untuk toilet umum Ukuran ruang ≥ 152,5 x 227,5 cm untuk toilet difabel	KM1, KM4 KM3	KM2, KM5
2	Pintu	Lebar ≥ 70 cm untuk toilet umum Lebar ≥ 90 cm untuk toilet difabel, membuka ke arah luar	KM1, KM4, KM3	KM2, KM5
3	Persentase luasan	2% dari luas lantai bangunan gedung	✓	
4	Wastafel	Ukuran minimal 45 x 60 cm Ketinggian wastafel 85 cm, 75 cm untuk difabel Ruang bebas minimal 60 cm	✓ ✓ ✓	
5	Urinal	Ketinggian kloset 45 cm untuk pengguna kursi roda	✓	
Tempat Parkir				
1	Persentase luasan	20%-30% dari luas lantai bangunan gedung	✓	
2	Dimensi area	Ukuran 370 x 500 cm untuk parkir Tunggal dan 620 x 500 cm untuk parkir ganda (parkir mobil difabel) Ukuran 230 x 500 cm untuk parkir mobil pengguna lainnya Parkir sepeda motor 70 x 200 cm	✓ ✓	✓

No	Sub Variable	Rincian Teknis	Hasil Analisis
3	Jarak pencapaian	Maksimal 60 m dari pintu masuk bangunan	✓
4	Penanda	Simbol penanda parkir penyandang difabel berwarna kontras, dan memiliki penahan ban	✓
Rambu dan Marka			
	Informatif dan mudah terlihat		✓
	Ukuran disesuaikan dengan jarak baca		✓
	Jenis material tahan cuaca		✓
	Warna yang kontras		✓

4. Kesimpulan

Berdasarkan acuan standar desain universal, kantor BPJS Kesehatan Sleman sudah menyediakan beberapa fasilitas untuk difabel, ialah koridor; ramp; dan toilet. Namun, berdasarkan hasil evaluasi dari penulis, penerapan universal desain berdasarkan Permen PUPR No. 14/PRT/M/2017 pada gedung kantor BPJS Kesehatan Sleman masih belum sepenuhnya sesuai dengan standar.

- 1) Pada hubungan horizontal, sebagian besar standar telah terpenuhi. Adapaun standar yang belum terpenuhi ialah, ruang bebas dan pengaman untuk pintu, serta penanda untuk koridor.
- 2) Standar universal desain untuk aksesibilitas hubungan vertikal yang belum terpenuhi yaitu, handrail pada tangga dan tepi pengaman pada ramp.
- 3) Untuk sarana dan prasarana gedung kantor ini, standar untuk toilet telah terpenuhi, tempat parkir belum terpenuhi karena belum menyediakan parkir untuk difabel. Lalu untuk rambu dan marka tidak ditemukan pada data (gambar kerja) bangunan yang dievaluasi.

Referensi

- Anindya, L.A. (2020). KAJIAN AKSESIBILITAS TANGGA BERDASARKAN KONSEP UNIVERSAL DESAIN & PREFERENSI PENGGUNA. IMAJI, 9(5),611-620.
- BPJS Kesehatan Kantor Cabang Sleman. Sumber: https://idalamat.com/alamat/3372/bpjs-kesehatan-kantor-cabang-sleman#google_vignette
- Dolph, E. (2021). THE DEVELOPING DEFINITION OF UNIVERSAL DESIGN.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2017). Standar Fasilitas dan Aksesibilitas pada Bangunan Gedung dan Lingkungan Fasilitas Pelayanan Kesehatan, 1-59. Jakarta, Indonesia: Seminar Kesehatan Pengembangan Sinergitas Layanan Kesehatan Inklusi yang Tangguh dan Berkelanjutan bagi Penyandang Disabilitas..
- Keumala, C. R. N. (2016). PENGARUH KONSEP DESAIN UNIVERSAL TERHADAP TINGKAT KEMANDIRIAN DIFABEL: Studi Kasus Masjid UIN Sunan Kalijaga dan Masjid Kampus Universitas Gadjah Mada, INKLUSI: Journal of Disabilities, 3(1),19-39. doi: <https://doi.org/10.14421/ijds.030102>
- Kominfo Perkuat Kolaborasi Aksi Literasi Digital untuk Disabilitas. (22 Oktober 2023). Sumber: https://www.kominfo.go.id/content/detail/47936/siaran-pers-no-35hmkominfo032023-tentang-kominfo-perkuat-kolaborasi-aksi-literasi-digital-untuk-disabilitas/0/siaran_pers#:~:text=Berdasarkan%20data%20Badan%20Pusat%20Statistik,yang%20sebesar%2016%2C5%20juta.
- Kusumaningrum, D. N., Sungkar O.A., Agustin, R.A., Herwiandini, M. (2017). Pengaruh ASEAN Disability Forum Terhadap Pengembangan Ekonomi Penyandang Disabilitas di Indonesia. ResearchGate, 4(01), 13. doi:10.20884/1.ins.2017.4.01.480
- Melampaui Aksesibilitas Ke Desain Universal, Komite Aksesibel WBDG, Jordana L. Maisel, PhD dan Molly Rahanan, Phd. (23 Mei 2024) Sumber: <https://www.wbdg.org/design-objectives/accessible/beyond-accessibility-universal-design>,
- Pedoman Standar Desain Bangunan Gedung BPJS Kesehatan. (23 Mei 2024). Sumber: Scribd
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum. (2006). Nomor : 30/PRT/M/2006 Tentang Pedoman Teknis Fasilitas Dan Aksesibilitas Pada Bangunan Gedung Dan Lingkungan.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2017). Nomor: 14 Tahun 2017 tentang Persyaratan Kemudahan Bangunan Gedung. Jakarta.
- Undang-Undang. (2016). Nomor: 8 tahun 2016 Tentang Penyandang Disabilitas.

Perencanaan ulang jembatan CH kalibanger integrasi BIM 4D

Syifa Pradita^{a*}, Bambang Setiabudi^a, Asri Nurdiana^a

^{a*,a} Teknik Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro, Indonesia

ARTICLE INFO

Corresponding author:

Email:

Sifa223@gmail.com

Article history:

Received : 23 September 2024

Accepted : 25 October 2024

Publish : 30 December 2024

Keywords:

BIM, modeling, bridge, re-planing, tekla

ABSTRACT

Technological developments in the construction world are also growing along with technology development. The application of BIM (Building Information Modeling) is one of the technological developments that can simplify the construction process, optimize time and human resources, and collaboration between stakeholders. Kalibanger Bridge is one of the bridges that crosses the Kalibanger River, connecting Semarang City and Demak Regency. The Kalibanger Bridge Replacement Project has been carried out from September 2022 to October 2023. Based on BIM, the re-planning of Kalibanger Bridge, Semarang City, was done by re-planning, modeling, and project scheduling. The methods presented are data collection, data analysis and structural analysis, 3D modeling using Tekla Structures, preparation of RAB, and scheduling. The re-planning of Kalibanger Bridge with BIM integration is expected to increase the ease and accuracy of the quantity take-off process and facilitate the scheduling process.

Copyright © 2024 PILARS-UNDIP

1. Pendahuluan

Jembatan merupakan bangunan pelengkap jalan yang mempunyai peranan penting pada Jaringan Jalan, memiliki nilai investasi dan sebagai penghubung antar wilayah. Jembatan merupakan bagian dari komponen kritis yang menentukan beban maksimum kendaraan akan dapat lewat dan termasuk fasilitas infrastruktur yang vital bagi kelangsungan perkembangan kegiatan ekonomi, sosial, budaya, dan perpindahan atau jalan akses dalam satu wilayah maupun antar wilayah (Triwiyono, 2013).

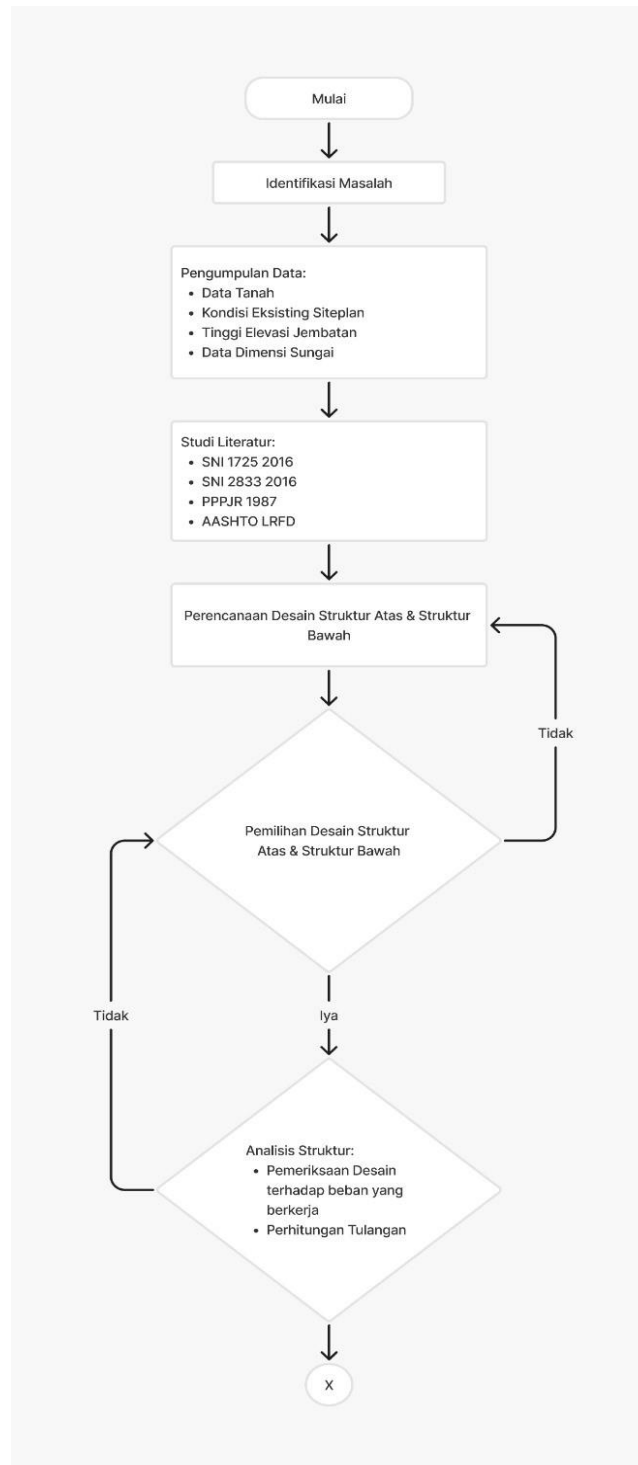
Seiring pertambahan volume lalu lintas dibutuhkan juga sarana yang berguna untuk meningkatkan mobilitas transportasi antar daerah. Jembatan CH kalibanger terletak di Kota Semarang memotong sungai Kalibanger dan menghubungkan Kota Semarang dan Kabupaten Demak yang pada penggantinya, girder jembatan yang digunakan adalah *steel I girder* (SIG). Penggunaan SIG mampu menjadi solusi seiring pertambahan lalu lintas antar kota. Selain itu penggunaan SIG juga lebih praktis karena tidak memerlukan banyak bahan serta dapat dirakit terlebih dahulu di luar *site* sebelum dipasang *on site*.

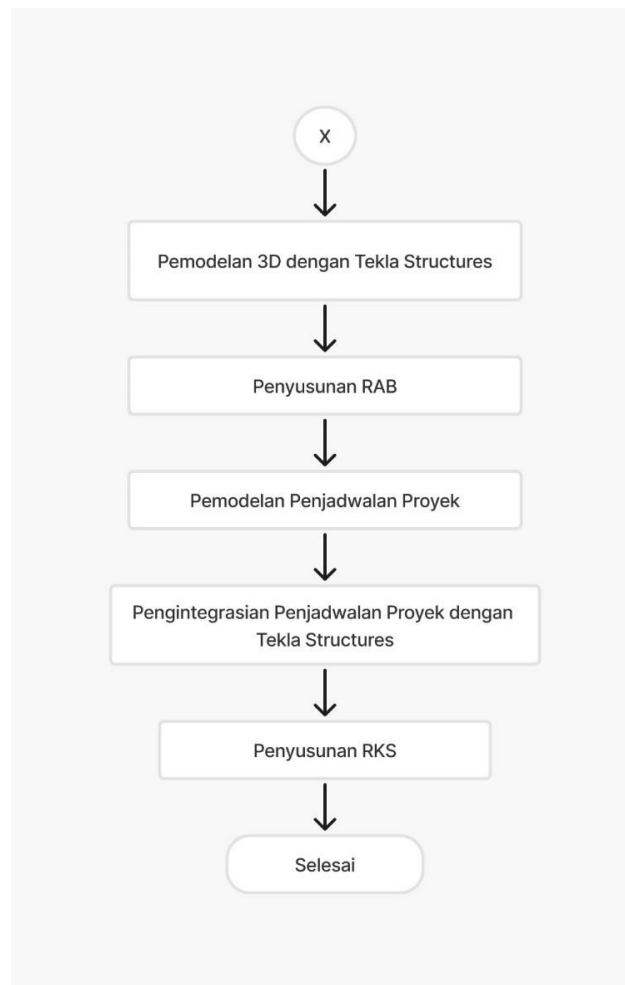
BIM adalah seperangkat kebijakan, proses, dan teknologi yang saling berinteraksi yang menghasilkan metodologi untuk mengelola desain bangunan yang penting dan data proyek dalam format digital di sepanjang siklus hidup bangunan (Succar, 2009). Selain mempermudah proses perencanaan, BIM juga dapat mempermudah proses pelaksanaan konstruksi karena dapat mempercepat proses pekerjaan konstruksi dalam penerapannya. Dalam penelitian Permatasari C.A.B. (2016), mengenai perbandingan aspek biaya dan waktu pada proyek konvensional dan proyek yang menerapkan BIM, adalah dari segi efisiensi waktu, penerapan BIM dapat mempercepat waktu perencanaan sebesar 50%, dari segi SDM dan tenaga, penerapan BIM mengefisiensi SDM sebesar 26.66% dan tenaga kerja sebesar 52.25% dari proyek konvensional. Oleh karena itu, perencanaan ulang ini bertujuan untuk merencanakan ulang jembatan CH kalibanger dengan integrasi BIM untuk

meningkatkan efisiensi perencanaan dan diharapkan dapat meningkatkan efisiensi pekerjaan konstruksi dalam penerapannya di lapangan.

2. Data dan metode

Metode yang digunakan dalam perencanaan ulang ini adalah dimulai dari pengidentifikasian masalah, perumusan masalah, pengumpulan data berupa data tanah, data jembatan eksisting, dan data topografi, studi literatur mengenai standar yang akan digunakan dalam perencanaan ulang yakni SNI 1725 2016 untuk pembebanan jembatan, SNI 2833 2016 untuk pembebanan gempa, PPPJIR 1997 untuk pembebanan struktur atas, serta AASHTO LRFD untuk desain girder baja, analisa struktur, pembuatan model 3D jembatan, penyusunan RAB, pembuatan model penjadwalan terintegrasi. Adapun bagan alir dari perencanaan ulang ini ditunjukkan pada Gambar 1.





Gambar 1. Bagan alir perencanaan

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Pengujian daya serap air

Pengumpulan data meliputi data tanah, data topografi, dan data hidrologi. Berdasarkan analisis, jembatan direncanakan ulang yang disajikan Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Rekapitulasi pengumpulan data perencanaan

Parameter	Nilai
Curah hujan rata-rata	170.86 mm
Debit curah hujan rencana periode 50 tahun	
Debit banjir rencana periode 50 tahun	0.886 mm ³ /jam
Tinggi MAB	11.965 m
Tinggi jagaan	2.446 m
Elevasi rencana jembatan	15 m
Kedalaman fondasi	40 m

Tabel 2. Data teknis rencana jembatan

Parameter	Nilai
Panjang jembatan	30 m

Parameter	Nilai
Lebar jembatan	11 m
Lebar trotoar	2x1 m
Jumlah lajur	2 lajur 2 arah
Lebar jalur kendaraan	9 m
Parameter	Nilai
Median	0 m (tanpa median)
Panjang jalan pendekat	20 m

3.2. Analisis struktur

3.2.1. Parapet

Berdasarkan studi literatur dan pengumpulan data, direncanakan ulang struktur parapet berdasarkan acuan PPPJJR 1987 sebagai manual desain dan pembebanan dengan ketentuan spesifikasi dan mutu yang disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rencana desain dan spesifikasi mutu parapet

Parameter	Nilai
Mutu beton (f_c')	30 Mpa
Mutu baja (f_y)	420 Mpa
Tebal parapet	20 cm
Jarak antar railing	2 m
Ukuran tiang sandaran	16x20 cm
Tinggi tiang sandaran	90 cm (PPPJJR 1987)
Berat jenis beton	2400 kg/m

3.2.2. Plat lantai trotoar

Berdasarkan studi literatur dan pengumpulan data, direncanakan ulang struktur plat lantai trotoar berdasarkan acuan PPPJJR 1987 sebagai manual desain dan pembebanan dengan ketentuan spesifikasi dan mutu yang disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Rencana desain dan spesifikasi mutu plat lantai trotoar

Parameter	Nilai
Mutu beton (f_c')	15 Mpa
Mutu baja (f_y)	420 Mpa
Tebal plat lantai trotoir	10 cm
Tebal minimum	25 cm (PPPJJR 1987)
Berat jenis beton	2400 kg/m

3.2.3. Plat lantai kendaraan

Berdasarkan studi literatur dan pengumpulan data, direncanakan ulang struktur plat lantai kendaraan berdasarkan acuan RSNI-T03-2005 sebagai manual desain dan SNI 1725-2016 untuk perhitungan pembebanan dengan ketentuan yang disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Rencana desain dan spesifikasi mutu plat lantai kendaraan

Parameter	Nilai
Mutu beton (f_c')	30 Mpa
Mutu baja (f_y)	420 Mpa
Tebal perkerasan	5 cm
Tebal minimum	20 cm (RSNI-T03-2005)
Tebal plat lantai kendaraan	30 cm
Berat jenis beton	2400 kg/m
Berat jenis perkerasan	2300 kg/m

3.2.4. Gelagar

Berdasarkan studi literatur dan pengumpulan data, direncanakan ulang struktur plat lantai kendaraan berdasarkan acuan AASHTO LRFD sebagai manual desain dan SNI 1725 2016 untuk perhitungan pembebanan dengan ketentuan spesifikasi dan mutu yang disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Rencana desain dan spesifikasi mutu gelagar

Parameter	Nilai
Mutu baja (f_y)	355 Mpa
Tegangan tarik batas baja (f_u)	440 Mpa
Jarak antar gelagar	1.6 m
Tinggi gelagar minimum	0.99 m (AASHTO LRFD)
Tinggi gelagar rencana	1.2 m
Tebal flens rencana	14 mm
Tebal web minimum	4.3 mm (AASHTO LRFD)
Tebal web rencana	12 mm
Tebal plat <i>stiffener</i> maksimum	3602.8 mm (AASHTO LRFD)
Tebal plat <i>stiffener</i> rencana	1400 mm
Tipe rangka <i>crossframe</i>	Tipe X (AASHTO LRFD)
Sambungan	Las E80XX (SNI 03.1729.2002)
Jumlah <i>shear connector</i>	18 buah untuk 1 bentang
Jarak antar stud (longitudinal)	75 mm
Jarak antar stud (melintang)	333.34 mm
Diameter stud	25 mm

3.2.5. Diafragma

Berdasarkan studi literatur dan pengumpulan data, direncanakan ulang struktur diafragma berdasarkan acuan AASHTO LRFD sebagai manual desain dengan ketentuan spesifikasi dan mutu yang disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Rencana desain dan spesifikasi mutu diafragma

Parameter	Nilai
Mutu baja (f_y)	355 Mpa
Jarak antar diafragma	1.5 m (AASHTO LRFD)
Panjang diafragma	10.5 m

Parameter	Nilai
Profil yang direncanakan	IWF 900.300.16.28
Berat jenis baja	78.5 kN/m ³

3.2.6. Plat injak

Berdasarkan studi literatur dan pengumpulan data, direncanakan ulang struktur plat injak berdasarkan acuan SNI 1725 2016 untuk perhitungan pembebanan dengan ketentuan spesifikasi dan mutu yang disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Rencana desain dan spesifikasi mutu plat injak

Parameter	Nilai
Mutu beton (f_c')	30 Mpa
Mutu baja (f_y)	420 Mpa
Lebar plat injak	9.5 m
Panjang plat injak	5 m
Tebal plat injak	30 cm
Parameter	Nilai
Tebal selimut	4 cm
Tebal efektif plat injak	26 cm
Tebal ACWC	4 cm
Tebal ACBC	6 cm
Tebal AC Base	17.5 cm
Tebal lapis fondasi atas (Agg. Kls A)	18 cm
Tebal perkerasan aspal	5 cm
Berat jenis beton	2400 kg/m ³
Berat jenis perkerasan	2300 kg/m ³

3.2.7. Abutmen

Berdasarkan studi literatur dan pengumpulan data, direncanakan ulang struktur plat injak berdasarkan acuan SNI 1725 2016 untuk perhitungan pembebanan dan SNI 2833 2016 untuk perhitungan beban gempa dengan ketentuan spesifikasi dan mutu yang disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Rencana desain dan spesifikasi mutu abutmen

Parameter	Nilai
Mutu beton (f_c')	30 Mpa
Mutu baja (f_y)	420 Mpa
Tinggi abutment	4 m
Lebar abutment	3.6 m
Tinggi badan abutment	3 m
Panjang badan abutment	1 m
Tinggi pile cap	1.4 m
Panjang pi lecap	3.6m
Tinggi kepala abutment	1.68 m
Panjang kepala abutment	1.23 m
Berat jenis beton	2400 kg/m ³

Parameter	Nilai
Data base soil	$\gamma_2 = 15.89 \text{ kN/m}^3$ $c_2 = 23.54 \text{ kPa}$ $\phi_2 = 20^\circ$
Data backfill	$\gamma_1 = 15.69 \text{ kN/m}^3$ $c_1 = 15.69 \text{ kPa}$ $\phi_1 = 12^\circ$ $\beta = 0^\circ$
Tinggi timbunan	4 m

Berdasarkan hasil keseluruhan pemilihan desain untuk setiap struktur, direncanakan tulangan untuk struktur atas dengan ketentuan yang dapat dilihat pada Tabel 10. dan tulangan yang direncanakan untuk struktur bawah dapat dilihat dengan ketentuan pada Tabel 11.

Tabel 10. Penulangan struktur atas

Struktur	Momen Terfaktor (Mn) (Kg.cm)	Rn	Jenis Tulangan	Tulangan Rencana
Parapet	44000	0.840	Pokok	2D16-200
			Bagi	D13-200
Plat Lantai Trotoar	140530.00	0.760	Pokok	D13-200
			Bagi	D13-200
Plat Lantai Kendaraan	Mux = 9232505.5 Muy = 2027593.53	14.01 2.987	Pokok	D16-100
			Bagi	D13-200
			Pokok	D16-100
Struktur	Momen Terfaktor (Mn) (Kgcm)	Rn	Jenis Tulangan	Tulangan Rencana
			Bagi	D13-200

Tabel 11. Penulangan struktur bawah

Struktur	Momen Terfaktor (Mn) (Kgcm)	Rn	Jenis Tulangan	Tulangan Rencana
Plat injak	665234.375	1.051	Pokok	4D19-100
			Bagi	D13-100
Dinding Atas Abutment	1.503 kNm	-	Pokok	D-16-150
			Bagi	D13-200
Dinding Utama Abutment	2156.46 kNm	-	Pokok	D25-150
			Bagi	5D16-200
Wingwall	161.641 kNm	-	Pokok	D16-150
			Bagi	D13-150
Backwall	276.111 kNm	-	Pokok	D16-150
			Bagi	D13-200
Pile cap	4843 kNm	-	Tekan	10D29-100
			Tarik	10D25-100

3.2.8. Fondasi Tiang Pancang

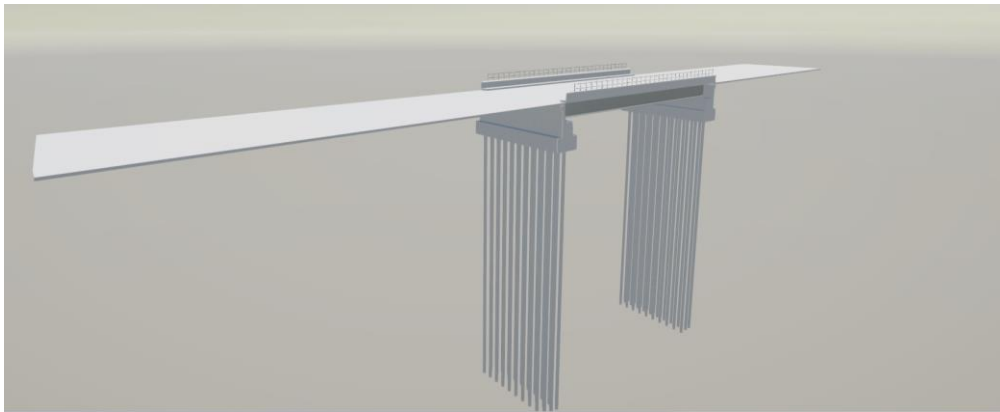
Berdasarkan analisis yang dilakukan, diperoleh data-data yang disajikan pada Tabel 12 meliputi data fondasi yang direncanakan serta hasil analisis pembebanan dari struktur atas dan analisis daya dukung fondasi tiang pancang.

Tabel 12. Spesifikasi dan hasil analisis fondasi tiang pancang

Parameter	Nilai
Diameter fondasi	60 cm
Jenis fondasi	Spun pile pra cetak
Jumlah fondasi	2 x 7
Jarak antar fondasi	180 cm
Kedalaman fondasi	40 m
Daya dukung fondasi	1003.624 Ton (Meyerhof, 1967)
Beban yang diterima fondasi	968.46 Ton

3.3. Pemodelan 3D dengan Tekla Structures

Pembuatan model 3D dengan menggunakan Tekla Structures dilakukan setelah menganalisis struktur atas dan struktur bawah jembatan. Pemodelan 3D jembatan dilakukan untuk setiap komponen struktural seperti beton dan baja tulangan. Hasil dari pembuatan model 3D dengan *Tekla Structures* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil Pemodelan 3D Perencanaan Ulang Jembatan CH Kalibanger

3.4. Penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Hasil perhitungan RAB didapat dari daftar kuantitas berdasarkan pemodelan 3D pada *Tekla Structures* dan disusun berdasarkan ketentuan spesifikasi umum 2018 serta Analisa Harga Satuan Pekerjaan mengacu pada Peraturan Walikota Semarang Nomor 53 Tahun 2021 tentang Standarisasi Harga Satuan Bahan Bangunan, Upah dan Analisa Pekerjaan untuk Kegiatan Pembangunan Pemerintah Kota Semarang Tahun Anggaran 2022 serta *website* <https://maspetruk.dpubinmarcipka.jatengprov.go.id/>. Adapun hasil perhitungan RAB disajikan pada Tabel 13.

Tabel 13. Hasil Perhitungan RAB Perencanaan Ulang Jembatan CH Kalibanger

Nama Pekerjaan	Jumlah Harga (Rp.)
DIVISI 1	166,655,280.00
DIVISI 3	895,642,212.06
DIVISI 5	184,280,793.30
DIVISI 6	2,785,100.30
DIVISI 7	6,214,502,720.08
TOTAL HARGA	7,463,866,105.73

Hasil perencanaan penjadwalan proyek didasarkan dari pembuatan kurva S untuk menilai kenaikan progres rencana apakah baik atau tidak. Adapun kurva S dari hasil perencanaan ditunjukkan pada Gambar 3.



Task Name	Task Type	Planned Production Rate	Planned Start Date
17	Pekerjaan Pon...		7/25/20;
18	Penyediaan TL...		7/25/202
19	Pemancangan...		2/9/2023
20	Pekerjaan Abut...		2/28/20;
21	Pengecoran B...		2/28/202
22	Penulangan St...		3/6/2023
23	Pemasangan ...		3/30/202
24	Pengecoran B...		4/13/202
25	Pekerjaan LRB		5/12/20;
26	Pemasangan ...		5/12/202
27	Pekerjaan SIG		9/27/20;
28	Penyediaan B...		9/27/202
29	Pemasangan ...		5/18/202
30	Pekerjaan Lant...		7/6/202;
31	Penulangan St...		7/6/2023
32	Pemasangan ...		7/20/202
33	Pengecoran B...		7/28/202
34	Pekerjaan Exp...		7/28/20;
35	Pemasangan ...		7/28/202
36	Pemasangan ...		7/28/202
37	Pemasangan ...		7/28/202
38	Pekerjaan Para...		8/8/202;
39	Penulangan St...		8/8/2023
40	Pemasangan ...		8/14/202
41	Pengecoran B...		8/21/202
42	Pemasangan ...		9/4/2023
43	Pekerjaan Trotoir		9/11/20;
44	Pengecoran B...		9/11/202
45	Pemasangan ...		9/15/202
46	Pekerjaan Plat ...		7/28/20;

Gambar 4. Kurva S Perencanaan Ulang Jembatan CH Kalibanger

1) Berdasarkan hasil perencanaan ulang Jembatan CH Kalibanger Kota Semarang, jembatan direncanakan pada STA 0+030 sampai dengan STA 0+100.

- 2) Perencanaan ulang yang dilakukan meliputi struktur jembatan pada STA 0+050 sampai dengan sta 0+080 dan jalan pendekat pada STA 0+030 sampai dengan STA 0+040 serta jalan pendekat pada STA 0+090 sampai dengan STA 0+100.
- 3) Elevasi muka air banjir yang direncanakan pada periode 50 tahun ke depan adalah setinggi 11,9654 m dengan debit banjir rencana pada periode 50 tahun ke depan adalah sebesar 0.663 m³/detik.
- 4) Elevasi jembatan yang direncanakan ulang adalah setinggi 15,0058 m dari dasar sungai mengalami penambahan tinggi setinggi 0,5944 m dari elevasi rencana awal setinggi 14,4114 m dari dasar sungai.
- 5) Dari hasil keseluruhan analisa struktur yang dilakukan pada perencanaan ulang Jembatan CH Kalibanger Kota Semarang dapat disimpulkan bahwasannya struktur aman dalam menahan beban yang diterima.
- 6) Dari hasil perencanaan ulang dengan integrasi BIM yang dilakukan pada Jembatan CH Kalibanger Kota Semarang menggunakan software Tekla Structures dapat disimpulkan bahwasannya penggunaan software Tekla Structures dapat mengefisiensikan proses pemodelan 3D struktur, proses perhitungan volume, serta proses penjadwalan.
- 7) Dari hasil perhitungan rencana anggaran biaya yang dilakukan menggunakan Tekla Structures dapat disimpulkan total harga pekerjaan dalam perencanaan ulang Jembatan CH Kalibanger meliputi biaya umum dan keuntungan serta PPN adalah sebesar Rp. 8.284.891.000,00.
- 8) Dari hasil penjadwalan yang dilakukan dalam perencanaan ulang Jembatan CH Kalibanger Kota Semarang menggunakan Tekla Structures dapat disimpulkan masa pelaksanaan konstruksi berlangsung selama 10 bulan 1 minggu yang dimulai pada 27 Juli 2022 sampai dengan 8 Mei 2023.

Ucapan terima kasih

Terima kasih kepada Universitas Diponegoro, Dosen pembimbing beserta seluruh pihak yang telah membantu proses keberlangsungan pelaksanaan hingga akhir penelitian ini. Ucapan terimakasih penulis sampaikan juga untuk teman-teman yang sudah membantu penelitian ini.

Referensi

- Standar Nasional Indonesia. (2016). *Pembebanan Untuk Jembatan*, SNI 1725-2016 Bandung: Badan Standarisasi Nasional
- Standar Nasional Indonesia. (2005). *Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan*, RSNI T03 2005: Badan Standarisasi Nasional
- Gunawan, Ir. Rudy dengan petunjuk Ir. Morisco, (1988). *Tabel Profil Konstruksi Baja*. Yogyakarta: Kanisius
- Setiawan, Agus. 2008. *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD*. Jakarta: Erlangga
- Anandita, D. (2023). *TUGAS AKHIR PERENCANAAN JEMBATAN BETON PRATEGANG RSUD TEMANGGUNG DENGAN BERBASIS BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)*. Universitas Diponegoro.
- Aringga, A. (2023). *LAPORAN AKHIR MODIFIKASI STRUKTUR ATAS JEMBATAN KALITAKIR KABUPATEN BANYUWANGI MENGGUNAKAN STEEL I GIRDER*. Politeknik Negeri Malang.

Pengaruh penambahan abu sekam terhadap kuat tekan, daya serap air, dan kinerja termal pada beton

Muhammad Akmal Rusmawan^{a*}, Shifa Fauziah^a, Hartono^a

^{a*}, ^a Teknik Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro, Indonesia

ARTICLE INFO

Corresponding author:

Email:

Akmalrusmawan@students.undip.ac.id

Article history:

Received : 16 October 2024

Accepted : 25 November 2024

Publish : 30 December 2024

Keywords:

bricks, compressive strength, rice husk as, thermal, water absorption

ABSTRACT

Bricks are widely used in construction due to their affordability and ease of production, but traditional bricks pose environmental challenges. This study explores improving brick quality by adding rice husk ash (RHA). Two types of bricks, solid and perforated (37 x 15 x 9 cm, with 4 x 7 cm perforations), were tested with RHA additions of 0%, 5%, 10%, 15%, and 20%. Tests included water absorption, compressive strength, and thermal conductivity at 21 days. The results showed that adding up to 10% of RHA significantly improved compressive strength and water absorption. The 10% variation gave the best compressive strength: 4.74 MPa for solid bricks and 4.56 MPa for perforated bricks. However, adding more than 10% reduced strength. The 5% RHA variation had the lowest water absorption, 1.95% for solid bricks and 1.93% for perforated, making it ideal for applications requiring water resistance. Bricks with 20% RHA demonstrated the best thermal performance, reducing temperature rise by 8.23°C in solid bricks and 8.00°C in perforated bricks. The 20% variation also lowered production costs, making it the most economical option. In conclusion, RHA is an effective additive for improving brick quality, with 10% RHA being optimal for strength and water resistance and 20% RHA for thermal performance and cost efficiency.

Copyright © 2024 PILARS-UNDIP

1. Pendahuluan

Batako adalah bahan bangunan yang terbuat dari campuran pasir, semen, dan air yang dicetak dalam bentuk blok atau bata. Batako sering digunakan sebagai alternatif dari batu bata merah karena sifatnya yang lebih ringan, lebih besar, dan biasanya lebih murah (Supribadi, 1986). Namun, batako tradisional memiliki sejumlah kelemahan, terutama terkait dampak lingkungan yang negatif dan kontribusinya terhadap polusi. Penggunaan semen sebagai bahan utama dalam pembuatan batako menimbulkan kekhawatiran karena sifatnya yang tidak terbarukan dan potensi kelangkaan di masa depan (Revo, 2022). Berdasarkan data Industri Research, permintaan semen di Indonesia terus meningkat dari 2003 hingga 2023, yang semakin memperkuat risiko kelangkaan tersebut. Dalam upaya mengatasi potensi kelangkaan semen, inovasi bahan pengganti menjadi penting. Salah satu alternatif yang menjanjikan adalah abu sekam padi, yang kaya akan pozzolan dan silika (Victor & Septianti, 2019). Indonesia sebagai negara agraris besar memiliki potensi limbah pertanian yang belum sepenuhnya dimanfaatkan, salah satunya adalah limbah sekam padi. Berdasarkan data dari Pemerintah Provinsi Lampung, dari luas panen padi sebesar 489.573,23 hektar, diproduksi sekitar 2.485.452,78 ton padi, dan sekitar 60% dari hasil panen ini berupa limbah. Pemanfaatan limbah ini dapat menjadi salah satu solusi untuk mengurangi dampak lingkungan dari sektor konstruksi. Penelitian menunjukkan bahwa abu sekam padi dapat meningkatkan kualitas batako, baik dalam hal kekuatan maupun efisiensi (Meliyana et al., 2019). Silika dalam abu sekam padi berfungsi sebagai pozzolan, yang artinya dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida yang dihasilkan oleh semen

portland, membentuk senyawa silikat yang lebih kuat dan stabil. Proses ini dikenal sebagai efek pozzolan, yang pada akhirnya meningkatkan sifat mekanis dari material bangunan seperti batako (Hendramawat et al., 2021). Selain itu, penelitian juga menunjukkan bahwa penambahan abu sekam padi dalam campuran batako dapat meningkatkan kualitas batako dibandingkan dengan batako konvensional, terutama dari segi densitas dan kekuatan tekan (Rahmaniah et al., 2015). Penelitian sebelumnya masih memiliki keterbatasan, seperti kurangnya variasi persentase abu sekam padi yang diuji dan minimnya analisis menyeluruh terhadap kinerja termal batako. Selain itu, penelitian terdahulu umumnya belum membandingkan hasil dari aspek kuat tekan, daya serap air, analisis biaya, serta kinerja termal secara komprehensif. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengatasi keterbatasan tersebut dengan menguji berbagai variasi penambahan abu sekam padi (0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%) pada batako pejal dan berlubang. Uji ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh penambahan abu sekam padi terhadap kuat tekan, daya serap air, kinerja termal, serta melakukan analisis biaya secara mendalam.

2. Data dan metode

2.1. Metode penelitian

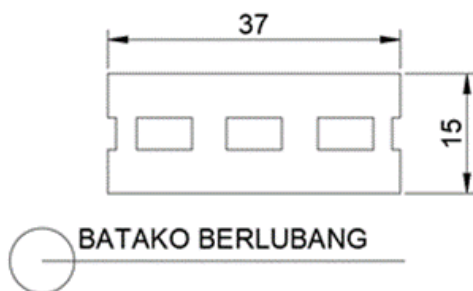
Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimental. Eksperimen dilakukan untuk menguji hipotesis dengan variasi persentase abu sekam padi (ASP) pada batako pejal dan berlubang. Pengujian dilakukan pada umur 21 hari dan hasilnya dikonversi ke umur 28 hari. Penelitian eksperimental ini bertujuan untuk menguji batako pejal dan berlubang dengan ASP terhadap uji kuat tekan, daya serap air, kinerja termal, dan analisis biaya produksi.

2.2. Pengujian material

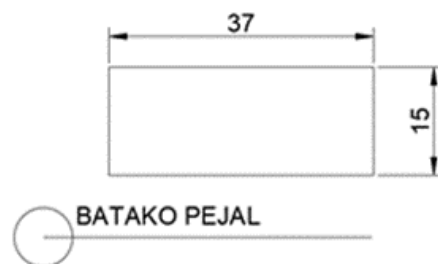
Pengujian kelayakan material dilakukan untuk memastikan bahwa material tersebut memenuhi spesifikasi standar yang berlaku. Pengujian ini dilakukan terhadap agregat halus, yaitu pasir, dengan spesifikasi yang sesuai dengan Uji Saringan Agregat Halus menggunakan standar ASTM C-136. Pengujian agregat halus ini mencakup beberapa uji, yaitu uji saringan agregat halus, uji berat jenis, uji kadar air dan uji zat organik. Pengujian semen mencakup uji konsistensi semen dan uji pengikatan awal yang semuanya dilakukan berdasarkan standar SNI 2049:2015, SNI 1970:2008 dan SNI 03-0349-1989.

2.3. Persiapan desain benda uji

Desain batako pejal dan berlubang disiapkan dengan ukuran 37x15x9 cm. Batako berlubang memiliki tiga lubang sejajar berdiameter 4x7 cm, sesuai dengan penelitian Kurniati, (2018) yang menunjukkan keunggulan dalam hal kuat tekan dan daya serap air. Oleh karena itu, penulis menggunakan batako berlubang dengan spesifikasi tersebut sebagai referensi. Batako pejal yang sering digunakan di pasaran juga diambil sebagai contoh dengan ukuran yang sama. Adapun ilustrasi bentuk batako ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Batako Berlubang



Gambar 2. Batako Pejal

2.4. Pembuatan rancangan campuran

Penelitian ini mengacu pada pedoman SNI 03-0349-1989 dan *mix design* berdasarkan penelitian terdahulu sebagai referensi utama. Komposisi campuran yang digunakan adalah 1 bagian semen (PC)

dan 6 bagian pasir (PS), dengan faktor air semen (FAS) sebesar 0,3. Dalam prosesnya, Abu Sekam Padi disubstitusi dengan semen padi pada variasi 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%. Setelah itu, dilakukan konversi berdasarkan perbandingan volume batako dan berat jenis masing-masing material, sehingga diperoleh massa material yang dibutuhkan untuk setiap komposisi secara tepat. Adapun komposisi rencana campuran disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Rencana Campuran

Volume	Sampel	Semen (gr)	Abu Sekam (gr)	Pasir (gr)	Air (gr)
4995 cm ³ (Pejal)	Variasi A	2.249,89	0	11,132	674,3
	Variasi B	2.138,25	49,95	11,132	641,4
	Variasi C	2.025,33	99,9	11,132	607,6
	Variasi D	1.914,89	149,78	11,132	574,4
	Variasi E	1.799,9	199,8	11,132	539,9
4239 cm ³ (Berlubang)	Variasi A	1.907,55	0	9.451	572,2
	Variasi B	1.814,15	42,46	9.451	544,2
	Variasi C	1.717,1	84,78	9.451	515,1
	Variasi D	1.622,55	123,57	9.451	486,7
	Variasi E	1.526,04	169,56	9.451	457,8

2.5. Metode pembuatan benda uji

Siapkan alat dan bahan yang akan digunakan. Ukur takaran menggunakan timbangan berdasarkan perhitungan *job mix design*. Aduk bahan sampai merata selama kurang lebih dua menit. Masukkan material kedalam cetakan batako pejal dan berlubang. Padatkan material yang telah dimasukkan kedalam cetakan sampai benar-benar padat. Keluarkan batako yang sudah jadi dari cetakan dan letakkan di atas papan. Proses dilakukan secara berulang sampai jumlah 32 benda uji.

3. Hasil dan pembahasan

Pada bagian ini, akan dibahas hasil dari berbagai pengujian yang telah dilakukan terhadap batako dengan variasi penambahan abu sekam padi (ASP). Pengujian meliputi uji material, kuat tekan, daya serap air, kinerja termal, dan analisis biaya produksi. Hasil-hasil ini kemudian dibandingkan dengan penelitian sebelumnya untuk memberikan gambaran yang komprehensif mengenai pengaruh ASP terhadap kualitas batako. Pembahasan ini bertujuan untuk mengidentifikasi variasi ASP yang optimal dalam meningkatkan kualitas batako, baik dari segi kekuatan, ketahanan terhadap air, efisiensi termal, maupun biaya produksi. Dengan demikian, diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam pengembangan material bangunan yang lebih ramah lingkungan dan ekonomis.

3.1. Pengujian material

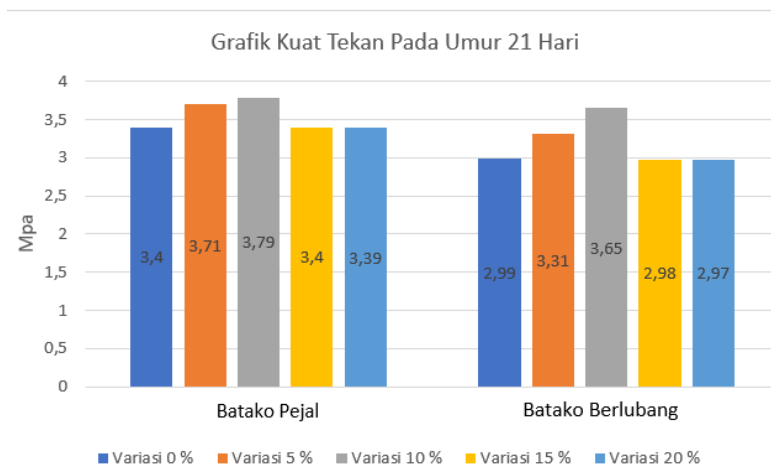
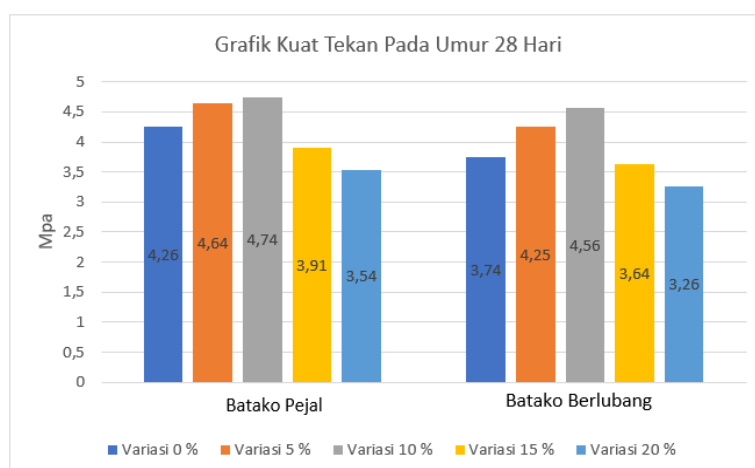
Material yang digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi standar yang berlaku. Agregat halus telah diuji sesuai dengan ASTM C-136 dan SNI 1970:2008, memenuhi persyaratan untuk berat jenis, kadar air, serta kandungan zat organik. Untuk semen, pengujian dilakukan berdasarkan SNI 2049:2015 dan SNI 03-0349-1989, yang memastikan konsistensi serta waktu pengikatan awal sesuai standar yang ditetapkan. Adapun hasil pengujian material disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian material

Jenis Pengujian	Hasil		SNI	Keterangan
Uji Saringan	3.49 %	1,5 – 3,8	ASTM C-136	Memenuhi
Uji Berat Jenis	2.6 gr/cm ³	2,5 – 2,8	SNI 1970:2008	Memenuhi
Uji Kadar Air	0,2 %		SNI 1970:2008	Memenuhi
Uji Zat Organik	Pasir tidak mengandung zat organik yang berlebihan, sesuai dengan standar yang ditetapkan		SNI 1970:2008	Memenuhi
Uji Konsistensi Semen	Pada penambahan air 28% dari berat semen, jarum Vicat menembus hingga kedalaman 10 ± 1 mm		SNI 2049:2015	Memenuhi
Uji Pengikatan Awal Semen	Waktu pengikatan awal: 105 menit (jarum Vicat menembus hingga kedalaman 25 mm pada detik ke-30 setelah dilepaskan)		SNI 03-0349-1989	Memenuhi

3.2. Hasil pengujian kuat tekan benda uji

Pengujian kuat tekan batako dilakukan pada usia 21 hari lalu menggunakan perhitungan konversi untuk mendapat kuat tekan usia 28 hari. Hasil uji kuat tekan batako disajikan pada Gambar 3 dan Gambar 4.

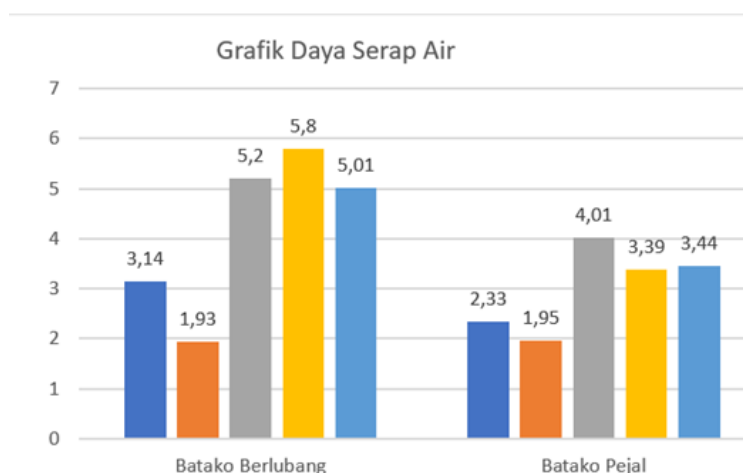
**Gambar 3.** Hasil Pengujian Kuat Tekan Umur 21 Hari**Gambar 4.** Hasil Pengujian Kuat Tekan Umur 28 Hari

Berdasarkan hasil konversi uji kuat tekan batako pada umur 28 hari yang ditunjukkan pada Gambar 3, variasi abu sekam padi (ASP) memberikan pengaruh signifikan terhadap kuat tekan batako, baik pejal maupun berlubang. Pengujian dilakukan pada batako dengan variasi ASP sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%. Hasilnya menunjukkan bahwa penambahan ASP hingga 10% dapat meningkatkan kuat tekan batako, namun penambahan lebih dari itu cenderung menurunkan kualitasnya. Pada variasi 0% ASP, batako pejal memiliki kuat tekan rata-rata 4.26 MPa (Mutu III), sedangkan batako berlubang 3.74 MPa (Mutu IV). Pada variasi 5% ASP, batako pejal meningkat menjadi 4.64 MPa (Mutu III), dan batako berlubang menjadi 4.25 MPa (Mutu III). Pada variasi 10% ASP, batako pejal mencapai kuat tekan tertinggi dengan rata-rata 4.74 MPa (Mutu III), dan batako berlubang 4.56 MPa (Mutu III). Namun, pada variasi 15% ASP, kuat tekan batako pejal menurun menjadi 3.91 MPa (Mutu IV), dan batako berlubang menjadi 3.64 MPa (Mutu IV). Pada variasi 20% ASP, batako pejal memiliki kuat tekan rata-rata 3.54 MPa (Mutu IV), dan batako berlubang 3.26 MPa (Mutu IV). Secara keseluruhan, batako pejal menunjukkan kuat tekan lebih tinggi dibandingkan batako berlubang pada semua variasi ASP.

Hasil ini sejalan dengan penelitian Hendramawat Aski (2021) yang menunjukkan peningkatan kuat tekan beton dengan penambahan 10% abu sekam padi. Penelitian ini juga mendukung temuan Saloma et al. (2018) yang menunjukkan bahwa substitusi 10% abu sekam padi mencapai kuat tekan maksimum. Penurunan ini konsisten dengan temuan Saloma et al. (2018) yang menunjukkan bahwa substitusi abu sekam padi lebih dari 10% tidak memberikan peningkatan kekuatan yang signifikan. Abu Sekam Padi (ASP) dalam pembuatan batako dapat meningkatkan kuat tekan karena bahan ini memiliki sifat yang mendukung terbentuknya struktur yang lebih padat dan kuat. ASP kaya akan kandungan silika, yang berperan sebagai bahan pozzolan. Pozzolan bereaksi dengan kalsium hidroksida yang terbentuk selama proses hidrasi semen, menghasilkan lebih banyak kalsium silikat hidrat, komponen utama yang memberikan kekuatan pada beton dan batako (Baktiar & Alvian, 2021). Dengan demikian, porositas campuran berkurang dan kuat tekan meningkat. Selain itu, serbuk cangkang kerang, yang kaya akan kalsium karbonat (CaCO_3), berfungsi sebagai bahan pengisi yang mengisi rongga-rongga dalam matriks semen, sehingga mengurangi ruang kosong, meningkatkan kepadatan, dan meningkatkan kuat tekan batako.

3.3. Hasil pengujian daya serap benda uji

Pengujian daya serap batako dilakukan pada umur 21. Adapun hasil uji kuat tekan batako ditunjukkan pada Gambar 5.



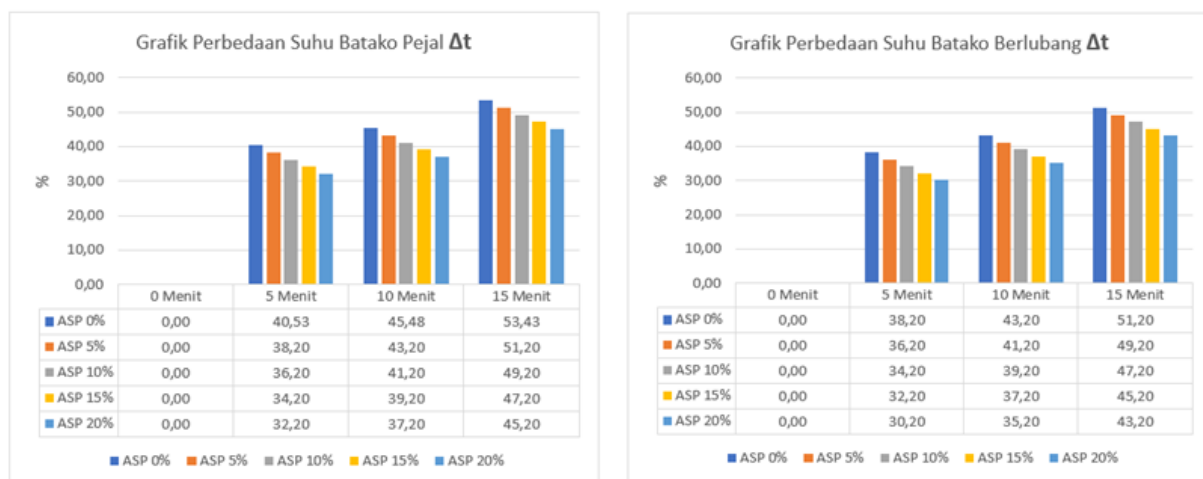
Gambar 5. Hasil Pengujian Daya Serap Air

Hasil pengujian daya serap air pada batako menunjukkan bahwa penambahan abu sekam padi (ASP) mempengaruhi kemampuan batako dalam menyerap air. Variasi 5% ASP menunjukkan daya serap air terendah, yaitu 1,95% untuk batako pejal dan 1,93% untuk batako berlubang, menandakan ketahanan terbaik terhadap air. Sebaliknya, penambahan ASP lebih dari 5% meningkatkan daya serap air, dengan variasi 10% mencatat daya serap tertinggi sebesar 4,01% untuk batako pejal dan 5,20%

untuk batako berlubang. Variasi 15% dan 20% juga menunjukkan peningkatan daya serap air, masing-masing mencapai 3,39% dan 3,44% untuk batako pejal, serta 5,80% dan 5,01% untuk batako berlubang. Hasil ini mendukung penelitian Rahmaniah (2015) yang menunjukkan bahwa penambahan abu sekam padi dapat meningkatkan porositas dan daya serap air. Secara keseluruhan, penambahan ASP hingga 5% memberikan hasil terbaik dalam mengurangi daya serap air, sementara penambahan lebih dari 5% meningkatkan porositas, sehingga meningkatkan daya serap air. Semua variasi tetap memenuhi spesifikasi SNI dan dapat digunakan dalam konstruksi yang memerlukan ketahanan terhadap air.

3.4. Hasil pengujian kinerja termal benda uji

Hasil uji termal pada batako pejal dan berlubang, penambahan abu sekam padi (ASP) terbukti menurunkan meredamkan suhu. Pada batako pejal, peningkatan suhu tanpa ASP selama 15 menit berturut-turut adalah 0.00°C, 40.53°C, 45.48°C, dan 53.43°C, sedangkan dengan ASP 20%, penurunannya mencapai 0.00°C, 32.20°C, 37.20°C, dan 45.20°C. Pada batako berlubang, hasil serupa terjadi, dengan suhu tanpa ASP sebesar 0.00°C, 38.20°C, 43.20°C, dan 51.20°C, dan dengan ASP 20%, turun menjadi 0.00°C, 30.20°C, 35.20°C, dan 43.20°C. Secara keseluruhan, batako berlubang lebih efektif menahan panas dibandingkan batako pejal, dan penambahan ASP meningkatkan kemampuan isolasi termal pada kedua jenis batako. ASP berperan sebagai isolator karena kandungan silika yang baik dalam mengurangi transfer panas, seperti yang dijelaskan oleh Wibowo et al. (2013). Penambahan ASP 20% pada batako pejal menurunkan peningkatan suhu hingga 8.23°C, sedangkan pada batako berlubang menurunkan 8.00°C dalam waktu yang sama. Struktur berlubang pada batako juga memperkuat kemampuan menahan panas karena sirkulasi udara yang lebih baik. Perbedaan ini semakin nyata pada interval 15 menit, di mana batako berlubang tanpa ASP mencapai suhu 51.20°C, sementara batako pejal mencapai 53.43°C. Dengan penambahan ASP 20%, suhu pada batako berlubang turun menjadi 43.20°C, dan pada batako pejal menjadi 45.20°C. Kandungan silika dalam sekam padi, seperti dijelaskan Rahmaniah et al. (2015), membantu menahan panas serta menjaga kestabilan suhu, dengan oksigen dan kadar air rendah pada batako yang mendukung proses peredaman panas. Adapun hasil pengujian termal disajikan pada Gambar 5.

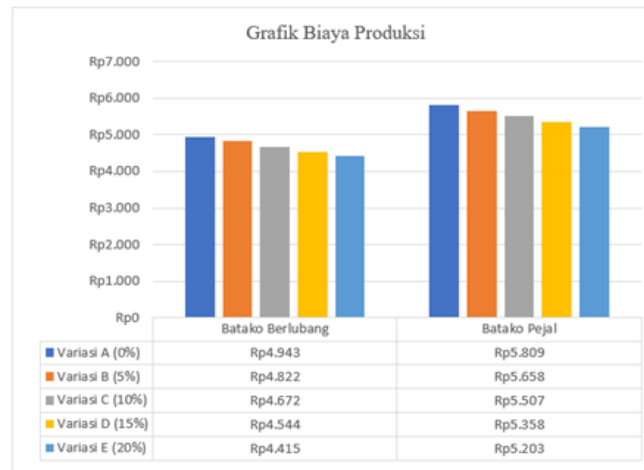


Gambar 5. Hasil Pengujian Kinerja Termal Pejal dan Termal Berlubang

3.5. Analisis biaya

Hasil analisis biaya produksi batako menunjukkan bahwa penambahan abu sekam padi (ASP) secara signifikan mengurangi biaya produksi. Batako konvensional pejal tanpa ASP memiliki biaya produksi sebesar Rp 5.809,00 per buah, sementara batako berlubang tanpa ASP sebesar Rp 4.943,00 per buah. Dengan penambahan ASP, biaya produksi menurun pada setiap variasi. Variasi 5% ASP menurunkan biaya produksi batako pejal menjadi Rp 5.658,00 dan batako berlubang menjadi Rp 4.822,00. Variasi 10% ASP lebih lanjut menurunkan biaya menjadi Rp 5.507,00 untuk batako pejal dan Rp 4.672,00 untuk batako berlubang. Penurunan biaya paling signifikan terjadi pada variasi 20% ASP, dengan biaya produksi batako pejal sebesar Rp 5.203,00 dan batako berlubang sebesar Rp 4.415,00.

Penurunan biaya ini disebabkan oleh pengurangan penggunaan semen, yang sebagian digantikan oleh ASP, yang merupakan limbah pertanian tanpa biaya tambahan. Secara keseluruhan, penambahan ASP hingga 20% terbukti efisien dalam menekan biaya produksi, memberikan manfaat ekonomi sekaligus memanfaatkan limbah pertanian. Semua variasi tetap memenuhi standar SNI 03-0349-1989, menjadikan batako dengan ASP sebagai pilihan yang ekonomis dan ramah lingkungan untuk konstruksi. Adapun hasil analisis biaya ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Daftar Harga/Benda Uji

4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan abu sekam padi hingga 10% dalam campuran batako memberikan peningkatan kuat tekan yang signifikan dan kinerja termal yang baik, sementara penambahan lebih dari 10% cenderung menurunkan kuat tekan dan meningkatkan daya serap air. Semua variasi tetap memenuhi standar SNI dan dapat digunakan dalam konstruksi yang memerlukan ketahanan terhadap air dan panas. Variasi 10% ASP direkomendasikan untuk aplikasi yang memerlukan kekuatan tinggi dan durabilitas, sementara variasi 5% ASP cocok untuk aplikasi yang memerlukan ketahanan terhadap air. Variasi 20% ASP direkomendasikan untuk aplikasi yang memerlukan isolasi termal tinggi. Penambahan ASP juga terbukti efisien dalam menekan biaya produksi, memberikan manfaat ekonomi sekaligus memanfaatkan limbah pertanian. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya mengembangkan bahan bangunan yang lebih ramah lingkungan tetapi juga memberikan solusi konstruksi yang lebih ekonomis dan berkelanjutan. Temuan ini diharapkan dapat diadopsi oleh industri konstruksi untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan dalam penggunaan material bangunan.

Ucapan terima kasih

Terima kasih kepada Universitas Diponegoro, Dosen pembimbing beserta seluruh pihak yang telah membantu proses keberlangsungan pelaksanaan hingga akhir penelitian ini. Ucapan terimakasih penulis sampaikan juga untuk teman-teman yang sudah membantu penelitian ini.

Referensi

- Ahmad, I. A., Atika, F., & Asrib, A. R. (2022). CHARACTERISTICS OF BRICKS WITH RICE HUSK ASH FROM BRICK PRODUCTION WASTE ARTICLE INFO ABSTRACT.
- Baktiar, & Alvian, A. (2021). PENGARUH PENAMBAHAN SERBUK KACA TERHADAP KUAT TEKAN BETON NON-STRUKTURAL.
- Basry Wahiduddi. (2019). Peningkatan Kualitas Batako dengan Penambahan Abu Sekam Padi.
- I Komang Agus Ariana. (2024). Batako Ramah Lingkungan dengan Penambahan Bahan Limbah Abu Sekam Padi sebagai Pengganti Sebagian Semen Mengacu kepada SNI 03-0349-1989.

- Kota, J. T., & Ridha, N. A. (2023). Universitas Pepabri Makassar Pengujian Kuat Tekan Batako dengan Penambahan Abu Sekam Padi (Rice husk ash). Nurul Azmi Ridha, 1(2), 20–21. <http://jurnal.unpepabri.ac.id/index.php/tekstur>.
- Meliyana, M., Rahmawati, C., & Handayani, L. (2019). Sintesis Silika Dari Abu Sekam Padi Dan Pengaruhnya Terhadap Karakteristik Bata Ringan. Elkawnie, 5(2), 164. <https://doi.org/10.22373/ekw.v5i2.5533>
- Parmin Lumbantoruan. (2022). KEMAMPUAN VARIASI CAMPURAN SEKAM PADI PADA BATAKO TERHADAP PEREDAMAN SUHU.
- Pertiwi, N., Aswani Ahmad, I., & Darma Wirawan, G. (2022). SIFAT FISIK DAN KIMIAWI BATAKO RAMAH LINGKUNGAN. Dalam Indonesian Journal of Fundamental Sciences (Vol. 8, Nomor 2).
- Rahman, D. F. (2021). Pengaruh Abu Sekam Padi Sebagai Material Pengganti Semen Pada Campuran Beton Self Compacting Concrete (SCC) Terhadap Kuat Tekan dan Porositas Beton.
- Said Dosen Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi, M. L. (2015). THERMAL CONDUCTIVITY TEST VALUE BATAKO HOLLOW WITH RICE HUSK.
- Simatupang1, F. M., & Purwandito2, M. (2022). Penambahan Bahan Limbah Abu Sekam Padi Pada Campuran Batako Ditinjau Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Lentur.
- Standar Nasional Indonesia Badan Standardisasi Nasional Bata beton untuk pasangan dinding. (t.t.).
- Utary, C. M., Nurlaila, R., Ishak, I., Sylvia, N., & Meriatna, M. (2023). PENGARUH WAKTU DAN SUHU PEMBAKARAN ABU SEKAM PADI PADA PROSES EKSTRAKSI SILIKA DENGAN PELARUT NaOH. Chemical Engineering Journal Storage (CEJS), 3(4), 469. <https://doi.org/10.29103/cejs.v3i4.9795>
- Victor, D., & Septianti. (2019). Pengaruh Penggunaan Abu Sekam Padi terhadap Sifat Mekanik Standar Nasional Indonesia Badan Standardisasi Nasional Bata beton (Paving block).
- Standar Nasional Indonesia Semen portland ICS 91.100.10 Badan Standardisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia 03-0349-1989 Bata Beton Untuk Pasangan Dinding.
- Standar Nasional Indonesia, 15-2049-2004 Semen Portland.
- Standar Nasional Indonesia 1970:2008 Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus.
- Standar Nasional Indonesia 2049:2015 Semen Portland.
- Standar Nasional Indonesia 03-6827-2002 Metode Pengujian Waktu Ikat Awal Semen Portland dengan Menggunakan Alat Vicat Untuk Pekerjaan Sipil.

Pengaruh penggunaan plastik LDPE (*low density polyethylene*) sebagai substitusi aspal dan serbuk kaca sebagai substitusi *filler* pada campuran laston AC-WC

Ageng Surya Adjie^{a*}, Alif Nur Rizqi^a, Riza Susanti^a, Asri Nurdiana^a

^{a*}, ^a Teknik Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro, Indonesia

ARTICLE INFO

Corresponding author:

Email:

agengsa@students.undip.ac.id

Article history:

Received : 21 December 2023

Accepted : 25 June 2024

Publish : 30 September 2024

Keywords:

glass powder, laston AC-WC, LPDE, marshall test, road pavement

ABSTRACT

Road deterioration is a common problem in Indonesia, influenced by population growth, the number of vehicles, and environmental factors. LASTON (Asphalt Concrete Layer) is a type of flexible pavement consisting of a mixture of asphalt, aggregate, and filler, which requires innovation to improve its quality. The objectives of this study were to determine the marshall parameters of LASTON AC-WC mixtures added with LDPE plastic and glass powder variations, obtain the KAO (Optimum Asphalt Content) value, and find the price efficiency of Conventional LASTON AC-WC mixtures and Innovative LASTON AC-WC. The research method used was an experimental test at the Civil Engineering Laboratory of Diponegoro University Vocational School, referring to the 2018 Bina Marga standard (Revision 2). This study designed 15 samples to obtain the KAO value so that the KAO obtained from the marshall test calculation was 5.5%, as well as 27 samples to determine the optimum content of LDPE plastic and Glass Powder with variations in LDPE plastic content of 4%, 5%, and 6% by weight of asphalt and Glass Powder content of 25%, 50%, and 75% by weight of fillers. The variations were tested using hot asphalt mixtures' stability and flow test methods with marshall test equipment referring to the 2018 General Specifications. This study obtained the optimum percentage of LDPE 5% and Glass Powder 75%, which met the requirements of the 2018 General Specifications. The marshall test results show the BJ Bulk value of 2.399 T/m³, VIM 4.901%, VMA 14.063%, VFA 70.393%, Stability 2029.455 kg, Flow 2.297 mm, and MQ 868.783 kg/mm. The cost of conventional asphalt mixture material is Rp 1,046,123, while the cost of innovative asphalt mixture material is Rp 987,017; thus, the innovative asphalt mixture material is more economical, with a price difference of Rp 59,105.90/ton.

Copyright © 2024 PILARS-UNDIP

1. Pendahuluan

Jalan raya adalah salah satu metode transportasi darat utama yang memiliki manfaat penting dalam mendorong pertumbuhan ekonomi negara. Salah satu ukuran kekuatan sebuah negara adalah kualitas hidup nasionalnya, yang mencerminkan kemajuan dan kesejahteraan masyarakat. Kerusakan jalan sudah menjadi hal yang biasa terjadi di jalanan Indonesia. Menurut data statistik dari Direktorat Jenderal Bina Marga, persentase jalan dalam kondisi baik adalah 44,89%, persentase jalan dalam kondisi sedang adalah 47,92%, persentase jalan dalam kondisi rusak ringan adalah 5,12%, dan persentase jalan dalam kondisi rusak berat adalah 2,07%. Persentase ini diproyeksikan akan terus meningkat di tahun-tahun mendatang.

Seiring bertambahnya jumlah penduduk dan kendaraan, kualitas jalan beraspal menurun karena faktor lingkungan, perubahan pola cuaca, dan beban kendaraan. Kerusakan jalan yang dibiarkan tanpa perbaikan dapat mengakibatkan deformasi lebih lanjut seperti lubang, patahan, dan gelombang. Lapisan perkerasan di bawahnya juga dapat terpengaruh, yang memerlukan perbaikan segera untuk menjaga kinerja jalan. Untuk meningkatkan kinerja perkerasan jalan, berbagai sumber kerusakan jalan harus diperbaiki (PUPR, 2020).

Secara umum, jalan raya di Indonesia terdiri dari dua jenis perkerasan: perkerasan kaku dan perkerasan fleksibel. Lapisan teratas dari lapisan perkerasan lentur disebut LASTON (Lapis Aspal Beton), yang terdiri dari kombinasi aspal, filler, dan agregat kasar, halus, dan kasar. LASTON terbagi menjadi tiga kategori berdasarkan fungsinya: AC-BASE (Asphalt Concrete-Base), AC-BC (Asphalt Concrete-Bearing Course), dan AC-WC (Asphalt Concrete-Wearing Course). Aspal modifikasi adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan aspal yang telah ditambahkan elemen tambahan untuk menciptakan campuran aspal berkualitas tinggi dengan harga terjangkau (Satyagraha, 2018).

Menurut data dari Badan Pusat Statistik (BPS) dan Asosiasi Industri Plastik Indonesia (Inaplas) menunjukkan bahwa Indonesia menghasilkan 64 juta ton sampah plastik setiap tahunnya, dimana 3,2 juta ton diantaranya dibuang ke laut. Karena bahan plastik sangat sulit terurai, sampah plastik menjadi masalah sampah terbesar di dunia, termasuk di Indonesia. Polietilena LDPE (Low Density Polyethylene) adalah salah satu dari beberapa bentuk plastik. Salah satu bentuk plastik polietilena yang lembut, fleksibel, dan mudah didapat disebut LDPE. Barang-barang sehari-hari seperti pembungkus makanan dan minuman plastik transparan sering kali terbuat dari plastik LDPE (Hidayati, Rifqi, & Amin, 2021). Low Density Polyethylene, atau LDPE, adalah plastik termoplastik dengan densitas rendah yaitu 0,910 hingga 0,940 gr/cm³. Oksidator kuat dan beberapa jenis pelarut dapat merusak LDPE, meskipun tidak reaktif pada suhu ruang (Wantoro et al., 2013). Bahan plastik dipilih sebagai bahan tambah karena jumlahnya yang melimpah di alam sebagai sampah yang sulit terurai dan karena komposisi aspal mengandung komponen yang berpotensi untuk meningkatkan ketahanan material melalui interaksi dengan polimer dan bahan sintetis. Penggunaan plastik dapat meminimalisir kerusakan lingkungan selain meningkatkan sifat aspal (Razak & Erdiansa, 2016). Oleh karena itu, sangat penting untuk menggunakan sampah plastik dalam sektor lain, seperti bahan aditif aspal yang dapat menjadi alternatif dari pengelolaan limbah sampah plastik.

Menurut Kementerian Lingkungan Hidup (KNLH), 0,7 ton sampah kaca dihasilkan setiap tahunnya oleh 26 kota terbesar di Indonesia. Pecahan botol, piring, lembaran, kaca mobil (kaca pengaman), dan barang pecah belah lainnya merupakan bentuk umum dari sampah kaca (Suyoto, 2008). Sampah kaca dapat didaur ulang menjadi sesuatu yang berguna, seperti bahan pengisi semen untuk campuran aspal, sebagai upaya untuk mengurangi jumlah sampah kaca yang dihasilkan. Limbah Kaca berfungsi sebagai bahan anti-pengupasan dan dapat menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim seperti perubahan udara, air, atau suhu, limbah kaca digunakan sebagai bahan pengisi pada campuran aspal beton. Hal ini dikarenakan campuran tersebut dapat menahan beban lalu lintas yang berulang-ulang, seperti berat kendaraan dan gesekan antara roda dan permukaan jalan (Hartini, 2020).

Selain itu, karena meningkatnya permintaan campuran aspal, inovasi diperlukan untuk meningkatkan kualitasnya. Contohnya adalah penggunaan limbah kaca dan LDPE sebagai bahan tambahan pada campuran aspal. Hasil penelitian LASTON AC-WC dengan kadar penambahan plastik LDPE (Low Density Polyethylene) 4%-6% mengakibatkan terjadinya peningkatan nilai marshall yang telah memenuhi standar Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 (Irwansyah et al, 2023). Pada campuran LASTON dengan kadar plastik LDPE sebesar 6% dan kadar aspal sebesar 4% mengakibatkan nilai stabilitas tertinggi yang membuktikan bahwa semakin banyak kadar plastik yang digunakan dalam campuran LASTON akan dapat meningkatkan nilai stabilitas sampai batas tertentu (Setyarini et al, 2019). Kemudian, penelitian tentang LASTON dengan penggunaan kadar Serbuk Kaca 75% terhadap total berat filler dapat meningkatkan stabilitas dan kekakuan campuran sehingga lebih mampu untuk menerima pembebanan (Yuniarti et al, 2019). Pada penelitian tentang kombinasi LASTON yang menggunakan serbuk limbah kaca dengan kadar 0%, 15%, 50%, dan 75% menunjukkan bahwa semakin banyak variasi yang digunakan, semakin baik hasil yang diperoleh dan sejauh mana campuran tersebut memenuhi parameter karakteristik Marshall (Hartini, 2020). Berdasarkan penelitian sebelumnya, peneliti menggunakan limbah LDPE (Low Density Polyethylene) dan Serbuk

Kaca agar menghasilkan campuran yang ramah lingkungan dan unggul dibandingkan campuran LASTON tanpa bahan tambahan.

Berdasarkan uraian diatas dilakukan pembuatan Campuran LASTON AC-WC dengan memanfaatkan plastik LDPE sebagai substitusi aspal dan Serbuk Kaca sebagai substitusi filler menggunakan marshall test. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi solusi material inovasi perkerasan jalan yang berkualitas tinggi, ramah lingkungan dan harga yang terjangkau.

2. Data dan metode

2.1. Metode penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan metode kuantitatif eksperimental untuk mengetahui dan menganalisis LASTON modifikasi AC-WC dengan substitusi LDPE (Low Density Polyethylene) pada campuran aspal dan substitusi Serbuk Kaca sebagai filler terhadap LASTON konvensional. Metode ini dilakukan secara langsung dan objektif di Laboratorium Transportasi, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro. Penelitian ini menguji variasi substitusi LDPE (Low Density Polyethylene) dan Serbuk Kaca terhadap parameter marshall campuran beraspal panas dengan alat marshall. Variasi yang digunakan adalah LDPE 4%, 5%, dan 6% terhadap berat aspal serta Serbuk Kaca 25%, 50%, dan 75% terhadap berat filler. Tahapan penelitian ini meliputi pengujian kelayakan material, persiapan bahan inovasi, dan pembuatan rancangan campuran laston AC-WC.

2.2. Pengujian kelayakan material

Pengujian kelayakan material merupakan suatu pengujian untuk menentukan kelayakan suatu material agar memenuhi spesifikasi. Penulis melakukan pengujian ini mengacu pada Spesifikasi Umum 2018 (Revisi 2). Pengujian yang dilakukan berupa pengujian terhadap agregat kasar, agregat halus, filler, dan aspal. Untuk campuran pada aspal menggunakan plastik LDPE (Low Density Polyethylene) tidak dilakukan pengujian kelayakan. Agregat kasar sesuai dengan jenis campuran untuk LASTON AC-WC, yaitu tertahan saringan $\frac{1}{2}$ dan $\frac{3}{8}$. Ketentuan agregat halus berupa pasir maksimal 15% terhadap berat total campuran, sehingga digunakan agregat halus berupa abu batu untuk memenuhi kebutuhan agregat halus. Filler yang digunakan berupa filler semen dan serbuk kaca. Aspal yang digunakan berupa jenis aspal penetrasi 60/70.

2.3. Persiapan bahan inovasi

Adapun persiapan bahan inovasi pada penelitian ini ada beberapa tahapan sebagai berikut:

1) Pengolahan plastik LDPE (*Low Density Polyethylene*)

Persiapan bahan inovasi dilakukan untuk mengolah material plastik LDPE sebelum ditambahkan ke dalam campuran beraspal. Plastik LDPE harus dibersihkan terlebih dahulu dari berbagai debu maupun kotoran dan dipotong sampai menjadi ukuran yang lebih kecil. Adapun ilustrasi persiapan bahan plastik LDPE ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Plastik LDPE

2) Pengolahan serbuk kaca

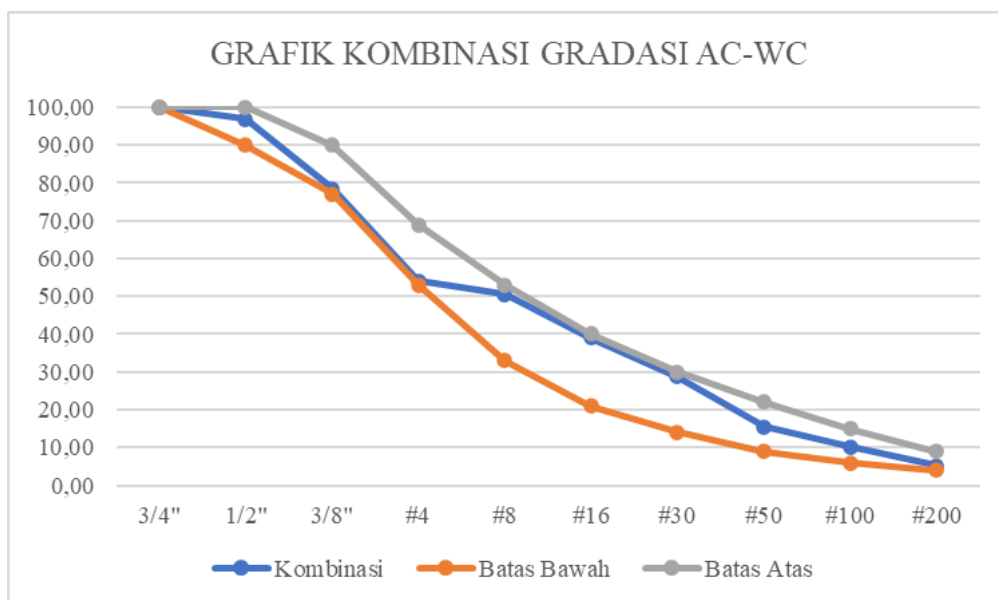
Serbuk kaca yang dijadikan sebagai bahan tambahn campuran *filler*, serbuk kaca terlebih dahulu dilakukan penyaringan menggunakan saringan No. 200 (0,075 mm). Serbuk kaca yang telah lolos ayakan selanjutnya dioven pada suhu 300°C sampai dengan butiran kering. Adapun ilustrasi pengolahan serbuk kaca ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Serbuk Kaca

2.4. Pembuatan rancangan *job mix* LASTON AC-WC

Tahap pertama adalah pembuatan JMD (*Job Mix Design*) bertujuan untuk mengetahui layak atau tidaknya rencana campuran. Tahap kedua JMF (*Job Mix Formula*) yaitu perancangan menggunakan hasil dari JMD untuk mengetahui proporsi material yang paling optimum dalam pembuatan benda uji marshal inovasi dengan substitusi LDPE (*Low Density Polyethylene*) dan Serbuk Kaca. Pembuatan JMD dimulai dengan pengujian analisis saringan material untuk menentukan kombinasi agregat pada campuran beraspal yang akan dibuat. Adapun hasil kombinasi gradasi AC-WC ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Kombinasi Gradasi AC-WC

Hasil pengolahan data seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 didapatkan bahwa persentase agregat campuran beraspal dengan rincian agregat kasar ¾" 7%, agregat kasar ½" 40%, agregat halus (pasir) 14%, agregat halus (abu batu) 37%, dan *filler* 2%. Hasil dari presentase tersebut digunakan untuk menentukan rincian kebutuhan agregat kasar, agregat halus, filler, dan aspal untuk pembuatan satu buah sampel benda uji marshal LASTON AC-WC sebesar 1200 gr. Setelah didapatkan kombinasi gradasi agregat AC-WC melalui pengujian analisis saringan, kemudian pembuatan rancangan JMD (*Job Mix Design*) benda uji konvensional

menggunakan kadar aspal 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5% dengan jumlah 3 sampel tiap variasi. Pembuatan benda uji konvensional bertujuan untuk mendapatkan nilai KAO yang akan dipakai sebagai kadar aspal optimum benda uji inovasi. Adapun variasi kadar aspal konvensional disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Variasi Kadar Aspal Konvensional

Variabel	Kadar Aspal (%)	Benda Uji (buah)
XA1; XA2; XA3	4,5	3
XB1; XB2; XB3	5,0	3
XC1; XC2; XC3	5,5	3
XD1; XD2; XD3	6,0	3
XE1; XE2; XE3	6,5	3

Variasi aspal yang disajikan pada Tabel 1 digunakan untuk menentukan KAO (Kadar Aspal Optimum) untuk pembuatan benda uji inovasi marshall LASTON AC-WC dengan berat total campuran sebesar 1200 gr. Adapun rancangan *job mix design* untuk menghitung kebutuhan material benda uji konvensional disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. *Job Mix Design* Benda Uji Konvensional

Material	Kadar Aspal Hasil KAO					Berat Total (gr)
	4,5%	5,0%	5,5%	6,0%	6,5%	
Agregat 3/4	80,22	79,8	79,38	78,96	78,54	1190,7
Agregat 1/2	458,4	456	453,6	451,2	448,80	6804
Abu Batu	424,02	421,8	419,58	417,36	415,14	6293,7
Pasir	160,44	159,6	158,76	157,92	157,08	2381,4
Filler	22,92	22,8	22,68	22,56	22,44	340,2
Kadar Aspal	54,00	60,00	66,00	72,00	78,00	990

Setelah didapatkan nilai KAO, kemudian pembuatan rancangan JMF (*Job Mix Formula*) benda uji inovasi dengan substitusi LDPE (*Low Density Polyethylene*) dan Serbuk Kaca. Adapun komposisi LDPE (*Low Density Polyethylene*) yang digunakan adalah 4%, 5%, dan 6% dari total berat aspal dan kadar Serbuk Kaca yang digunakan adalah 25%, 50%, dan 75% terhadap berat *filler* sebanyak masing-masing berjumlah 3 buah sampel. Adapun variasi kadar LDPE dan serbuk kaca disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Variasi Kadar LDPE dan Serbuk Kaca

Variabel	Kadar LDPE (%)	Kadar Serbuk Kaca (%)	Benda Uji (buah)
AR1; AR2; AR3	4	25	3
BS1; BS2; BS3		50	3
CT1; CT2; CT3		75	3
DU1; DU2; DU3		25	3
EV1; EV2; EV3	5	50	3
FW1; FW2; FW3		75	3
GX1; GX2; GX3		25	3
HY1; HY2; HY3		6	50
IZ1; IZ2; IZ3	75		3

Variasi aspal tersebut digunakan untuk menentukan berat aspal dengan substitusi LDPE (*Low Density Polyethylene*) dan berat *filler* (semen) dengan substitusi Serbuk Kaca, untuk pembuatan benda uji inovasi marshall LASTON AC-WC dengan berat total campuran sebesar 1200 gr. Adapun rancangan *job mix formula* untuk menghitung kebutuhan material substitusi kadar LDPE (*Low Density Polyethylene*) dan kadar Serbuk Kaca pada Tabel 4.

Tabel 4. *Job Mix Formula* Benda Uji Inovasi

Material	Kadar LDPE									Berat Total (gr)
	4%			5%			6%			
	Kadar Serbuk Kaca									
	25%	50%	75%	25%	50%	75%	25%	50%	75%	
Agregat ¾	79,38	79,38	79,38	79,38	79,38	79,38	79,38	79,38	79,38	2143,26
Agregat ½	453,60	453,60	453,60	453,60	453,60	453,60	453,60	453,60	453,60	12247,2
Abu Batu	419,58	419,58	419,58	419,58	419,58	419,58	419,58	419,58	419,58	11328,66
Pasir	158,76	158,76	158,76	158,76	158,76	158,76	158,76	158,76	158,76	4286,52
Semen	17,01	11,34	5,67	17,01	11,34	5,67	17,01	11,34	5,67	306,18
Serbuk Kaca	5,67	11,34	17,01	5,67	11,34	17,01	5,67	11,34	17,01	306,18
LDPE	2,64	2,64	2,64	3,30	3,30	3,30	3,96	3,96	3,96	89,1
Kadar Aspal	63,36	63,36	63,36	62,70	62,70	62,70	62,04	62,04	62,04	1692,9

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil pengujian kelayakan material

Berdasarkan pengujian kelayakan material yang akan digunakan pada penelitian ini, semua material telah memenuhi syarat Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2). Hasil pengujian material tersebut akan digunakan sebagai material dalam pembuatan benda uji inovasi. Adapun hasil pengujian kelayakan material pada penelitian ini sebagai berikut:

1) Pengujian aspal

Adapun hasil pengujian aspal telah memenuhi syarat spesifikasi yang disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Aspal

Pengujian	Satuan	Nilai	Spesifikasi
Berat Jenis	Kg/m ³	1,132	Min. 1,0
Uji Penetrasi	(0,1 mm)	63,7	60 – 70
Daktilitas	cm	150	Min. 100
Titik Lembek	°C	48,5	Min. 48

2) Pengujian agregat kasar

Adapun hasil pengujian agregat kasar telah memenuhi syarat spesifikasi yang disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengujian Agregat Kasar

Pengujian	Satuan	Nilai Agregat Kasar		Spesifikasi
		$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	
Berat Jenis	Kg/m ³	2,630	2,724	Min. 2,5
Penyerapan	%	2,001	2,057	Maks. 3 %
Kelekatan	%	95	95	Min. 95 %
Keausan Agregat	%	11,69	11,69%	Maks. 30 %
Material Lolos No.200	%	1,69%	0,91%	Maks. 2 %

3) Pengujian agregat halus

Adapun hasil pengujian agregat halus telah memenuhi syarat spesifikasi yang disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Pengujian Agregat Halus

Pengujian	Satuan	Nilai Agregat halus		Spesifikasi
		Abu Batu	Pasir	
Berat Jenis	Kg/m ³	2,566	2,678	Min. 2,5
Penyerapan	%	2,56	1,21	Maks. 3 %
Material Lolos No.200	%	9,20	7,30	Maks. 10 %
Sand Equivalent	%	79,46	94,57	Min. 50 %

4) Pengujian *filler*

Adapun hasil pengujian *filler* telah memenuhi syarat spesifikasi yang disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Pengujian *Filler*

Pengujian	Satuan	Nilai <i>Filler</i>		Spesifikasi
		Semen	Serbuk Kaca	
Berat Jenis	Kg/m ³	2,745	2,050	-
Penyerapan	%	5,5	3,466	-
Material Lolos No.200	%	97,13	88,17	Min. 75%

3.2. Pengujian *marshal test* benda uji konvensional

Pengujian marshal dilakukan pada semua variasi sampel untuk variabel VIM (Void in the Mix), VMA (Void in the Mineral Aggregate), VFA (Void Filled with Asphalt), Stabilitas, Flow, dan MQ (Marshall Quotient). Adapun hasil rekapitulasi masing-masing pengujian variabel tersebut disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Rekapitulasi Nilai Marshall Benda Uji Konvensional

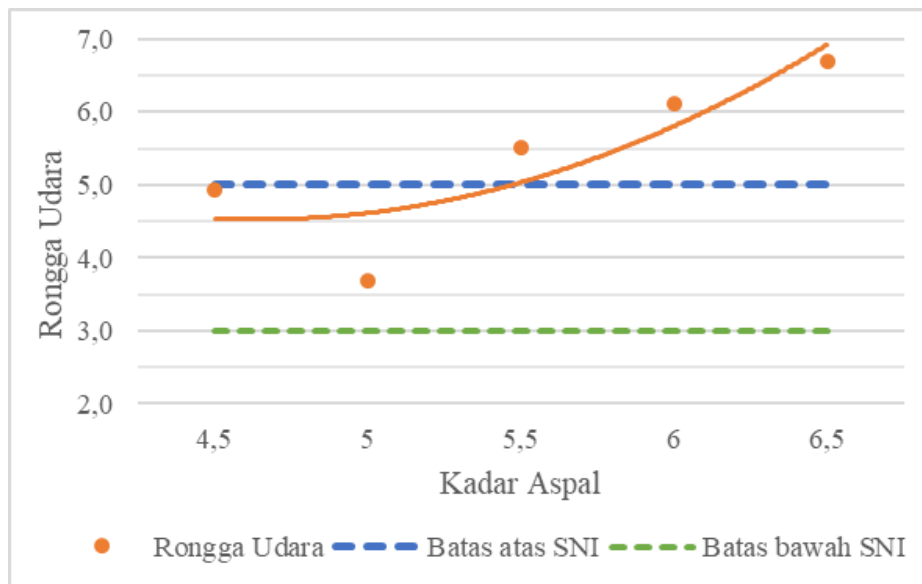
Kadar Aspal	VIM	VMA	VFA	Stabilitas	Flow	MQ
Spesifikasi	3-5%	Min. 15 (%)	Min. 65 (%)	Min. 800 (Kg)	2-4 (mm)	Min. 250 Kg/mm
4,5%	4,931	12,129	66,318	1802,077	2,500	706,732
5%	3,684	12,026	74,677	1895,565	2,413	791,212
5,5%	5,508	14,708	67,841	1925,794	2,210	853,042
6%	6,109	16,246	67,213	1541,651	2,420	626,134
6,5%	6,699	17,750	66,645	1628,756	3,077	524,982

3.3. Hasil analisis marshal test benda uji konvensional

Hasil pengujian masing-masing variabel pada *marshal test* akan jelaskan sebagai berikut:

1) Rongga udara/VIM

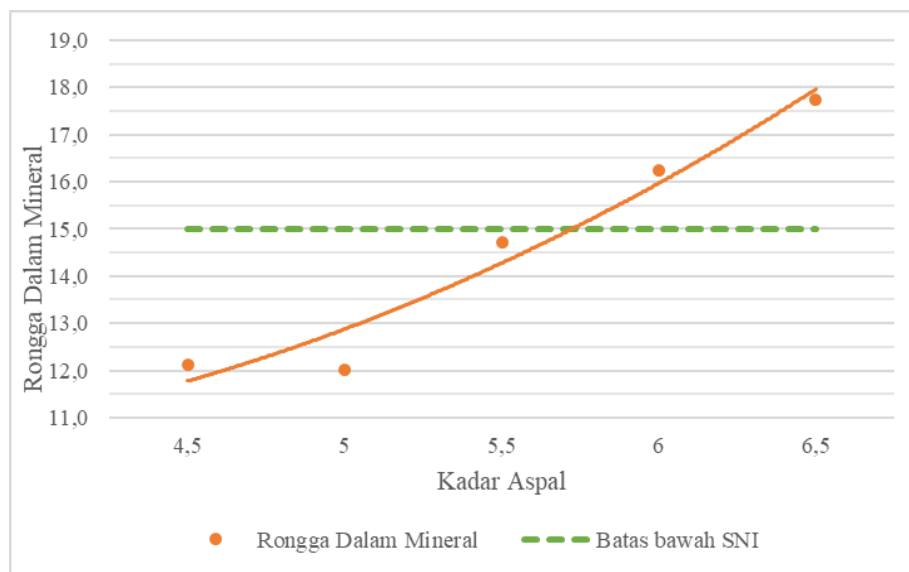
Gambar 4 menunjukkan bahwa kadar aspal 4,5% - 5% memenuhi Spesifikasi Umum 2018 (Rev. 2) sebesar 3 - 5% dengan nilai yang didapat 3,684% - 4,931%.



Gambar 4. Grafik Nilai Rongga Udara/VIM

2) Rongga dalam mineral/VMA

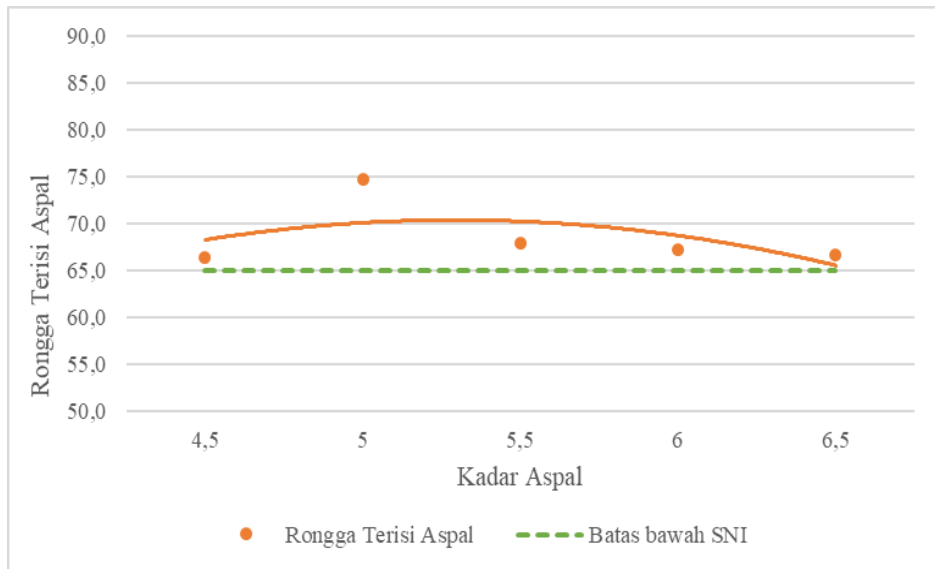
Gambar 5 menunjukkan bahwa kadar aspal 6% – 6,5% memenuhi Spesifikasi Umum 2018 (Rev. 2) sebesar $\geq 15\%$ dengan nilai yang didapat 16,246% - 17,750%.



Gambar 5. Grafik Rongga dalam Mineral/VMA

3) Rongga terisi aspal/VFA

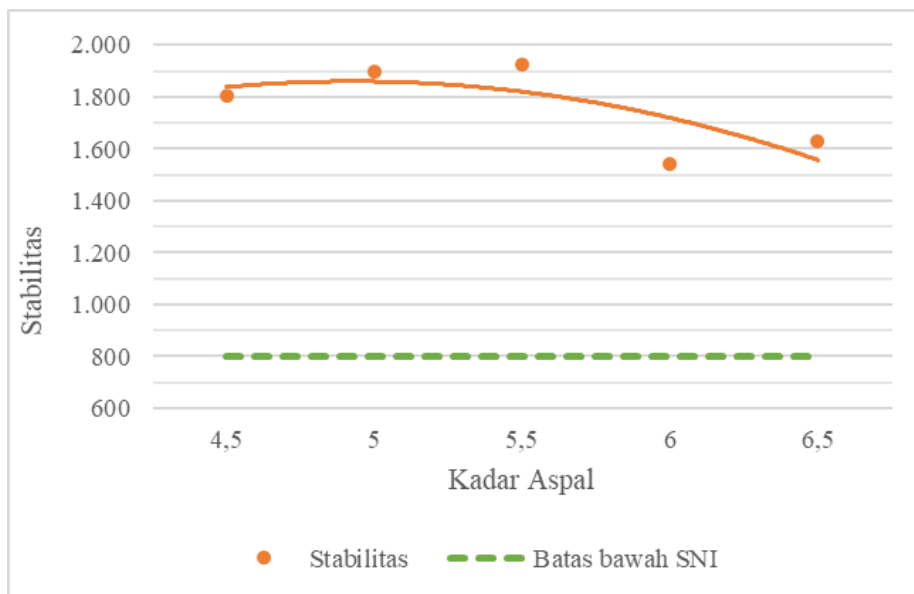
Gambar 6 menunjukkan bahwa kadar aspal 4,5% - 6,5% memenuhi Spesifikasi Umum 2018 (Rev. 2) sebesar $\geq 65\%$ dengan nilai yang didapat 66,318% - 74,677%.



Gambar 6. Grafik Stabilitas

4) Stabilitas

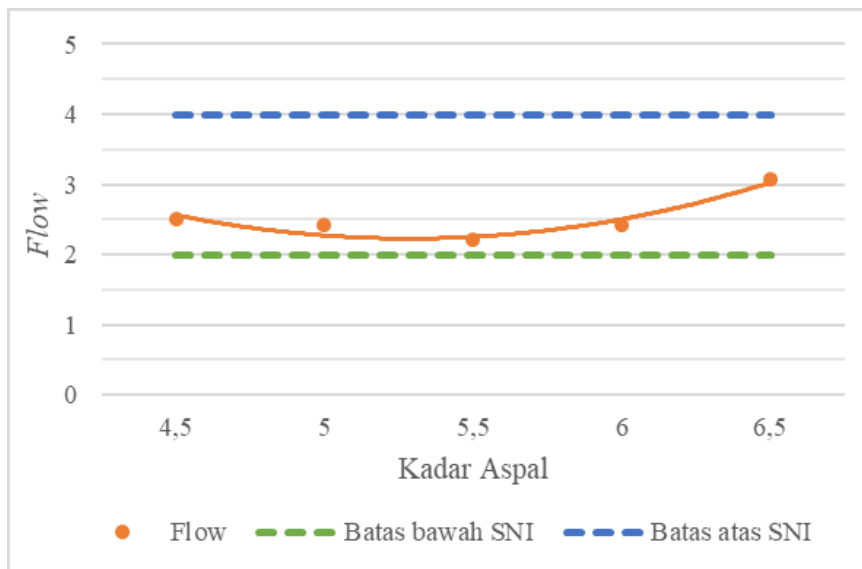
Gambar 7 menunjukkan bahwa kadar aspal 4,5% - 6,5% memenuhi Spesifikasi Umum 2018 (Rev. 2) sebesar ≥ 800 kg dengan nilai yang didapat 1527,90 kg – 2077,03 kg.



Gambar 7. Grafik Stabilitas

5) Flow

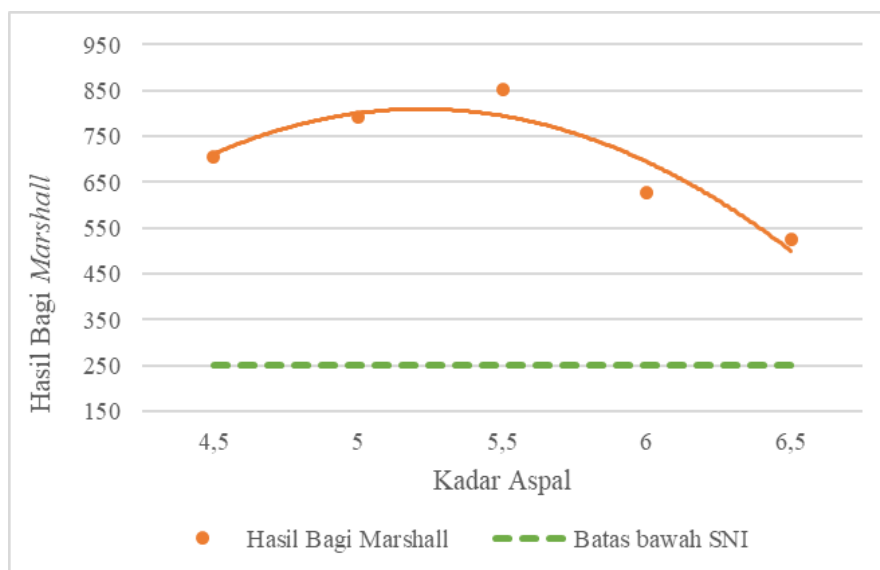
Gambar 8 menunjukkan bahwa kadar aspal 4,5% - 6,5% memenuhi Spesifikasi Umum 2018 (Rev. 2) sebesar 2 – 4 mm dengan nilai yang didapat 2,210 – 3,077 mm.



Gambar 8. Grafik *Flow*

6) Hasil bagi marshal/MQ

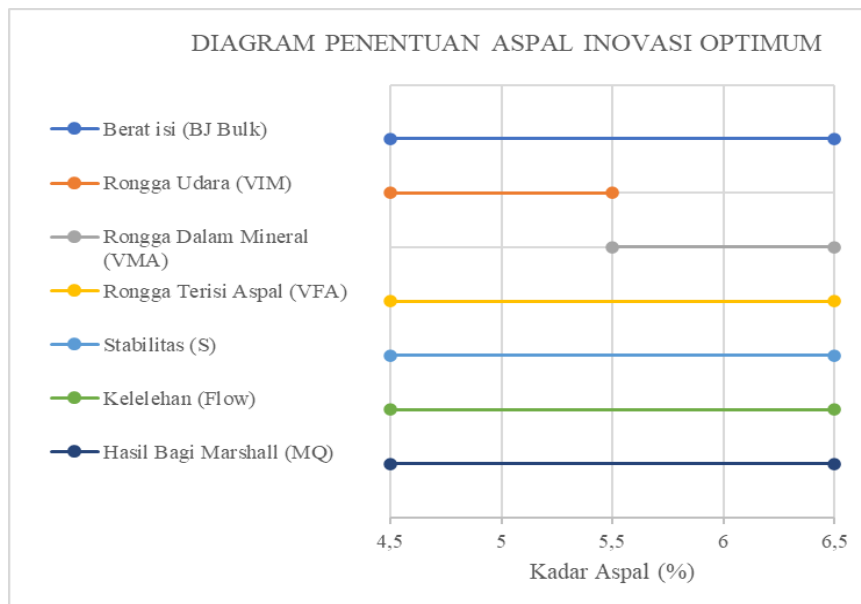
Gambar 9 menunjukkan bahwa kadar aspal 4,5% - 6,5% memenuhi Spesifikasi Umum 2018 (Rev. 2) sebesar ≥ 250 kg/mm dengan nilai yang didapat 524,982 - 853,042 kg/mm.



Gambar 9. Grafik Hasil Bagi Marshall/MQ

3.4. Hasil pemilihan kadar aspal optimum benda uji konvensional

Berdasarkan hasil perhitungan variabel marshal yang meliputi VIM, VMA, VFA, Stabilitas, dan *Flow* dilakukan analisis grafik hubungan antara kadar aspal dengan parameter marshal, sehingga diperoleh nilai KAO (Kadar Aspal Optimum) yang memenuhi yaitu pada kadar aspal 5,5% seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Diagram Pemilihan KAO Marshall Konvensional

3.5. Pengujian marshal test benda uji inovasi

Pengujian Marshall dilakukan pada semua variasi sampel untuk variabel VIM, VMA, VFA, Stabilitas, Flow, dan MQ. Adapun rekapitulasi masing-masing pengujian disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10. Rekapitulasi Nilai Marshal Benda Uji Inovasi

Kadar LDPE	Kadar Serbuk Kaca	VIM	VMA	VFA	Stabilitas	Flow	MQ
Spesifikasi		3-5 (%)	Min. 15 (%)	Min. 65 (%)	Min. 800 (Kg)	2-4 (mm)	Min. 250 Kg/mm
4%	25%	6,202	15,302	65,012	1772,323	2,200	789,890
	50%	6,104	15,182	65,368	1719,924	2,210	766,803
	75%	5,988	15,046	65,838	1784,603	2,233	786,052
5%	25%	5,917	15,045	66,138	1767,634	2,217	787,433
	50%	5,597	14,724	67,460	1866,513	2,283	809,995
	75%	4,901	14,063	70,393	2029,455	2,297	868,783
6%	25%	4,683	13,931	71,434	2049,872	2,267	888,194
	50%	4,490	13,724	72,298	2055,823	2,197	919,520
	75%	4,297	13,517	73,358	2096,926	2,303	901,200

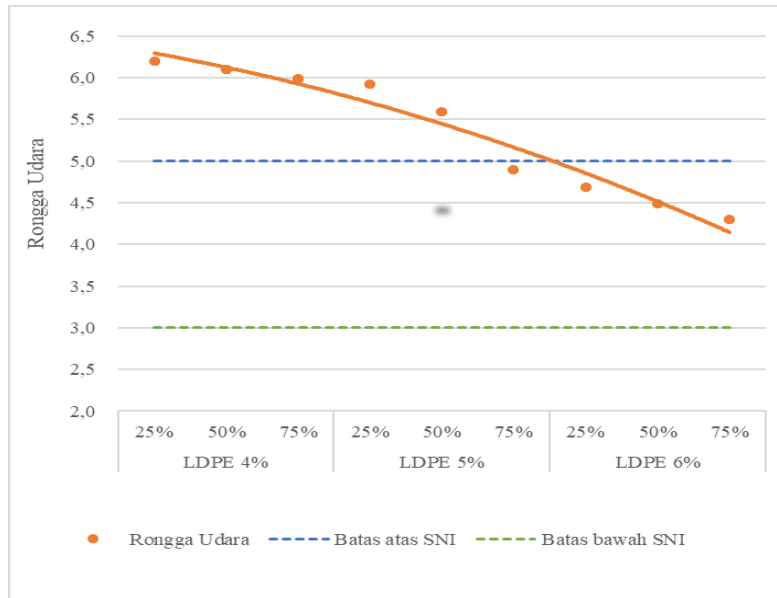
3.6. Hasil analisis grafik marshal benda uji inovasi

Hasil pengujian masing-masing variabel pada *marshal test* akan jelaskan sebagai berikut:

1) Rongga udara/VIM

Gambar 11 menunjukkan hasil bahwa kadar LDPE 5% Serbuk Kaca 75% - LDPE 6% Serbuk Kaca 75% telah memenuhi Spesifikasi Umum 2018 (Rev. 2) sebesar 3 – 5% dengan nilai yang didapat 4,297 - 4,901%. Semakin tinggi kadar plastik LDPE yang dipakai maka nilai VIM akan mengalami penurunan hal ini menyebabkan campuran menjadi kecil dan rapat sehingga memungkinkan terjadinya bleeding dan kelelehan plastis menjadi lebih besar (Wantoro et al., 2013) dan pada substitusi filler Serbuk Kaca diharapkan akan menambah nilai VIM. Menurut Liu, dkk. (2015), komponen utama dalam serbuk kaca adalah alkali dan silicon dioxide (reaktive silica). Silika merupakan bahan yang bersifat mengikat atau memiliki adhesi yang tinggi. Serbuk Kaca mengandung silika (SiO₂) sekitar 30%, kalsium oksida (CaO), alumina (Al₂O₃) dan sodium oksida (Na₂O) dengan prosentase pada rentang 10% dan 19%. Prosentase dari oksida lainnya di bawah

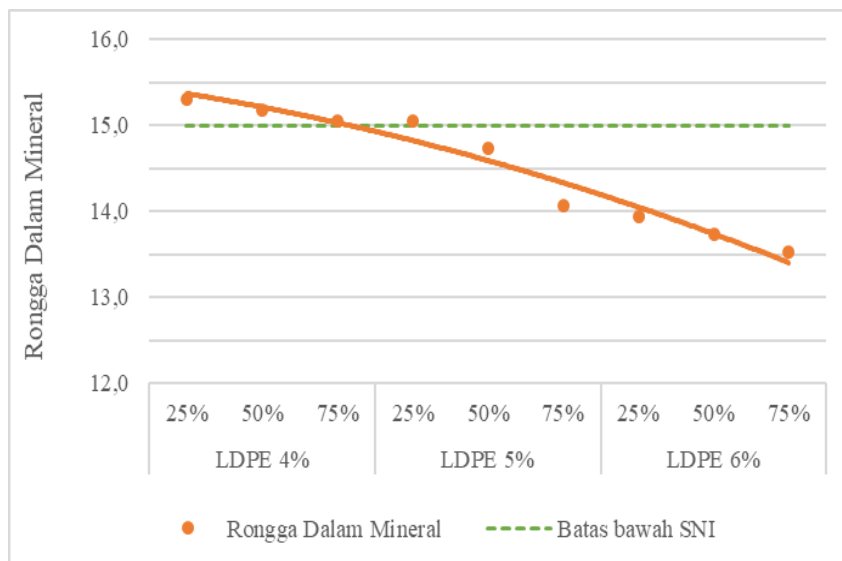
1% (Simone, dkk., 2017). Sehingga semakin banyak Serbuk Kaca yang digunakan akan mempengaruhi presentase filler semen yang digunakan dan hal ini menyebabkan nilai VIM mengalami penurunan dikarenakan penggunaan presentase filler semen berpengaruh terhadap nilai VIM yang dihasilkan.



Gambar 11. Grafik Rongga Udara/VIM

2) Rongga Dalam Mineral/VMA

Gambar 12 menunjukkan hasil bahwa kadar LDPE 4% Serbuk Kaca 25% - LDPE 5% Serbuk Kaca 25% telah memenuhi Spesifikasi Umum 2018 (Rev. 2) sebesar $\geq 15\%$ dengan nilai yang didapat 15,045 - 15,302%. Pada penelitian (Irwansyah., et al 2023) pada setiap kenaikan kadar LDPE nilai VMA yang dihasilkan akan mengalami penurunan, hal ini dikarenakan plastik LDPE telah menyelimuti agregat dan menutupi sebagian besar rongga antara agregat (Razak & Erdiansa, 2016). Pada penelitian (Yuniarti et., al 2019) setiap kenaikan kadar Serbuk Kaca nilai VMA yang dihasilkan mengalami penurunan, hal ini mengindikasikan bahwa pada proporsi tersebut reaksi yang terjadi antara filler serbuk kaca dengan semen dengan aspal yang meleleh akibat pencampuran secara panas menghasilkan ikatan yang lebih kuat sehingga memperkecil terbentuknya rongga. Oleh karena itu setiap kenaikan kadar LDPE dan filler Serbuk Kaca yang dipakai maka nilai VMA yang dihasilkan akan mengalami penurunan.



Gambar 12. Grafik Rongga Dalam Mineral/VMA

3) Rongga Terisi Aspal/VFA

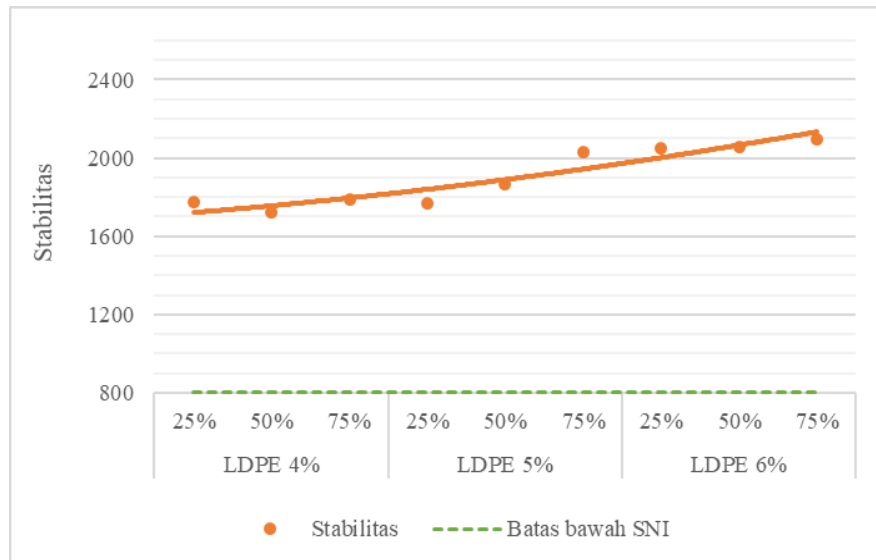
Gambar 13 menunjukkan hasil bahwa semua kadar komposisi telah memenuhi Spesifikasi Umum 2018 (Rev. 2) sebesar $\geq 65\%$ dengan nilai yang didapat 65,012–73,358 %. Pada penelitian Hartini (2020) nilai VFA yang dihasilkan mengalami kenaikan dan penurunan. Pada penelitian LDPE dari Hilda Nur Hidayati (2021) nilai VFA yang dihasilkan telah memenuhi spesifikasi. Nilai VFA yang terlalu rendah akan mengurangi keawetan suatu campuran aspal sedangkan Nilai VFA yang terlalu tinggi campuran aspal mudah mengalami bleeding, karena rongga dalam campuran terlalu kecil yang menyebabkan aspal naik ke permukaan. Dan penambahan serbuk kaca yang dapat mengisi rongga dalam agregat menjadi mudah terisi oleh aspal. Pada penelitian Yuniarti (2019), proporsi filler 25%, 50%, dan 75% mengalami peningkatan sehingga persentase selimut aspal yang mengisi rongga menjadi lebih kecil, sehingga menghasilkan selimut aspal yang paling tebal. Hal ini mengindikasikan bahwa pada proporsi tersebut reaksi yang terjadi antara filler serbuk kaca dengan semen dengan aspal yang meleleh akibat pencampuran secara panas menghasilkan ikatan yang lebih kuat sehingga memperkecil terbentuknya rongga. Oleh karena itu setiap kenaikan kadar LDPE dan filler Serbuk Kaca yang dipakai maka nilai VMA yang dihasilkan akan mengalami peningkatan.



Gambar 13. Grafik Rongga Terisi Aspal/VFA

4) Stabilitas

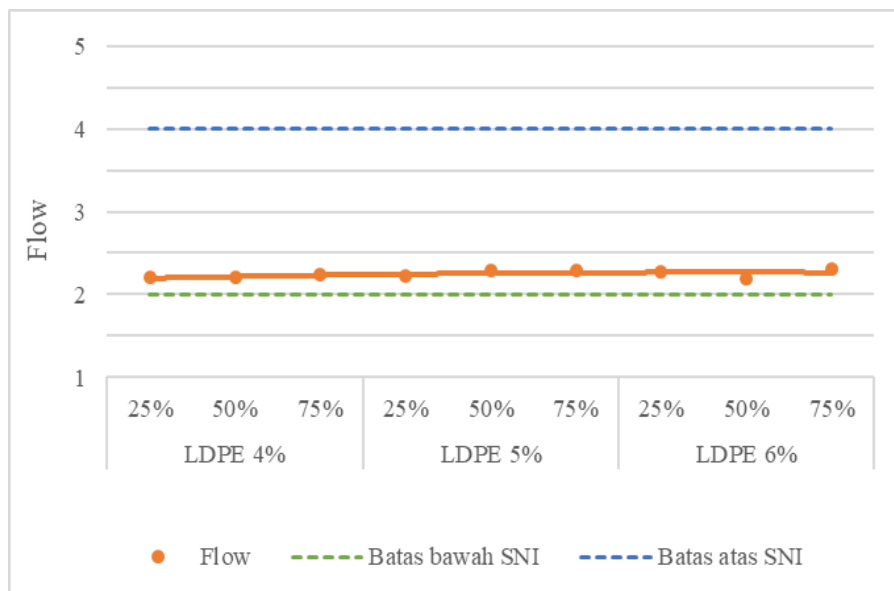
Gambar 14 menunjukkan hasil bahwa semua komposisi telah memenuhi Spesifikasi Umum 2018 (Rev. 2) sebesar ≥ 800 Kg dengan nilai yang didapat 1719,924- 2096,926 Kg. Pada penelitian terdahulu nilai Stabilitas yang didapatkan telah memenuhi spesifikasi umum. Pada penelitian Irwansyah et al., (2023) mengalami kenaikan nilai Stabilitas. Hal ini dikarenakan plastik telah mengisi rongga butiran agregat, sehingga menyebabkan rongga antara agregat menjadi kecil dan rapat (Erni et al., 2021). Pada penelitian Yuniarti (2019), penggunaan serbuk kaca 50% dan 75% mengalami nilai stabilitas yang lebih tinggi karena pada komposisi campuran ini serbuk kaca membentuk pasta yang dapat meningkatkan kekuatannya. Oleh karena itu setiap kenaikan kadar LDPE dan *filler* Serbuk Kaca yang dipakai maka nilai stabilitas yang dihasilkan akan mengalami peningkatan.



Gambar 14. Grafik Stabilitas

5) *Flow*

Gambar 15 menunjukkan hasil bahwa semua komposisi telah memenuhi Spesifikasi Umum 2018 (Rev. 2) sebesar 2-4 mm dengan nilai yang didapat 2,200-2,303 mm. Dalam penelitian sebelumnya, nilai *Flow* meningkat seiring dengan penambahan kadar LDPE, karena peningkatan kadar plastik LDPE menyebabkan campuran aspal plastik menjadi lebih kental dan bersifat plastis (Irwansyah et al., 2023). Pada penelitian sebelumnya, komposisi filler serbuk kaca 25%, 50%, dan 75% mengalami penurunan nilai *Flow*. Hal ini disebabkan oleh kandungan silika dan alumina yang meningkatkan kekuatan campuran sehingga menjadi lebih kaku (Yuniarti, 2019). Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kadar LDPE yang digunakan, maka nilai *Flow* yang dihasilkan akan semakin tinggi, dan dengan bantuan *filler* serbuk kaca, nilai *Flow* menjadi lebih stabil.

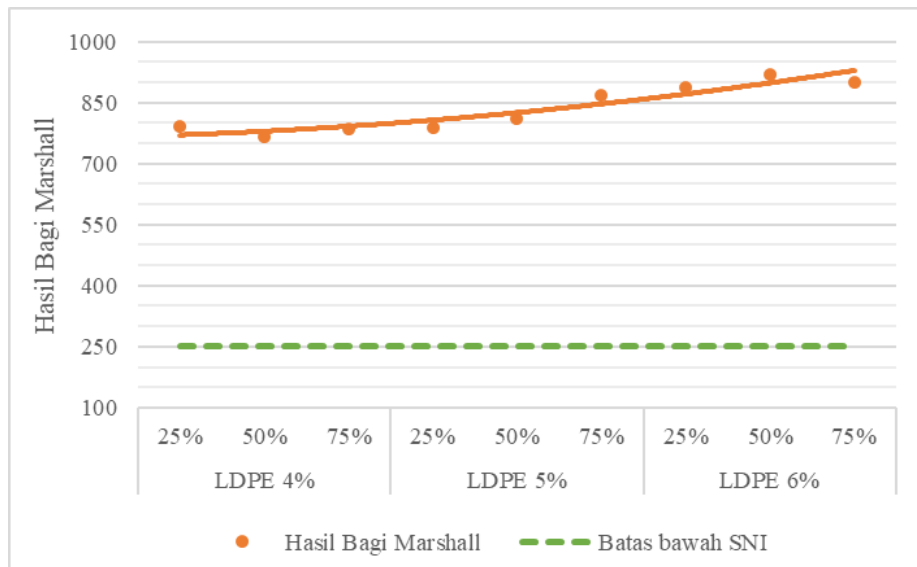


Gambar 15. Grafik *flow*

6) Hasil bagi marshal/MQ

Gambar 16 menunjukkan hasil bahwa semua komposisi telah memenuhi Spesifikasi Umum 2018 (Rev. 2) sebesar ≥ 250 Kg/mm dengan nilai yang didapat 766,803 - 919,520 Kg/mm. Pada penelitian terdahulu nilai Hasil Bagi Marshall yang didapatkan telah memenuhi Spesifikasi Umum. Pada penelitian ini didapat nilai Hasil Bagi Marshall yang telah memenuhi Spesifikasi Umum dan nilai yang dihasilkan lebih tinggi dari hasil penelitian terdahulu. Dalam penelitian (Irwansyah, 2023), peningkatan kadar plastik LDPE menyebabkan penurunan nilai. Semakin tinggi nilai MQ,

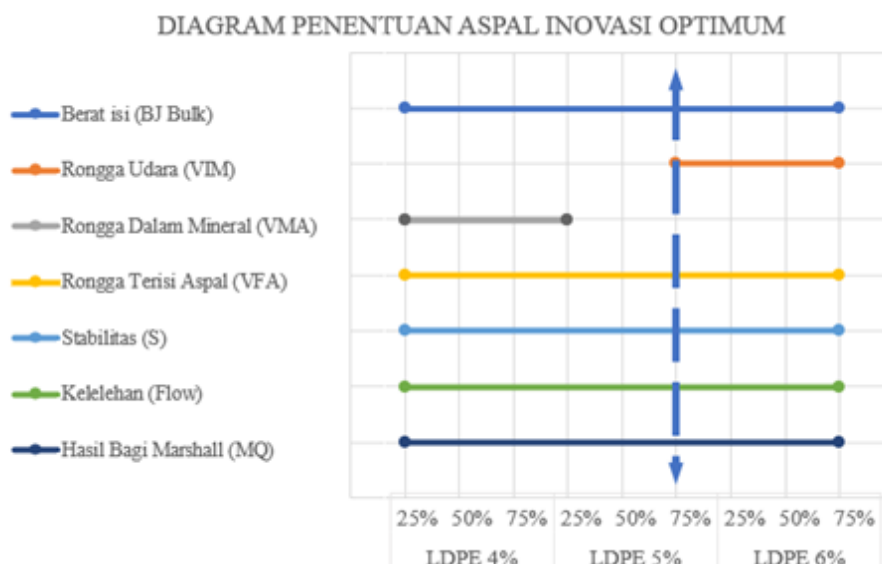
semakin tinggi kemungkinan mutu suatu campuran. Pada penelitian sebelumnya, peningkatan kadar filler serbuk kaca 25%, 50%, dan 75% menunjukkan kenaikan dan telah memenuhi spesifikasi umum. Nilai MQ merupakan parameter yang merepresentasikan kekakuan dari campuran agregat, sehingga filler serbuk kaca cukup berpengaruh dalam meningkatkan daya dukung perkerasan terhadap beban yang diberikan (Yuniarti, 2019). Oleh karena itu, penelitian ini menunjukkan bahwa nilai MQ yang diperoleh telah memenuhi spesifikasi umum dan nilainya lebih tinggi dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya.



Gambar 16. Grafik Hasil Bagi Marshal

3.7. Hasil pemilihan kadar optimum benda uji inovasi

Berdasarkan grafik hubungan kadar aspal dengan parameter hasil pengujian *marshall* di atas, diperoleh nilai *marshall* optimum inovasi yang memenuhi yang disajikan pada Gambar 17.



Gambar 17. Diagram Pemilihan Kadar Optimum Marshal Inovasi

Diagram pemilihan kadar LDPE dan Serbuk Kaca yang ditunjukkan pada Gambar 17 menunjukkan bahwa hampir semua parameter telah memenuhi spesifikasi umum. Nilai VIM pada benda uji dengan LDPE 5% dan Serbuk Kaca 75%, serta LDPE 6% dengan Serbuk Kaca 25%, 50%, dan 75% memenuhi Spesifikasi Umum. Serbuk Kaca berfungsi sebagai pengisi rongga udara, dan setiap penambahan kadar

LDPE menyebabkan nilai VIM yang dihasilkan semakin kecil. Nilai VMA yang memenuhi spesifikasi umum terlihat pada benda uji dengan LDPE 4% dan Serbuk Kaca 25%, 50%, 75%, serta LDPE 5% dengan Serbuk Kaca 25%. Setiap kenaikan kadar LDPE menyebabkan penurunan nilai VMA, karena plastik LDPE menyelimuti agregat dan menutupi sebagian besar rongga antar agregat (Razak & Erdiansa, 2016). Kenaikan kadar Serbuk Kaca juga menyebabkan penurunan nilai VMA, yang mengindikasikan bahwa reaksi antara *filler* serbuk kaca dengan semen dan aspal yang meleleh akibat pencampuran panas menghasilkan ikatan lebih kuat, sehingga mengurangi rongga yang terbentuk (Yuniarti et al., 2019). Pada kadar LDPE 5% dan serbuk kaca 75% dapat dianggap sebagai campuran optimum dengan Nilai VMA = 14,063%, yang mendekati syarat spesifikasi $\geq 15\%$; Nilai VIM = 4,901%; VFA = 70,393%; Stabilitas = 2029,455 Kg; *Flow* = 2,297 mm; MQ = 868,783 Kg/mm, semuanya telah memenuhi Spesifikasi Umum. Pemilihan kadar campuran optimum ini didasarkan pada nilai VIM karena berpengaruh terhadap keawetan campuran lapisan perkerasan (Irwansyah et al., 2023), dengan penambahan plastik LDPE dan Serbuk Kaca, penggunaan aspal dan *filler* semen dapat dikurangi, yang tidak hanya menurunkan biaya produksi tetapi juga memanfaatkan limbah plastik LDPE dan limbah kaca dalam pengurangan sampah yang sulit terurai.

3.8. Perbandingan harga bahan pembuatan laston AC-WC

Perbandingan harga kebutuhan biaya material antara LASTON AC-WC Konvensional dengan LASTON AC-WC inovasi substitusi LDPE (*Low Density Polyethylene*) dan Serbuk Kaca dalam pembuatan 1 ton disajikan pada Tabel 11 dan Tabel 12.

Tabel 11. Harga LASTON AC-WC Konvensional (1Ton)

Bahan	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
Semen Portland	18,9	Kg	1.398	26.422
Aspal	55	Kg	14.287	961.675
Agregat Kasar $\frac{3}{4}$	66,15	Kg	334	22.094
Agregat Kasar $\frac{1}{2}$	378	Kg	334	126.252
Pasir	132,3	Kg	290	38.367
Abu Batu	349,65	Kg	135	47.203
Jumlah				1.046.123

Tabel 12. Harga LASTON AC-WC Inovasi (1 Ton)

Bahan	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
Semen Portland	4,725	Kg	1.398	6.660
Aspal	52,25	Kg	14.287	746.496
Agregat Kasar $\frac{3}{4}$	66,15	Kg	334	22.094
Agregat Kasar $\frac{1}{2}$	378	Kg	334	126.252
Pasir	132,3	Kg	290	38.367
Abu Batu	349,65	Kg	135	47.203
LDPE	2,75	Kg	0	0
Serbuk Kaca	14,175	Kg	0	0
Jumlah				987.017

Berdasarkan perbandingan harga dapat disimpulkan biaya kebutuhan material aspal inovasi lebih efisien dari pada material aspal konvensional dikarenakan mengurangi pemakaian semen dan aspal yang digunakan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan uraian hasil pengujian dan pembahasan, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

- 1) KAO (Kadar Aspal Optimum) yang didapatkan pada perhitungan Marshall Test sebesar 5,5%
- 2) Kadar optimum aspal inovasi substitusi plastik LDPE (Low Density Polyethylene) dan Serbuk Kaca pada campuran beraspal LASTON AC - WC sebesar LDPE 5 % dan Serbuk Kaca 75% dengan nilai parameter marshall BJ Bulk 2,399 T/m³; Rongga Udara (VIM) 4,901 %; Rongga Dalam Mineral (VMA) 14,063 %; Rongga Terisi Aspal (VFA) 70,393 %; Stabilitas 2029,455 Kg; Flow 2,297 mm; Marshall Quotient (MQ) 868,783 kg/mm.
- 3) Biaya yang diperlukan untuk material campuran aspal konvensional sebesar Rp 1.046.123, sedangkan biaya untuk material campuran aspal inovasi sebesar Rp 987.017. Dengan demikian, material campuran aspal inovasi lebih hemat biaya dibandingkan dengan campuran aspal konvensional, dengan selisih harga sebesar Rp 59.105,90/ton.

Referensi

- Hartini, H. (2020). Pemanfaatan Limbah Kaca Sebagai Filler Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Panas (AC-WC). *Jurnal MEDIA INOVASI Teknik Sipil Unidayan*, 9(1).
- Hidayati, H. N., Rifqi, M. G., & Shofi'ul Amin, M. (2021). Pengaruh Penambahan Plastik LDPE Pada Campuran Aspal Beton Lapis AC-BC. 2(2), 1–6. <http://journal.isas.or.id/index.php/JACEIT>
- Irwansyah, I., & Ardhyani, M. Z. (2023). Pengaruh Penambahan Limbah Plastik LDPE pada Lapisan Perkerasan Jalan AC-WC. *Portal: Jurnal Teknik Sipil*, 15(1), 20–26.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat; Direktorat Jenderal Bina Marga. (2017). *Manual Desain Perkerasan Jalan*. 02.
- Lin, K.-L., Wang, N.-F., Shie, J.-L., Lee, T.-C., & Lee, C. (2008). Elucidating the hydration properties of paste containing thin film transistor liquid crystal display waste glass. *Journal of Hazardous Materials*, 159(2–3), 471–475.
- Liu, S., Wang, S., Tang, W., Hu, N., & Wei, J. (2015). Inhibitory effect of waste glass powder on ASR expansion induced by waste glass aggregate. *Materials*, 8(10), 6849–6862. <https://doi.org/10.3390/ma8105344>
- Pribadi, G., Indriasari, I., & Rahman, R. L. (2023). Analisis Substitusi Limbah Plastik (LDPE) terhadap Karakteristik Marshall Pada Campuran Laston AC-WC. *JURNAL KRIDATAMA SAINS DAN TEKNOLOGI*, 5(02), 334–347.
- Razak, B. A., & Erdiansa, A. (2016). Karakteristik Campuran AC-WC dengan Penambahan Limbah Plastik Low Density Polyethylene (LDPE). *INTEK: Jurnal Penelitian*, 3(1), 8–14.
- Setyarini, N. L. P. S. E., Tajudin, A. N., & Pratama, J. (2019). Karakteristik marshall lapisan aus aspal beton menggunakan agregat terselimut limbah plastik LDPE (Low Density Polyethylene). *Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran Dan Ilmu Kesehatan*, 3(1), 123–136.
- Sholichin, I. (2022). PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH SERBUK KACA SEBAGAI FILLER MATERIAL PENGISI PADA CAMPURAN ASPHALT CONCRETE–WEARING COURSE (AC-WC). *AGREGAT*, 7(2).
- Simone, A., Mazzotta, F., Eskandarsefat, S., Sangiorgi, C., Vignali, V., Lantieri, C., & Dondi, G. (2019). Experimental application of waste glass powder filler in recycled dense-graded asphalt mixtures. *Road Materials and Pavement Design*, 20(3), 592–607. <https://doi.org/10.1080/14680629.2017.1407818>
- Susanti, E. D., Rifqi, M. G., Shofi'ul Amin, M., Sipil, J. T., & Banyuwangi, P. N. (2021). Pengaruh Penambahan Limbah Plastik Low Density Polyethylene Terhadap Karakteristik Campuran Laston AC-WC. 2(2), 7–13. <http://journal.isas.or.id/index.php/JACEIT>
- Wahyudi, D. (2022). PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH PLASTIK JENIS LOW DENSITY POLYETHYLENE (LDPE) SEBAGAI SUBSTITUSI ASPAL PADA CAMPURAN ASPAL BETON JENIS AC-WC. *Abstract of Undergraduate Research, Faculty of Civil and Planning Engineering, Bung Hatta University*, 1(1), 1–2.
- Wantoro, W., Kusumaningrum, D., Setiadji, H., & Kushardjoko, W. (n.d.). PENGARUH PENAMBAHAN PLASTIK BEKAS TIPE LOW DENSITY POLYETHYLENE (LDPE) TERHADAP KINERJA CAMPURAN BERASPAL.
- Yuniarti, R., Hasyim, H., Hariyadi, H., & Handayani, T. (2019). Penggunaan Limbah Kaca Sebagai Filler Pada Campuran Perkerasan Aspal Panas. *Jurnal Teknik Sipil*, 26, 265. <https://doi.org/10.5614/jts.2019.26.3.10>

Pengoptimalisasian pencahayaan buatan pada kamar tidur (studi kasus: kamar kos d'paris putri)

Tantya Galuh Puspa Hendika^{a*}, Chely Novia Bramiana^a

^{a*}, ^a Teknik Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro, Indonesia

ARTICLE INFO

Corresponding author:

Email:

hendikatantya289@gmail.com

Article history:

Received : 18 June 2024

Accepted : 25 July 2024

Publish : 30 December 2024

Keywords:

artificial lighting, human activity, visual comfort

ABSTRACT

Humans need light to see things directly. The light occurs because of the reflection produced by objects so that the eyes can see clearly and comfortably. The lighting system in a room plays a vital role in creating good lighting quality. It takes a mature design to adjust the lighting according to Indonesian national standards in the room. Excessive light can interfere with the eye's activity to adapt to the surrounding environment. However, insufficient lighting can also hinder the activities of the room's occupants because the eye's ability to recognize the climate decreases, and the visual comfort of the room's occupants is disrupted. Visual comfort can be met if the visual comfort factors are realized optimally, one of which is the regularity of the standard light design regulated in the Indonesian National Standard (SNI) and the room's arrangement to suit the lighting distribution. If natural lighting is not possible in a room, artificial lighting must be optimized. In boarding room number 24 D'paris Kos Putri, there is no natural light entering, so artificial light is needed to support the activities of its occupants and make them more optimal. This study aims to identify whether artificial lighting meets the room lighting standards and optimize it to comply with Indonesian National Standards.

Copyright © 2024 PILARS-UNDIP

1. Pendahuluan

D'paris kos putri merupakan salah satu tempat tinggal kos khusus putri yang ditawarkan di daerah Tembalang. Kos-kosan merupakan suatu tempat penyedia jasa yang menawarkan tempat tinggal sementara dengan berbagai fasilitas yang disediakan dan harga yang telah ditentukan oleh pemilik kos. Dimana harga sewa ditentukan berdasarkan kelengkapan fasilitas yang ditawarkan, sedangkan waktu penyewaan ditentukan sendiri oleh penyewa kamar. Fasilitas utama yang termasuk dalam kost tersebut adalah kamar tidur dan kamar mandi.

Kamar tidur adalah bagian terpenting dalam kehidupan manusia, dimana sebagian besar kegiatan dilakukan di kamar tidur, seperti belajar, bekerja, beristirahat, dan lain sebagainya. Kamar tidur juga merupakan tempat pribadi dimana manusia akan menghabiskan sebagian besar waktu mereka di kamar tidur. Tempat ini sangatlah bersifat pribadi dan berhubungan langsung dengan kenyamanan penghuninya. Faktor kenyamanan tersebut seperti salah satunya adalah keadaan sistem pencahayaan. Pencahayaan merupakan salah satu karakteristik dasar dari suatu rancangan bangunan dengan tujuan utama yaitu untuk penerangan yang tepat, memberikan efek warna yang sesuai, dan pencahayaan untuk kebutuhan penghuni di dalamnya. Pencahayaan sendiri dapat didefinisikan dengan jumlah cahaya yang mendarat pada suatu bidang permukaan.

Sistem pencahayaan suatu ruangan adalah rancangan serta mekanisme yang dibuat pada ruangan atau bangunan agar bangunan mendapatkan cahaya yang cukup sehingga siapapun yang menggunakan ruangan tersebut dapat melihat secara jelas dan nyaman. Sistem pencahayaan terbagi

menjadi dua yaitu sistem pencahayaan alami dan sistem pencahayaan buatan. Pencahayaan buatan merupakan bagian penting dari salah satu sistem tata ruang dalam atau interior karena tanpa adanya cahaya yang mencukupi maka akan terhambatnya aktivitas visual manusia. Pencahayaan buatan merupakan pencahayaan yang bersumber dari cahaya selain cahaya yang dihasilkan dari pencahayaan alami (matahari), seperti lampu listrik, lampu minyak tanah, lampu gas, lilin, dll. Pencahayaan buatan dibutuhkan pada saat sumber cahaya alami telah redup dan tidak bersinar (malam hari) namun aktivitas manusia masih membutuhkan cahaya agar tetap berjalan sesuai kebutuhan. Menurut Soegijanto (1998), pencahayaan buatan adalah salah satu cara untuk menambah tingkat pencahayaan dari pencahayaan alami atau berfungsi sebagai pencahayaan. Menurut SNI Tata Cara Perancangan Sistem Pencahayaan Buatan pada Bangunan tahun 2000, jumlah pencahayaan dalam suatu ruangan dapat diartikan sebagai jumlah pencahayaan rata-rata pada suatu bidang kerja, dimana bidang kerja tersebut adalah sebuah bidang horizontal yang terletak di ketinggian 75 centimeter (cm) di atas permukaan lantai pada seluruh ruangan. Pencahayaan sendiri memiliki satuan yaitu lux (lm/m^2), dimana lm merupakan lumens dan m^2 merupakan satuan dari luas permukaan bidang pada suatu ruangan.

Cahaya memberikan pengaruh penting terhadap aktivitas dan kenyamanan visual manusia. Kenyamanan adalah kondisi yang dirasakan seseorang ketika merasa nyaman, kenyamanan seseorang tersebut didasarkan persepsi dari masing – masing individu. Menurut Hakim (2012) kondisi nyaman ditetapkan oleh berbagai faktor pembentuk dalam perancangannya yakni sirkulasi, daya alam/iklim, kebisingan, bau, bentuk, keamanan, kebersihan, keindahan, dan salah satu yang penting adalah penerangan. Tanpa adanya cahaya yang memadai manusia tidak bisa melihat, melakukan aktivitas, bekerja, atau merasakan suasana suatu ruangan maupun lingkungan sekitarnya. Ketika pencahayaan di suatu ruangan kurang maka kemampuan mata untuk mengenali dan melihat suatu rupa atau bentuk akan berkurang. Namun, pencahayaan yang berlebihan dapat mengganggu mata untuk menyesuaikan dengan lingkungan sekitarnya, selain itu juga menyebabkan pemborosan energi karena daya yang digunakan dan bahkan pencahayaan yang berlebihan dapat juga merusak mata. Menurut Ching (1996:290) “Berlebihannya cahaya dapat menyebabkan silau pada mata sehingga mata akan terasa pedih”. Oleh karena itu, perlu suatu desain perencanaan sistem pencahayaan buatan yang sesuai dengan standar agar segala sesuatu yang dilakukan di dalam ruangan dapat berlangsung dengan maksimal dan optimal. Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-6574-2001 tentang tata cara perancangan system pencahayaan buatan pada bangunan gedung khususnya rumah tinggal tingkat pencahayaan minimum yang direkomendasikan untuk ruangan kamar tidur adalah sebesar 120 ~ 250 lux.

Penelitian ini bertujuan dan bermaksud untuk mengidentifikasi pencahayaan buatan disalah satu kamar tidur yang berada di D’Paris Kos Putri apakah sudah memenuhi standart pencahayaan ruangan atau tidak. Metode penelitian yang dipakai yaitu metode kuantitatif serta menggunakan metode penelitian berupa studi kepustakaan, observasi berupa pengamatan, pengukuran, pengumpulan data dan dokumentasi.

2. Data dan metode

2.1. Metode penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei tahun 2024, dengan lokasi penelitian di D’Paris Kos Putri yang memiliki alamat di Jalan Timoho Timur 2 No.2, Bulusan, Kecamatan, Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah 50277. Jenis penelitian yang dipakai pada penelitian ini adalah metode penelitian kuantitatif dan menggunakan metode penelitian berupa studi kepustakaan, observasi berupa pengamatan, pengukuran, pengumpulan data, dan dokumentasi. Penelitian kuantitatif merupakan penelitian yang menerapkan pendekatan kalkulasi angka-angka (*numeric*). Pengukuran berupa pengukuran besarnya intensitas cahaya menggunakan *luxmeter*. Adapun lokasi bangunan D’Paris Kos Putri ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Fasad dan Lokasi Bangunan D'Paris Kos Putri

2.2. Sumber data

Data penelitian diperoleh dari sumber data primer dan sekunder. Sumber data primer didapat langsung dari lapangan hasil observasi, dokumentasi, dan perhitungan langsung di lapangan. Sedangkan sumber data sekunder berasal dari sumber tertulis dan literatur yang membahas tentang pencahayaan buatan. Selain itu, data sekunder ini diperoleh dari dokumen tertulis mengenai bangunan dan peraturan terkait standar nasional pencahayaan buatan dalam rumah tinggal. Sumber data sekunder dalam penelitian ini mencakup Standar Nasional Indonesia 03-6574- 2001 tentang tata cara perancangan system pencahayaan buatan pada bangunan Gedung khususnya rumah tinggal.

2.3. Teknik pengumpulan data

Pada Teknik pengumpulan data sangat membantu penelitian dalam proses penelitiannya. Teknik pengumpulan data pada penelitian ini yaitu dengan menerapkan teknik dokumentasi, dimana dilakukan dengan mencari data mengenai hal-hal yang diperlukan dengan observasi dan survei bangunan. Observasi dilakukan secara langsung ke lokasi penelitian dengan mengamati pencahayaan buatan pada ruang kamar tidur dengan menggunakan alat *luxmeter* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Alat *Luxmeter*

2.4. Tahapan pelaksanaan penelitian

Pada penelitian ini, langkah pertama yaitu penulis melakukan pengambilan data yang dibutuhkan terkait objek yang diteliti seperti pengukuran pencahayaan buatan di beberapa titik pada ruangan kamar tidur menggunakan alat *luxmeter* dan pengukuran luasan ruangan menggunakan alat meteran. Kemudian hasil pengukuran tersebut dikaji dan dianalisis apakah sudah sesuai dengan standar ketentuan pencahayaan buatan yang direkomendasikan pada ketentuan SNI 03-6574-2001 tentang tata cara perencanaan pencahayaan buatan minimum suatu ruangan. Langkah selanjutnya melakukan analisis menggunakan data tersebut untuk menarik kesimpulan apakah sudah sesuai atau belum, jika tidak sesuai maka diberikan solusi untuk mencapai standar yang telah diatur.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisis kondisi kamar d'paris kos putri

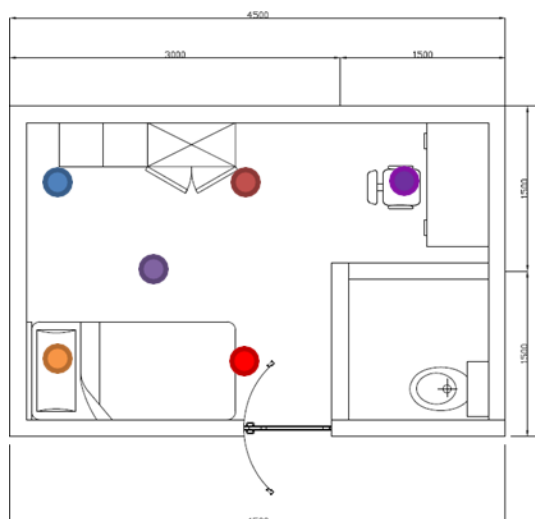
D'Paris Kos Putri adalah suatu tempat yang dibangun guna memenuhi kebutuhan masyarakat atau lebih tepatnya para mahasiswa dari luar daerah sebagai tempat tinggal sementara. Bangunan ini terdiri dari 3 lantai, pada lantai 1 dan lantai 2 merupakan kamar kamar yang ditawarkan pada kos sedangkan lantai 3 merupakan ruang untuk memasak, mencuci, dan menjemur. Kamar yang diteliti yaitu kamar dengan nomor 24 terletak di lantai 2 dengan lokasi kamar menghadap ke arah barat dan berorientasi samping bangunan. Kamar dengan nomor 24 ini tidak dapat pencahayaan alami dikarenakan jendelanya yang tertutup, sehingga pencahayaan di kamar ini memaksimalkan pencahayaan buatan. Adapun kondisi kamar lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Kondisi Kamar D'Paris Kos Putri

3.2. Analisis kondisi cahaya buatan pada kamar kos No. 24

Intensitas cahaya adalah banyaknya cahaya yang mampu memberikan sinar/cahaya setiap satuan luas permukaan ruangan. Intensitas cahaya merupakan salah satu faktor utama untuk mengukur kenyamanan penghuni di dalam ruangan tersebut. Pengukuran yang dilakukan pada ruangan kamar bersumber pada arah datang sinar lampu. Pengukuran intensitas cahaya dibantu oleh alat bernama *luxmeter*. Kamar nomor 24 D'Paris Kos Putri ini memiliki luas 3x4,5 meter. Dengan Ketinggian plafon 3,5 meter. System pencahayaan buatan pada kamar ini menggunakan general lighting berupa downlight Philips LED 6 W dengan lumen berjumlah 250 lumen. Pada pengukuran yang dilakukan pada 08 Mei 2024 pukul 16.41 WIB menggunakan alat ukur *luxmeter* dihasilkan data seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 dan Tabel 1.



Gambar 4. Denah Pengukuran Intensitas Cahaya

Tabel 1. Hasil Pengukuran Intensitas Cahaya

No	Titik Pengukuran	Tingkat Pencahayaan (Lux)
1		42
2		33
3		73
4		25
5		30
6		28
Rata - rata		38,5 lux

Dari nilai rata-rata yang dihasilkan dalam alat *luxmeter* seperti yang disajikan pada Tabel 1 yaitu 38,5 lux, dapat diketahui bahwa pencahayaan buatan pada kamar nomor 24 D'Paris Kos Putri belum memperoleh nilai rata-rata minimum Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk kamar tidur yaitu 120–250 *lux*. Supaya kamar tidur tersebut memenuhi minimum pencahayaan Standar Nasional Indonesia (120-250 *lux*), maka lampu diganti dengan minimal lumen 1.260.

$Lux = \text{lumen}/m^2$

$120 = \text{lumen}/13,5 m^2$

$Lumen = 120 \times 13,5$

$= 1.620 \text{ lumen}$

Atau lampu diganti dengan LED (*Light Emitting Diode*) yang memiliki daya watt sebesar 18W dengan lumen minimal 1.620. Contoh lampu LED dengan spesifikasi 18W atau minimal 1.620 lumen seperti contoh yang ditunjukkan pada Gambar 5.

**Gambar 5.** LED Long bright 18W

4. Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan dan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa kamar tidur D'Paris Putri memiliki intensitas cahaya yang tidak sesuai dengan tingkat pencahayaan minimum dan renderasi warna yang sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI 03-6575-2002). Dengan hal tersebut sebaiknya cahaya buatan yang dihasilkan dari cahaya lampu diganti agar sesuai dengan standarnya. Lampu tersebut bisa diganti dengan lampu LED Long bright 18W dengan lumen 1.620. Hal ini dilakukan supaya penghuni kost lebih efektif dalam melakukan aktivitas di dalam kamar.

Ucapan terima kasih

Terima kasih penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, dosen pembimbing, serta seluruh pihak yang telah membantu dalam penyusunan hasil penelitian ini. Diharapkan penelitian ini dapat

bermanfaat bagi pembaca maupun semua orang sebagai salah satu sumber literatur.

Referensi

Kurniasih, S. (n.d.). OPTIMASI SISTEM PENCAHAYAAN PADA RUANG KELAS UNIVERSITAS BUDI LUHUR.

Noviyanti, C., & Indrani, H. C. (n.d.). OPTIMASI SISTEM PENCAHAYAAN BUATAN PADA RUANG LABORATORIUM KAMPUS. <https://doi.org/10.9744/interior.11.1.1-10>

Widiyantoro, H., Pencahayaan, A., Kenyamanan, T., Pada, V., Kantor, P., Kantor, P. P., Muladi, E., & Vidiyanti, C. (n.d.). Analisis Pencahayaan Terhadap Kenyamanan Visual.

Analisis pengaruh limbah keramik sebagai substitusi semen terhadap inovasi dinding partisi kalsiboard

Ivander Satria Sapulette^{a*}, Adventus^a, Hartono^a, Shifa Fauziyah^a

^{a*}, ^a Teknik Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro, Indonesia

ARTICLE INFO

Corresponding author:

Email:

satriaivan56@gmail.com

Article history:

Received : 15 September 2023

Accepted : 25 October 2024

Publish : 30 December 2024

Keywords:

cement substitution, ceramic waste, construction waste, partition walls, sustainable construction

ABSTRACT

The number of infrastructure developments in Indonesia that continue to increase has positive and negative impacts. One of the negative impacts that arise is the production of construction waste. The increasing number of construction projects will also affect the increase in construction waste produced. Based on data, around 100 million tons of ceramics are produced annually worldwide, and approximately 15% to 30% becomes unused waste. Based on this, ceramic waste as a substitute for making partition walls can be used to reduce waste in Indonesia. This study aims to determine the effect of ceramic waste on the partition characteristics produced through density, bending strength, and water absorption tests. The research was carried out using experimental methods in the laboratory with several percentage variations and the substitution of ceramic waste against partition walls. This test is done by comparing several partitions on the market (gypsum, kalsiboard, and GRC). Through the test results, it is hoped that this partition board innovation can provide solutions to existing partition problems to reduce problems with construction waste.

Copyright © 2024 PILARS-UNDIP

1. Pendahuluan

Berdasarkan data yang diperoleh EU *Environment General Directorate* material konstruksi yang dihasilkan dari limbah pembangunan dan pembongkaran diperkirakan sekitar 180 juta ton per tahun. Limbah sisa pembangunan dan pembongkaran gedung merupakan aliran limbah terbesar ketiga dalam hal kuantitatif EU, setelah limbah pertambangan dan pertanian (Suharto, 2011). Berdasarkan beberapa jenis limbah konstruksi yang ditemukan, pecahan keramik menjadi salah satu limbah yang memiliki pengaruh bahaya bagi lingkungan dan juga manusia. Sisa pecahan keramik biasa ditemukan pasca pembangunan yang berupa potongan kecil yang jarang sekali dimanfaatkan dan cenderung dibuang begitu saja. Oleh karena itu, salah satu cara yang dapat menangani hal ini yaitu dengan memanfaatkannya menjadi sebuah inovasi baru.

Secara ilmiah keramik didefinisikan sebagai benda yang dibuat dari bahan lunak yang terdapat di alam dan dapat dijadikan keras dengan cara proses pemanasan. Adapun bahan penyusun pada pembuatan keramik pada umumnya adalah Kaolin, Ballclay, Feldspar, dan Kuarsa (Wibowo, 2018). Berdasarkan hasil analisis kandungan unsur kimia dari Laboratorium Kimia Analitik Fakultas MIPA Universitas Gadjah Mada (2005) menunjukkan bahwa kandungan inti pada lantai keramik didominasi oleh dua unsur yaitu unsur silika (SiO₂) dengan rata-rata 53,24% dan unsur alumina (Al₂O₃) dengan rata-rata 15,66%. Dengan demikian, maka keramik dapat dijadikan sebagai substitusi semen karena memiliki kesamaan pada unsur dan senyawa penyusunnya sehingga dapat dimanfaatkan pada pembuatan dinding partisi berkelanjutan.

Perbedaan penelitian terdahulu dan penelitian ini adalah pada penelitian terdahulu penerapan substitusi keramik terhadap semen diterapkan pada *paving block* sedangkan pada penelitian ini menerapkan substitusi tersebut pada dinding partisi ruangan. Oleh sebab itu, maka perlu diadakan penelitian untuk mengetahui pengaruh limbah keramik sebagai substitusi semen pada pembuatan dinding partisi yang akan melalui pengujian terhadap uji kerapatan, uji keteguhan lentur modulus patah, dan penyerapan air. Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai salah satu upaya untuk mengurangi limbah dan memanfaatkannya menjadi barang yang memiliki nilai yang tinggi.

2. Data dan metode

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode eksperimen kuantitatif dengan pengujian berupa uji kerapatan, keteguhan lentur modulus patah, dan penyerapan air.

2.1. Bahan pengujian

Pada penelitian ini menggunakan beberapa bahan, antara lain: *Gypsum casting*, semen instan tipe MU 200, pecahan keramik, , serat kaca, air, dan minyak bekisting.

2.2. Pengolahan keramik

Pengolahan limbah pecahan keramik diawali dengan membersihkan pecahan keramik tersebut dan dilakukan proses pengeringan di bawah sinar matahari. Limbah keramik kemudian dipecahkan menggunakan alat tumbuk untuk mendapatkan butiran yang lebih kecil dengan lolos saringan No. 200.

2.3. Standar pengujian

Standar pengujian paada benda uji sesuai dengan standar teknis SNI 01-4449-2006 seperti yang disajikan padaTabel 1.

Tabel 1. Standar pengujian

No	Jenis Pengujian	Jumlah Sampel	Standar Pengujian	Klasifikasi SNI	Syarat
1	Kerapatan	15		PSKT	> 0,84 gr/cm ³
2	Keteguhan Modulus Patah	15	SNI 01-4449-2006	PSKT T1 35	≥ 35 kgf/cm ²
3	Penyerapan Air	15		PSKT T1 35	< 25 %

2.4. Variasi benda uji

Pengujian menggunakan 45 spesimen uji. Variasi diambil dari penelitian yang dilakukan oleh (Amalia & Widyasari, 2023) dengan komposisi seperti yang disajikan pada

Tabel 2. Komposisi papan partisi inovasi

No.	Dimensi (mm)	Variasi	Jumlah Sampel	Air (ml)	GC (gr) 33%	Semen 57%		Serat Kaca 10%
						MU (gr)	Keramik (gr)	
1	10x10x0.6	0%	3	16,2	17,82	30,78	0	5,4
		2,5%	3			30,01	0,77	
		5%	3			29,24	1,54	
		7,5%	3			28,47	2,31	
		10%	3			27,68	3,10	
3	20x10x0.6	0%	3	32,4	35,64	61,56	0	10,8
		2,5%	3			60,02	1,54	
		5%	3			58,48	3,08	
		7,5%	3			56,94	4,62	
		10%	3			55,36	6,20	

Keterangan: GC: *gypsum casting*, MU-200, bubuk keramik

2.5. Pembuatan benda uji

Berikut merupakan tahapan pembuatan benda uji:

- i) Melakukan pelapisan menggunakan plastik mika pada cetakan kaca dan beri minyak bekisting supaya mempermudah melepaskan benda uji dari cetakan
- ii) Menimbang berat komposisi campuran dan serat pasa masing-masing variasi
- iii) Campurkan komposisi bahan ke dalam wadah dan aduk sampai homogen
- iv) Tuangkan setengah campuran ke dalam cetakan dengan ketebalan 3 mm
- v) Tambahkan serat kaca kemudian masukan kembali campuran di atas serat kaca dan ratakan lapisan kemudian tutup kembali sampai rapat. Adapun contoh benda uji seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Benda uji

2.6. Pengujian benda uji

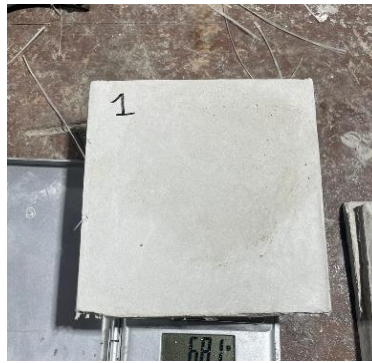
Penelitian ini menggunakan pengujian uji kerapatan, keteguhan modulus patah, dan penyerapan air. Pengujian kerapatan pada Gambar 2 dilakukan untuk mengetahui klasifikasi jenis papan serat (Ramdani et al., 2019). Pengujian kuat lentur pada Gambar 3 dilakukan untuk mengetahui kemampuan dalam menahan beban terpusat pada saat sampel patah (Fathurrahman et al., 2020). Pengujian daya serap air pada Gambar 4 dilakukan untuk dapat mengetahui ketahanan papan partisi pada saat menyerap air ketika secara langsung terkena air (Maail & Derlauw, 2020).



Gambar 2. Uji kerapatan benda uji



Gambar 3. Uji kuat lentur benda uji

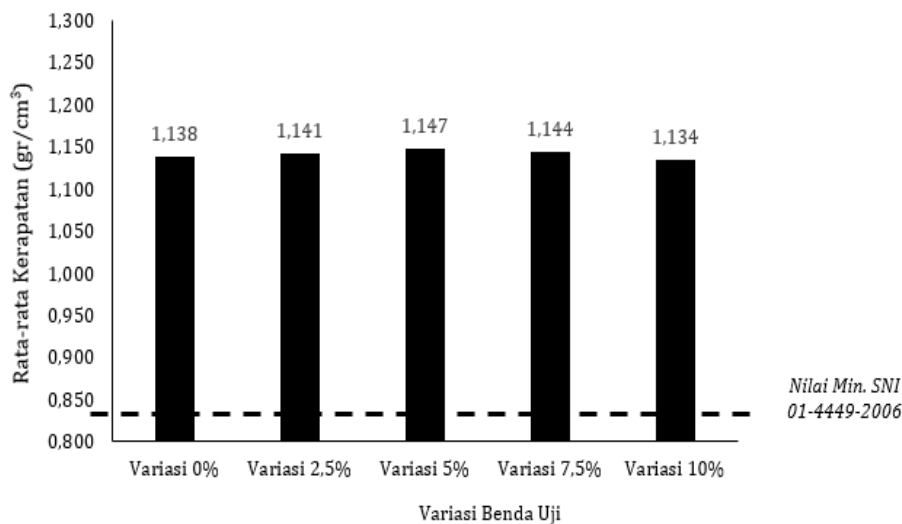


Gambar 4. Uji penyerapan benda uji

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Pengujian kerapatan

Hasil pengujian kerapatan dilakukan sebanyak tiga sampel pada setiap variasi dengan total keseluruhan benda uji sebanyak 15 sampel berukuran 10x10 cm dengan tebal 6 mm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa benda uji yang memiliki nilai kerapatan tertinggi yaitu pada variasi 5% sebesar 1,147 gr/cm³. Sementara yang memiliki kerapatan terendah yaitu pada variasi 10% sebesar 1,134 gr/cm³. Adapun substitusi bubuk keramik tidak terlalu berpengaruh terhadap uji kerapatan. Sementara itu, uji kerapatan sangat dipengaruhi oleh serat yang dipakai, karena secara umum dapat dilihat bahwa dengan banyaknya serat maka nilai kerapatan akan semakin meningkat. (Tarkono & Ali, 2015). Oleh karena itu uji kerapatan inovasi ini tidak terlalu signifikan karena tidak adanya perbedaan pada jumlah maupun volume terhadap serat fiber. Berdasarkan SNI 01-4449-2006 diketahui bahwa papan serat yang memiliki nilai kerapatan >0,84 terklasifikasi sebagai papan serat tinggi PSKT. Dengan demikian, inovasi papan serat memiliki nilai kerapatan yang tinggi. Adapun hasil pengujian kerapatan disajikan pada Gambar 5.

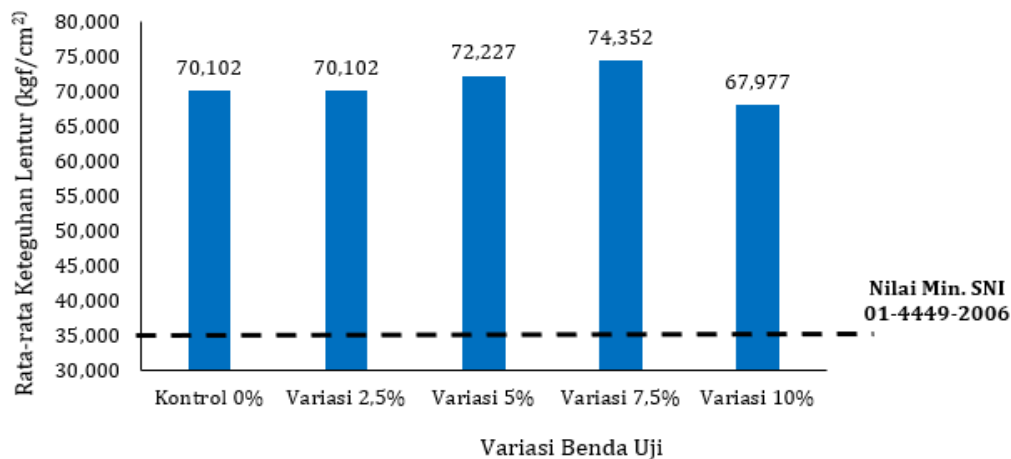


Gambar 5. Hasil uji kerapatan

3.2. Pengujian keteguhan lentur modulus patah

Hasil pengujian menunjukkan bahwa benda uji yang memiliki nilai uji keteguhan lentur modulus patah tertinggi yaitu pada variasi 7,5% sebesar 74,352 kgf/cm². Sementara yang memiliki uji keteguhan lentur modulus patah terendah yaitu pada variasi 10% sebesar 67,977 kgf/cm². Dari hasil pengujian diketahui bahwa substitusi bubuk keramik yang optimal yaitu pada variasi 2,5%, 5%, 7,5%, kemudian mengalami penurunan pada variasi 10%. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kelenturan papan seperti ikatan antar partikel, jenis papan, ukuran partikel, jumlah bahan perekat, dan rongga di dalam papan (Fathurrahman dkk., 2020). Tidak hanya itu penurunan kekuatan lentur

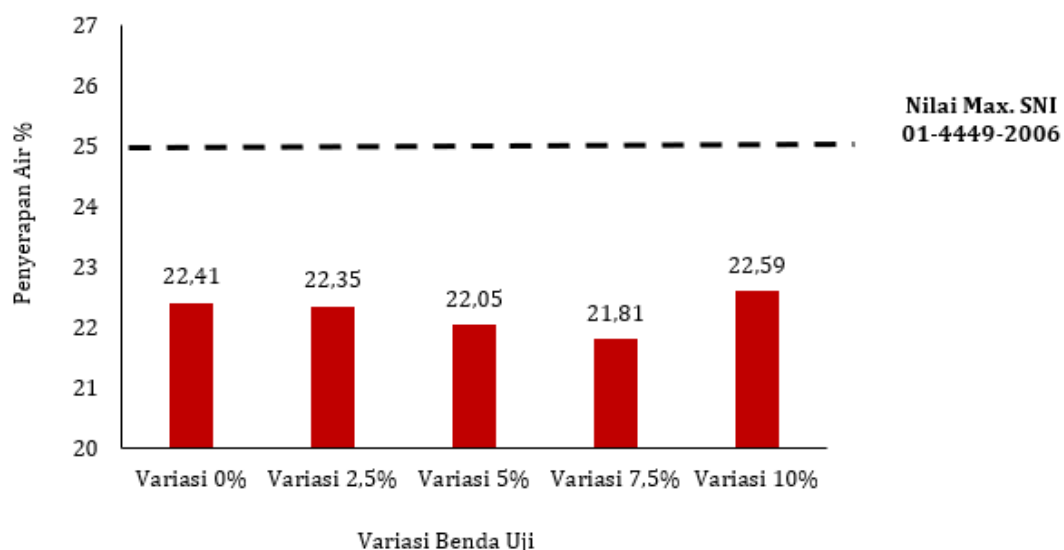
bisa terjadi karena adanya rongga-rongga, ukuran rongga ini akan menjadi lebih besar jika penyusunan serat tidak merata dan proses pengepresan kurang optimal (Siska, 2020). Dapat disimpulkan bahwa substitusi bubuk keramik tidak dapat menggantikan sepenuhnya fungsi semen sebagai bahan ikat karena nilai lentur yang menurun pada variasi 10%. Berdasarkan SNI 01-4449-2006 diketahui bahwa papan serat yang memiliki nilai uji keteguhan lentur modulus patah ≥ 35 kgf/cm² terklasifikasi sebagai papan serat tinggi PSKT tipe T1 35. Dengan demikian, inovasi papan serat memenuhi SNI 01-4449-2006. Adapun hasil pengujian keteguhan lentur modulus patah ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil uji keteguhan lentur modulus patah

3.3. Pengujian penyerapan air

Hasil pengujian penyerapan air diperoleh nilai penyerapan air tertinggi yaitu pada variasi 10% sebesar 22,59%. Sementara yang memiliki penyerapan air terendah/yang terbaik yaitu pada variasi 7,5% sebesar 21,51%. Hal ini disebabkan oleh sifat dari bubuk keramik yang mempunyai daya serap air cukup besar, karena keramik mengandung bahan silika yang bersifat pozzolan yaitu menyerap air (Wibowo, 2018). Dari hasil pengujian ini dapat disimpulkan bahwa substitusi keramik terhadap semen yang optimal pada nilai penyerapan air yaitu variasi 2,5%, 5%, 7,5%, kemudian mengalami kenaikan penyerapan air pada variasi 10%. Berdasarkan SNI 01-4449-2006 diketahui bahwa benda uji yang telah dilakukan pada pengujian ini sudah sesuai dengan ketentuan standar persyaratan tentang papan serat dengan maksimal nilai penyerapan air 25%. Adapun hasil pengujian penyerapan air ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil uji penyerapan air

4. Kesimpulan

Berdasarkan dari penelitian yang telah dilakukan pada substitusi pecahan bubuk keramik terhadap semen pada inovasi papan serat kalsiboard, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Komposisi *gypsum casting*, semen MU, bubuk keramik, serat kaca sebagai penyusun papan partisi menghasilkan karakteristik paling optimal pada papan partisi inovasi variasi 7,5%, dengan komposisi 7,5% bubuk keramik dan 92,5% semen MU. Pada variasi ini, diperoleh nilai kerapatan sebesar 1,144 gr/cm³, nilai keteguhan lentur modulus patah sebesar 74,352 kgf/cm², nilai penyerapan air sebesar 21,51%. Maka dapat disimpulkan bahwa papan partisi inovasi variasi 7,5% memiliki kualitas yang lebih baik dari pada papan partisi konvensional.
- 2) Jumlah variasi komposisi mempengaruhi terhadap karakteristik papan partisi terhadap tiga pengujian diantaranya kerapatan, lentur, dan penyerapan air. Berdasarkan hasil pengujian, papan partisi inovasi telah memenuhi SNI 01-4449-2006 dari nilai ketentuan standar dengan nilai kerapatan melebihi > 0,84 gr/cm³ dan diklasifikasikan sebagai papan serat kerapatan tinggi, didapatkan nilai keteguhan lentur modulus patah terbaik pada variasi 7,5% sebesar 74,352 kgf/cm² dan telah memenuhi standar yaitu ≥ 35 kgf/cm², didapatkan nilai penyerapan air sebesar 21,51% yang juga telah memenuhi standar < 25%.
- 3) Didapatkan bahwa biaya yang dikeluarkan untuk membuat satu papan partisi variasi terbaik 7,5% yang berukuran 20x20x0,6 cm adalah Rp. 658,68.

Referensi

- Badan Standarisasi Nasional. (2006). SNI 01-4449-2006. Mutu Papan Serat. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Ramdani, I. B., Pratama, J. H., Santosa, F. J., & Hartono, W. (2019). Cangkang Pila Ampullacea dan Blotong Tebu Sebagai Bahan Pembuatan Smart-Partisi. *Jurnal Riset Rekayasa Sipil*, 3(1), 28.
<https://doi.org/10.20961/jrrs.v3i1.34721>
- Amalia, N. A., & Widyasari, S. (2023). Pengaruh persentase campuran serat daun nenas dan cangkang kerang darah terhadap inovasi papan partisi penyekat ruangan. *eprints2.undip.ac.id*.
https://eprints2.undip.ac.id/id/eprint/15175/1/PILAR_S_Nurul%20%26%20Sheny.pdf
- Fathurrahman, H., Neolaka, A., & ... (2020). Perbandingan Papan Gypsum Serat Daun Nenas (Ananas Comosus L. Merr) Terhadap Papan Gypsum Komersil Dilihat Dari Sifat Fisis Dan Mekanis Berdasarkan Sni *Jurnal Pendidikan Teknik* <http://journal.unj.ac.id/unj/index.php/jptv/article/view/23752>
- Gumay, O. P. U., Lestari, F., & ... (2020). Sosialisasi Pemanfaatan Pelepah Pisang Sebagai Material Dinding Kedap Suara Di Desa Kebon Kolim Kabupaten Musi Rawas. *Community*
<http://journal.universitaspahlawan.ac.id/index.php/cdj/article/view/995>
- Gunawan, G., Nawangsari, P., & Masnur, D. (2016). Studi Pemanfaatan Limbah Kaca Dan Piston Bekas Sebagai Material Alternatif Kanvas Rem Sepeda Motor Dengan Menggunakan Metode Metalurgi Serbuk. *neliti.com*.
<https://www.neliti.com/publications/203513/studi-pemanfaatan-limbah-kaca-dan-piston-bekas-sebagai-material-alternatif-kanva>
- Suharto, I. (2011). Limbah Kimia dalam Pencemaran Udara dan Air. (No Title).
<https://cir.nii.ac.jp/crid/1130294242455415939>
- Tarkono, T., & Ali, H. A. H. (2015). Similarity: PENGARUH PENAMBAHAN SERAT TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS) TERHADAP SIFAT MEKANIK ETERNIT YANG RAMAH LINGKUNGAN. *repository.lppm.unila.ac.id*. <http://repository.lppm.unila.ac.id/49780/>

