

**PROSES PRODUKSI BATA RINGAN *MULTI LAYER LIGHTWEIGHT*
CONCRETE BERPENGUAT LIMBAH SERAT TANDAN KOSONG
KELAPA SAWIT DAN ASPAL PENETRASI**

(Skripsi)

Oleh:

REZA RAMADHAN

2115021096



JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2026

**PROSES PRODUKSI BATA RINGAN *MULTI LAYER LIGHTWEIGHT*
CONCRETE BERPENGUAT LIMBAH SERAT TANDAN KOSONG
KELAPA SAWIT DAN ASPAL PENETRASI**

OLEH:

REZA RAMADHAN

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar SARJANA TEKNIK

PADA

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung



JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2026

ABSTRAK

PROSES PRODUKSI BATA RINGAN *MULTI LAYER LIGHTWEIGHT CONCRETE* BERPENGUAT LIMBAH SERAT TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT DAN ASPAL PENETRASI

Oleh:

Reza Ramadhan

Bata ringan *Cellular Lightweight Concrete* (CLC) komersial umumnya berlapis tunggal dan rentan rapuh. Penelitian ini bertujuan memproduksi bata ringan *Multi Layer Lightweight Concrete* (MLLC) dengan inti limbah serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dan aspal penetrasi 60/70, serta menganalisis faktor komposisi terhadap densitas keringnya sesuai SNI 8640:2018. Eksperimen menggunakan metode Taguchi *Orthogonal Array* L9 (3 faktor, 3 level) dengan pengulangan 3 kali. Faktor yang diuji meliputi komposisi inti, rasio semen:pasir lapisan primer, dan rasio adonan : *foam* lapisan selimut. Pengujian densitas kering dan kekuatan lentur (*3-point bending*) dilakukan setelah *curing* 28 hari, lalu dianalisis menggunakan software Minitab melalui nilai SNR dan ANOVA ($\alpha = 0,10$).

Hasil pengujian menunjukkan seluruh sampel memenuhi standar dengan densitas kering di bawah 1400 kg/m^2 . Analisis SNR menunjukkan aspal adalah faktor paling dominan dalam menjaga stabilitas kualitas fisik (Peringkat 1). Sebaliknya, uji ANOVA mengonfirmasi pasir sebagai variabel paling signifikan terhadap rata-rata densitas dengan kontribusi 51,06%, diikuti *foam* (34,94%) dan aspal (9,45%). Meskipun densitas memenuhi standar, kekuatan lentur mayoritas sampel masih di bawah target SNI akibat kurangnya ikatan interfacial antara inti hidrofobik dan selimut hidrofilik. Kombinasi parameter ideal diraih pada aspal level 2 (50:50), pasir level 1 (tanpa pasir), dan *foam* level 1 (1:1).

Kata Kunci: Bata Ringan MLLC, Serat TKKS, Aspal Penetrasi 60/70, Densitas, Taguchi, ANOVA.

ABSTRACT

PROCESS OF CLC LIGHTWEIGHT BRICK PRODUCTION REINFORCED WITH WASTE OIL PALM EMPTY FRUIT BUNCH FIBER AND PENETRATION ASPHALT

By:

Reza Ramadhan

Commercial Cellular Lightweight Concrete (CLC) bricks are generally single-layered and prone to brittleness. This study aims to manufacture Multi-Layer Lightweight Concrete (MLLC) bricks utilizing a composite of waste Oil Palm Empty Fruit Bunch (EFB) fiber and 60/70 penetration asphalt as the core layer, and evaluate the parameters influencing its dry density based on SNI 8640:2018. The experiment was designed using the Taguchi L9 Orthogonal Array method (3 factors, 3 levels) with 3 replications. Tested factors included core composition, cement:sand ratio of the primer, and slurry : foam ratio of the blanket. Dry density and flexural strength (3-point bending) were tested after a 28-day curing period, then analyzed via Minitab software using SNR and ANOVA ($\alpha = 0.10$).

The results revealed that all samples complied with the standard, remaining below 1400 kg/m^2 . SNR analysis showed that asphalt was the most dominant factor governing physical stability (Rank 1). Conversely, ANOVA confirmed that sand was the most significant variable affecting the average density with a 51.06% contribution, followed by foam (34.94%) and asphalt (9.45%). Although the density met the criteria, the flexural strength of most samples fell short of the standard due to weak interfacial bonding between the hydrophobic core and the hydrophilic blanket. The recommended optimal parameters consist of asphalt level 2 (50:50 sand level 1 (0 sand), and foam level 1 (1:1 ratio).

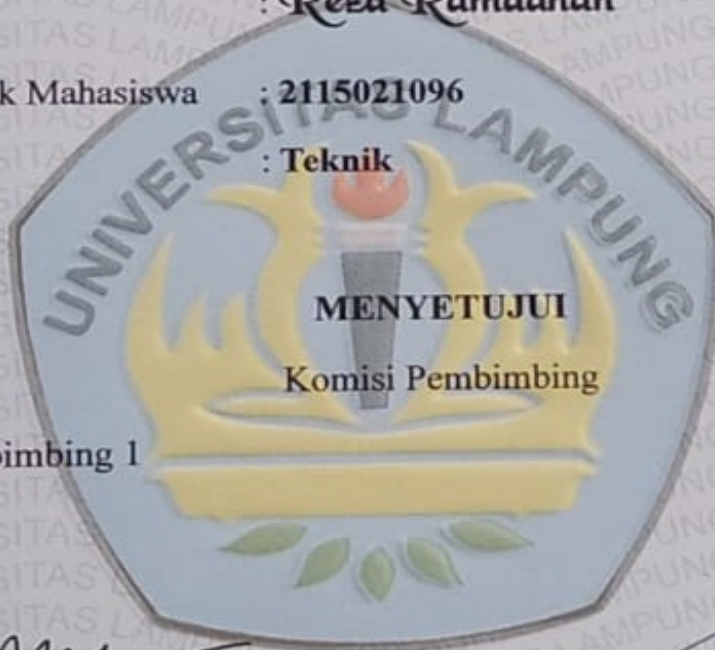
Keywords: MLLC Lightweight Brick, EFB Fiber, 60/70 Penetration Asphalt, Density, Taguchi, ANOVA

Judul Skripsi Mahasiswa : **PROSES PRODUKSI BATA RINGAN *MULTI LAYER LIGHTWEIGHT CONCRETE* BERPENGUAT LIMBAH SERAT TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT DAN ASPAL PENETRASI**

Mahasiswa : ***Reza Ramadhan***

Nomor Pokok Mahasiswa : **2115021096**

Fakultas : **Teknik**



Pembimbing 1

Pembimbing II

Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T.
NIP. 196908011999031002

Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc.
NIP. 197908212003121003

MENGETAHUI

Ketua Jurusan Teknik Mesin Ketua

Program Studi S1 Teknik Mesin

Ahmad Su'udi, S.T., M.T.
NIP. 197408162000121001

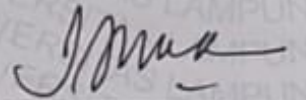
Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc.
NIP. 197908212003121003

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

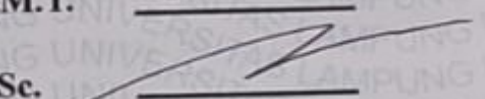
Ketua

: Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T.



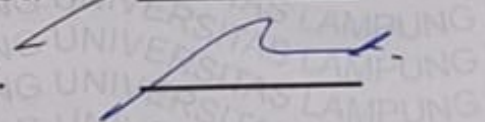
Anggota Penguji

: Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc.



Penguji Utama

: Ahmad Su'udi, S.T., M.T.



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T.

NIP. 196910302000031001



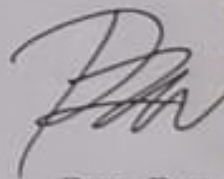
Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 18 Mei 2026

LEMBAR PERNYATAAN

Skripsi dengan judul "**PROSES PRODUKSI BATA RINGAN *MULTI LAYER LIGHTWEIGHT CONCRETE* BERPENGUAT LIMBAH SERAT TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT DAN ASPAL PENETRASI**" ini dibuat sendiri oleh penulis dan bukan hasil plagiat sebagaimana diatur dalam pasal 36 Peraturan Akademik Universitas Lampung dengan peraturan Rektor no 13. Tahun 2019.

Bandar Lampung, 18 Mei 2026

Pembuat Pernyataan,



Reza Ramadhan

NPM. 2115021096

RIWAYAT HIDUP



Penulis Bernama Reza Ramadhan, lahir di Jakarta pada tanggal 05 Mei 2003. Penulis merupakan anak dari pasangan Fadila dan Nuraini Octavia. Sejak kecil, penulis menempuh pendidikan di SDIT Al – Muchtar Bekasi dan lulus pada tahun 2015. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan menengah pertama di SMP Islam Al – Azhar 31 Summarecon Bekasi, yang diselesaikan pada tahun 2018, serta melanjutkan pendidikan menengah akhir di SMAS Korpri Bekasi dan berhasil lulus pada tahun 2021. Penulis menjalankan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Sidomulyo, Kec. Penawar Tama, Kab. Tulang Bawang pada awal Januari – Februari 2024. Pada tahun 2024. Penulis berkesempatan untuk melaksanakan Magang dan Kerja Praktek (KP) di PT. PAL Indonesia, Kota Surabaya dengan mengambil topik “Analisis *Post Weld Heat Treatment* pada bagian *Side Skirt* dengan *Chamber High Pressure Heater 3*

Tahun 2025 Penulis melakukan penelitian di bidang konstruksi dan perancangan dengan judul “PROSES PRODUKSI BATA RINGAN *MULTI LAYER LIGHTWEIGHT CONCRETE* BERPENGUAT LIMBAH SERAT TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT DAN ASPAL PENETRASI” dibawah bimbingan Bapak Dr. Jamiatul Akmal, S.T.,M.T. dan Bapak Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc. serta Bapak Ahmad Su'udi, S.T.,M.T., sebagai pembahas.

MOTTO

“Allah tidak membebani seseorang, kecuali menurut kesanggupannya.”

-(Al-Baqarah (286))-

“Tetaplah hidup walaupun banyak sekali luka yang kamu hirup. Tetaplah melangkah walaupun banyak menemukan susah. Tetaplah tenang walaupun aka nada banyak yang hilang.”

-(Penulis)-

“Biarlah bulan bicara sendiri, Biarlah bintang ‘kan menjadi saksi.”

-(Broery Marantika)-

“Tantangan menjadi pemicu semangat pada saat berjuang untuk mengetahui akan kokoh ataupun tumbang.”

-(Penulis)-

“Perjalanan akan ada turun dan naik seperti alam semesta yang berotasi, setiap hal perlu dilalui dengan tenang tapi pasti dalam menjalaninya.”

-(Penulis)-

HALAMAN PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala Rahmat dan Karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan lancar. Sholawat serta salam selau tercurahkan kepada Nabiallah Nabi

Muhammad SAW

KARYA TULIS INI SAYA PERSEMBAHKAN KEPADA

Ayahanda dan Ibunda Tercinta

Yang selalu menjadi sumber kekuatan dan inspirasiku, memberikan semangat dan doa yang tiada henti-hentinya selalu menyertai. Terima kasih atas cinta, doa, dukungan, serta pengorbanan tanpa hentinya yang tidak akan pernah bisa penulis balas sepenuhnya. Segala pencapaian ini adalah buah dari doa dan usaha kalian yang menyertai saya selama proses penyelesaian skripsi ini.

Seluruh Keluarga Besar Teknik Mesin 2021

Serta

Almamater Tercinta Universitas Lampung

SANWACANA

Segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, karunia, dan nikmat-Nya kepada Penulis, sehingga Penulis dapat menyusun dan menyelesaikan skripsi ini dengan judul “**PROSES PRODUKSI BATA RINGAN *MULTI LAYER LIGHTWEIGHT CONCRETE* BERPENGUAT LIMBAH SERAT TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT DAN ASPAL PENETRASI**”. Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu syarat mencapai gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Dalam penyusunan skripsi ini banyak pihak yang telah memberikan pengalaman, dukungan, dan bantuan baik secara materi maupun motivasi. Hal tersebutlah yang sangat memotivasi penulis dalam menyelesaikan Skripsi ini. Untuk itu, dengan segala kerendahan hati, penulis menyampaikan rasa terimakasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. H. Ahmad Herison, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Ahmad Suudi, S.T, M.T. Selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc. Selaku Ketua Prodi S1 Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Harmen, S.T., M.T. Selaku dosen pembimbing akademik yang telah banyak memberikan arahan selama dibangku perkuliahan.
5. Bapak Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T. Selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan waktu dalam membimbing dan arahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Bapak Dr. Ir. Martinus S.T., M.Sc Selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan waktu dalam membimbing dan memberikan saran dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

7. Bapak Ahmad Su'udi, S.T., M.T. Selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan kritik dan masukan yang bermanfaat dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
8. Seluruh Dosen, Staff dan karyawan Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
9. Terimakasih tak terhingga kepada kedua orang tua tercinta saya yakni Ayah dan Bunda yang dengan segala pengorbanan, kerja keras, support, dan kasih sayang tulusnya selalu mendukung saya dalam setiap langkah. Skripsi ini kupersesembahkan sebagai bentuk bakti dan penghormatan kepada kedua orangtua saya.
10. Terima kasih kepada adikku yang selalu menanyakan atas segala pencapaian saya yang sudah dilakukan menjadi bentuk kasih sayang dan mengharapakan saya cepat selesai mengerjakan.
11. Keluarga besar, seseorang yang darahnya ikut mengalir dalam tubuh saya, terima kasih yang tak terhingga untuk kalian semua. Sosok yang sudah membantu penulis dalam materi penulis hingga meraih gelar Sarjana Teknik. Yang telah mendukung penulis selama masa perkuliahan hingga meraih gelar Sarjana Teknik.
12. Saya mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada M. Revi Tirtajaya atas segala kerjasama yang telah diberikan selama proses menyelesaikan skripsi ini.
13. Saya mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Investor CDID atas segala karaoke dan kegilaan yang telah diberikan selama proses penyusunan skripsi ini.
14. Saya mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada PT.PAL atas kerjasama yang telah diberikan selama proses penyusunan skripsi ini.
15. Saya mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Donatur Kampus atas segala hal yang telah menemani selama dikampus maupun diluar yang menjadi motivasi dalam menyelesaikan studi.

16. Saya mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Tim Lab Mekstur atas segala hal yang telah menemani selama dilab yang menjadi motivasi dalam menyelesaikan skripsi.
17. Saya mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada T A M A T atas segala hal yang telah menemani selama proses dalam mengerjakan skripsi dan hiburan untuk menyelesaikan.
18. Teman-teman Teknik Mesin Angkatan 2021 khususnya teman-teman yang ada di laboratorium Mekanika Struktur, termodinamika, motor bakar, dan fluida di jurusan teknik mesin UNILA yang telah kebersamai, memberi motivasi dan semangat selama perkuliahan.
19. Penulis menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak. Akhir kata penulis sangat berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan para pembacanya.

Bandar Lampung, 18 Mei 2026

Penulis,

Reza Ramadhan

NPM. 2115021096

DAFTAR ISI

	HALAMAN
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Bata Ringan.....	5
2.1.1 Komposisi dan Proses Konstruksi Bata Ringan.....	5
2.1.2 Karakteristik Bata Ringan	5
2.2 Jenis Bata Ringan.....	6
2.2.1 <i>Autoclaved Aerated Concrete (AAC)</i>	6
2.2.2 <i>Cellular Lightweight Concrete (CLC)</i>	7
2.3 Serat Tandan Sawit.....	7
2.3.1 Komposisi Kimia Serat Tandan Sawit	8
2.3.2 Sifat Mekanik Serat Tandan Sawit	8
2.4 Aspal.....	8
2.4.1 Karakteristik Fisik dan Kimia Aspal	8
2.5 Aspal Penetrasi	9
2.5.1 Karakteristik Aspal Penetrasi	10
2.5.2 Aplikasi Aspal Penetrasi dalam Bahan Bangunan	11
2.6 Pengujian.....	11
2.6.1 Densitas	12
2.7 Analisis Variansi Taguchi	13

2.8 Analisis Variansi (ANOVA)	13
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN.....	15
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	15
3.1.1 Tempat Penelitian.....	15
3.1.2 Waktu Penelitian	15
3.2 Alat dan Bahan	15
3.2.1 Alat	15
3.2.2 Bahan	22
3.3 Diagram Alir	26
3.4 Prosedur Penelitian.....	27
3.4.1 Persiapan Alat dan Bahan	27
3.4.2 Pembuatan Spesimen.....	27
3.5 Skema Bata Ringan.....	28
3.6 Metode Pengujian.....	29
3.7 Rancangan Percobaan	29
3.8 Metode Analisis Data	30
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	31
4.1 Hasil dan Pembahasan.....	31
4.2 Standar Operasional Prosedur	31
4.3 Batas Ketahanan Panas TKKS Terhadap Aspal	35
4.3.1 Batas Suhu Ketahanan Panas TKKS.....	36
4.3.2 Kebutuhan Suhu Kerja Aspal Penetrasi 60/70	37
4.4 Analisis Statistik Terhadap Densitas Bata Ringan	39
4.4.1 Analisis Pada Densitas Bata Ringan Kering	39
4.4.2 Deviasi pada Densitas Bata Ringan	46
4.4.3 Bata Ringan Optimal Sesuai Standar	48
V. PENUTUP	51
5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran.....	51
DAFTAR PUSTAKA	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Mesin Molen Mini CS 120.....	16
Gambar 3.2 Gelas Ukur.....	16
Gambar 3.3 Timbangan.....	17
Gambar 3.4 Cetakan Inti Bata Ringan	17
Gambar 3.5 Cetakan Selimut Bata Ringan	18
Gambar 3.6 Cetakan Bata Ringan Keseluruhan.....	18
Gambar 3.7 Alat <i>Press</i>	19
Gambar 3.8 Wadah Pencampuran	19
Gambar 3.9 Kompor.....	20
Gambar 3.10 Jari-Jari	20
Gambar 3.11 Foam Generator	21
Gambar 3.12 Kompresor	21
Gambar 3.13 Oli.....	22
Gambar 3.14 Limbah Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS).....	22
Gambar 3.15 Aspal Penetrasi	23
Gambar 3.16 Semen	23
Gambar 3.17 Air.....	24
Gambar 3.18 Pasir	24
Gambar 3.19 Foam Agent	25
Gambar 3.20 Diagram Alir.....	26
Gambar 3.21 Bata Ringan Bagian Inti (TKKS + aspal emulsi).....	28
Gambar 3.22 Lapisan Primer (Bagian inti + Primer).....	29
Gambar 3.23 Bata Ringan Keseluruhan (Bagian Inti + Primer + Selimut)	29
Gambar 4.1 Proses pembuatan inti bata ringan.....	32
Gambar 4.2 Proses pembuatan lapisan primer	33
Gambar 4.3 Proses pembuatan bata ringan bagian selimut.....	34
Gambar 4.4 Grafik <i>Main Effect Plot for SN ratios</i> Densitas.....	43
Gambar 4.5 Grafik <i>Main Effects Plot for Means</i> Densitas	44

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Rancang Campuran Bata Ringan CLC dari Lapisan Inti sampai Lapisan Selimut.....	30
Tabel 4.1 Ketentuan Aspal Penetrasi	37
Tabel 4.2 Rata-Rata Densitas	39
Tabel 4.3 <i>Response Signal to Noise Ratios</i>	40
Tabel 4.4 <i>Response Table for Means</i> Densitas	41
Tabel 4.5 ANOVA Densitas Bata Ringan.....	45
Tabel 4.6 Standar Deviasi	47
Tabel 4.7 Hasil Densitas dan Kekuatan Lentur	48

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri konstruksi merupakan salah satu bagian kemajuan yang telah mencatat pertumbuhan signifikan di Indonesia. pembangunan ruang tamu, bangunan bertingkat, infrastruktur publik dan suatu proyek industri tidak hanya membutuhkan bahan bangunan yang kuat, tetapi juga efisien dan ramah lingkungan. Bahan bangunan yang populer adalah batu bata ringan. Batu bata ringan memiliki bobot rendah dan diketahui mengurangi beban konstruksi struktural, proses pemasangan akselerasi, panas yang baik dan isolasi akustik. Material yang digunakan pada pekerjaan dinding di proyek konstruksi mengalami pergeseran/perubahan dari yang semula menggunakan bata merah menjadi bata ringan. Saat ini, bata merah lebih sering digunakan pada pembangunan rumah sedangkan bata ringan lebih banyak digunakan pada proyek gedung bertingkat (Eppendie & Kushartomo, 2023).

Pergeseran yang terjadi pada konstruksi yaitu harga batu bata ringan komersial dibandingkan dengan bahan tradisional seperti batu bata merah. Masalah harga menjadikan suatu hambatan, terutama untuk perkembangan kecil dan komunitas yang mana belanja berukuran sedang rendah. Sebagian besar produk bata ringan menggunakan bahan baku tradisional seperti semen Portland, pasir dan bahan kimia pengembang. Bahan baku tersebut harganya yang semakin mahal dan tidak ramah lingkungan untuk penggunaan skala besar tanpa menggunakan sumber daya alternatif yang ketersediannya melimpah dan murah seperti serat tandan kosong kelapa sawit yang komoditasnya cukup banyak di Indonesia.

Negara Indonesia merupakan negara penghasil jutaan ton limbah pertanian setiap tahun, memproduksi minyak kelapa sawit terbesar di dunia. Indonesia

sebagai penghasil kelapa sawit terbesar di dunia, tentunya limbah sawit yang dihasilkan juga sangat besar. Limbah kelapa sawit merupakan sisa hasil dari proses budidaya tanaman kelapa sawit, industri pengolahan sawit (PKS menjadi CPO, maupun pengolahan bagian kernel menjadi minyak inti sawit atau *Palm Kernel Oil* (PKO). Limbah padat yang dihasilkan dari sekitar 35% – 40% dari total TBS yang diolah dalam bentuk tandan kosong, serat, cangkang buah, abu bakar dan bungkil sawit (Praevia & Widayat, 2022). Limbah-limbah tersebut biasanya tidak digunakan secara optimal dan pembuangan lingkungan langsung dapat menyebabkan kontaminasi. Serat tandan kosong kelapa sawit menjadi salah satu limbah yang dapat digunakan sebagai penguatan untuk komposit atau beton cahaya karena mereka tahan terhadap suhu tinggi dan memiliki kekuatan tarik yang sangat baik dalam hal struktur fisik yang ringan. Serat tandan kosong kelapa sawit harus ada material untuk dipadukan agar menjadi satu kesatuan.

Aspal penetrasi dilihat dari karekturnya menjadi material yang dapat disatukan dengan serat tandan kosong kelapa sawit. Aspal penetrasi memiliki pengikat yang tahan terhadap air maupun panas dan dapat meningkatkan ikatan di antara partikel. Aspal penetrasi yang digunakan untuk jalanan memiliki sifat termal dan viskoelastik, yang dapat meningkatkan daya tahan batu bata sedikit ke suhu tinggi dan kelembaban. Aspal penetrasi dan serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS), penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan batu bata ringan dengan sifat mekanik yang lebih baik dan resistensi termal, yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan. Pendekatan ini mengikuti prinsip-prinsip pengembangan teknologi hijau dan konsep ekonomi melingkar di mana limbah harus digunakan sebagai sumber daya baru (Ramshankar dkk., 2023).

Penelitian ini diharapkan untuk memberikan kontribusi nyata untuk penciptaan bahan bangunan yang lebih berkelanjutan dengan produksi massal dan digunakan oleh banyak Pembangunan, sementara secara bersamaan mengurangi ketergantungan pada bahan baku yang tidak terbarukan. Apabila inovasi ini berhasil, tidak hanya akan memberikan manfaat teknis dan ekonomi, tetapi juga lingkungan sosial dan ekologis yang penting. Limbah tandah sawit

dapat bernilai dengan pemanfaatan dalam pembuatan bata ringan (Ling dkk., 2022).

1.2 Rumusan Masalah

Bata ringan yang beredar dipasaran merupakan produksi hanya dengan satu lapisan. Terdapat penelitian sebelumnya dengan mencampurkan serat tandan kosong kelapa sawit. Material dengan komposisi sebelumnya hanya dapat membuat bobot dan resistensi termal yang tinggi dengan iklim indonesia. Faktor yang menjadi hal untuk terinovasi untuk mendaur ulang limbah serat TKKS karena komoditas yang cukup banyak dan belum banyak diolah. Volume serat TKKS dapat menjadi faktor untuk pemecahan masalah untuk mengurangi nilai bobot dan densitas. Faktor yang mengurangi hal tersebut dapat disatukan dengan adanya aspal penetrasi agar menjadi homogen. Aspal penetrasi merupakan salah satu material tambahan yang dapat digunakan.

1.3 Batasan Masalah

Proses penelitian ini dilakukan pembatasan masalah agar memudahkan dalam pengambilan data, adapun batasan masalah ditentukan sebagai berikut:

1. Bahan utama yang digunakan dalam produksi batu bata ringan adalah portlandment, pasir halus, bahan pengembang, menggabungkan limbah serat sawit (TKKS) dengan aspal penetrasi sebagai bahan tambahan.
2. Penelitian ini mencakup sifat fisik dari batu bata ringan pengukuran bobot dan perhitungan densitas.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memproduksi dan klasifikasi bata ringan *multi layer lightweight concrete* dengan TKKS (tandan kosong kelapa sawit) dan aspal penetrasi terhadap densitas dengan standar SNI 8640:2018.
2. Analisis terhadap faktor komposisi yang berpengaruh.

1.5 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memuat teori-teori yang relevan dengan penelitian, antara lain: pengertian bata ringan, sifat dan komposisi bata ringan, karakteristik serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS), sifat aspal penetrasi, serta penelitian-penelitian terdahulu yang mendukung.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan secara rinci metode penelitian yang digunakan, termasuk bahan dan alat yang digunakan, prosedur pembuatan sampel, variasi campuran, serta analisis data. Bab ini menjelaskan secara rinci metode penelitian yang digunakan, termasuk bahan dan alat yang digunakan, prosedur pembuatan sampel, variasi campuran, metode pengujian (uji densitas), serta analisis data.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil pengujian yang telah dilakukan, analisis terhadap hasil tersebut, perbandingan antar variasi campuran, serta interpretasi terhadap performa bata ringan dari aspek kekuatan dan ketahanan termal.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan serta saran untuk pengembangan penelitian lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

Berisi seluruh referensi yang digunakan dalam penulisan skripsi ini.

LAMPIRAN

Berisi data pendukung seperti tabel hasil pengujian lengkap, gambar sampel, perhitungan, dan dokumentasi proses penelitian.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bata Ringan

Bata ringan adalah jenis bata berbasis semen yang memiliki pori yang membuatnya lebih ringan daripada bata biasa. Bata ringan diciptakan untuk mengurangi beban struktural bangunan tetapi tetap mempertahankan kekuatan mekanik yang diperlukan. Bata ringan yang tersedia dipasaran adalah jenis CLC dengan ukuran lebih besar dari pada bata merah. Sebagai contoh, ukuran bata ringan dapat berkisar 60 cm × 20 cm × 10 cm (Panjang, lebar, dan tebal) sedangkan bata biasa dengan ukuran 22 cm x 11 cm x 5 cm. Bahan utama pembentuk bata ringan tersebut diantaranya semen, pasir, air, dan *foam agent* (penghasil busa). *Foaming agent* memiliki fungsi sebagai selubung udara pembentuk pori-pori sehingga menjadikan berat material menjadi lebih ringan (Eppendie & Kushartomo, 2023).

2.1.1 Komposisi dan Proses Konstruksi Bata Ringan

Bahan baku utama dalam pembuatan bata ringan adalah semen, agregat halus (pasir), air, dan *foam agent*. Produksi melibatkan reaksi kimia yang menghasilkan gelembung gas didalam campuran. Gelembung foam tersebut memberikan volume untuk memberikan pemenuhan cetakan dengan volume campuran antara semen dan pasir. Campuran dikeringkan dengan membutuhkan waktu tunggu selama 28 hari. Bata yang dibuat dengan cara ini memiliki berat jenis lebih ringan dengan adanya pori udara (Pah dkk., 2023).

2.1.2 Karakteristik Bata Ringan

Bata ringan memiliki banyak keunggulan, Adapun beberapa keunggulan dari bata ringan sebagai berikut:

1. Bobot yang ringan, memudahkan dalam pemasangan dan mempercepat waktu konstruksi.
2. Isolasi termal yang baik, membantu menghemat energi dalam bangunan.
3. Tahan api, dengan tingkat ketahanan yang tinggi terhadap suhu ekstrem.
4. Ketahanan suara, membuatnya ideal untuk bangunan perumahan dan komersial.

2.2 Jenis Bata Ringan

Batu bata ringan adalah bahan alternatif untuk batu bata tradisional (seperti batu bata merah) dan dirancang agar ringan tanpa mengurangi kekuatan struktural. Keuntungan dari batu bata ringan adalah instalasi sederhana, efisiensi jam kerja, dan sifat isolasi termal dan akustik yang sangat baik. Bata ringan dikenal ada 2 (dua) jenis, yaitu *autoclaved aerated concrete* (AAC) dan *cellular lightweight concrete* (CLC). Keduanya didasarkan pada gagasan yang sama, yaitu dibuat dengan menambahkan gelembung udara ke dalam mortar sehingga akan mengurangi berat beton yang dihasilkan secara drastis. Perbedaan bata ringan AAC dengan CLC dari segi proses pengeringan, yaitu bata ringan AAC mengalami pengeringan dalam oven autoklaf bertekanan tinggi sedangkan bata ringan jenis CLC yang mengalami proses pengeringan alami (Anam & Sugiyanto, 2022). Berdasarkan jenisnya batu bata ringan umumnya dibagi menjadi 2 jenis dengan penjelasan lebih terperinci sebagai berikut:

2.2.1 *Autoclaved Aerated Concrete* (AAC)

Bata ringan aerasi (*Aerated Lightweight Concrete/ALC*) atau yang sering disebut juga (*Autoclaved Aerated Concrete*) AAC merupakan salah satu jenis batu bata ringan yang banyak diaplikasikan pada bagian dinding pada struktur bangunan. *Autoclaved Aerated Concrete* (AAC), merupakan tipe bata ringan yang menggunakan *autoclaved* untuk mensterilisasi bata ringan dengan menggunakan uap, suhu tinggi dan tekanan yang tinggi. Bata ringan hasil dari *cutting* dimasukkan ke dalam

autoclave untuk proses vakum yang berjalan selama 30 menit dengan tekanan 0.060 Mpa yang berfungsi untuk menyerap air dan kotoran didalam pori-pori bata ringan. Batu bata ringan jenis AAC ini paling banyak dipasaran karena proses yang cukup cepat untuk produksinya dibantu dengan mesin *autoclave* (Widyawati dkk., 2023)

2.2.2 Cellular Lightweight Concrete (CLC)

Bata ringan *Cellular Lightweight Concrete* (CLC) merupakan salah satu bata ringan yang ada dipasaran. Bata ringan jenis ini lebih sederhana dalam proses pembuatannya dibandingkan *Autoclaved Aerated Concrete* (AAC) yang mana membutuhkan alat tambahan *autoclave* untuk pengeringan tetapi lebih cepat pada proses pembuatan yang tidak menunggu waktu pengeringan selama 28 hari. Bata ringan *cellular lightweight concrete* (CLC) merupakan alternatif bahan bangunan untuk dinding yang memiliki densitas lebih rendah daripada bata merah, sehingga dapat memperkecil beban yang diterima oleh struktur dan memperkecil dimensi strukturnya. Bata ringan memiliki kelemahan rentan rapuh dan patah karena mengandung pori-pori akibat campuran material menggunakan busa dari *foam agent* (Rumbino dkk., 2021).

2.3 Serat Tandan Sawit

Serat tandan sawit adalah serat alami yang diperoleh dari limbah padat yang dihasilkan dari proses pengolahan kelapa sawit, khususnya tandan kosong sawit (TKKS). Indonesia memiliki potensi besar dalam memanfaatkan limbah perkebunan kelapa sawit, khususnya serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS) sebagai material akustik. Tandan kosong ini merupakan sisa hasil pengolahan minyak sawit yang dapat dimanfaatkan lebih lanjut, mengurangi dampak limbah lingkungan, dan meningkatkan nilai ekonomisnya (Syabani & Aritonang, 2025). TKKS adalah bagian dari buah kelapa sawit yang tersisa setelah buah diambil untuk ekstraksi minyak. Limbah yang biasanya dianggap sebagai sampah organik dalam industri kelapa sawit dapat digunakan sebagai bahan bangunan yang ramah lingkungan.

2.3.1 Komposisi Kimia Serat Tandan Sawit

Serat tandan sawit biasanya terdiri dari lignin, hemiselulosa, dan selulosa, bersama dengan sedikit ekstraktif lainnya. Menurut penelitian, kandungan selulosa serat tandan sawit berkisar antara 37.5%, hemiselulosa antara 28.57%, dan lignin antara 13.2 – 25.31%, masing-masing. Selulosa yang tinggi memberikan kekuatan tarik yang baik, dan lignin berfungsi untuk meningkatkan kekakuan dan ketahanan terhadap degradasi biologis. Persentase tersebut menunjukkan kandungan kimia yang menjadi penyusun serat tandan kosong kelapa sawit. Komposisi tersebut termasuk struktur alami yang sangat penting pengaruhnya (Syabani & Aritonang, 2025).

2.3.2 Sifat Mekanik Serat Tandan Sawit

Sifat mekanik serat tandan sawit termasuk modulus elastisitas 2–6 GPa dan kekuatan tarik rata-rata 150–250 MPa. Serat tandan sawit memiliki densitas yang rendah (sekitar 1,2–1,3 g/cm³) dan cocok untuk digunakan pada material yang lebih ringan seperti bata ringan. Ini meskipun tidak sekuat serat sintetis seperti fiberglass. Dengan melihat sifat fisik dan mekanik serat kelapa sawit sangat cocok untuk menjadi bahan penguat pada komposit karena diameter serat kelapa sawit berkisar 150-500 μm dan kekuatan tarik dan modulus elastisitas serat kelapa sawit bisa mencapai 400 MPa dan 9 GP (Kustiyah dkk., 2022).

2.4 Aspal

Aspal adalah campuran kompleks molekul berat seperti bitumen, resin, dan minyak mineral yang digunakan sebagai pengikat dalam aplikasi konstruksi, terutama dalam pembuatan jalan dan bahan bangunan. Aspal dapat ditemukan secara alami atau diperoleh melalui pemurnian minyak bumi. Aspal adalah hidrokarbon yang viskoelastik dan termoplastik (Mohammed & Saleh, 2023).

2.4.1 Karakteristik Fisik dan Kimia Aspal

Aspal memiliki banyak sifat fisik, termasuk viskositas, titik leleh (titik penyempitan), kelenturan pada suhu rendah, dan ketahanan terhadap deformasi plastis. Kemampuannya untuk melapisi dan mengikat agregat

dalam campuran dipengaruhi oleh viskositas aspal. Sifat adhesif dan ketahanan air aspal sangat penting saat membuat material bangunan baru. Ini terutama penting untuk meningkatkan sifat hidrofobik serat alami dalam komposit bangunan.

2.5 Aspal Penetrasi

Salah satu jenis aspal padat yang paling umum digunakan dalam konstruksi jalan adalah aspal penetrasi, khususnya di negara-negara tropis. Tingkat kekerasan aspal ini diklasifikasikan berdasarkan tingkat kekerasannya, yang diukur dengan jarum standar untuk menguji penetrasi. Pengujian dilakukan selama lima detik dengan beban 100 gram pada suhu 25 derajat Celcius. Hasilnya ditampilkan dalam satuan 1/10 milimeter, yang menunjukkan seberapa dalam jarum menembus permukaan aspal. Nilai penetrasi 60, misalnya, berarti jarum masuk sedalam 6,0 mm. Aspal yang kita kenal dalam tiga kelas penetrasi yaitu pen 40/50, pen 60/70 dan pen 80/100. Semakin rendah angka penetrasi maka akan semakin keras wujud aspal, semakin susah cara penanganannya karena diperlukan suhu lebih tinggi agar aspal menjadi lunak atau cair (Maghfiroh & Ahyudanari, 2023).

Aspal diklasifikasikan berdasarkan kekerasan, seperti aspal 60/70, yang memiliki nilai penetrasi antara 60 dan 70 (1/10 mm), dan nilai penetrasi yang lebih rendah menunjukkan aspal yang lebih keras. Aspal 60/70 adalah jenis yang paling umum digunakan di Indonesia dan cocok untuk iklim sebagian besar wilayah. Pada suhu ruang, aspal penetrasi yang padat secara fisik akan mengalir ketika dipanaskan. Aspal ini memiliki warna hitam pekat dan memiliki titik lunak (*softening point*) antara 48 dan 60 derajat Celcius, tergantung pada tipenya. Sangat aman untuk menggunakannya dalam campuran panas karena titik nyala (*flash point*) biasanya lebih dari 230°C. Aspal ini memiliki daya rekat yang baik terhadap agregat dan memiliki kestabilan suhu yang baik ketika digunakan dalam pencampuran aspal panas (*hot mix asphalt*) (Sholichin dkk., 2021).

2.5.1 Karakteristik Aspal Penetrasi

Karakteristik unik aspal penetrasi biasanya dijadikannya bahan utama untuk membangun perkerasan jalan, khususnya campuran aspal panas (*Hot Mix Asphalt*). Sifat fisik, mekanis, dan termal aspal ini sangat memengaruhi kinerja perkerasan terhadap faktor cuaca. Tingkat kekerasan aspal penetrasi adalah karakteristik utamanya. Nilai penetrasi yang dihitung dengan metode uji penetrasi jarum pada suhu 25°C, menunjukkan kedalaman penetrasi jarum ke dalam aspal dalam satuan 1/10 mm, dan nilai yang lebih rendah menunjukkan aspal yang lebih keras. Misalnya, aspal dengan nilai 60/70 dianggap sedang dan banyak digunakan di Indonesia karena cocok dengan iklimnya yang tropis. Aspal penetrasi 60/70 adalah aspal dengan nilai penetrasi 60 sampai 79. Penetrasi 60/70 sering dipakai di Indonesia dikarenakan menyesuaikan iklim yang ada di Indonesia. Pengujian penetrasi ini sangat dipengaruhi oleh faktor berat beban total, ukuran sudut dan kehalusan permukaan jarum, temperatur dan waktu. Oleh karena itu, perlu disusun dengan rinci ukuran, persyaratan dan batas peralatan, waktu dan beban yang digunakan dalam penentuan penetrasi aspal (Nadhifah & Susanti, 2024). Aspal penetrasi berwarna hitam pekat dan berbentuk padat pada suhu ruang. Namun, saat dipanaskan hingga suhu sekitar 150 hingga 170 derajat Celcius, aspal akan mencair dan dapat dicampur dengan agregat dalam proses pencampuran aspal panas. Aspal ini memiliki sifat termoplastik, yang berarti bahwa ia menjadi lunak saat dipanaskan dan kembali mengeras saat didinginkan tanpa mengalami perubahan kimia.

Aspal penetrasi biasanya memiliki titik lunak (*softening point*) antara 48 dan 60 derajat Celcius, tergantung pada kekerasan aspal. Selain itu, titik nyala (*flash point*) aspal ini sangat tinggi, biasanya lebih dari 230°C, yang menunjukkan bahwa aspal ini aman untuk dipanaskan pada suhu tinggi saat memproduksi campuran panas. Daya rekat yang baik terhadap agregat adalah karakteristik penting lainnya yang memungkinkan terbentuknya campuran aspal yang homogen dan kuat. Selain itu, aspal penetrasi

memiliki ketahanan terhadap suhu, yang berarti dapat menahan perubahan bentuk karena suhu tinggi dan rendah, yang menghindari luka. Namun, mungkin diperlukan perubahan untuk kondisi ekstrim (Androjić & Dimter, 2022).

2.5.2 Aplikasi Aspal Penetrasi dalam Bahan Bangunan

Aspal penetrasi digunakan dalam bidang material bangunan untuk tujuan beberapa hal, Adapun tujuan dari penggunaan aspal penetrasi untuk bahan bangunan yaitu membuat bahan material menjadi tahan terhadap air (hidrofobik) dan memperbaiki kekuatan ikatan antara partikel komposit apabila dikembangkan pada bahan bangunan. Aplikasi aspal penetrasi dalam proses pembuatan bata ringan dengan serat tandan sawit dimaksudkan untuk melapisi serat agar lebih tahan terhadap penyerapan air, memperkuat ikatan antar matriks semen, dan meningkatkan umur pakai material. Pengaplikasian aspal pada komposit bahan bangunan dapat menjadi hal yang berdampak kedepannya.

2.6 Pengujian

Pengujian merupakan suatu hal yang dapat memastikan data yang dihasilkan dari penelitian. Pengujian ini dilakukan dengan berbagai jenis tergantung apa hal-hal yang akan di uji. Pengujian tidak hanya tergantung dari jenis pengujian saja, tetapi beberapa faktor juga menjadi pertimbangan yaitu material, bentuk atau dimensi, dan tempat. Seluruh penelitian harus dilakukannya suatu pengujian agar mengetahui percobaan atau penelitian ini berhasil atau tidak.

Produksi bata ringan dengan serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dan aspal penetrasi juga harus dilakukannya suatu pengujian yang mana dapat mengetahui hasilnya. Pengujian untuk bata ringan cukup banyak yang bisa dilakukan untuk mengetahui kekuatan atau kualitas dari produknya seperti densitas, *3 point bending*, dan porositas. Pengujian yang saya ambil yaitu uji densitas (Kumar dkk., 2022).

2.6.1 Densitas

Densitas atau bobot isi merupakan parameter fisik yang mendefinisikan klasifikasi serta kualitas teknis dari sebuah material beton ringan. Densitas adalah rasio antara massa benda uji terhadap volume nominal yang ditempatinya. Pada material beton seluler seperti *Cellular Lightweight Concrete* (CLC), nilai densitas sangat dipengaruhi oleh volume pori udara yang dibentuk melalui penambahan *foam agent* serta karakteristik berat jenis dari material penyusunnya termasuk agregat halus dan bahan penguat organik.

Berdasarkan standar nasional yang berlaku, yaitu SNI 8640:2018, sebuah material dapat dikategorikan sebagai bata ringan jika kerapatan massanya dalam kondisi kering oven berada di bawah ambang batas beton konvensional. Beton konvensional umumnya memiliki densitas sekitar 2.400 kg/m^3 , sedangkan beton ringan CLC dirancang untuk memiliki rentang densitas antara 600 kg/m^3 hingga 1.400 kg/m^3 . Pengurangan massa ini memiliki signifikansi struktural yang besar, yaitu untuk mereduksi beban mati (*dead load*) pada konstruksi bangunan bertingkat serta mempermudah proses mobilisasi material di lapangan. Persamaan matematis yang digunakan untuk menentukan nilai densitas kering (ρ) adalah:

$$\rho = \frac{m}{V} \dots \dots \dots (1)$$

ρ = Densitas (kg/m^3)

m = Massa Produk (kg)

V = Volume Produk (m^3)

2.7 Analisis Variansi Taguchi

Metode analisis taguchi merupakan teknik optimasi desain eksperimen yang dikembangkan oleh Dr. Genichi Taguchi. Metode taguchi bertujuan untuk menghasilkan produk yang berkualitas tinggi dengan biaya produksi dan waktu yang rendah melalui peningkatan performa produk dan minimasi variasi dalam proses produksi. Pada penelitian metode taguchi dapat mempersingkat waktu dan meminimalisir biaya dengan faktor 2 atau lebih..

1. Ragam Antar Perlakuan (*Between-Group Variation*): Variasi yang disebabkan oleh pengaruh faktor perlakuan yang diterapkan. Ragam ini mengukur perbedaan antara rata-rata kelompok perlakuan satu dengan yang lain.
2. Ragam Dalam Perlakuan (*Within-Group Variation*): Variasi yang disebabkan oleh faktor acak atau galat (kesalahan percobaan) yang tidak dapat dikendalikan. Ragam ini mengukur penyebaran data di dalam masing-masing kelompok perlakuan.

2.8 Analisis Variansi (ANOVA)

Analisis data yang ada dalam penelitian ini menggunakan Analisis Variansi (ANOVA). ANOVA merupakan metode statistik inferensial yang dirancang untuk menguji hipotesis mengenai perbedaan rata-rata (mean) dari tiga kelompok perlakuan atau lebih secara simultan. Secara konsep, ANOVA bekerja dengan membandingkan dua sumber utama variable dalam data:

1. Ragam Antar Perlakuan (*Between-Group Variation*): Variasi yang disebabkan oleh pengaruh faktor perlakuan yang diterapkan. Ragam ini mengukur perbedaan antara rata-rata kelompok perlakuan satu dengan yang lain.
2. Ragam Dalam Perlakuan (*Within-Group Variation*): Variasi yang disebabkan oleh faktor acak atau galat (kesalahan percobaan) yang tidak dapat dikendalikan. Ragam ini mengukur penyebaran data di dalam masing masing kelompok perlakuan.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Hanggar jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung

3.1.2 Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama 4 bulan dalam periode oktober 2025 hingga januari 2026.

3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam percobaan penelitian bata ringan dengan serat tandan sawit (TKKS) dan aspal penetrasi, sebagai berikut:

3.2.1 Alat

Penelitian bata ringan dengan serat tandan sawit ini menggunakan beberapa alat, sebagai berikut:

1. Mesin Molen Mini CS 120

Gambar 3.1 menunjukkan alat pengaduk (mixer) mini bertenaga listrik yang digerakkan oleh motor berkecepatan 30 RPM. Alat ini berfungsi untuk menghomogenkan komposisi material seperti semen, pasir, air, dan foam, namun tidak diperuntukkan bagi pencampuran aspal.



Gambar 3.1 Mesin Molen Mini CS 120

2. Gelas Ukur

Gambar 3.2 menunjukkan gelas ukur yang berperan signifikan dalam menjaga akurasi dan konsistensi takaran material. Terdapat tiga jenis kapasitas gelas ukur yang digunakan dalam pengujian ini, yakni 200 mL, 1 L, dan 2 L.



Gambar 3.2 Gelas Ukur

3. Timbangan

Gambar 3.3 menunjukkan penggunaan timbangan untuk mengukur massa bahan baku secara akurat, sekaligus mempermudah penghitungan akumulasi bobot dalam pembuatan bata ringan.



Gambar 3.3 Timbangan

4. Cetakan Bata Ringan Inti (50 cm × 16 cm × 5 cm)

Gambar 3.4 menunjukkan cetakan bata ringan yang berfungsi untuk membentuk campuran material yang telah dihomogenkan. Dimensi cetakan yang digunakan adalah 50 cm x 16 cm x 5 cm.



Gambar 3.4 Cetakan Inti Bata Ringan

5. Cetakan Bata Ringan Selimut (52 cm x 18 cm x 7 cm)

Gambar 3.5 menunjukkan cetakan yang digunakan untuk menyelimuti inti bata ringan. Cetakan ini dirancang untuk menghasilkan spesimen dengan dimensi 52 cm x 18 cm x 7 cm.



Gambar 3.5 Cetakan Selimut Bata Ringan

6. Cetakan Bata Ringan Keseluruhan (60 cm × 20 cm × 10 cm)

Gambar 3.6 menunjukkan cetakan bata ringan berdimensi 10 cm x 60 cm x 20 cm. Cetakan ini berfungsi untuk membentuk campuran material yang telah dihomogenkan menjadi bata ringan yang presisi guna menjamin konsistensi dimensi hasil produksi.



Gambar 3.6 Cetakan Bata Ringan Keseluruhan

7. Alat *Press*

Gambar 3.7 menunjukkan alat *press* yang digunakan untuk memadatkan bagian inti bata ringan. Proses ini melibatkan kompresi

campuran serat tandan sawit dan aspal dengan besaran tekanan yang telah ditentukan untuk mencapai kepadatan optimal.



Gambar 3.7 Alat Press

8. Wadah Pencampuran

Gambar 3.8 menunjukkan wadah pencampuran serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dan aspal penetrasi. Wadah berbahan baja tahan karat (stainless steel) ini berfungsi sebagai konduktor untuk menghantarkan panas sekaligus sebagai tempat homogenisasi material. Dalam penelitian ini, digunakan wadah berbentuk silinder untuk mengoptimalkan distribusi panas.



Gambar 3.8 Wadah Pencampuran

9. Kompor

Gambar 3.9 menunjukkan penggunaan kompor sebagai sumber panas dalam proses pengolahan aspal penetrasi. Pemilihan alat ini didasarkan pada kebutuhan suhu tinggi selama proses pencampuran, di mana intensitas api dapat diatur secara manual untuk mencapai dan menjaga temperatur yang diinginkan.



Gambar 3.9 Kompor

10. Jari-Jari

Gambar 3.10 menunjukkan jari-jari yang berfungsi sebagai pembatas cetakan untuk mengatur dimensi sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Komponen ini memungkinkan penyesuaian posisi cetakan secara akurat.



Gambar 3.10 Jari-Jari

11. *Foam Generator*

Gambar 3.11 menunjukkan *foam generator* berkapasitas 5 L yang berfungsi untuk memproduksi busa melalui mekanisme pemberian tekanan udara. Proses pembentukan busa berlangsung secara kontinu hingga tekanan internal yang diinginkan tercapai.



Gambar 3.11 *Foam Generator*

12. Kompresor

Gambar 3.12 menunjukkan kompresor yang berfungsi sebagai penyimpan udara untuk menyuplai tekanan pada *foam generator*. Kompresor ini digerakkan oleh motor berkekuatan 1 HP guna menjamin stabilitas tekanan selama proses produksi busa.



Gambar 3.12 Kompresor

13. Oli

Gambar 3.13 menunjukkan penggunaan oli sebagai *mold release agent* untuk melapisi permukaan cetakan (*bekisting*). Pelapisan ini bertujuan untuk mencegah terjadinya adhesi antara material adonan dengan cetakan, namun penggunaannya dapat digantikan oleh material pelumas lain yang memiliki karakteristik serupa.



Gambar 3.13 Oli

3.2.2 Bahan

1. Limbah Serat tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

Gambar 3.14 dibawah ini selain sumber bahan bakar biogas Tandan Kelapa Sawit ini digunakan untuk bahan campuran atau bahan utama pembuatan atau bahan komposit bata CLC dengan campuran TKKS.



Gambar 3.14 Limbah Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

2. Aspal Penetrasi

Gambar 3.15 di bawah ini menunjukkan aspal penetrasi 60/70 yang digunakan sebagai bahan pengikat (*binder*) untuk serat TKKS. Aspal tersebut berfungsi sebagai matriks perekat guna menjamin kohesi antarserat dalam campuran komposit.



Gambar 3.15 Aspal Penetrasi

3. Semen

Gambar 3.16 menunjukkan semen sebagai bahan ikat (*binder*) utama dalam campuran bata ringan. Semen berfungsi untuk memfasilitasi ikatan kohesif antar-material guna menghasilkan struktur konstruksi yang solid.



Gambar 3.16 Semen

4. Air

Gambar 3.17 air digunakan untuk membasahi dan mencampur komposisi bahan bata ringan.



Gambar 3.17 Air

5. Pasir

Gambar 3.18 merupakan pasir dalam pembuatan bata ringan berfungsi untuk meningkatkan kekuatan tekan dalam bata ringan dan sebagai campuran perekat homogen dengan semen.



Gambar 3.18 Pasir

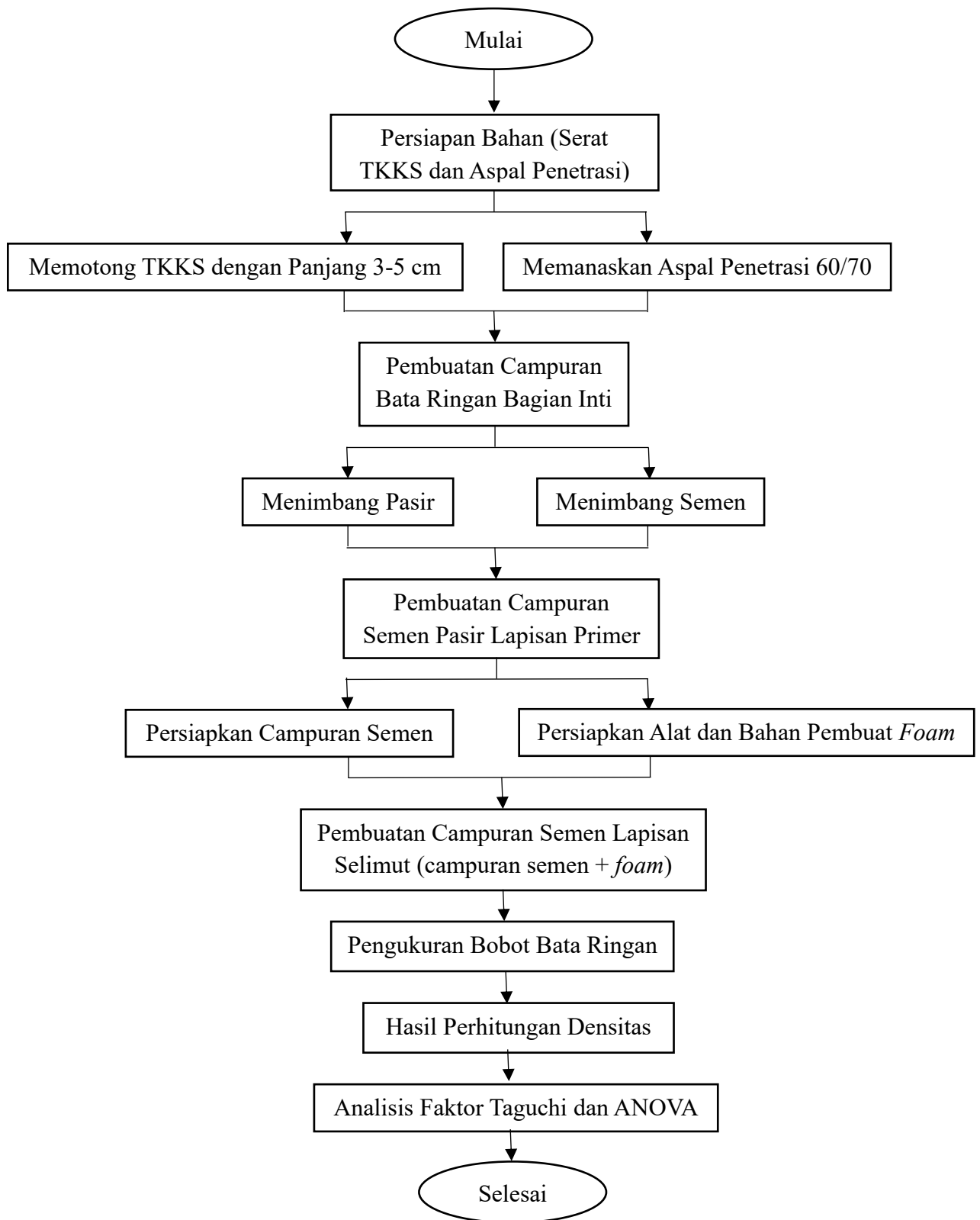
6. *Foam Agent*

Gambar 3.19 merupakan bahan untuk membuat foam yang dimasukan ke dalam *foam generator* bersamaan dengan air dengan komposisi yang sudah ditentukan.



Gambar 3.19 *Foam Agent*

3.3 Diagram Alir



Gambar 3.20 Diagram Alir

3.4 Prosedur Penelitian

2.4.1 Persiapan Alat dan Bahan

1. Limbah serat tandan sawit dibersihkan dari kotoran, dikeringkan dan dipotong menjadi panjang serat $\pm 3-5$ cm.
2. Aspal penetrasi disiapkan dalam kondisi homogen dengan dipanaskan sampai titik leleh dari aspal tersebut.
3. Wadah pencampuran pastikan dalam keadaan bersih.
4. Cetakan harus sudah sesuai dengan ukuran masing-masing.
5. Alat press pastikan berfungsi dengan baik.

3.4.2 Pembuatan Spesimen

Pembuatan spesimen melalui 3 tahap utama. 3 tahap tersebut yaitu pencampuran dan pencetakan. Pertama tahap pencampuran bahan inti dengan mempersiapkan terlebih dahulu aspal penetrasi, tandan kosong kelapa sawit, dan wadah pencampuran. Pastikan ukuran tandan kosong kelapa sawit sudah dalam ukuran 3-5 cm dan di masukan ke dalam wadah pencampuran. Masukan aspal penetrasi secara perlahan *mix* tandan kosong kelapa sawit. Pastikan seluruhnya tercampur secara merata.

Tahap 2 membuat campuran antara semen dan pasir. Bagian ini dengan dimensi atau lapisan yang tidak terlalu tebal dengan ukuran 52 cm x 18 cm x 7 cm. Lapisan ini untuk memperkuat bagian serat dan meminimalisir campuran sebelumnya berubah dimensi. Campuran ini dapat memperkuat dari elastisitasnya aspal dengan serat.

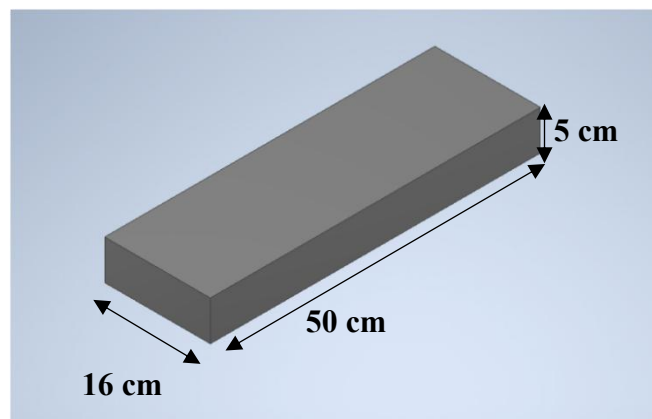
Tahap 3 yaitu proses pencetakan bata ringan. Pertama masukan tandan kosong kelapa sawit dengan aspal penetrasi yang sudah tercampur pada proses sebelumnya. Masukan cetakan inti dengan ukuran 50 cm x 16 cm x 5 cm kedalam alat press dan putar alat tersebut sampai tekanan yang diinginkan. Tunggu sampai bata ringan tersebut terbentuk sempurna. Apabila bata ringan inti sudah jadi maka akan proses selanjutnya yaitu ke cetakan ukuran utama yang sesuai yaitu 60 cm x 20 cm x 10 cm.

Masukan semen pada bagian luar sama seperti bata ringan seperti yang ada dipasaran.

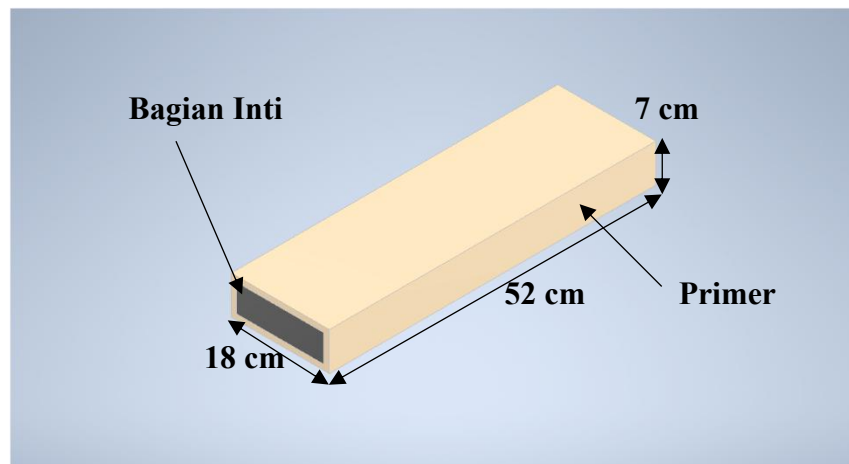
Pembuatan spesimen tersebut akan dilakukannya dengan Taguchi. Taguchi membantu untuk analisis dari hasil pengujian yang akan dilakukan setelah selesainya pembuatan. Analisis yang dilakukan dengan rancangan acak lengkap. Penelitian ini menggunakan 3 faktor yaitu aspal penetrasi, pasir, dan *foam* dan 3 level per faktor. Penelitian dengan faktorial dengan 3 faktor dan 3 lever per faktor maka $3^3 = 27$ sampel, lalu pengulangan 3 kali per sampel tetapi diambil dengan metode *orthogonal array* yang mana menjadi 9 dan 3 kali pegulangan. Faktor dengan levelnya yaitu aspal penetrasi + TKKS (1:0.818 (kg), 1:1 (kg), dan 1:1.222 (kg)), Primer (Rasio Semen:Pasir) (1:1, 1:2, 1:3) dengan ukuran (kg), dan Selimut (Rasio Adonan:Foam) (1:1, 1:2, 1:3) dengan ukuran (L).

3.5 Skema Bata Ringan

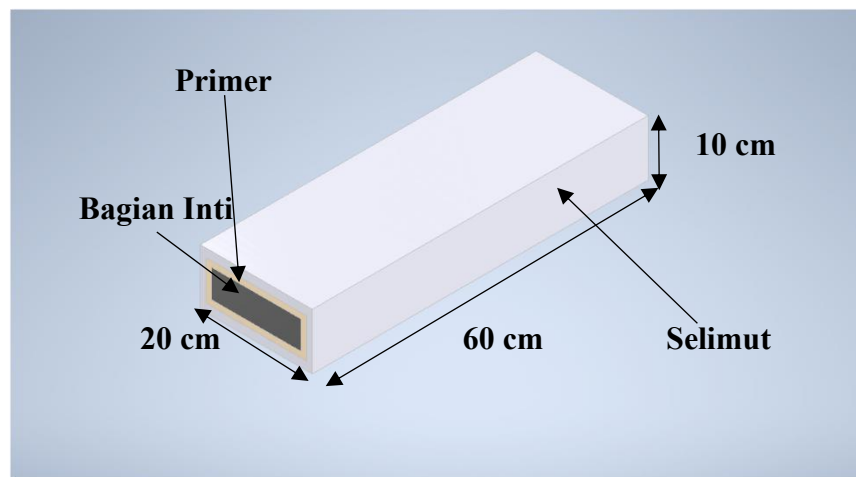
Bata ringan ini menggunakan 2 lapisan utama yaitu lapisan TKKS + aspal penetrasi dan semen. Lapisan TKKS + aspal penetrasi menjadi lapisan dalam atau yang utama dalam bata ringan ini. Semen sebagai lapisan luar yang menyelelimuti bagian dalamnya. Bagian dalam atau inti dengan ukuran 16 cm x 5 cm x 50 cm, bagian primer dengan ukuran yaitu 18 cm x 7 cm x 52 cm. pada bagian terkahir dengan ukuran seperti standar bata ringan CLC yaitu 20 cm x 10 cm x 60 cm.



Gambar 3.21 Bata Ringan Bagian Inti (TKKS + aspal emulsi)



Gambar 3.22 Lapisan Primer (Bagian inti + Primer)



Gambar 3.23 Bata Ringan Keseluruhan (Bagian Inti + Primer + Selimut)

3.6 Metode Pengujian

Terdapat beberapa metode pengujian tetapi yang dilakukan untuk mengetahui kualitas dari hasil bata ringan dengan serat tandan sawit yaitu dengan uji densitas. Uji densitas digunakan untuk mengetahui klasifikasi dari bata ringan MLLC. Hasil densitas dapat diperoleh dengan menimbang spesimen bata ringan dan dihitung.

3.7 Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan pembuatan bata ringan MLLC dengan beberapa volume yang berbeda. Adapun ukuran cetakan untuk perlapisan yaitu 50 cm x 16 cm x 5 cm, 52 cm x 18 cm x 7 cm, dan 60 cm x 20 cm x 10 cm. Setiap volume memiliki rasio dan komposisi yang berbeda. Pada lapisan inti dengan

komposisi serat tandan kosong kelapa sawit dan aspal penetrasi 60/70 sedangkan pada lapisan komposisinya yaitu semen, pasir, dan air, dan komposisi lapisan selimut dengan semen, pasir, air, dan *foam*.

Tabel 3.1 Rancang Campuran Bata Ringan MLLC dari Lapisan Inti sampai Lapisan Selimut.

No	Aspal (kg)	Pasir	<i>Foam</i>
1	0.818	0	1
2		1	2
3		2	3
4	1.000	0	2
5		1	3
6		2	1
7	1.222	0	3
8		1	1
9		2	2

Pada 28 hari hasil bata ringan akan di ukur bobot dengan timbangan. Pengukuran tersebut untuk mengetahui bobot pada saat kering. Hasil bobot akan dihitung untuk mengetahui densitas pada setiap sampel yang ada. Densitas tersebut akan dianalisis statistik untuk mengetahui pengaruh faktor terhadap hasil akhir.

3.8 Metode Analisis Data

Data di analisis secara kuantitatif dengan membandingkan hasil dari percobaan dengan data yang berstandar di Indonesia. Metode analisis yang diambil adalah analisis menggunakan software minitab untuk analisis statistik. Hasilnya akan diketahui faktor pengaruh dan data grafik untuk ditarik kesimpulan.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, pengujian, dan analisis data yang telah dilakukan terhadap pengembangan bata ringan *Multi Layer Lightweight Concrete* (CLC) dengan penguat serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dan aspal penetrasi, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Proses produksi bata ringan berbasis komposit berlapis yang dilakukan dinyatakan berhasil dengan homogenya antara serat TKKS dan aspal penetrasi 60/70 berdasarkan eksperimen yang dilakukan juga tidak terbakarnya serat TKKS atas panasnya yang diberikan oleh titik nyala aspal penetrasi di bawah batas kekuatan panas dari serat TKKS, pada lapisan primer dapat mengikat volume inti dengan komposisinya dengan membantu kekuatan *bending* tetapi kurang menyatunya karena sifat kedua tidak saling mengikat aspal penetrasi dengan hidrofobik dan campuran primer hidrofilik, dan pada campuran selimut menjadi bagian terluar dengan standar bata ringan yaitu berpori karena *foam* yang dicampur bersama, menghasilkan bata ringan berstandar SNI 8640:2018 bahwa klasifikasi bata ringan pengujian untuk densitas sudah sesuai kriteria struktural ataupun non-struktural dengan hasil kurang dari 1400 kg/m³ pada sampel tertinggi akan tetapi tidak dengan kekuatan *bending* yang masih di bawah standar.
2. Hasil analisis taguchi dan anova menunjukkan bahwa kombinasi faktor aspal penetrasi berada pada level 2 (50:50), pasir level 1 (komposisi pasir 0) dan *foam* level 1 (1:1) merupakan komposisi paling karena menghasilkan nilai SNR yang stabil dan densitas yang rendah.

5.2 Saran

Sebagai upaya pengembangan dan penyempurnaan penelitian ini di masa mendatang, penulis menyarankan beberapa hal sebagai berikut:

1. Menggunakan alat untuk proses pencampuran TKKS dengan aspal penetrasi yang otomatis agar proses lebih cepat dan konsisten.
2. Pembedaan bata ringan berlapis sebaiknya hanya menggunakan lapisan inti dan selimut agar memberikan bobot yang ringan dan struktur yang sama dengan bata ringan dipasaran.

DAFTAR PUSTAKA

- Anam, C., & Sugiyanto. (2022). ANALISA EFISIENSI PENGGUNAAN BATA MERAH DIBANDING BATA RINGAN PADA PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG MADRASAH TSANAWIYAH SALAFIYAH KEREK TUBAN. *Rang Teknik Journal*, 5(2), 235–247. <https://doi.org/10.31869/rtj.v5i2.3119>
- Androjić, I., & Dimter, S. (2022). Laboratory evaluation of the physical properties of hot mix asphalt exposed to combustion. *Construction and Building Materials*, 323, 126569. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2022.126569>
- BSN. (2018). *SNI 8640:2018 Spesifikasi bata ringan untuk pasangan dinding*. www.bsn.go.id
- Eppendie, A., & Kushartomo, D. W. (2023a). ANALISIS EFEKTIFITAS PENGGUNAAN BATA RINGAN SEBAGAI PENGGANTI BATA MERAH PADA KONSTRUKSI GEDUNG BERTINGKAT. Dalam *Agustus* (Vol. 6, Nomor 3).
- Ferdiyanto, A., Munfaridi, F. H., & Hidayat, A. (2016). *PENGARUH TEMPERATUR PROSES PIROLISIS TANDAN KOSOSNG KELAPA SAWIT (TKKS) TERHADAP KARAKTERISTIK BIO-OIL*. 8(1).
- Kumar, A. D., Poluraju, P., & Kasagani, H. (2022). EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON MECHANICAL PROPERTIES OF LIGHTWEIGHT AGGREGATE CONCRETE. *Civil and Environmental Engineering*, 18(2), 666–677. <https://doi.org/10.2478/cee-2022-0061>
- Kustiyah, E., Wicaksono, I., Wardani, L. A., Meilani, S. S., & Hasaya, H. (2022). Pembuatan komposit dari serat tandan kosong kelapa sawit dengan matrik polipropilen serta penambahan grafting agent PP-g-MA. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 16(3), 360–365. <https://doi.org/10.21107/agrointek.v16i3.13005>
- Liana, U. W. M., Agustina, F., Yatnikasari, S., & Vebrian. (2024). KAJIAN KUAT TEKAN BATA RINGAN CLC BERBAHAN DASAR LIMBAH BUBUK BATA MERAH. *Rang Teknik Journal*, 7(1), 1–8. <https://doi.org/10.31869/rtj.v7i1.3764>

- Ling, J. H., Lim, Y. T., Leong, W. K., & Sia, H. T. (2022). The Advantages and Disadvantages of Palm Oil Empty Fruit Bunch on Bricks and Mortar. *Journal of the Civil Engineering Forum*, 8(2), 193–204. <https://doi.org/10.22146/jcef.3762>
- Maghfiroh, R., & Ahyudanari, E. (2023). Peningkatan Performasi Aspal Penetrasi 60/70 dengan Penambahan Serbuk Limbah UPVC. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 21(1), 107–112.
- Mohammed, A. MF., & Saleh, I. A. (2023). A review of environmental emissions from asphalt plants and paving. *Material Science & Engineering International Journal*, 7(2), 59–66. <https://doi.org/10.15406/mseij.2023.07.00205>
- Nadhifah, N., & Susanti, A. (2024). Karakteristik Dan Pengujian Penetrasi Aspal Ex. Atlas Dengan Aspal Ex. Pertamina Pada Penetrasi 60/70. *Jurnal Media Publikasi Terapan Transportasi*, 2(1), 91–98.
- Pah, J. J. S., Ratrigis, C. I., & Sina, D. A. T. (2023). TATA CARA RANCANGAN CAMPUR UNTUK MEMBUAT BATA RINGAN CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE (CLC). *Jurnal Teknik Sipil*, 12(1).
- Praevia, M. F., & Widayat. (2022). Analisis Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Cofiring pada PLTU Batubara. *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, 3(1), 28–37. <https://doi.org/10.14710/jebt.2022.13367>
- Ramshankar, P., Sukumar, B., Aishwarya, R., Darshan, P. R., & Hrithik. (2023). Experimental Investigation on Bituminous Pavement Using Construction Demolition Waste and Plastic Waste. *Indian Journal Of Science And Technology*, 16(21), 1546–1554. <https://doi.org/10.17485/IJST/v16i21.1792>
- Rumbino, Y., Serangmo, F. K. Y., & Muti, M. A. G. (2021). KARAKTERISTIK DAN PENGUJIAN KUAT TEKAN BATA RINGAN CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE (CLC) DARI BATUGAMPING (CaCO₃) PULAU TIMOR SEBAGAI PRODUK UNGGULAN DAERAH LAHAN KERING. *Jurnal Ilmiah Teknologi FST Undana*, 15(2).
- Sholichin, I., Wahyudiyanto, I., & Putra, A. E. (2021). ASPHALT CHARACTERISTICS OF CONCRETE ASPHALT MIXED TO REDUCE EARLY DAMAGE IN FLEXIBLE PAVEMENT. *Journal of Civil Engineering*, 2(1), 12–17. www.pertamina.com
- Sugiyono. (2013). *METODE PENELITIAN KUANTITATIF KUALITATIF R&D* (10 ed.). Alfabeta.
- Syabani, A. N., & Aritonang, A. (2025). Analisis Sifat Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Material Akustik: Jurnal Review. *Jurnal Rekayasa Material*,

Manufaktur dan Energi, 8(1), 122–128.
<https://doi.org/10.30596/rmme.v8i1.21750>

Syabani, N. A., & Aritonang, S. (2025). Analisis Sifat Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Material Akustik: Jurnal Review. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 8(1). <https://doi.org/10.30596/rmme.v8i1.21750>

Widianto, B. W., & Faisal, M. I. (2020). Perubahan Karakteristik Aspal Pen 60/70 dengan Substitusi Getah Karet Alam. *Jurnal Teknik Sipil*, 6.

Widyawati, F., Siregar, P. G., Hermansyah, & Fardila, D. (2023). ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN SISAL TERHADAP SIFAT FISIK DAN MEKANIK PADA BATA RINGAN AAC (AUTOCLAVED AERATED CONCRETE). *Jurnal Teknik dan Sains*, 4(2).