

OPTIMALISASI PENGGUNAAN SERBUK KAYU TERHADAP DISIPASI ENERGI PADA MORTAR

Sry Wahyuni R.

wahyunicivil@gmail.com

Universitas Muhammadiyah Enrekang

ABSTRAK

Penelitian ini membahas tentang optimalisasi penggunaan serbuk kayu terhadap disipasi energi pada mortar. Adanya serbuk kayu yang merupakan limbah industri meubel hanya tertimbun dan cenderung menjadi sampah karena pemanfaatannya belum optimal. Dengan memanfaatkan serbuk kayu sebagai bahan substitusi pasir terhadap berat dalam volume mortar setidaknya dapat mengatasi dampak negatif limbah industri kayu terhadap lingkungan. Karena kayu merupakan isolator atau penghantar panas yang buruk, maka mortar dengan tambahan serbuk kayu ternyata mampu untuk mempercepat proses penguapan dan meredam suara yang menyebabkan kebisingan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari mortar jika dicampurkan dengan serbuk kayu merbau yang akan digunakan dalam pengujian peredam suara dan hantaran panas. Pembuatan sampel dilakukan sebanyak enam variasi dengan persentase campuran : 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% dengan tahap pengujian, Nilai Sebar, Kuat Tekan, Daya Serap Air, Peredam Suara dan Hantaran Panas. Pengujian peredam Suara Menggunakan Audio Generator 10 Hz sampai 10.000 Hz, Kapasitor Pembanding, Volt Meter, Ampere Meter, dan Speaker 1 watt. Rangkaian pengujian peredam suara dilaksanakan sampai memperoleh intensitas suara Input dan Output (dB) dari benda uji Mortar. Sedangkan untuk pengujian Hantaran Panas menggunakan Thermometer 100oC sampai memperoleh temperatur penyerapan panas yang tersimpan dalam benda uji mortar semen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai persentase serbuk yang optimal untuk memperoleh disipasi energi pada mortar berkisar antara 12,50% sampai 16,50%. Campuran mortar dengan serbuk kayu dapat meredam suara hingga 96,22%, yaitu dari intensitas suara (input) 58,2 dB menjadi 2,2 dB. Dan mortar juga mampu meredam panas hingga 14,71%, yaitu dari suhu 34oC menjadi 29oC.

Kata Kunci: Disipasi Energi, Hantaran Panas, Mortar, Optimalisasi, Dan Serbuk Kayu

ABSTRAK

This study discusses the optimization of the use of sawdust for energy dissipation in mortar. Presence of wood dust is a waste just piled furniture industry and tend to be rubbish because utilization is not optimal. Therefore, by utilizing sawdust as material substitution sand to the weight of the volume of mortar at least be able to overcome the negative impacts of industrial wood waste on the environment. Because wood is an insulator or a bad conductor of heat, then the mortar with the addition of sawdust was able to speed up the evaporation process and muffle sounds that cause noise. This study aimed to investigate the characteristics of the mortar when mixed with merbau wood powder to be used in testing silencers and heat conductivity. Sample preparation is done as many as six variations of the mix percentage : 0%, 5%, 10%, 15%, 20% and 25% to the testing phase, Value Spread, Compressive Strength, Water Absorption, sound absorbers and heat conductivity. Sound dampening Testing Using Audio Generator 10 Hz to 10000 Hz, Capacitors Appellant, Volt Meter, Ampere Meter, and Speaker 1 watt. The series of tests conducted to obtain silencers Input and Output sound intensity (dB) of the specimen Mortar. As for the heat conduction testing using a thermometer to obtain temperature 100oC heat absorption test specimens stored in cement mortar. The results showed that the optimal value of the percentage of powder to obtain the energy dissipation in mortar ranged from 12,50% to 16,50%. Mortar mixed with sawdust to dampen the sound up to 96,22%, from the intensity of the sound (input) 58,2 dB to 2,2 dB. And mortar was also able to reduce heat up to 14,71%, from 34oC to 29oC temperature.

Keyword: Energy Dissipation, Heat Conductivity, Mortar, Optimization, And Powder Wood.

PENDAHULUAN

Konstruksi bangunan adalah komponen yang sangat penting dalam kehidupan masyarakat, sebagian besar konstruksi yang ada seperti rumah, perkantoran, tempat ibadah, hotel, gedung bioskop, pabrik-pabrik, rumah sakit, dan sebagainya harus dirancang dengan baik sebelum dibangun. Salah satu yang harus diperhatikan yakni mengenai kebisingan dan panas ruangan yang meningkat dari hari ke hari. Mengingat kebisingan merupakan suatu jenis pencemaran yang tidak dikehendaki, karena berpengaruh terhadap kenyamanan dan kesehatan, maka reduksi kebisingan menjadi faktor penting dalam perencanaan dinding ruangan. Seperti penataan bunyi yang perlu diperhatikan agar tidak terjadi pemantulan suara dan efek dengung, baik untuk gedung maupun untuk rumah hunian. Untuk mengatasi hal tersebut, maka dinding rumah dengan bahan semen dan batuan sebaiknya diimbangi dengan penggunaan serbuk kayu untuk menyerap suara yang dipantulkan oleh dinding dan langit-langit, atau memvariasikan dinding batu dengan langit-langit kayu untuk menyerap bising dalam ruangan.

Di samping itu, seringkali kita merasakan panas pada malam hari, padahal tidak terdapat cahaya matahari. Itu karena dinding dan lantai menyerap panas di siang hari dan menguap di malam hari. Terlebih lagi jika dinding rumah menghadap matahari sore, tentu saja suhu panas dalam ruangan tidak dapat dihindarkan. Padahal rumah tinggal seharusnya mempunyai minimal satu ruangan yang nyaman sehingga dapat digunakan untuk beristirahat total, terutama apabila kita sedang sakit. Oleh karena itu, bila dimungkinkan ruang-ruang di dalam rumah untuk bersantai dan beristirahat seperti ruang keluarga dan kamar tidur, diletakkan di daerah yang terlindung dari panas matahari langsung. Selain itu dapat juga kita buat dinding dengan campuran serbuk kayu agar panas matahari dapat diserap atau dipantulkan.

Bertolak dari masalah di atas, saat ini penggunaan material beton untuk konstruksi telah mencapai kurang lebih 8,8 milyar ton per tahun, dan dengan selalu bertambahnya tingkat urbanisasi diberbagai belahan bumi, maka angka ini akan terus berkembang. Telah banyak orang yang memikirkan dan mencoba berbagai alternatif untuk peningkatan kualitas bangunan dari tahun ke tahun. Untuk peningkatan kualitas tersebut, tentu saja dibutuhkan material yang memenuhi spesifikasi. Dalam hal penyediaan bahan material yang memenuhi persyaratan inilah yang sering timbul masalah dimana bahan tersebut semakin lama semakin berkurang jumlahnya dan semakin dibutuhkannya biaya yang cukup besar dalam pengadaan bahan material bangunan. Sehingga mulai muncul banyak pemikiran untuk pengadaan material tambahan dari material yang telah lazim digunakan.

Kebutuhan tersebut berdampak pada peningkatan kebutuhan material pendukung beton. Salah satu yang berkembang pesat adalah kebutuhan terhadap produk mortar. Mortar dibuat dengan menggunakan pasir, semen dan air. Dalam pembuatan mortar harus mempunyai sifat fisis dan mekanis sesuai dengan standar, misalnya ASTM (American Society for Testing and Materials). Kegunaan mortar adalah melapisi pasangan batu bata, batu kali, batu cetak (batako), pasangan pondasi, pasangan tembok dinding rumah, maupun lantai batu bata agar permukaannya tidak mudah rusak dan kelihatan rapi dan bersih. Meskipun teknologi mortar telah terbukti kemampuannya, namun karena tuntutan konstruksi terhadap kekuatan, kelenturan dan keawetan, maka teknologi ini dapat ditingkatkan efektifitas kinerjanya dengan pendekatan: optimalisasi penggunaan serbuk kayu guna menghasilkan disipasi energi panas dan energi suara. Hal tersebut dimaksudkan karena disipasi energi adalah energi yang hilang dari suatu sistem dan berubah menjadi energi lain yang tidak menjadi tujuan sistem tersebut. Sesuai dengan perkembangan teknologi, beberapa peneliti terus memperbaiki sifat-sifat mortar antara lain dengan menambah serat ke dalam adukan yang disebut mortar serat, yaitu mortar yang dibuat dari

campuran semen dengan agregat halus dengan bahan tambahan serat. Jenis serat yang dapat digunakan untuk memperbaiki sifat kurang baik dari mortar adalah baja, plastik, kaca, karbon, dan serat alamiah.

Salah satu alternatif serat alamiah yaitu penggunaan limbah serbuk gergaji kayu merbau yang akan digunakan sebagai bahan substitusi pasir terhadap berat dalam volume mortar.

Menurut Setiawan (2006) keuntungan yang diperoleh dengan memanfaatkan bahan tersebut adalah:

1. Memiliki berat yang relatif ringan sehingga sangat cocok digunakan untuk bangunan bertingkat tinggi.
2. Memiliki daya hantar panas dan listrik yang relatif rendah.
3. Mempunyai sifat isolasi dan akustik yang baik sehingga bahan ini cocok untuk ruang kedap suara.
4. Relatif lebih tahan terhadap serangan rayap dan jamur dibandingkan dengan papan kayu, karena selain berfungsi sebagai perekat pasta semen juga berfungsi sebagai pelindung (isolator) dan pengawet serbuk gergaji dari pengaruh lingkungan yang sifatnya dapat merusak.

Berdasarkan hasil dari beberapa penelitian sebelumnya seperti Muh Ibnu Budi Setyawan (2006) diperoleh hasil bahwa mortar semen yang menggunakan serbuk gergaji sebagai substitusi pasir dan substitusi semen mengalami penurunan kuat tekan sejalan dengan bertambahnya persentase serbuk gergaji kayu. Kuat tekan rata-rata tertinggi untuk kedua substitusi berturut-turut adalah 128,740 kg/cm² dan 113,84 kg/cm² yang dicapai pada konsentrasi serbuk gergaji 0%, sedangkan kuat tekan rata-rata terendah untuk kedua substitusi berturut-turut adalah 15,279 kg/cm² dan 45,070 kg/cm² yang dicapai pada konsentrasi serbuk gergaji 20%. Hasil uji daya serap air mortar semen yang menggunakan serbuk gergaji sebagai substitusi pasir dan substitusi semen mengalami kenaikan daya serap sejalan dengan bertambahnya persentase serbuk gergaji kayu. Daya serap air rata-rata terendah untuk kedua substitusi berturut-turut adalah 9,569% dan 11,013% yang dicapai pada konsentrasi serbuk gergaji 0%, sedangkan daya serap air rata-rata tertinggi untuk kedua substitusi berturut-turut adalah 46,481% dan 16,015% yang dicapai pada konsentrasi serbuk gergaji 20%.

Sedangkan Sri Mulyati, Dahyunir Dahlan, Elvis Adril (2006), mengemukakan bahwa berdasarkan penambahan hasil pembakaran serbuk kayu pada campuran mortar diperoleh kuat tekan kekuatan material semakin bertambah seiring dengan penambahan hasil pembakaran serbuk kayu pada campuran mortar kuat tekan maksimum yang diperoleh adalah 320 kg/cm². Namun, peningkatan ini hanya sampai pada titik variasi campuran 10% massa. Sedangkan penyerapan air mortar semakin berkurang seiring dengan penambahan hasil pembakaran serbuk kayu pada campuran mortar. Namun, penurunan ini hanya sampai titik tertentu, dimana penambahan lebih lanjut jumlah hasil pembakaran serbuk kayu justru menaikkan penyerapan air mortar. Penyerapan air tertinggi dalam eksperimen sebesar 3,7% yaitu pada mortar yang menggunakan variasi campuran hasil pembakaran serbuk kayu sebanyak 25% massa. Dan penyerapan air terendah di dalam eksperimen sebesar 1,75% yaitu pada mortar yang menggunakan variasi campuran hasil pembakaran serbuk kayu sebanyak 10% massa.

Ida Nurawati pada penelitiannya (2010). Kuat tekan paving block yang dihasilkan pada substitusi serbuk gergaji kayu sampai 20% berat semen rata-rata sebesar 208,619 kg/cm². meskipun ada penurunan kuat tekan, namun masih tergolong dalam mutu III sesuai SK SNI T-15-1990-03 dengan batas kuat tekan sebesar 170 kg/cm².

Berdasarkan pernyataan di atas, maka penulis mencoba untuk memaparkan sebuah kasus penelitian dengan judul “Optimalisasi Penggunaan Serbuk Kayu Terhadap Disipasi Energi Pada Mortar” guna memanfaatkan limbah serbuk gergaji kayu yang memerlukan penanganan serius dalam mengolahnya menjadi bahan campuran mortar.

TINJAUAN PUSTAKA

Menurut SNI 03-6825-2002 mortar didefinisikan sebagai campuran material yang terdiri dari agregat halus (pasir), bahan perekat (tanah liat, kapur, semen portland) dan air dengan komposisi tertentu. Yang membedakan mortar dengan semen, sebenarnya mortar adalah semen siap pakai dimana komponen pembentuk mortar umumnya adalah semen itu sendiri, filler dan berbagai jenis additive yang sesuai. Seperti yang kita ketahui, dalam proses penggunaan semen, biasanya kita melihat tukang mencampur semen, pasir ayak, kapur (lime), bata merah halus (opsional) dan air. Pencampuran ini tentunya selalu tidak pernah seragam dan juga hanya berdasarkan “intuisi” si tukang. Adanya mortar tentunya merubah konsep cara pencampuran seperti itu karena mortar adalah “semen instant” yang siap pakai. Hanya dengan menambahkan air, kemudian diaduk dan langsung bisa dipakai. Kenapa kita pakai mortar? Alasannya sebenarnya simpel, yaitu antara lain memiliki keunggulan :

1. Konsistensi, karena diproduksi masal dan juga dengan alat modern dan oleh pabrikan, maka konsistensi bahan bakunya cukup seragam. Kita tidak perlu pusing lagi akan stabilitasnya.
2. Mudah, karena tinggal tambah air dan langsung bisa dipakai.
3. Lebih baik, Adanya additif yang sesuai akan memberikan sifat bahan yang lebih baik dibanding hanya dengan menggunakan campuran semen biasa. Terkadang dengan aplikasi semen biasanya bisa menyebabkan beberapa problem, antara lain lantai terangkat, dinding pecah-pecah atau retak, dan lain-lain. Penggunaan mortar yang tepat akan bisa menghindarkan problem ini di kemudian hari.

Sedangkan kekurangannya otomatis dari sisi harga, karena mortar instant dijual amat sangat jauh lebih mahal daripada semen. Penggunaan mortar tentunya akan ber-efek membuat biaya bahan bangunan menjadi bengkak, tetapi karena penggunaannya yang relatif sangat mudah, maka man-hours tukang kita akan berkurang drastis sehingga ongkos tukang akan berkurang. Untuk jangka panjangnya, penggunaan mortar ini juga akan bisa menghindarkan problem yang mungkin terjadi jika dibandingkan dengan penggunaan campuran semen biasa (misal seperti disebut di atas, dinding retak dan lantai terangkat). Biaya reparasi di kemudian hari bisa jauh lebih tinggi dari pada ongkos yang dikeluarkan dengan penggunaan mortar (dibandingkan dengan campuran semen biasa) pada saat pembangunan awal struktur.

Perlu diketahui juga, untuk bangunan-bangunan tinggi (high rise) dan juga ruko-ruko terbaru, umumnya sekarang mereka sudah menggunakan mortar dan AAC untuk bahan baku pembuatan dinding, dan juga mereka merekatkan keramik (vertikal dan horisontal) dengan mortar, sedangkan untuk struktur mereka menggunakan beton ready mix. Ini bertujuan untuk menjaga konsistensi bahan baku yang digunakan dan juga efisiensi tenaga kerja, sehingga diharapkan bisa memperpanjang usia bangunan dengan menghindari problem-problem yang mungkin terjadi di kemudian hari.

Untuk menghitung efisiensi pemakaian mortar, kita bisa bandingkan pada aplikasi pembuatan tembok. Bisa kita lihat bahwa jika tukang kita menggunakan bata merah sebagai bahan baku tembok, maka campuran semen yang dia buat akan relatif banyak karena bata merah berdimensi kecil, sehingga untuk merekatkan satu sama lain harus menggunakan campuran semen sehingga membentuk tembok, dibutuhkan waktu yang tidak sedikit dan

material campuran semen yang banyak.

Umumnya 1 orang tukang hanya mampu membuat tembok sepanjang 3 meter (tebal 1 bata memanjang) untuk 1 shift kerja dengan menggunakan bahan baku bata merah dan campuran semen. Jika menggunakan AAC dan mortar, maka efisiensinya bisa meningkat drastis menjadi kurang lebih 3 kali lipat alias 9 meter tembok (pemasangan AAC memanjang). Penggunaan mortar untuk merekatkan AAC juga relatif jauh lebih efisien, karena dimensi AAC terkecil saja kurang lebih setara dengan dimensi 7 buah bata merah biasa. Penggunaan thin bed mortar sebagai perekat AAC akan kurang lebih hanya seperlima (atau lebih) daripada campuran semen yang digunakan untuk membuat tembok dengan volume yang sama (contoh : penggunaan dibandingkan pada 7 bata merah vs 1 AAC terkecil).

Di atas adalah gambaran tentang efisiensi yang terjadi dengan penggunaan mortar. Jadi efisiensi dihasilkan dari pemakaian mortar & AAC yang lebih sedikit untuk menghasilkan volume tembok yang sama jika dibandingkan dengan bata merah & campuran semen, dan juga waktu yang dibutuhkan jauh lebih singkat sehingga biaya tukang bisa ditekan. (FYI, harga AAC bisa 2x lipat bahkan lebih harga bata merah dengan volume yang sama).

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain : semen Tonasa Type PCC dalam kemasan 40 kg, sesuai standar ASTM C150; agregat halus (pasir) yang berasal dari Bili-bili Kabupaten Gowa Makassar; air bersih dan serbuk kayu merbau yang digunakan berasal atau diambil dari penggergajian Kayu merbau di wilayah Makassar.

Sedangkan alat yang digunakan pada penelitian ini berupa Alat yang digunakan dalam penelitian ini beserta penjelasan singkat tentang kegunaannya akan diuraikan di bawah ini:

1. Alat uji kuat tekan mortar dengan ketelitian pembacaan 0,01.



Gambar 1. Mesin uji kuat tekan mortar

2. Cetakan kubus mortar dengan ukuran 50 mm x 50 mm x 50 mm yang digunakan untuk pengujian kuat tekan mortar, pengujian daya serap air dan pengujian hantaran panas.



Gambar 2. Cetakan mortar semen

Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik dan di Laboratorium Fisika Fakultas Teknologi Industri

Universitas Muslim Indonesia dengan metode eksperimental untuk memperoleh hasil ataupun data-data yang menegaskan hubungan antara variabel-variabel yang diteliti. Dalam penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran tentang Optimalisasi Penggunaan Serbuk Kayu Terhadap Disipasi Energi Pada Mortar.

Pelaksanaan Penelitian

Adapun pelaksanaan penelitian meliputi:

1. Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halu

Pemeriksaan karakteristik fisik agregat halus meliputi :

- a. Pemeriksaan Analisa Saringan, dilakukan berdasarkan prosedur ASTM C-136-46.
- b. Pemeriksaan Kadar Air, dilakukan berdasarkan prosedur ASTM C-556-67.
- c. Pemeriksaan Berat Volume, dilakukan berdasarkan prosedur ASTM C-29-71.
- d. Pemeriksaan Kadar Lumpur, dilakukan berdasarkan prosedur ASTM-C-117-81.
- e. Pemeriksaan Zat Organik, dilakukan berdasarkan prosedur ASTM-C-40-667.
- f. Pemeriksaan Berat Jenis & Penyerapan, dilakukan berdasarkan prosedur ASTM-C-128-68.

2. Pemeriksaan Karakteristik Serbuk Kayu Merbau

Pemeriksaan karakteristik serbuk kayu merbau meliputi :

- a. Pemeriksaan Analisa Sarigan, dilakukan berdasarkan prosedur ASTM C-136-46.
- b. Pemeriksaan Kadar Air, dilakukan berdasarkan prosedur ASTM C-556-67.
- c. Pemeriksaan Berat Volume, dilakukan berdasarkan prosedur ASTM C-29-71.
- d. Pemeriksaan Berat Jenis, dilakukan berdasarkan prosedur ASTM-C-128-68.

3. Pembuatan Campuran

Memasukkan air sekitar 80% dari hasil yang dibutuhkan ke dalam mesin pengaduk kemudian dimasukkan agregat campuran dan semen. Sambil mesin pengaduk diputar sisa air dimasukkan sedikit demi sedikit sampai airnya habis dalam waktu tidak kurang dari tiga menit. Pengadukan dilakukan sampai diperkirakan homogen.

4. Pembuatan Benda Uji Mortar Semen

Bila tahap persiapan bahan dan rencana kebutuhan bahan tiap adukan telah dibuat, tahap berikutnya dilakukan penimbangan bahan susun mortar semen yaitu semen, pasir dan serbuk kayu merbau sesuai dengan kebutuhan bahan tiap adukan. Semua bahan susun adukan mortar semen diletakkan dalam tempat yang terpisah agar tidak tercampur satu sama lain. Selanjutnya secara berturut-turut dimasukkan pasir, serbuk kayu merbau dan semen. Kemudian semua bahan diaduk pelan-pelan lalu masukkan bahan secara bertahap lalu diaduk sampai semua tercampur rata setelah itu masukkan air perlahan-lahan. Jumlah keseluruhan air dicatat. Sementara pengadukan berlangsung cetakan mortar disiapkan. Bagian yang perlu diberi pelumas diolesi oli secukupnya. Apabila adukan diyakini sudah cukup homogen adukan siap untuk dicetak. Pada langkah ini juga dilakukan pemeriksaan kelecakan adukan dengan cara meremas adukan dengan tangan menjadi bentuk seperti bola. Kelecakan yang baik adalah apabila bola adukan tidak pecah ketika dilepas dari kepalan tangan dan tidak meninggalkan bekas pada tangan, hal ini dimaksudkan agar adukan dapat dicetak dengan baik tanpa menempel pada dinding cetakan apabila terlalu encer atau mortar semen pecah pada saat dikeluarkan dari cetakan apabila adukan terlalu kental. Cara pemeriksaannya dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Pemeriksaan kelecatan adonan mortar (Sudarmoko 2000:11)

Adukan dimasukkan ke dalam cetakan dengan menggunakan cetok. Adukan ditusuk-tusuk dengan tongkat pemadat untuk setiap lapis adukan mortar semen dilakukan sebanyak 25 kali tusukan secara merata sampai cetakan penuh, agar mortar semen yang dihasilkan tidak keropos. Setelah dianggap cukup, adukan diratakan dengan tongkat perata sehingga permukaan atas adukan mortar beton rata dengan bagian atas cetakan serta dilakukan penekanan. Mortar semen dengan bahan isian serbuk gergaji segar diambil dari cetakannya dan diletakkan diatas meja yang rata setelah 24 jam.

5. Perawatan Benda Uji Mortar Semen

Benda uji mortar yang telah berumur 24 jam dikeluarkan dari dalam cetakan dan diberi tanda. Setelah itu benda uji direndam dalam baskom/bak perendam selama umur perawatan yaitu : 3, 7,14, 21 dan 28 hari. Benda uji dikeluarkan dari dalam bak sehari sebelum dilakukan pengujian kuat tekan dan diletakkan pada tempat yang lembab.



Gambar 4. Perendaman benda uji mortar

Pengumpulan dan Analisis Data

Teknik pengumpulan data dilaksanakan dengan menggunakan metode eksperimen terhadap beberapa benda uji dari berbagai kondisi perlakuan yang diuji di laboratorium. Untuk beberapa hal pada pengujian bahan, digunakan data sekunder yang dikarenakan penggunaan bahan dan sumber nj80iyang sama.

Data-data yang dikumpulkan dalam penulisan ini terdiri atas dua jenis, yaitu :

- Data primer merupakan data yang diperoleh dari hasil penelitian di laboratorium, seperti data-data yang diperoleh dari beberapa pengujian pendahuluan untuk mendukung pengujian inti.
- Data sekuder yaitu data yang diperoleh tidak dengan penelitian di laboratorium tetapi melalui referensi.

Pengujian

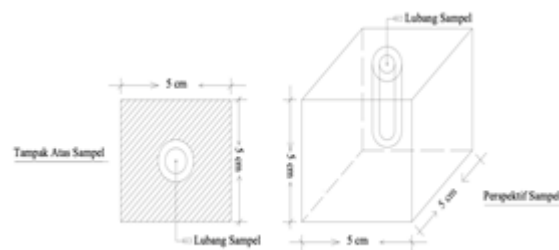
1. Pengujian Meja Sebar

Adukan yang rata selanjutnya diuji konsistensinya dengan meja sebar. Pengujian ini dilakukan dengan cara memasukkan campuran dalam kerucut yang berada di atas meja sebar, selanjutnya dipadatkan dengan penumbuk dan kemudian pada bagian atasnya

diratakan hingga sama dengan permukaan kerucut kuning. Setelah 1 menit, kerucut kuning diangkat dan meja sebar dijatuhkan sebanyak 25 kali (25 ketukan) selama 15 detik. Diantara sebaran mortar diukur dalam 4 arah/garis yang terdapat pada meja sebar. Nilai sebaran adalah penjumlahan 4 nilai tersebut dalam satuan persen. Berdasarkan (ASTM Disignation: C270-57T, dalam Taufiq bintang, 2005), nilai konstensi mortar yang disyaratkan adalah 70% - 115%. Maka untuk memperoleh konsistensi yang disyaratkan maka penambahan air dilakukan bila pengujian meja sebar belum mencapai konsistensi yang disyaratkan

2. Uji Hantaran Panas

Pengujian hantaran panas dilakukan pada benda uji yang berbentuk kubus dengan ukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm. Benda uji yang telah berumur 28 hari dilubangi tengahnya sampai pada kedalam 2,5 cm. Setelah itu mortar yang telah dilubangi dijemur mulai dari jam 9:00 pagi sampai 16:00 sore. Selanjutnya benda uji diukur suhunya dengan thermometer dengan interval pembacaan thermometer yaitu 15 menit lalu dicatat suhunya sampai pembacaan thermometer konstan.



Gambar 5. Benda uji kubus hantaran panas mortar semen

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Agregat Halus

Agregat halus (pasir) yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir dari daerah Bili - Bili kabupaten Gowa. Dalam pengujian material dimaksudkan untuk mengetahui data awal mengenai material yang akan dipakai. Pengujian-pengujian yang dilakukan terhadap agregat halus meliputi pengujian kandungan lumpur, kandungan zat organik, kadar air, berat volume, berat jenis (spesifik grafiti) dan analisa saringan. Data-data yang diperoleh akan dipergunakan sebagai acuan perhitungan campuran mortar semen. Adapun data-data yang diperoleh disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian agregat halus

No.	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar	Spesifikasi	Ket.
1.	Kadar air (%)	3,310	3 – 5 %	ASTM C556	Memenuhi
2.	Berat Volume (kg/ltr)	1,277	1,20 – 1,90	ASTM C 29	Memenuhi
3.	Absorpsi (%)	0,550	0,20 – 2,00	ASTM C127	Memenuhi
4.	Berat Jenis Spesifik	2,306	1,60 – 3,20	ASTM C127	Memenuhi
5.	Modulus Kehalusan	1,892	1,50 - 3,80	ASTM C 33	Memenuhi
6.	Kadar Lumpur (%)	3,600	0,2 - 6,0 %	ASTM C142	Memenuhi
7.	Kadar Organik (warna)	No.1 (muda)	< No. 3	ASTM C 40	Memenuhi

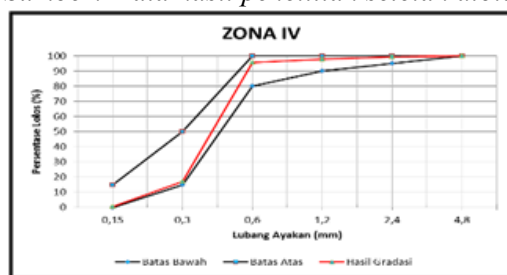
Sumber: Data hasil penelitian setelah diolah

Sedangkan untuk hasil pengujian gradasi agregat halus serta spesifikasinya dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil pengujian gradasi agregat halus

Lubang (inch/mm)	Ayakan	Berat Agregat Halus = 1500 gram			
		Tertahan		% Komulatif	
(inch)	(mm)	(Gram)	(%)	Tertahan	Lolos
No.4	4,76	0	0,000	0,000	100,0
No.8	2,38	8,1	0,540	0,540	99,46
No.16	1,19	22,3	1,487	2,027	97,973
No.30	0,59	36,3	2,420	4,447	95,553
No.50	0,149	1176,4	78,427	82,873	17,127
No.100	0,149	246,9	16,460	99,333	0,667
Pan		10	0.667		
Jumlah		1500	100.000	189,220	
Modulus Kehalusan (Fr) = 1.892					

Sumber: Data hasil penelitian setelah diolah



Gambar 6. Grafik hasil gradasi agregat halus

Berdasarkan Gambar 6, terlihat gradasi pasir memenuhi persyaratan campuran mortar semen dan termasuk ke dalam Zona IV (pasir halus).

Pengujian Serbuk Kayu Merbau

Serbuk kayu merbau diperoleh dari hasil penggergajian UD. Kayu Bayam Daeng Ngawing yang berlokasi di Kota Makassar. Pengujian ini di kategorikan sebagai bahan tambah untuk pencampuran mortar semen. Pengujian-pengujian material yang dilakukan antara lain, pengujian analisa saringan, pengujian kadar air, pengujian berat volume dan pengujian berat jenis. Data dari hasil pengujian diolah sebagai bahan tambah pencampuran mortar semen. Adapun data-data yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Hasil pengujian serbuk kayu merbau

No.	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian
1.	Kadar air (%)	24,24
2.	Berat Volume (Kg/ltr)	0,181
3.	Modulus Kehalusan	2,886
4.	Berat Jenis Kayu Merbau	
	Maksimal: 1,04	
	Minimum: 0,52	0,985
	Rata-rata : 0,80	

Sumber: Data hasil penelitian setelah diolah

Untuk pengujian gradasi serbuk kayu merbau dapat dilihat pada Tabel 4 sebagai berikut.

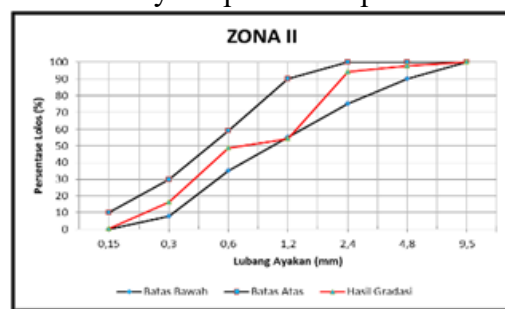
Tabel 4. Hasil pengujian gradasi serbuk kayu merbau

Lubang Ayakan (inch/mm)	Berat Agregat Halus = 200 gram
-------------------------	--------------------------------

(inch)	(mm)	Tertahan		% Komulatif	
		(Gram)	(%)	Tertahan	Lolos
No.4	4,76	4,5	2,25	2,25	97,75
No.8	2,38	7	3,50	5,75	94,25
No.16	1,19	80,2	40,10	45,85	54,15
No.30	0,59	11,2	5,60	51,45	48,55
No.50	0,149	64,5	32,25	83,70	16,30
No.100	0,149	31,7	15,85	99,55	0,45
Pan		0,9	0,45		
Jumlah		200	100,00	288,55	
Modulus Kehalusan (Fr) = 2,886					

Sumber: Data hasil penelitian setelah diolah

Grafik kurva gradasi serbuk kayu dapat dilihat pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7. Grafik hasil gradasi serbuk kayu merbau

Berdasarkan Gambar 7 di atas, gradasi serbuk memenuhi persyaratan campuran mortar semen dan termasuk dalam Zona II (Serbuk kayu merbau).

Hasil Pengujian Mortar Segar

Keleccakan adukan dilakukan dengan cara meremas adukan dengan tangan hingga membentuk seperti bola. Keleccakan yang baik adalah apabila bola adukan dilepas dari kepalan tangan, maka tidak pecah dan tidak meninggalkan bekas pada tangan, hal ini dimaksudkan agar adukan dapat dicetak dengan baik tanpa menempel pada dinding cetakan. Apabila terlalu encer, atau terlalu kental maka mortar semen akan pecah pada saat dikeluarkan dari cetakan.

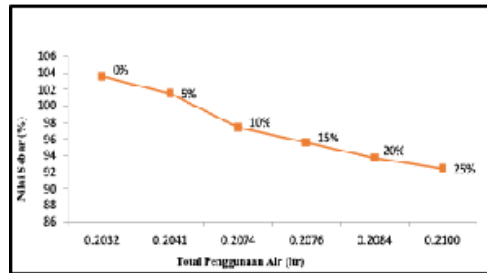
Nilai sebar yang disyaratkan pada penelitian ini berdasarkan ASTM D: C 270 – 575 yaitu 70% - 115% dan berdasarkan pengujian di lapangan 95% - 103,5%. Pemeriksaan nilai sebar dan faktor air semen (fas) yang disyaratkan akan diperoleh nilai yang sesuai. Nilai sebar dan perubahan fas yang diperoleh pada setiap adukan mortar terdapat pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Hasil pemeriksaan nilai sebar dan faktor air semen (fas) untuk setiap adukan mortar

No.	Proporsi Campuran	Nilai Sebar (%)	Total Penggunaan Air (ltr)	Nilai Fas
1.	0 %	103,5	0,2032	1,05
2.	5 %	101,5	0,2041	1,05
3.	10 %	97,35	0,2074	1,05
4.	15 %	95,60	0,2076	1,05
5.	20 %	93,70	0,2084	1,05
6.	25 %	92,42	0,2100	1,05

Sumber: Data hasil penelitian setelah diolah

Untuk hasil pengujian nilai sebar dan total penggunaan air serta nilai faktor air semen dapat dilihat pada Gambar 8 berikut.



Gambar 8. Grafik hubungan antara nilai sebar dan total penggunaan air untuk setiap adukan mortar

Pengujian Kuat Tekan Mortar Semen

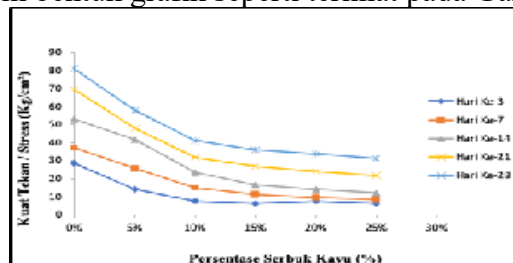
Kuat tekan adalah kemampuan suatu beton atau mortar untuk menerima atau menahan beton sampai batas kehancurannya. Pengujian kuat tekan dilakukan pada saat mortar telah berumur 3 hari, 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari. Dengan 4 buah benda uji untuk setiap campuran serbuk kayu dan menggunakan mesin uji kuat tekan mortar (Digital Compression Tension Machine) merk ELE International. Hasil pengujian kuat tekan mortar dengan bahan tambah serbuk kayu dapat dilihat pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Hasil pengujian kuat tekan mortar semen

Umur Mortar (Hari)	Kuat Tekan Rata-Rata kg/cm ²					
	Tipe Mortar					
	0%	5%	10%	15%	20%	25%
3	28,4	13,87	7,32	5,99	7,32	5,99
7	37,15	25,55	14,71	11,07	9,33	8,36
14	53,15	41,55	23,26	16,64	14,05	12,07
21	69,62	47,86	31,74	26,82	23,84	21,75
28	80,86	57,98	40,99	35,80	33,66	30,94

Sumber: Data hasil penelitian setelah diolah

Kuat tekan rata-rata dari setiap persentase campuran serbuk kayu merbau pada Tabel 6 dapat ditampilkan dalam bentuk grafik seperti terlihat pada Gambar 9 berikut



Gambar 9. Grafik hubungan antara kuat tekan mortar dengan persentase serbuk kayu merbau

Berdasarkan gambar di atas, menunjukkan bahwa, benda uji mortar yang menggunakan serbuk kayu merbau mengalami penurunan kuat tekan sejalan dengan bertambahnya persentase serbuk kayu merbau. Hal tersebut disebabkan karena serbuk kayu mengurangi daya ikat mortar.

Pengujian Daya Serap Air Mortar

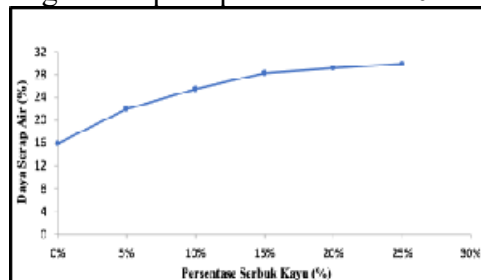
Pengujian daya serap air mortar dilakukan dengan 4 benda uji yang berbentuk kubus dengan ukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm pada setiap variasi campuran. Hasil pengujian daya serap air mortar dengan bahan tambah serbuk kayu merbau dapat dilihat pada Tabel 7 berikut.

Tabel 7. Hasil pengujian daya serap air mortar semen

Persentase Serbuk (hari)	Berat mortar setelah direndam (gram)	Berat mortar kering Oven (gram)	Daya serap air (%)
0%	238,90	206,15	15,91
5%	225,33	184,80	21,93
10%	219,80	175,10	25,53
15%	219,08	170,90	28,19
20%	219,66	170,14	29,10
25%	220,52	169,79	29,89

Sumber: Data hasil penelitian setelah diolah

Daya serap rata-rata dari setiap persentase campuran serbuk kayu merbau pada Tabel 7 dapat dilihat dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 10 berikut.



Gambar 10. Hubungan antara daya serap air dengan persentase serbuk kayu merbau

Pengujian Hantaran Panas Mortar Semen

Dalam pengujian hantaran panas dilakukan 3 langkah pengujian dikarenakan cuaca yang tidak kondusif, diantaranya pengujian yang menggunakan sinar matahari, panas kompor dan panas oven.

1. Pengujian Hantaran Panas Dengan Sinar Matahari

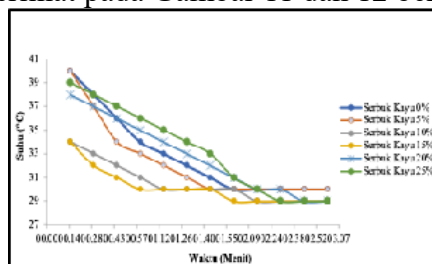
Pengujian hantaran panas pada mortar semen dengan menggunakan panas matahari dilakukan selama 7 jam, mulai dari jam 9 pagi sampai jam 4 sore, dengan interval waktu pembacaan setiap 15 menit untuk 1 sampel yang berbentuk kubus dengan ukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm pada setiap variasi campuran dimana permukaannya dilubangi dengan kedalaman 2,5 cm. Hasil pengujian hantaran panas pada mortar semen dengan sinar matahari, dan bahan tambah serbuk kayu merbau dapat dilihat pada Tabel 8 berikut.

Tabel 8. Hasil pengujian hantaran panas dengan sinar matahari

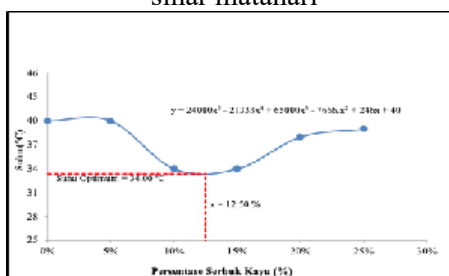
No.	Waktu (Menit)	Temperatur Suhu Mortar (°C)					
		Sampel					
		0%	5%	10%	15%	20%	25%
1.	0:15	40	40	34	34	38	39
2.	0:30	38	37	33	32	37	38
3.	0:45	36	34	32	31	36	37
4.	1:00	34	33	31	30	35	36
5.	1:15	33	32	30	30	34	35
6.	1:30	32	31	30	30	33	34
7.	1:45	31	30	30	30	32	33
8.	2:00	30	30	30	29	31	31
9.	2:15	30	30	29	29	30	30
10.	2:30	30	30	29	29	30	29
11.	2:45	30	30	29	29	29	29
12.	3:00	30	30	29	29	29	29

Sumber: Data hasil penelitian setelah diolah

Hasil pengujian hantaran panas pada mortar semen dipanasi oleh sinar matahari dari setiap persentase campuran serbuk kayu merbau pada Tabel 8 dapat ditampilkan dalam bentuk grafik seperti yang terlihat pada Gambar 11 dan 12 berikut



Gambar 11. Hubungan antara suhu dan waktu untuk hasil Pengujian hantaran panas mortar dengan sinar matahari



Gambar 12. Hubungan antara waktu dan suhu untuk hasil pengujian hantaran panas mortar dengan sinar matahari

Berdasarkan gambar di atas, menunjukkan bahwa, untuk pengujian panas dengan mengandalkan panas matahari menyebabkan benda uji mortar dengan persentase campuran 0% sampai dengan 15% mengalami penurunan temperatur sampai 340C, tetapi benda uji dengan persentase campuran 20% sampai 25%, mengalami kenaikan temperatur sampai 390C. Hal tersebut disebabkan karena persentase serbuk kayu diatas 15% menyebabkan kelebihan rongga pada benda uji, sehingga kemampuan mortar berkurang dalam menyerap panas. Sehingga diperoleh persentase optimum sebesar 12,50%.

Hantaran Panas Dengan Panas Kompor

Pengujian hantaran panas pada mortar semen dengan menggunakan panas kompor dilakukan selama 7 jam, mulai dari jam 9 pagi sampai jam 4 sore, dengan interval waktu pembacaan setiap 15 menit untuk 1 sampel yang berbentuk kubus dengan ukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm pada setiap variasi campuran dimana permukaannya dilubangi dengan kedalaman 2,5 cm. Hasil pengujian hantaran panas pada mortar semen dengan panas kompor, dan bahan tambah serbuk kayu merbau dapat dilihat pada Tabel 9 berikut.

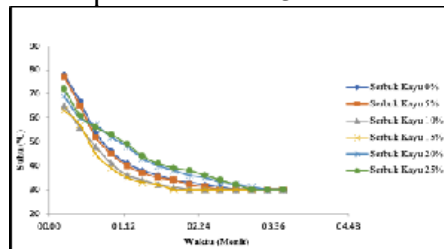
Tabel 9. Hasil pengujian hantaran panas dengan panas kompor

No.	Waktu (Menit)	Temperatur Suhu Mortar (°C)					
		Sampel					
		0%	5%	10%	15%	20%	25%
1.	0:15	78	77	65	63	69	72
2.	0:30	67	65	56	57	60	61
3.	0:45	54	52	48	45	57	56
4.	1:00	46	45	41	39	52	53
5.	1:15	41	40	36	35	48	49
6.	1:30	38	37	34	33	43	44
7.	1:45	36	35	32	32	40	41
8.	2:00	34	34	31	30	38	39
9.	2:15	33	32	30	30	36	38
10.	2:30	32	31	30	30	35	36

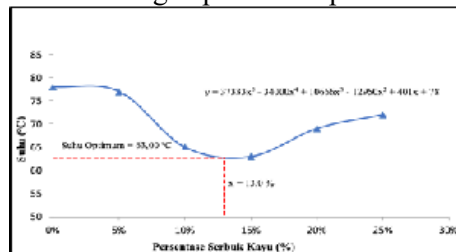
11.	2:45	31	30	30	30	33	32
12.	3:00	30	30	30	30	31	30
13.	3:15	30	30	30	30	30	30
14.	3:30	30	30	30	30	30	30
15.	3:45	30	30	30	30	30	30

Sumber: Data hasil penelitian setelah diolah

Hasil pengujian hantaran panas pada mortar semen yang menggunakan panas kompor dari setiap persentase campuran serbuk kayu merbau pada Tabel 9 dapat ditampilkan dalam bentuk grafik seperti yang terlihat pada Gambar 13 dan 14 berikut.



Gambar 13. Hubungan antara suhu dan waktu untuk hasil pengujian hantaran panas pada mortar dengan panas kompor



Gambar 14. Hubungan antara suhu dan waktu untuk hasil pengujian hantaran panas pada mortar dengan panas kompor

Berdasarkan gambar di atas, menunjukkan bahwa, untuk pengujian panas dengan menggunakan panas kompor menyebabkan benda uji mortar dengan persentase campuran 0% sampai dengan 15% mengalami penurunan temperatur sampai 630C, tetapi benda uji dengan persentase campuran 20% sampai 25%, mengalami kenaikan temperatur sampai 720C. Hal tersebut disebabkan karena persentase serbuk kayu diatas 15% menyebabkan kelebihan rongga pada benda uji, sehingga kemampuan mortar berkurang dalam menyerap panas. Sehingga diperoleh persentase optimum sebesar 13,0%.

Pengujian Hantaran Panas Dengan Mikro Wave (Oven)

Pengujian hantaran panas pada mortar semen dengan menggunakan panas oven dilakukan selama 7 jam, mulai dari jam 9 pagi sampai jam 4 sore, dengan interval waktu pembacaan setiap 15 menit untuk 1 sampel yang berbentuk kubus dengan ukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm pada setiap variasi campuran dimana permukaannya dilubangi dengan kedalaman 2,5 cm. Hasil pengujian hantaran panas mortar dengan oven, dan bahan tambah serbuk kayu merbau dapat dilihat pada Tabel 10 berikut.

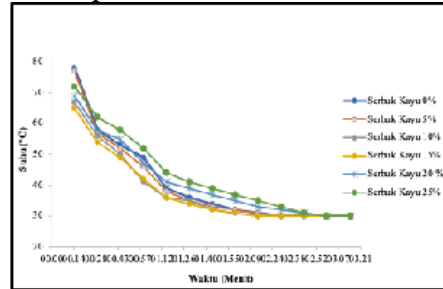
Tabel 10. Hasil pengujian hantaran panas mortar yang dioven

No.	Waktu (Menit)	Temperatur Suhu Mortar (°C)					
		Sampel					
		0%	5%	10%	15%	20%	25%
1.	0:15	78	77	67	65	69	72
2.	0:30	58	57	56	54	58	62
3.	0:45	53	52	50	49	55	58
4.	1:00	49	46	41	42	47	52
5.	1:15	39	38	36	36	41	44
6.	1:30	36	35	35	34	39	41

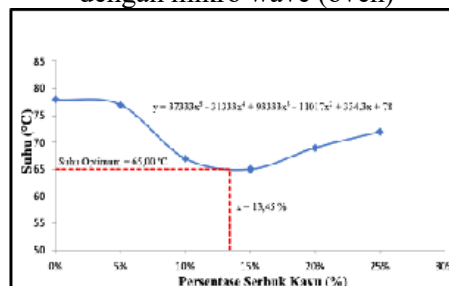
7.	1:45	34	33	32	32	37	39
8.	2:00	32	32	31	31	35	37
9.	2:15	31	31	30	30	33	35
10.	2:30	30	30	30	30	32	33
11.	2:45	30	30	30	30	31	31
12.	3:00	30	30	30	30	30	30
13.	3:15	30	30	30	30	30	30

Sumber: Data hasil penelitian setelah diolah

Hasil pengujian hantaran panas pada mortar dengan menggunakan mikro wave (oven) dari setiap persentase campuran serbuk kayu merbau pada Tabel 10 dapat ditampilkan dalam bentuk grafik seperti yang terlihat pada Gambar 15 dan 16 berikut.



Gambar 15. Hubungan antara suhu dan waktu untuk hasil pengujian hantaran panas pada mortar dengan mikro wave (oven)



Gambar 16. Hubungan antara suhu dan waktu untuk hasil pengujian hantaran panas pada mortar Dengan Mikro Wave (Oven)

Berdasarkan gambar di atas, menunjukkan bahwa, untuk pengujian panas dengan menggunakan panas oven menyebabkan benda uji mortar dengan persentase campuran 0% sampai dengan 15% mengalami penurunan temperatur sampai 650C, tetapi benda uji dengan persentase campuran 20% sampai 25%, mengalami kenaikan temperatur sampai 720C. Hal tersebut disebabkan karena persentase serbuk kayu diatas 15% menyebabkan kelebihan rongga pada benda uji, sehingga kemampuan mortar berkurang dalam menyerap panas. Sehingga diperoleh persentase optimum sebesar 13,45%.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang telah diuraikan sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Campuran mortar dengan serbuk kayu yang optimal untuk menghasilkan disipasi energi suara dan panas berkisar antara 12,50% sampai dengan 16,50%.
2. Campuran mortar dengan serbuk kayu juga mampu meredam panas sampai 14,71%, yaitu dari suhu 340C menjadi 290C, dan waktu yang digunakan hanya 2 jam.
3. Semakin tinggi nilai persentase serbuk kayu, maka semakin rendah nilai kuat tekan mortar. Kuat tekan tertinggi adalah 80,86 kg/cm². Sedangkan kuat tekan terendah adalah 30,94 kg/cm². Dan memenuhi standar adukan type O Mortar (ASTM C 270), untuk konstruksi pasangan dinding terlindung dan tidak menahan beban.

4. Serbuk kayu merbau dapat dijadikan bahan tambah dalam pembuatan mortar semen.

DAFTAR PUSTAKA

- (<http://IntensitasBunyi.ui.ac.id/bebas/v12/sponsor/Sponsor-Pendamping/Praweda/Fisika/0297%20Fis-2-1j.htm>)
- Adiyono. (2007). "Menghitung Konstruksi Beton Untuk Pengembangan Rumah Bertingkat dan Tidak Bertingkat", Penebar Swadaya, Jakarta.
- Anonim. (1985). "Persyaratan Umum Bahan Bangunan Indonesia (PUBI-1982)", Pusat Penelitian dan Pengembangan Pemukiman, Balitbang Dep. PU, Bandung.
- Anonim. (2008). "Prosedur Pengujian Bahan Serta Pengujian Mortar Semen", Laboratorium Pengujian Departemen Pekerjaan Umum, Baddoka, Makassar.
- Anonim. (2010). "Alat Pengujian Kuat Tekan Mortar Semen", Digital Compression Tension Machine, Merk ELE International.
- Anonim. (2010). "Penuntun Praktikum Struktur dan Bahan", Universitas Muslim Indonesia, Makassar.
- Anonim. (2012). "Penuntun Prosedur Pengujian Peredam Suara dan Hantaran Panas", Laboratorium Fisika Fakultas Teknik Industri, Universitas Muslim Indonesia, Makassar.
- Badan Standarisasi Nasional. (2002). "Tata Cara Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland Untuk Pekerjaan Sipil", SNI 03-6825-2002, Jakarta-Indonesia.
- Desyanti Rini, Imran. (2007). "Studi Penggunaan Slag Nikel Sebagai Bahan Agregat Kasar Terhadap Kuat Tarik Beton", Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UMI, Makassar.
- Eko Setiyo Heri Cahyono. (2010). "Komposit Jerami Padi dengan Matrik Alami Sebagai Peredam Bunyi", Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Kardiyono Tjokrodinuljo, Ir, M.E. (1995). "Bahan Bangunan dan Teknologi Bahan", Penerbit Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta-Indonesia.
- Mulyati Sri. (2010). "Pengaruh Persen Massa Hasil Pembakaran Serbuk Kayu dan Ampas Tebu pada Mortar Terhadap Sifat Mekanik dan Sifat Fisiknya", Jurusan Fisika Fakultas MIPA UNAND, Medan.
- Nurmawati Ida. (2006). "Pemanfaatan Limbah Industri Penggergajian Kayu Sebagai Bahan Substitusi Pembuatan Paving Block", Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UNNES, Semarang.
- Pika. (1981). "Mengenal Sifat-Sifat Kayu Indonesia dan Penggunaannya", Kanisius (Anggota IKAPI), Yogyakarta.
- Sagel R., Kole P., Kusuma Gideon. (1993). "Pedoman Pengerjaan Beton", Erlangga, Jakarta.
- Satwiko Prasasto. (2004). "Fisika Bangunan 2", Edisi 1, Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Setyawan Muh. Ibnu Budi. (2006). "Pengaruh Penambahan Serbuk Gergaji Kayu Jati (*Tectona grandis* L.f) pada Mortar Semen Ditinjau dari Kuat Tekan, Kuat Tarik dan Daya Serap Air", Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UNNES, Semarang.
- Soeyati Sri, Salam Agus. (2007). "Getaran, Gelombang, dan Bunyi", Eksiklopedia Fisika, Penerbit Ganeca Exact, Jakarta.
- Sutrisno R., (1984). "Bentuk Struktur Bangunan Dalam Arsitektur Modern", Penerbit PT. Gramedia, Jakarta.
- Tjokrodinuljo K. (1996). "Teknologi Beton", Nafiri, Yogyakarta.
- Tjokrodinuljo K. (2004). "Beton Non-Pasir untuk Pembuatan Elemen Non-Struktur dan Elemen Struktur Ringan", Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta.
- Tri Mulyono, Ir, MT, "Teknologi Beton", Penerbit Yogyakarta, 2003
- Vierck K. Robert, Munaf Rezadi Dicky. (1995). "Analisis Getaran", Eresco, Bandung.
- Wangsadianata Wiratman. (1971). "Perhitungan Lentur Dengan Cara 'n'", Penerbit Departemen Pekerjaan Umum Dan Tenaga Listrik Direktorat Jenderal Ciptakarya, Indonesia, diakses pada <http://FisikaUniversitas.ttm/bebas/v12/sponsor/Pendamping-Praweda/Fisika/02950Fis.htm>.