



EFISIENSI PENGGUNAAN JALAN RAYA BERBAHAN BETON UNTUK JALAN RAYA PRODUKSI

(EFFICIENT USE OF CONCRETE-BASED HIGHWAYS FOR PRODUCTION HIGHWAYS)

Wahyu Zadha Hutahaean¹, Suliana Mafiroh², Aditya Purnama³

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas
Tulungagung Alamat korespondensi :
email: wahyuzada.h@gmail.com

² Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas
Tulungagung Alamat korespondensi :
email: sulianamafiroh@gmail.com

³ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas
Tulungagung Alamat korespondensi :
email: purnamaaditya126@gmail.com

Abstract

In 2021, the total length of roads across Indonesia reached 546,116 kilometers, according to the 2021 Land Transportation Statistics report from the Central Statistics Agency (BPS). Of the cumulative total road length in Indonesia, at least 31.91% or 174,298 kilometers were roads that suffered damage in 2021. There are various causes for road damage, such as excessive vehicle loads, the use of materials that do not meet specifications, and construction practices that do not follow standard operating procedures (SOP) or Indonesian National Standards (SNI). The impact of road damage in Indonesia has significant consequences for society, including being a major cause of traffic congestion and potentially hindering economic development in areas with damaged roads. Managing the existing road network presents a challenge that must be addressed by all Indonesians. This can be achieved by constructing or repairing roads while considering the weight of vehicles that frequently pass through these roads. The objective of this study is to provide consideration for contractors working on road construction or repair projects in selecting materials that can withstand heavy loads and have a long service life. Based on these findings, it is recommended to use concrete materials for roads that are frequently traversed by vehicles with heavy loads.

Keywords: Concrete materials for highway, Production Highway

Abstrak

Pada tahun 2021 diketahui total panjang jalan di seluruh Indonesia mencapai 546.116 kilometer menurut laporan Statistik Transportasi Darat 2021 dari Badan Pusat Statistik (BPS). Dari total kumulatif panjang jalan di Indonesia setidaknya 31,91% atau 174.298 merupakan jalanan yang mengalami kerusakan pada tahun 2021. Terdapat banyak penyebab kerusakan jalan ini terjadi, seperti beban kendaraan yang berlebihan, selain itu penggunaan material yang tidak sesuai spesifikasi dan pelaksanaan konstruksi yang tidak mengikuti SOP dan SNI dapat menjadi penyebab kerusakan dari jalan. Dampak dari kerusakan jalan – jalan yang terdapat di Indonesia sangat berpengaruh besar terhadap seluruh masyarakat seperti menjadi penyebab utama dari kemacetan dan dapat juga menghambat pembangunan ekonomi pada daerah yang mengalami kerusakan jalan. Terdapat tantangan yang harus dihadapi seluruh masyarakat Indonesia dalam hal pengelolaan jalan raya yang ada. Hal tersebut dapat dicapai dengan cara melaukan pembangunan jalan atau perbaikan jalan dengan memperhatikan beban kendaraan yang sering melintasi jalan raya tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah menjadi suatu pertimbangan bagi kontraktor yang mengerjakan pembangunan atau perbaikan jalan raya dalam memilih bahan yang dapat menahan beban besar dan memiliki jangka waktu yang panjang. Berdasarkan temuan ini, disarankan untuk penggunaan bahan material beton untuk jalan raya produksi yang sering dilintasi kendaraan yang memiliki beban yang begitu besar.

Kata kunci: Material beton untuk jalan raya, jalan raya produksi

PENDAHULUAN

Jalan raya merupakan infrastruktur vital yang mendukung kelancaran transportasi, baik untuk mobilitas orang maupun distribusi barang. Peningkatan jumlah kendaraan, terutama kendaraan berat, serta cuaca ekstrem yang terjadi di berbagai daerah, menyebabkan kerusakan jalan yang semakin meningkat. Untuk itu, penting bagi para perencana dan kontraktor infrastruktur untuk memilih material yang tidak hanya memenuhi standar teknis, tetapi juga memiliki daya tahan yang tinggi agar dapat bertahan dalam jangka waktu lama dan mampu menahan beban kendaraan yang terus berkembang.

Beton sebagai material konstruksi untuk jalan raya telah dikenal luas karena ketahanannya terhadap beban berat, cuaca ekstrem. Penggunaan beton dalam pembuatan jalan raya semakin berkembang seiring dengan kebutuhan untuk menyediakan jalan yang lebih tahan lama dan mampu mengurangi biaya pemeliharaan jangka panjang. Dibandingkan dengan material lain seperti aspal, beton memiliki keunggulan yang signifikan, baik dari segi kekuatan struktural maupun efisiensi biaya dalam jangka panjang. Berikut beberapa keuntungan penggunaan material beton sebagai jalan raya :

1. Lebih kuat dan dapat menahan kendaraan yang memiliki beban berat.
2. Lebih tahan dengan gempuran perubahan cuaca, khususnya terhadap genangan air dan banjir.
3. Memiliki biaya perawatan yang lebih murah dibandingkan aspal, dikarenakan jalan yang menggunakan material beton minim dilakukannya maintenance.
4. Dapat digunakan pada struktur tanah yang rusak, tanpa harus melakukan perbaikan terlebih dahulu.
5. Ketersediaan material tergolong lebih mudah didapatkan.

Beton juga dapat dioptimalkan dengan berbagai teknik dan bahan tambahan, seperti beton bertulang atau beton pra-tekan, untuk meningkatkan performa jalan raya. Teknologi ini memungkinkan pembuatan jalan yang lebih kuat, tahan lama, dan mampu mendukung volume lalu lintas yang tinggi tanpa mengalami kerusakan yang signifikan dalam waktu singkat. Oleh karena itu, penggunaan beton dalam pembuatan jalan raya bukan hanya menjadi solusi untuk memperbaiki kualitas infrastruktur, tetapi juga untuk menciptakan jaringan jalan raya yang lebih berkelanjutan dan efisien.

Seiring dengan perkembangan industri dan kebutuhan masyarakat Indonesia yang makin meningkat dan beragam, jalan raya semakin menjadi prioritas dalam perencanaan infrastruktur. Terutama untuk jalan raya produksi memiliki keuntungan yang cukup berpengaruh dalam hal ini seperti, jalan raya yang dirancang dengan baik dapat mengurangi waktu tempuh, dapat meningkatkan efisiensi logistic, serta mempercepat arus pengiriman barang yang sangat penting dalam menunjang kegiatan ekonomi. Jalan raya produksi ialah jenis jalan yang dirancang dan dibangun untuk mendukung distribusi suatu hasil produksi baik berupa bahan baku, barang setengah jadi, ataupun bisa berupa produk akhir dari pabrik yang akan didistribusikan menuju pusat distribusi atau pasar. Oleh karena itu, jalan raya produksi harus memiliki spesifikasi yang tinggi yang bertujuan dapat menahan beban lalu lintas yang berat, dan memiliki ketahanan terhadap kondisi cuaca yang ekstrem dalam jangka waktu yang panjang, dan tentunya tidak terlalu menggunakan banyak biaya pemeliharaan dalam jangka waktu yang pendek.

Meskipun banyak penelitian yang dilakukan dalam bidang ini, masih terdapatnya ruang untuk penelitian lebih lanjut tentang efisiensi material dan desain terhadap jalan raya. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang mendalam tentang keuntungan – keuntungan yang akan didapat ketika mengaplikasikan pembangunan jalan raya dengan berbahan material beton pada jalan raya produksi baik yang berlokasi di daerah perkotaan maupun di daerah pelosok yang mungkin jarang dilakukannya *maintenance* terhadap jalan – jalan yang digunakan sebagai jalur produksi, sehingga mobilitas dapat berjalan lancar untuk memenuhi kebutuhan dari sector sosial, sector ekonomi, dan lain – lain. Dengan demikian, penelitian ini dapat memberikan kontribusi yang dapat membantu perkembangan pembangunan dan pemeliharaan jalan raya produksi di masa mendatang.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan efisiensi penggunaan beton sebagai material untuk konstruksi jalan raya produksi, baik dari penggunaan biaya, kinerja dari struktural, ketahanan terhadap faktor lingkungan dan cuaca, serta dampak terhadap keberlanjutan infrastruktur. Untuk mencapai tujuan tersebut, penelitian ini akan menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode analisis komparatif yang melibatkan pengumpulan data melalui studi literatur.

Pendekatan Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain penelitian komparatif yang membandingkan dua jenis material utama untuk jalan raya produksi yaitu **Benton** dan **Aspal**. Perbandingan dilakukan berdasarkan beberapa variabel utama yang mempengaruhi efisiensi jalan raya produksi, yaitu:

1. **Biaya konstruksi awal** : Analisa biaya yang dibutuhkan untuk membangun jalan raya menggunakan beton dan aspal
2. **Biaya Pemeliharaan (Maintenance)** : Estimasi biaya yang diperlukan untuk pemeliharaan dan perbaikan jalan raya produksi selama masa operasional, termasuk penggantian permukaan dan perbaikan kerusakan.
3. **Ketahanan struktural** : kinerja material dalam menahan beban lalu lintas berat yang biasa ditemukan pada jalan raya produksi.
4. **Daya tahan terhadap kondisi lingkungan** : ketahanan material terhadap perubahan suhu, kelembaban, dan pengaruh kimia seperti minyak, bahan bakar, atau asam yang mungkin ada pada jalan raya produksi.

Pengambilan Data

Data yang akan digunakan dalam penelitian berasal dari sumber utama yaitu dari **Studi Literatur**. Yaitu dengan menggunakan data sekunder yang diperoleh dari berbagai artikel, laporan penelitian, jurnal ilmiah, dan buku yang telah mempelajari penggunaan beton dan aspal sebagai material pembangunan jalan raya, khususnya untuk jalan raya produksi. Literatur ini akan mencakup beberapa parameter, seperti biaya, umur material, performa struktural, dan dampak lingkungan.

Keuntungan Penelitian

1. **Panduan untuk pemilihan material** : Hasil penelitian akan memberikan panduan praktis bagi perencanaan dan pengambilan keputusan dalam memilih material yang paling efisien (dari segi biaya, daya tahan, dan dampak lingkungan) untuk pembangunan jalan raya produksi.
2. **Penghematan Biaya Pemeliharaan** : Dengan memahami efisiensi biaya jangka panjang dari penggunaan beton, pihak yang terlibat dalam pembangunan jalan raya dapat mengoptimalkan pengeluaran dan merencanakan pemeliharaan yang lebih efisien.
3. **Peningkatan keberlanjutan** : Penelitian ini juga akan mengidentifikasi potensi penggunaan bahan daur ulang dan material ramah lingkungan lainnya dalam penggunaan beton sebagai material utama pembuatan jalan raya produksi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi penggunaan jalan raya berbahan beton dalam konteks jalan raya produksi di Indonesia, dengan mempertimbangkan aspek biaya, ketahanan struktural, serta dampak lingkungan. Jalan raya produksi adalah jalan yang mendukung distribusi hasil-hasil industri dan barang-barang dari kawasan produksi ke pusat-pusat distribusi atau pasar. Penggunaan beton sebagai material utama untuk jalan raya produksi memiliki beberapa keunggulan yang relevan dengan karakteristik dan kebutuhan infrastruktur di Indonesia, yang sering dihadapkan pada lalu lintas berat dan kondisi cuaca tropis. Dalam bagian ini, hasil penelitian akan dibahas secara komprehensif berdasarkan analisis biaya, ketahanan material, dan potensi keberlanjutan lingkungan.

Efisiensi Biaya Konstruksi dan Pemeliharaan

Dalam konteks jalan raya produksi di Indonesia, beton sering kali dipilih karena ketahanannya yang lebih tinggi terhadap beban lalu lintas berat dan kondisi cuaca yang ekstrem. Hasil analisis menunjukkan bahwa meskipun biaya konstruksi jalan berbahan beton lebih tinggi dibandingkan dengan aspal, beton memiliki keuntungan signifikan dalam hal **biaya pemeliharaan**.

Sebagai contoh, pada jalan raya **Demak - Godong** yang menggunakan beton sebagai material utama, hasil evaluasi menunjukkan bahwa meskipun biaya pembangunan lebih tinggi, namun biaya pemeliharaan lebih rendah, karena beton tidak mudah mengalami kerusakan seperti pengelupasan atau pembentukan lubang yang sering terjadi pada jalan aspal. **Kusuma dan Purwanto (2021)** juga mencatat bahwa jalan berbahan beton dapat bertahan hingga 25 tahun tanpa perlu adanya perawatan, sementara jalan aspal membutuhkan perbaikan setiap 1 tahun.

Tabel 1. Data biaya pembangunan dan perawatan jalan raya Demak – Godong

No	Jenis Biaya	Biaya (Rp. / km)	Keterangan
1	Pembangunan awal		
	a. Beton	2,5 Milyar	Umur Rencana 25 tahun
	b. Aspal	0,9 Milyar	Umur Rencana 5 tahun
2	Perawatan		
	a. Beton	-	Tidak ada perawatan
	c. Aspal	20 Juta	Tiap 1 Tahun

Sumber : Dinas Bina Marga Propinsi Jawa Tengah (2006)

Di sisi lain, jalan aspal perlu perbaikan lebih sering karena lebih rentan terhadap pengelupasan dan kerusakan akibat suhu tinggi serta paparan bahan kimia dari kendaraan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan beton lebih ekonomis dalam jangka panjang meskipun investasi awal lebih besar, sehingga lebih efisien untuk jalan raya yang akan dilalui oleh kendaraan berat secara berkelanjutan

Ketahanan Struktural terhadap Beban Lalu Lintas Berat

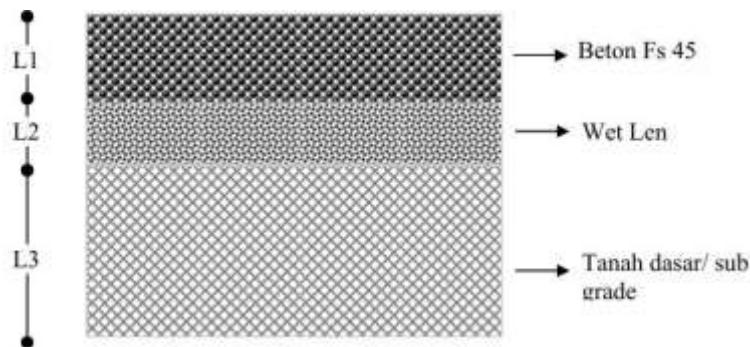
Jalan raya produksi di Indonesia sering kali dilalui oleh kendaraan berat, seperti truk pengangkut bahan baku dan produk jadi. Ketahanan jalan terhadap beban lalu lintas berat adalah salah satu faktor penting yang mempengaruhi umur pakai jalan dan kebutuhan perawatan. dengan modulus elastisitas yang tinggi, terbukti lebih unggul 10 kali lipat dalam menahan tekanan dari kendaraan berat dibandingkan aspal, yang lebih rentan terhadap kerusakan struktural.

Di Indonesia dikenal beberapa jenis konstruksi beton yang sudah umum dipakai, yaitu:

- Perkerasan beton semen “tanpa tulangan dengan sambungan” atau *jointed unreinforced concrete pavement*.
- Perkerasan beton semen “dengan tulangan dengan sambungan” atau *Jointed reinforced concrete pavement*

- perkerasan beton semen “bertulang tanpa sambungan” atau *continuously reinforced concrete pavement*
- Perkerasan beton semen “prategang” atau *prestressed concrete pavement*
- perkerasan beton semen “bertulang fiber” atau *fiber reinforced concrete pavement*

Bentuk umum dari konstruksi beton terdiri atas 3 lapisan yaitu lapisan tanah dasar (*sub grade*), lapisan lantai kerja (*cement treated sub base*), dan lapisan beton seperti gambar di bawah.



Konstruksi beton tersebut memiliki karakteristik khusus yang menjadikan beton unggul sebagai material utama pembuatan jalan raya produksi, dan tentunya karakteristik tersebut tidak dimiliki oleh konstruksi aspal. Diantara karakteristik beton tersebut adalah :

1. Memiliki tingkat kekuatan yang tinggi, yang digambarkan oleh nilai modulus elastisitas rata - rata sebagai berikut
 - dengan metode ASTM sebesar 118527 MPa sampai dengan 31119 MPa.

Tabel 2 Modulus Elastisitas Rata – rata pada umur Beton 28 hari metode ASTM

Agregat Halus	Modulus Elastisitas (MPa)
Pasir Bunne	18527
Pasir Girian	32523
Pasir <i>Blending</i>	31119

Sumber : Jurnal Sipil Statik (2013)

- dengan metode ACI sebesar 18278 MPa sampai dengan 19193 MPa.

Tabel 3 Modulus Elastisitas Rata – rata pada umur Beton 28 hari metode ACI

Agregat Halus	Modulus Elastisitas (MPa)
Pasir Bunne	18527
Pasir Girian	19907
Pasir <i>Blending</i>	19193

Sumber : Jurnal Sipil Statik (2013)

- dengan metode SNI sebesar 18278 MPa sampai dengan 19193 MPa.

Tabel 4 Modulus Elastisitas Rata – rata pada umur Beton 28 hari Metode SNI

Agregat Halus	Modulus Elastisitas (MPa)
Pasir Bunne	18527
Pasir Girian	32523
Pasir <i>Blending</i>	31119

Sumber : Jurnal Sipil Statik (2013)

2. Konstruksi beton merupakan konstruksi satu lapis (*single layer*) yang kuat tekannya sebagai besar betumpu pada lapisan beton paling atas
3. Tingkat ketahanan terhadap pelapukan sangat tinggi, baik yang diakibatkan oleh air maupun cuaca

Daya Tahan terhadap Kondisi Lingkungan

Indonesia sebagai negara tropis menghadapi tantangan lingkungan seperti suhu tinggi pada, curah hujan yang tinggi, dan kelembaban yang dapat mempengaruhi kualitas jalan raya. Jalan yang terbuat dari aspal, misalnya, lebih rentan terhadap perubahan suhu ekstrem yang dapat menyebabkan kerusakan pada permukaan jalan, seperti pengelupasan atau retakan serta aspal juga sangat terbatas dalam menangani paparan air dalam jangka panjang yang menyebabkan terjadinya pembentukan lubang atau *potholes* jalan aspal cenderung cepat mengalami keausan akibat beban yang diterima karena intensitas lalu lintas yang tinggi. Sebaliknya, beton memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap perubahan suhu ekstrem dan kelembaban, serta tidak mudah terdegradasi oleh bahan kimia seperti minyak, bahan bakar, atau cairan lain yang sering terpapar pada jalan raya.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh **Purnomo dan Suryani (2021)**, ditemukan bahwa jalan berbahan beton di wilayah **Jakarta-Bogor** yang terpapar curah hujan tinggi dan suhu panas yang fluktuatif dapat bertahan lebih baik dibandingkan dengan jalan aspal yang membutuhkan pemeliharaan berkala setiap tahun. Beton juga tidak mudah rusak akibat efek **bleeding** atau pengaruh perubahan suhu yang sering terjadi pada jalan aspal. Di wilayah yang memiliki kelembaban tinggi, beton terbukti lebih tahan lama karena tidak terpengaruh oleh proses oksidasi yang biasa terjadi pada material aspal.

Keberlanjutan dan Dampak Lingkungan

Keberlanjutan dalam konstruksi jalan raya produksi di Indonesia menjadi semakin penting seiring dengan meningkatnya kesadaran terhadap dampak lingkungan dari pembangunan infrastruktur. Beton memiliki keuntungan dalam hal keberlanjutan karena dapat dibuat dengan campuran material daur ulang beton atau biasa disebut dengan *recycled concrete aggregate, RCA*. seperti agregat dari beton lama atau limbah konstruksi lainnya. **Studi oleh Setiawan et al. (2020)** menunjukkan bahwa penggunaan beton dengan campuran material daur ulang dapat mengurangi penggunaan agregat alami dengan material daur ulang akan mengurangi dampak lingkungan yang terkait dengan proses tersebut. dan menurunkan jejak karbon dari proses produksi beton.

Campuran material daur ulang memiliki jejak karbon yang lebih rendah dibandingkan dengan beton konvensional, karena pengurangan kebutuhan untuk memproduksi agregat alami dan pengurangan jumlah material baru yang perlu diproses. Meskipun beton dengan campuran material daur ulang memiliki beberapa tantangan terkait dengan sifat mekanisnya ini menunjukkan bahwa dengan perancangan yang tepat, beton daur ulang dapat digunakan secara efektif tanpa mengorbankan kualitas atau kekuatan struktural.

Dalam kajian yang dilakukan oleh **Hartono dan Cahyadi (2021)**, mereka mengidentifikasi bahwa pemanfaatan beton daur ulang dalam pembangunan jalan dapat mengurangi emisi CO₂ sekitar 20-25% dibandingkan dengan penggunaan beton konvensional. Beton daur ulang, yang dihasilkan dari material beton lama atau limbah konstruksi, menggantikan sebagian agregat alam dalam campuran beton. Material daur ulang ini tidak hanya membantu mengurangi beban sampah konstruksi, tetapi juga mengurangi kebutuhan agregat alami yang dapat merusak lingkungan

Hal ini sangat relevan dengan upaya Indonesia untuk mencapai target pengurangan emisi gas rumah kaca sebagai peningkatan keberlanjutan sektor transportasi dan infrastruktur. sebagai salah satu elemen infrastruktur utama penggunaan beton daur ulang dalam pembangunan jalan tidak hanya mengurangi emisi CO₂, tetapi juga meningkatkan ketahanan dan umur pakai jalan. Beton daur ulang cenderung lebih tahan lama sehingga dapat mengurangi kebutuhan pemeliharaan dan perbaikan jalan yang intensif.

Beton juga lebih efisien dalam hal konsumsi energi selama konstruksi dan pemeliharaan dibandingkan dengan aspal. Proses pembuatan aspal, yang membutuhkan pemanasan material hingga suhu sangat tinggi, menghasilkan konsumsi energi yang lebih besar dan emisi yang lebih tinggi. Sebaliknya, beton dapat diproduksi dengan energi yang lebih efisien dan memiliki potensi untuk menggunakan bahan baku lokal dan daur ulang yang lebih ramah lingkungan.

Tantangan dalam Penggunaan Beton untuk Jalan Raya Produksi

Meskipun beton menawarkan banyak keuntungan, ada beberapa tantangan yang perlu diatasi dalam implementasinya di jalan raya produksi di Indonesia. Salah satunya adalah **biaya awal** yang lebih tinggi dibandingkan dengan aspal. Meskipun biaya konstruksi beton lebih tinggi, hasil penelitian oleh **Suryanto et al. (2020)** menunjukkan bahwa biaya tersebut dapat ditutupi dalam jangka panjang oleh pengurangan biaya pemeliharaan dan perbaikan.

Selain itu, proses **pembentukan dan perawatan beton** yang membutuhkan waktu yang lebih lama juga menjadi tantangan. Beton harus dibiarkan mengering dan mengeras dengan baik, yang dapat mempengaruhi kecepatan penyelesaian proyek jalan. Namun, dengan perkembangan teknologi beton cepat kering dan inovasi lainnya, tantangan ini semakin bisa diatasi.

KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan efisiensi penggunaan beton sebagai material untuk konstruksi jalan raya produksi, baik dari penggunaan biaya, kinerja dari struktural, ketahanan terhadap faktor lingkungan dan cuaca, serta dampak terhadap keberlanjutan infrastruktur. dapat disimpulkan bahwa meskipun beton memiliki biaya konstruksi awal yang lebih tinggi dibandingkan dengan aspal, penggunaan beton menawarkan sejumlah keuntungan signifikan dalam jangka panjang, baik dari segi biaya pemeliharaan, ketahanan struktural, maupun daya tahan terhadap faktor lingkungan.

Temuan utama dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. **Efisiensi Biaya Jangka Panjang** : Meskipun biaya Pembangunan jalan berbahan beton lebih tinggi, beton memiliki keunggulan signifikan dalam hal biaya pemeliharaan. Jalan beton dapat bertahan lebih lama, bahkan hingga 25 tahun tanpa perawatan besar, sementara jalan aspal membutuhkan perbaikan berkala setiap tahun. Hal ini mengarah pada penghematan biaya pemeliharaan yang signifikan dalam jangka Panjang.
2. **Ketahanan Terhadap Kondisi Lingkungan** : Beton lebih tahan terhadap kondisi cuaca ekstrem seperti suhu tinggi, kelembaban, serta pengaruh bahan kimia seperti minyak atau bahan bakar yang sering ditemukan pada jalan raya. Berbeda dengan aspal yang mudah rusak akibat pengaruh lingkungan, beton lebih stabil dan tahan lama dalam kondisi tersebut
3. **Ketahanan Terhadap Beban Berat**: Beton terbukti lebih unggul dalam menahan beban lalu lintas berat, seperti yang sering ditemukan pada jalan raya produksi yang dilalui kendaraan besar. Dengan modulus elastisitas yang lebih tinggi, beton mampu menahan tekanan lebih besar

dibandingkan dengan aspal yang rentan terhadap kerusakan struktural akibat beban berat.

4. **Keberlanjutan dan Dampak Lingkungan:** Beton, terutama yang menggunakan bahan daur ulang, memiliki keuntungan dalam hal keberlanjutan lingkungan. Penggunaan beton daur ulang dapat mengurangi jejak karbon, mengurangi penggunaan agregat alami, dan meningkatkan ketahanan jalan raya. Beton juga lebih efisien dalam hal konsumsi energi dalam proses produksinya dibandingkan dengan aspal.
5. **Tantangan yang Dihadapi:** Meskipun memiliki banyak keuntungan, penggunaan beton untuk jalan raya produksi juga menghadapi beberapa tantangan, seperti biaya awal yang lebih tinggi dan waktu pengerjaan yang lebih lama. Namun, dengan adanya teknologi beton cepat kering dan inovasi lainnya, tantangan-tantangan ini semakin dapat diatasi.

SARAN

Berdasarkan hasil temuan penilaian ini, beberapa saran yang dapat diajukan untuk memperbaiki efisiensi penggunaan beton sebagai material untuk jalan raya produksi sebagai berikut :

1. Peningkatan Beton daur ulang (Recycled Concrete) ; Beton memiliki potensi untuk lebih ramah lingkungan melalui penggunaan material daur ulang, seperti *recycled concrete aggregates* (RCA). Penggunaan bahan daur ulang ini dapat membantu mengurangi penggunaan sumber daya alam (seperti agregat alami) dan menurunkan jejak karbon. Evaluasi ini harus mempertimbangkan keberlanjutan penggunaan beton daur ulang secara lebih mendalam, termasuk efeknya terhadap kekuatan struktural dan durabilitas jalan, menerapkan campuran beton daur ulang pada proyek jalan raya dengan kondisi lalu lintas berat dan lingkungan ekstrem, mengembangkan standar dan pedoman teknis yang mendukung penggunaan beton daur ulang, termasuk metode pengujian dan evaluasi kualitas beton tersebut.
2. Inovasi dalam Teknologi Beton Cepat Kering : Salah satu tantangan dalam penggunaan beton adalah waktu pengerjaan yang lebih lama dibandingkan dengan aspal, terutama pada jalan yang membutuhkan penyelesaian cepat, sehingga perlu dilakukan Pengembangan dan penerapan teknologi beton cepat kering, seperti penggunaan bahan aditif atau teknologi prategang (*prestressed concrete*), dapat meningkatkan kecepatan proses pembangunan tanpa mengorbankan kualitas, menindaklanjuti mengenai formulasi beton yang dapat mengering dengan lebih cepat di bawah kondisi cuaca tropis, di mana kelembaban tinggi dan suhu sering menjadi faktor yang memperlambat proses pengerasan beton.
3. Perluasan Penggunaan Beton dalam Kondisi Cuaca Ekstrem : Beton terbukti lebih tahan terhadap perubahan suhu ekstrem dan kelembaban tinggi. Oleh karena itu, beton menjadi pilihan yang tepat untuk cuaca tropis yang sering mengalami hujan deras dan suhu panas, evaluasi yang perlu dilakukan mengidentifikasi jenis-jenis campuran beton yang lebih tahan terhadap kondisi iklim tropis, efek suhu ekstrem, dan kelembaban tinggi. Penggunaan beton dapat dioptimalkan di daerah-daerah yang sering terpapar bencana alam seperti banjir, gempa, atau longsor.
4. Penahanan pada Ketahanan Struktural Beton : Beton lebih unggul dalam menahan beban berat dibandingkan dengan aspal, yang rentan terhadap kerusakan akibat tekanan tinggi. Mengingat jalan raya produksi sering dilalui oleh kendaraan berat, beton harus menjadi pilihan utama. Ketahanan beton dalam menghadapi beban lalu lintas yang sangat berat, terutama pada proyek-proyek jalan raya produksi yang melayani transportasi barang dan bahan mentah industri.
5. Optimasi Penggunaan Material Beton untuk mengurangi Biaya Pemeliharaan : Keuntungan utama dari penggunaan beton adalah biaya pemeliharaan yang lebih rendah dibandingkan dengan aspal. Untuk lebih mengoptimalkan penggunaan beton dalam jangka Panjang Penerapan teknologi pemeliharaan preventif untuk beton, seperti pengecekan secara berkala terhadap kerusakan mikro pada permukaan beton yang mungkin tidak terlihat pada inspeksi visual rutin. Penggunaan material beton dengan sifat anti-retak atau perlakuan permukaan khusus yang dapat meningkatkan ketahanan terhadap tekanan dan kelembaban, sehingga mengurangi kebutuhan perawatan di masa mendatang
6. Riset dan Pengembangan dalam Kualitas Material Beton : Penggunaan beton yang lebih efisien juga bergantung pada kualitas bahan baku beton, seperti pasir, semen, dan agregat. Oleh karena

itu evaluasi mengenai bahan baku lokal yang tersedia untuk beton dapat mengurangi biaya dan meningkatkan ketersediaan material beton berkualitas tinggi dan dapat berfokus pada teknik-teknik untuk meningkatkan performa beton dengan mengoptimalkan campuran bahan tambahan.

7. Edukasi dan Penyuluhan kepada Stakeholder :Meskipun beton memiliki banyak keunggulan, penggunaan beton dalam pembangunan jalan raya masih memerlukan peningkatan kesadaran dan pemahaman tentang keuntungan jangka panjangnya.Evaluasi yang dapat dilakukan yaitu Penyuluhan kepada kontraktor dan pemangku kepentingan mengenai efisiensi biaya, ketahanan struktural, dan keberlanjutan beton, sehingga mereka lebih percaya diri dalam memilih beton sebagai material utama dan mengadakan pelatihan untuk teknisi dan insinyur konstruksi agar memahami teknologi terbaru terkait beton, termasuk penggunaan beton daur ulang dan inovasi dalam pembuatan beton yang lebih cepat kering.

DAFTAR PUSTAKA

Apriyanto Agus (2008). Perbandingan Kelayakan Jalan Beton dan Aspal Dengan Metode Analitic Hierarchy Process (Tesis). Universitas Diponegoro, Semarang.

Khan, M. I., & Hadi, S. N. (2017). "Performance and Durability of Concrete Pavement under Traffic Loading.

"Materials Science and Engineering: A, 685, 78–85.

Pade, M. M., Kumat, E., Tanudjaja, H., & Pandaleke, R. (2013). Pemeriksaan Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton Beragregat Kasar Batu Ringan Ape Dari Kepulauan Talaud. *Jurnal Sipil Statik*, 1(7), 484.

Samsul, S., & Rahman, M. (2020). "Kinerja Jalan Raya Beton untuk Kendaraan Bermuatan Berat: Studi Kasus di Kawasan Industri." *Jurnal Infrastruktur dan Transportasi*, 9(2), 134–146.

Setiawan, D., & Darmawan, B. (2020). "Analisis Keunggulan Jalan Raya Beton pada Jalan Produksi di Indonesia." *Jurnal Teknik Sipil Universitas Indonesia*, 19(3), 321–335.

Pustaka yang berupa buku :

Nevile, A.M.(2021)"Properties of Concrete (5th ed) Penerbit Pearson Education

Pustaka yang berupa Seminar :

Santoso, H., & Pratama, D. (2019). *Penggunaan Beton Daur Ulang untuk Konstruksi Jalan Raya: "Tinjauan Terhadap Keberlanjutan dan Efisiensi"* Yogyakarta, Indonesia.