

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan infrastruktur yang pesat serta tingkat urbanisasi tinggi di berbagai wilayah dunia, termasuk Indonesia, telah memicu transformasi signifikan pada lanskap perkotaan. Proses ini secara signifikan mengubah fungsi lahan hijau dan area resapan air menjadi permukaan kedap air seperti beton dan aspal. Akibatnya, proses infiltrasi air hujan ke dalam tanah terhambat. Fenomena ini secara substansial mengganggu siklus hidrologi alami, di mana air hujan yang idealnya meresap untuk meregenerasi cadangan air tanah justru mengalir langsung menuju sistem drainase. Hal tersebut mengakibatkan kota-kota metropolitan dihadapkan pada dua tantangan pokok, yaitu peningkatan risiko banjir lokal karena *runoff* permukaan yang berlebihan yang membebani kapasitas infrastruktur drainase, serta penurunan elevasi air tanah akibat terganggunya mekanisme reaktivasi akuifer. Kondisi ini tidak hanya menghasilkan kerugian ekonomi dan sosial yang substansial, tetapi juga memperburuk kondisi lingkungan serta mengancam keberlanjutan sumber daya air untuk generasi mendatang (Anas et al., 2025).

Dalam ranah teknik sipil, terutama dalam pembangunan lapisan perkerasan jalan, sejumlah studi akademik secara konsisten difokuskan pada inovasi material yang tak hanya menampilkan kinerja mekanis yang baik, melainkan juga selaras dengan prinsip keberlanjutan lingkungan serta menonjolkan sifat ramah lingkungan. *Paving porous*, sebagai elemen krusial dalam sistem perkerasan jalan, kini dinilai tidak semata-mata berdasarkan performa kekuatannya, melainkan juga atas perannya dalam pengelolaan lingkungan. Sebagaimana dikemukakan oleh Pranoto (2021), inovasi material pada *paving porous* merupakan salah satu strategi yang penting dalam menghadapi permasalahan urbanisasi serta dampak perubahan iklim, khususnya yang berkaitan dengan pengelolaan sumber daya air di kawasan perkotaan.

Paving porous hadir sebagai inovasi material konstruksi yang memungkinkan air hujan melewati lapisan perkerasan sehingga mengurangi limpasan permukaan. Teknologi ini semakin populer dalam rekayasa jalan modern karena mendukung sistem drainase berkelanjutan. Aplikasi *Paving porous* terbukti efektif dalam mengurangi genangan air, menurunkan beban sistem drainase kota, sekaligus meningkatkan kualitas lingkungan perkotaan.

Adresi et al. (2023) menegaskan bahwa kombinasi antara kekuatan tekan yang memadai dengan permeabilitas tinggi membuat *Paving porous* sangat sesuai digunakan pada area publik seperti parkir, trotoar, hingga jalan lingkungan. Tren global ini menegaskan urgensi penelitian.

Salah satu kendala fundamental dalam produksi *paving porous* adalah ketergantungan yang intensif terhadap semen. Sektor industri semen mendapat sorotan istimewa karena berkontribusi sekitar 7–8% terhadap keseluruhan emisi karbon dioksida global, menjadikannya sebagai salah satu penyumbang utama dengan jejak karbon yang substansial (saloni et al., 2021). Ketergantungan tersebut tidak hanya menimbulkan implikasi negatif terhadap lingkungan, tetapi juga memicu eskalasi biaya produksi secara berkesinambungan. Oleh karena itu, diperlukan solusi berupa substitusi parsial semen dengan material alternatif yang mampu mereplikasi karakteristik serupa. Penelitian terkait *supplementary cementitious materials (SCMs)*, termasuk *fly ash*, *silica fume*, serta abu hasil agroindustri, kian intensif sebagai jawaban atas kebutuhan global untuk menekan penggunaan semen.

Di bidang industri, terutama agroindustri, penanganan limbah merupakan isu mendesak yang perlu diselesaikan guna menghindari kerusakan lingkungan. Salah satu jenis limbah agroindustri yang berlimpah di Indonesia adalah ampas tebu, yakni produk samping dari pembuatan gula. Ampas tebu menawarkan peluang signifikan sebagai bahan yang bisa dieksploitasi secara lestari. Melalui proses pembakaran yang terkendali, ampas tebu dapat menghasilkan residu berupa abu yang dikenal sebagai *Sugarcane Bagasse Ash (SCBA)*. Abu dari ampas tebu ini terdiri dari partikel-partikel halus dengan konsentrasi SiO_2 yang cukup tinggi, mencapai 71%, sehingga mengindikasikan potensi pozzolanik yang superior (pranowo et al., 2022)

Sejumlah penelitian terdahulu telah membuka peluang pemanfaatan ampas tebu. Ulum & Imaduddin (2021) menyoroti bahwa penerapan abu ampas tebu yang dikombinasikan dengan *bottom ash* dapat mengurangi kekuatan tekan, tetapi sebaliknya memperbaiki kapasitas penyerapan air serta ketahanan aus *Paving block*. Di sisi lain, kajian Muharja et al. (2023) mengkaji pengoptimalan campuran SCBA dalam pembuatan *Paving block* untuk meningkatkan performa, dengan memanfaatkan abu tersebut sebagai substitusi semen berdasarkan bobot agregat halus. Pranowo et al. (2022) juga mengidentifikasi bahwa substitusi sebagian semen menggunakan SCBA memberikan pengaruh terhadap nilai kuat tekan mortar, di mana mortar yang mengandung abu ampas tebu menunjukkan peningkatan kuat tekan dibandingkan mortar normal.

Meskipun Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa SCBA dapat digunakan sebagai substitusi. Namun, fokus penelitian selama ini banyak pada

beton padat konvensional atau *Paving block* biasa. *Paving porous* memiliki karakteristik campuran yang sangat berbeda karena dirancang memiliki rongga udara yang tinggi dan permeabilitas yang baik. Sifat utama dari *Paving porous*, seperti kapasitas kekuatan tekan, kemampuan menyerap air, serta koefisien permeabilitasnya, sangat dipengaruhi oleh penambahan bahan pozolanik, contohnya SCBA. Namun, sampai saat ini, aspek tersebut masih terbatas dalam kajian dan eksplorasi. Dengan demikian, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi sifat *paving porous* yang dibuat dengan limbah abu ampas tebu sebagai pengganti semen. Diharapkan penelitian ini dapat menawarkan bahan konstruksi yang lebih ramah lingkungan dan lebih berkelanjutan.

Masalah lingkungan yang ditimbulkan oleh penumpukan limbah ampas tebu di Indonesia semakin menjadi prioritas yang harus segera ditangani. Proses pembakaran limbah tanpa pengendalian yang baik dapat menyebabkan pencemaran udara, sementara penimbunan limbah berpotensi mencemari tanah dan sumber air. Produksi ampas tebu di Indonesia meningkat sebesar 54,32 ribu ton atau 2,31 persen pada tahun 2022, mencapai total 2,40 juta ton, menurut data dari Badan Pusat Statistik. Namun, produksi gula pada tahun 2023 turun sebesar 168,41 ribu ton atau 7,01 persen dibandingkan tahun sebelumnya. Provinsi Jawa Timur menyumbang sekitar 1,09 juta ton, atau 48,84 persen dari total produksi gula di Indonesia, pada tahun 2022. Dengan menjadikannya abu pozzolanik untuk material konstruksi, tercipta solusi yang tidak hanya ramah lingkungan tetapi juga bernilai ekonomis. Puja et al. (2025) menyatakan bahwa pemanfaatan limbah industri dalam konstruksi merupakan salah satu strategi paling efektif untuk mendukung ekonomi sirkular dan mengurangi jejak lingkungan dari sektor konstruksi.

Dari sisi ekonomi, penggunaan SCBA memiliki potensi signifikan dalam menekan biaya produksi *Paving porous* karena sebagian semen dapat digantikan oleh bahan yang relatif murah, bahkan merupakan limbah industri yang bisa diperoleh tanpa biaya. Al Fauzi et al. (2020) menekankan Substitusi material berbasis limbah memiliki keuntungan ganda, yaitu mampu menurunkan biaya produksi sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui. Dengan demikian, penelitian ini membuka peluang dalam menghasilkan *paving porous* yang lebih ekonomis tanpa menurunkan mutu material yang dihasilkan.

Dari perspektif teknis, *Paving porous* memiliki dua sifat utama yang harus diperhatikan, yaitu kekuatan mekanis dan permeabilitas. Substitusi semen dengan SCBA berpotensi memengaruhi kedua sifat ini secara berbeda, tergantung pada kadar substitusi dan metode pengolahannya. Rosadi et al.

(2023) menegaskan bahwa penggunaan material pozzolanik dalam *Paving porous* harus mempertahankan keseimbangan antara kekuatan tekan dan kemampuan resapan air. Oleh sebab itu, penelitian ini memiliki peranan penting dalam menentukan proporsi SCBA yang paling optimal sehingga *paving porous* tetap mampu memenuhi standar teknis yang dipersyaratkan.

Penelitian ini memiliki relevansi yang meningkat jika dikaitkan dengan kebijakan pembangunan berkelanjutan di Indonesia. Pemanfaatan SCBA sejalan dengan tujuan *Sustainable Development Goals (SDGs)*, khususnya pada aspek inovasi industri (poin 9), pembangunan kota yang berkelanjutan (poin 11), serta pola konsumsi dan produksi yang berkelanjutan (poin 12). Dengan mengintegrasikan limbah agroindustri ke dalam sektor konstruksi, Penelitian ini tidak hanya memberikan solusi terhadap berbagai permasalahan teknis dan lingkungan, tetapi juga berkontribusi dalam mendukung implementasi agenda pembangunan berkelanjutan, baik pada tingkat nasional maupun internasional. Menurut Marathe dan Prashanth (2024), penggunaan material berbasis limbah juga dapat memperkuat kemampuan negara-negara berkembang dalam menginisiasi inovasi di bidang konstruksi ramah lingkungan.

Pemanfaatan limbah abu ampas tebu sebagai bahan campuran dalam *Paving porous* memiliki tingkat urgensi tinggi dalam mendukung pembangunan infrastruktur yang berkelanjutan, berdasarkan temuan dan analisis penelitian terbaru. penelitian ini diharapkan mampu menyediakan solusi menyeluruh untuk meminimalkan dampak negatif limbah industri terhadap lingkungan sekaligus mendorong pembangunan infrastruktur yang lebih ramah lingkungan. Selain itu, penelitian ini berpotensi menyajikan pendekatan holistik dalam mengurangi efek lingkungan dari limbah industri dan berkontribusi pada perkembangan konstruksi berkelanjutan. Dari segi manfaat praktis, penelitian ini dapat meningkatkan efisiensi biaya produksi, sementara dari sisi akademik memberikan kontribusi penting dalam pengembangan ilmu material. Dengan demikian, penelitian ini sangat relevan untuk menjawab tantangan dalam pengembangan infrastruktur hijau baik di tingkat nasional maupun global.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dari penelitian ini diantaranya,

1. Berapakah nilai kuat tekan *paving porous* dengan campuran abu ampas tebu?
2. Berapakah nilai daya serap air *Paving porous* dengan campuran abu ampas tebu?

3. Berapakah nilai permeabilitas *Paving porous* dengan campuran abu ampas tebu?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian diantaranya,

1. Menganalisis kuat tekan air *Paving porous* dengan campuran ampas tebu
2. Menganalisis daya serap air *Paving porous* dengan campuran ampas tebu
3. Menganalisis nilai permeabilitas *Paving porous* dengan campuran ampas tebu

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah digunakan dalam penelitian ini agar tidak menyebabkan terjadinya penyimpangan dari topik yang akan dibahas sebagai berikut :

1. Jenis perkerasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Paving porous*.
2. Limbah abu ampas tebu dimanfaatkan sebagai bahan tambah dalam campuran *Paving porous*.
3. Limbah abu ampas tebu yang digunakan berasal dari pabrik gula Krembung
4. Parameter utama yang digunakan untuk mendapatkan karakteristik *Paving porous* pada penelitian ini meliputi kuat tekan, dan daya serap air, , permeabilitas
5. Penelitian ini difokuskan pada penerapan *paving porous* yang digunakan pada jalan dengan kategori beban lalu lintas ringan, seperti bahu jalan, area parkir, jalur sepeda, serta fungsi sejenis lainnya.
6. Penelitian ini dilakukan di laboratorium bahan jalan Teknik Sipil Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya.
7. Acuan yang digunakan adalah menggunakan SNI 03-0691-1996: Bata Beton (*Paving block*) dan ACI 522R-10
8. Peneliti tidak menguraikan secara rinci komposisi kimia yang terdapat pada limbah abu ampas tebu maupun mekanisme reaksi yang terjadi ketika material tersebut dicampurkan.
9. Proses Curing dilakukan dengan metode perendaman.
10. Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen portland merek Semen Gresik.

1.5 Manfaat

Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi signifikan dalam menjawab berbagai permasalahan terkait perkerasan jalan di Indonesia serta memberikan dampak positif dalam pengelolaan limbah industri. Manfaat penelitian ini dapat dilihat dari beberapa perspektif, antara lain :

1. Manfaat Untuk Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Diharapkan bahwa penelitian ini akan menambah pengetahuan universitas tentang teknik sipil, terutama tentang pengembangan material konstruksi yang ramah lingkungan. Selain itu, hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai referensi pendukung pada mata kuliah yang berkaitan dengan teknologi beton dan rekayasa perkerasan jalan. Selain itu, penelitian ini berkontribusi pada peningkatan reputasi universitas sebagai institusi yang mendukung riset berorientasi pada pembangunan berkelanjutan dan penerapan konsep *green construction*.

2. Manfaat Untuk Peneliti

Penelitian ini membuka peluang untuk memperluas pemahaman mengenai interaksi material pozzolanik, khususnya abu ampas tebu, dalam campuran *Paving porous*. Selain itu, peneliti memperoleh pengalaman empiris melalui pelaksanaan eksperimen laboratorium yang mencakup pengujian karakteristik mekanis dan tingkat permeabilitas. Lebih jauh, hasil penelitian ini berpotensi menjadi landasan bagi pengembangan karya ilmiah selanjutnya, baik dalam bentuk publikasi akademik, penyampaian pada forum ilmiah, maupun penelitian lanjutan yang bersifat lebih mendalam dan komprehensif.

3. Manfaat untuk umum

Penelitian ini memberikan manfaat signifikan bagi masyarakat luas melalui penyediaan alternatif material *Paving porous* yang lebih ramah lingkungan, ekonomis, dan berkelanjutan. Pemanfaatan abu ampas tebu mampu membantu mengatasi permasalahan limbah ampas tebu yang memiliki potensi besar mencemari lingkungan. Produk *Paving porous* dengan substitusi bahan abu ampas tebu menawarkan infrastruktur yang lebih efektif dalam mengendalikan genangan air serta lebih ekonomis dari sisi biaya, sehingga dapat dinikmati oleh masyarakat secara luas. Manfaat ini sejalan dengan temuan penelitian yang menunjukkan pengaruh positif abu ampas tebu dalam memperbaiki karakteristik mekanik dan fisik *Paving porous*, sekaligus memberikan solusi pengelolaan limbah agroindustri yang berkelanjutan.

4. Manfaat untuk penelitian selanjutnya

Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai pijakan awal dan referensi bagi peneliti yang akan menyelidiki pemanfaatan limbah agroindustri sebagai material konstruksi. Penelitian ini memberikan data awal tentang bagaimana pengganti abu ampas tebu mempengaruhi sifat mekanis dan permeabilitas *Paving porous*. Peneliti berikutnya dapat memperluas kajian dengan meneliti aspek durabilitas jangka panjang, variasi perlakuan pembakaran abu, atau aplikasinya pada jenis perkerasan lain. Dengan demikian, penelitian ini membuka ruang kolaborasi dan inovasi dalam bidang material konstruksi berkelanjutan.

Halaman ini sengaja dikosongkan