

Evaluasi Pelaksanaan *Cement Treated Sub-base* (CTSB) Pada Proyek Peningkatan Jalan Sukadana - Teluk Batang

Marojahan P. T. Rajaguguk¹, Trifenaus Prabu Hidayat¹

¹ Program Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Indonesia

*Corresponding Author, email: ojackbellavega@gmail.com

ABSTRAK

Ruas Jalan Sukadana - Teluk Batang merupakan jalan provinsi strategis di Kabupaten Kayong Utara yang menghadapi permasalahan stabilitas perkerasan akibat kondisi tanah dasar yang lunak. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas penerapan teknologi *Cement Treated Sub-base* (CTSB) dengan semen komposit sebagai solusi alternatif dalam peningkatan kualitas perkerasan jalan. Metodologi penelitian meliputi evaluasi kondisi eksisting, perencanaan desain perkerasan CTSB, pelaksanaan trial compaction, serta pengujian dan pemantauan kinerja di lapangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan CTSB dengan 10 kali passing menghasilkan tingkat kepadatan 98,50% dan nilai CBR mencapai 151,54%, jauh melampaui persyaratan minimum yang ditetapkan. Nilai kuat tekan bebas (UCS) pada umur 7 hari mencapai 25,39 kg/cm², memenuhi kriteria kekuatan yang dipersyaratkan. Pengamatan visual pasca-konstruksi menunjukkan permukaan jalan yang homogen dan stabil tanpa indikasi kerusakan struktural. Penelitian ini membuktikan bahwa teknologi CTSB dengan semen komposit efektif dalam meningkatkan daya dukung tanah dasar dan memberikan solusi yang berkelanjutan untuk pembangunan infrastruktur jalan di wilayah dengan karakteristik tanah lunak.

Keywords: *Cement Treated Sub-base* (CTSB), Stabilisasi Tanah, Tanah Lunak, Daya Dukung, Infrastruktur Jalan

ABSTRACT

The Sukadana - Teluk Batang road section is a strategic provincial road in Kayong Utara Regency that faces pavement stability issues due to soft subgrade conditions. This research aims to analyze the effectiveness of implementing *Cement Treated Sub-base* (CTSB) technology with composite cement as an alternative solution for improving road pavement quality. The research methodology includes evaluation of existing conditions, CTSB pavement design planning, trial compaction implementation, and field performance testing and monitoring. The results showed that CTSB application with 10 passes achieved a density level of 98.50% and CBR value reaching 151.54%, far exceeding the specified minimum requirements. The unconfined compressive strength (UCS) value at 7 days reached 25.39 kg/cm², meeting the required strength criteria. Post-construction visual observations showed a homogeneous and stable road surface without indication of structural damage. This research proves that CTSB technology with composite cement is effective in improving subgrade bearing capacity and provides a sustainable solution for road infrastructure development in areas with soft soil characteristics.

Keywords: *Cement Treated Sub-base (CTSB), Soil Stabilization, Soft Soil, Bearing Capacity, Road Infrastructure*

PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur jalan adalah salah satu faktor penting dalam mendorong pertumbuhan ekonomi dan meningkatkan konektivitas antar wilayah di Indonesia. Proyek Peningkatan Jalan Sukadana - Teluk Batang merupakan inisiatif Pemerintah Provinsi Kalimantan Barat untuk meningkatkan kualitas infrastruktur jalan di Kabupaten Kayong Utara [1]. Proyek senilai Rp 47.972.370.000,- yang dibiayai melalui APBD Provinsi Kalimantan Barat tahun anggaran 2023 ini bertujuan untuk meningkatkan aksesibilitas, mendukung pertumbuhan ekonomi, serta meningkatkan keselamatan dan kenyamanan pengguna jalan [2].

Ruas Jalan Sukadana - Teluk Batang yang menjadi fokus dalam penelitian ini merupakan bagian integral dari jaringan Jalan Provinsi di Kabupaten Ketapang, Kalimantan Barat. Gambar 1 menunjukkan skema jaringan Jalan Nasional dan Provinsi di wilayah tersebut, di mana ruas Sukadana - Teluk Batang tercakup di dalamnya.



Gambar 1 Skema Jaringan Jalan

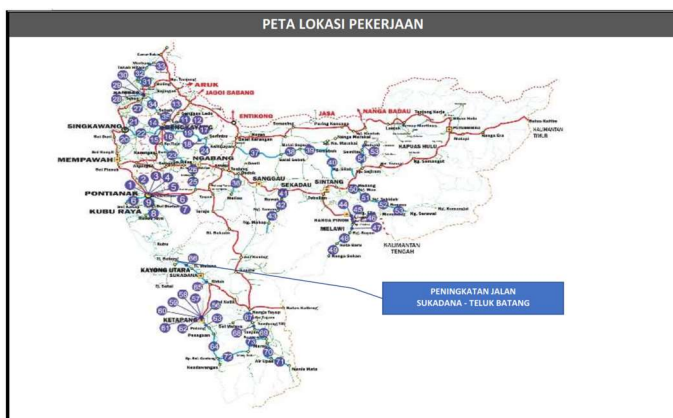
Ruas Jalan Siduk - Sukadana dengan panjang 21,70 km dan Jalan Sukadana - Teluk Batang sepanjang 49,50 km memiliki peran yang sangat penting bagi konektivitas di wilayah Kabupaten Kayong Utara dan sekitarnya. Hal ini sesuai dengan Surat Keputusan Gubernur Kalimantan Barat No. 1470 Tahun 2022 yang menetapkan status dan fungsi ruas-ruas jalan provinsi di Kalimantan Barat [3].

Jalan Sukadana - Teluk Batang berfungsi sebagai penghubung utama antara ibukota Kabupaten Kayong Utara, yaitu Sukadana, dengan wilayah Kecamatan Teluk Batang. LRuas

jalan ini juga terhubung langsung dengan Pelabuhan Teluk Batang yang menjadi pintu gerbang transportasi laut menuju Kota Pontianak, ibukota Provinsi Kalimantan Barat.

Jalan Sukadana - Teluk Batang sebenarnya menjadi bagian integral dari jaringan jalan yang menghubungkan tiga wilayah penting di Kalimantan Barat, yaitu Kabupaten Kayong Utara, Kabupaten Ketapang, dan Kota Pontianak. Dengan posisinya yang strategis, kondisi dan kapasitas layanan dari ruas jalan ini akan sangat berpengaruh terhadap kelancaran pergerakan orang dan barang, yang pada akhirnya akan berdampak pada aksesibilitas dan pertumbuhan ekonomi di wilayah tersebut.

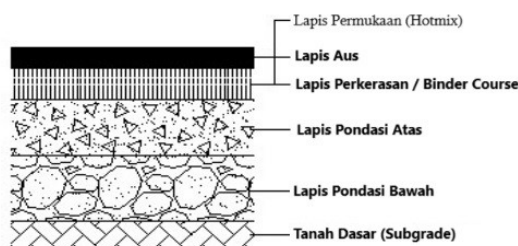
Jalan Sukadana - Teluk Batang bukan sekadar ruas jalan penghubung antar kecamatan, tetapi lebih dari itu, ia menjadi urat nadi yang menghidupkan perekonomian dan menjaga kesatuan wilayah di Kabupaten Kayong Utara dan sekitarnya. Menjaga kualitas dan pelayanan di ruas jalan ini akan memberikan manfaat yang besar bagi masyarakat dan pembangunan wilayah secara keseluruhan.



Gambar 2. Peta Lokasi

Salah satu tantangan utama dalam pembangunan jalan di area ini adalah kondisi tanah dasar yang didominasi oleh tanah aluvial dengan daya dukung rendah dan potensi kembang-susut tinggi [4]. Karakteristik tanah tersebut menyebabkan struktur jalan rentan mengalami kerusakan akibat pengaruh beban lalu lintas dan perubahan kadar air sehingga diperlukan teknologi perkerasan yang mampu meningkatkan stabilitas dan daya dukung lapis pondasi jalan.

Cement Treated Sub-base (CTSB) atau lapis pondasi agregat semen dengan semen komposit merupakan salah satu alternatif teknologi yang potensial untuk mengatasi permasalahan tanah dasar lunak [5]. CTSB melibatkan pencampuran tanah atau agregat lokal dengan semen Portland dan bahan tambah seperti abu terbang (fly ash), sedimen, atau material pozzolan lainnya [6]. Metode ini dapat meningkatkan kekuatan, mengurangi potensi kembang susut, serta memperbaiki perilaku tanah secara efektif.



Gambar 3. Struktur Perkerasan Jalan

Pemahaman tentang karakteristik lalu lintas serta proyeksi pembebanan yang terjadi pada ruas Jalan Sukadana - Teluk Batang sebagai resultan dari pergerakan dalam jaringan jalan regional menjadi pertimbangan penting dalam perencanaan struktur dan desain perkerasan yang tepat. Keberhasilan penerapan teknologi CTSB pada ruas ini diharapkan tidak hanya meningkatkan kualitas dan masa layan jalan, namun juga dapat menjadi referensi untuk implementasi pada ruas-ruas jalan lain dengan tantangan serupa dalam lingkup regional.

Tinjauan terhadap posisi ruas Jalan Sukadana - Teluk Batang dalam kerangka jaringan jalan di Kabupaten Ketapang dan sekitarnya memberikan konteks spasial dan fungsional yang relevan. Hal ini mendukung penyusunan perencanaan teknis yang komprehensif serta analisis manfaat proyek peningkatan jalan dalam skala wilayah yang lebih luas.

Penggunaan bahan aditif soil stabilizer seperti Matos® dalam campuran CTSB dengan semen komposit terbukti mampu lebih meningkatkan kinerja dan efisiensi stabilisasi tanah-semen [4]. Aplikasi CTSB pada proyek sejenis seperti Jalan Merauke-Tanah Merah dan Jalan Melonguane-Beo telah menunjukkan hasil yang positif dalam meningkatkan kualitas dan masa layan perkerasan [4,12].

Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengevaluasi efektivitas penggunaan teknologi *Cement Treated Sub-base* (CTSBS) sebagai lapis pondasi jalan pada proyek peningkatan Jalan Sukadana - Teluk Batang. Evaluasi meliputi tahapan perencanaan tebal perkerasan, persiapan pelaksanaan, pelaksanaan pekerjaan, serta pengujian mutu. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan bukti empiris tentang potensi CTSB dengan semen komposit tanah sebagai solusi untuk meningkatkan kualitas dan keawetan struktur perkerasan jalan di atas tanah lunak

MATERIAL DAN METHODE PENELITIAN

Material

Perkerasan jalan merupakan struktur komposit yang terdiri dari beberapa lapisan material dengan daya dukung dan karakteristik yang berbeda-beda [7]. Lapis pondasi bawah (sub-base) menjadi salah satu komponen penting dalam sistem perkerasan lentur yang berfungsi menyebarkan beban lalu lintas, meningkatkan stabilitas, dan mencegah deformasi [8].

Penggunaan lapis pondasi bawah yang distabilisasi dengan semen atau CTSB (*Cement Treated Sub-base*) terbukti efektif meningkatkan daya dukung dan performa perkerasan jalan di atas tanah dasar bermasalah [5]. CTSB dengan semen komposit melibatkan pencampuran tanah atau agregat lokal dengan semen Portland dan bahan tambah seperti abu terbang (fly ash), sedimen, atau bahan pozzolan lainnya [6].

Penambahan bahan aditif soil stabilizer dalam campuran CTSB dengan semen komposit seperti Matos® dapat lebih mengoptimalkan kinerja dan efisiensi stabilisasi tanah-semen [4]. Bahan aditif tersebut berfungsi meningkatkan workabilitas, mempercepat proses pengerasan, serta mengurangi retak susut dalam campuran CTSB [9].

Beberapa keuntungan yang dapat diperoleh dari penerapan CTSB pada proyek ini antara lain:

1. Penggunaan material lokal yang distabilisasi dengan semen komposit dapat mengurangi kebutuhan akan material agregat yang langka dan mahal.
2. Peningkatan daya dukung dan ketahanan tanah dasar lunak, sehingga mengurangi risiko kerusakan perkerasan akibat penurunan pondasi.
3. Potensi efisiensi biaya konstruksi dan pemeliharaan dibandingkan dengan perkerasan kaku konvensional.
4. Percepatan waktu pelaksanaan proyek karena proses stabilisasi dapat dilakukan secara in-situ tanpa memerlukan banyak kerja penggalian dan pemindahan material.

Untuk memastikan kinerja jangka panjang perkerasan CTSB, perlu diperhatikan beberapa aspek kritis seperti kualitas material, komposisi campuran, metode pelaksanaan, serta kontrol mutu yang ketat selama proses konstruksi [15]. Untuk memastikan kinerja jangka panjang perkerasan CTSB, perlu diperhatikan beberapa aspek kritis seperti kualitas material, komposisi campuran, metode pelaksanaan, serta kontrol mutu yang ketat selama proses konstruksi [15]. Meskipun CTSB telah dirancang dengan komposisi material yang optimal serta metode pelaksanaan yang tepat, perkerasan tetap akan mengalami penurunan kondisi seiring waktu akibat faktor-faktor seperti repetisi beban lalu lintas, perubahan cuaca, atau reaksi kimiawi material. Pemantauan dan evaluasi berkala menjadi bagian yang esensial dalam menjamin kinerja jangka panjang CTSB.

Survei kondisi jalan secara teratur memungkinkan deteksi dini terhadap gejala-gejala distress seperti retak, alur, lubang, atau pelepasan butiran. Dengan mengenali potensi kerusakan sejak awal, tindakan pemeliharaan preventif yang tepat dapat dilakukan sebelum masalah berkembang menjadi lebih serius dan mahal untuk diperbaiki. Misalnya, kerusakan yang terdeteksi dini dapat ditangani dengan metode preservasi seperti pengisian celah atau lapis tambah tipis, sehingga umur layan perkerasan dapat diperpanjang secara efektif.

Lebih dari sekadar penghematan biaya, pemeliharaan berbasis pencegahan juga berperan dalam menjaga keamanan dan kenyamanan pengguna jalan. Perkerasan yang terawat dengan baik akan memberikan permukaan yang rata, tidak licin, serta minim gangguan akibat pekerjaan perbaikan. Selain itu, data pemantauan yang terkumpul dari waktu ke waktu juga menjadi sumber pembelajaran berharga untuk terus menyempurnakan desain, material, serta metode konstruksi di masa mendatang, sehingga pemantauan dan evaluasi berkala harus menjadi bagian tak terpisahkan dalam penerapan teknologi CTSB. Melalui pendekatan proaktif ini, potensi CTSB sebagai solusi perkerasan yang efektif, efisien, dan berkelanjutan dapat terwujud secara optimal.

Metode Penelitian

Metodologi yang digunakan dalam kajian ini meliputi:

1. Studi literatur

Tahap awal penelitian dilakukan dengan mengkaji literatur terkait desain perkerasan lentur, stabilisasi tanah dengan semen, serta teknologi CTSB. Sumber pustaka yang digunakan meliputi jurnal ilmiah, pedoman teknis, serta referensi lain yang relevan. Studi literatur bertujuan untuk membangun landasan teori, mengidentifikasi kesenjangan penelitian, serta menjadi acuan dalam perencanaan dan analisis.

2. Pengumpulan Data Sekunder

Data yang dikumpulkan meliputi:

- a. Data desain penanganan Jalan Sukadana - Teluk Batang, termasuk geometri jalan, struktur perkerasan eksisting, serta parameter desain lainnya. Data ini diperoleh dari dokumen perencanaan yang disusun oleh konsultan perencana.
- b. Harga satuan pekerjaan, yang digunakan sebagai basis perhitungan biaya konstruksi dan pemeliharaan. Data ini mengacu pada standar harga satuan yang ditetapkan oleh Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Provinsi Kalimantan Barat.
- c. Data pengujian laboratorium tanah dan material, termasuk karakteristik fisik dan mekanis tanah dasar, agregat, serta campuran CTSB. Pengujian dilakukan di laboratorium yang terakreditasi sesuai standar yang berlaku.

3. Analisis Desain Perkerasan

Desain perkerasan eksisting yang dihasilkan dari perencanaan teknis berdasarkan Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 dianalisis menggunakan metode Indeks Tebal Perkerasan (ITP) Bina Marga 1987 dan AASHTO 1986. Langkah ini bertujuan untuk menerjemahkan parameter desain ke dalam sistem ITP serta mengevaluasi kekuatan struktur eksisting.

4. Perencanaan Desain Campuran CTSB

Komposisi campuran CTSB direncanakan dengan metode Marshall berdasarkan spesifikasi teknis yang berlaku. Proses ini meliputi penentuan proporsi semen, agregat, air, serta bahan tambah melalui serangkaian pengujian laboratorium seperti pemadatan, CBR, dan kuat tekan bebas. Hasil akhirnya adalah *Job Mix Formula* (JMF) yang menjadi acuan dalam pelaksanaan di lapangan.

5. Evaluasi Pelaksanaan CTSB di Lapangan

Penerapan CTSB di lokasi proyek dipantau dan dievaluasi melalui beberapa tahapan:

- a. Tahap persiapan meliputi pengujian bahan, kalibrasi peralatan, serta pengendalian terhadap JMF.
- b. Proses penghamparan meliputi pengecekan ketebalan, kerataan, serta penyebaran semen yang merata sesuai spesifikasi.
- c. Pencampuran, pembentukan, dan pemadatan lapisan CTSB dipantau melalui pengukuran kepadatan, kadar air, serta ketebalan setiap lapis.
- d. Pengujian kualitas dan pengendalian mutu dilakukan melalui pengambilan sampel di lapangan serta pengujian di laboratorium, meliputi uji kepadatan, CBR, kuat tekan, serta parameter lainnya sesuai standar yang berlaku.

6. Pembahasan Data

Data yang terkumpul dari hasil pengujian laboratorium dan lapangan diolah secara statistik untuk mengevaluasi kinerja campuran CTSB serta kesesuaiannya dengan spesifikasi teknis. Analisis meliputi perbandingan nilai parameter kunci seperti kepadatan, CBR, serta kuat tekan terhadap syarat minimum yang ditetapkan. Selain itu, dilakukan pula evaluasi terhadap efisiensi biaya serta waktu pelaksanaan dibandingkan dengan perkerasan konvensional.

7. Pembahasan

Hasil analisis data diinterpretasikan untuk menilai efektivitas CTSB sebagai solusi perkerasan pada ruas jalan yang ditinjau. Faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja seperti kualitas bahan, kondisi lapangan, serta metode pelaksanaan dibahas secara komprehensif. *Lesson learned* serta rekomendasi untuk perbaikan dirumuskan sebagai masukan bagi penerapan teknologi CTSB di masa mendatang.

8. Kesimpulan

Temuan utama dari penelitian disarikan dalam bentuk kesimpulan yang menjawab tujuan penelitian. Kesimpulan mencakup penilaian terhadap efektivitas teknis dan ekonomi dari penerapan CTSB, faktor-faktor kunci yang mempengaruhi keberhasilan, serta potensi pengembangan lebih lanjut.

HASIL DAN DISKUSI

Tinjauan Kondisi Eksisting dan Identifikasi Kebutuhan

Ruas Jalan Sukadana - Teluk Batang sepanjang 49,5 km merupakan jalan provinsi dengan perkerasan lentur aspal hotmix. Berdasarkan hasil survei dan kajian data historis yang dilakukan oleh Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Provinsi Kalimantan Barat, ditemukan bahwa terjadi penurunan kondisi jalan yang signifikan sejak tahun 2020 hingga awal 2023 [1]. Beberapa faktor utama yang teridentifikasi berkontribusi terhadap kerusakan jalan antara lain:

1. Beban lalu lintas yang melebihi kapasitas desain perkerasan, terutama akibat aktivitas angkutan barang dan hasil perkebunan yang intens di wilayah tersebut.
2. Pemeliharaan rutin dan berkala yang tidak optimal, termasuk penanganan kerusakan dini, sehingga mempercepat deteriorasi perkerasan jalan.
3. Kondisi tanah dasar yang didominasi oleh tanah gambut dengan daya dukung rendah serta potensi penurunan (*settlement*) tinggi akibat konsolidasi tanah organik.

Gambar 4 menunjukkan contoh kerusakan jalan yang terjadi pada ruas Jalan Sukadana - Teluk Batang, meliputi retak buaya (*alligator cracking*), cekungan (*depression*), serta deformasi permukaan jalan. Tingkat keparahan kerusakan bervariasi dari sedang hingga berat, dengan rata-rata nilai PCI (*Pavement Condition Index*) sebesar 35 yang termasuk dalam kategori "Buruk" berdasarkan skala ASTM D6433-18 [13].



Gambar 4. Contoh Kerusakan Jalan Eksisting

Sebagai solusi peningkatan struktural untuk ruas jalan ini, desain awal perkerasan lentur dengan lapis pondasi agregat kelas A setebal 30 cm telah disusun oleh konsultan perencana. Namun, perlu dicatat bahwa untuk setiap segmen jalan sepanjang 1 km dengan lebar 5 m, dibutuhkan volume material sebesar 2.000 m³. Mengingat total panjang ruas yang mencapai 49,5 km, maka diperkirakan kebutuhan material agregat akan sangat besar yaitu mencapai 99.000 m³

Di sisi lain, ketersediaan batu pecah di *quarry* lokal Kabupaten Kayong Utara dan Ketapang sangat terbatas dan tidak mencukupi untuk memenuhi kebutuhan proyek [2]. Sebagai alternatif, material harus didatangkan dari luar daerah yang tentunya akan berimplikasi pada

peningkatan biaya dan durasi pengadaan. Selain itu, kualitas material juga perlu diuji dan diverifikasi kesesuaiannya dengan spesifikasi teknis yang dipersyaratkan.

Kondisi tanah dasar yang buruk dengan daya dukung rendah dan tidak stabil ($\text{CBR} < 6\%$) juga menjadi tantangan lain yang perlu dimitigasi. Umumnya, solusi untuk perkerasan di atas tanah lunak adalah dengan menggunakan perkerasan kaku (*rigid pavement*) yang mampu mendistribusikan beban secara lebih efektif. Namun, konstruksi perkerasan kaku membutuhkan biaya yang relatif lebih tinggi dibandingkan perkerasan lentur. Berdasarkan analisis biaya siklus hidup proyek, diperkirakan kebutuhan investasi awal untuk perkerasan kaku mencapai 1,2-1,5 kali lipat perkerasan lentur dengan lapis pondasi agregat [14].

Kondisi Tanah Dasar dan Desain Awal Perkerasan

Kondisi daya dukung tanah dinyatakan dalam nilai CBR (*California Bearing Ratio*). CBR merupakan sebuah indeks yg dipakai pada rekayasa geoteknik buat mengukur kemampuan tanah pada mendukung beban.

CBR merupakan parameter krusial pada perencanaan perkerasan jalan & landasan bandara. Indeks ini memberi nilai mengenai sejauh mana tanah bisa mempertahankan kekuatan & ketahanannya terhadap deformasi dampak beban.

CBR diukur menggunakan mengujikan sampel tanah pada laboratorium menggunakan memakai indera uji CBR. Sampel tanah tadi diberi tekanan berdasarkan sebuah conus baja yg mempunyai berukuran baku. Pengukuran juga dapat dilakukan langsung di lapangan contohnya dengan alat Dynamic Cone Penetrometer (DCP).

Hasil pengujian ini dinyatakan menjadi persentase ketahanan tanah terhadap penetrasi yg dibandingkan menggunakan ketahanan tanah terhadap penetrasi berdasarkan sampel tanah baku yg didefinisikan.

Ruas Jalan Sukadana - Teluk Batang berada pada area dengan dominasi tanah lunak yang memiliki daya dukung rendah serta potensi penurunan yang tinggi. Kondisi tanah dasar yang buruk ini menjadi tantangan dalam perencanaan struktur perkerasan yang mampu menahan beban lalu lintas selama umur rencana. Pada pekerjaan Perencanaan Teknis Jalan Kegiatan Konsultan Perencanaan Jalan (*Simplified Design*) yang dilaksanakan oleh PT. Madya Jasa Konsultan, dilakukan pengujian CBR lapangan di ruas Sukadana Teluk Batang dari Sta. 25+770 sampai Sta. 40+892 sebanyak 54 titik pengujian. Dari hasil pengujian dan Analisa terhadap factor musim, diperoleh bahwa 34 titik atau sebesar 66,67% memiliki nilai CBR dibawah 6%. Nilai CBR 6% adalah kondisi ideal tanah dasar untuk konstruksi jalan berdasarkan Manual Desain Perkerasan Jalan Tahun 2017.

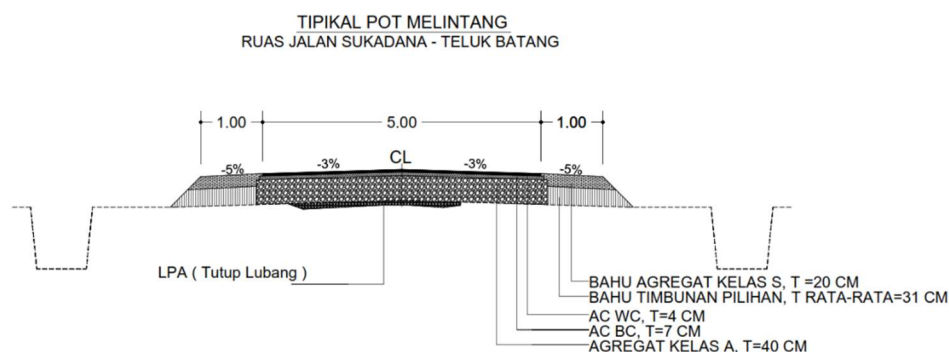
Meskipun terdapat beberapa titik dengan nilai CBR di bawah 6% yang merupakan syarat minimum untuk tanah dasar, secara keseluruhan daya dukung tanah dasar pada ruas jalan ini masih tergolong sedang. Untuk mengantisipasi keberadaan titik-titik lemah, maka diperlukan

suatu sistem stabilisasi tanah dasar yang efektif dan mampu meningkatkan daya dukung secara signifikan.

Kondisi tanah dasar dengan nilai CBR rata-rata 5,6% ini menjadi salah satu pertimbangan penting dalam pemilihan penggunaan teknologi CTSB pada proyek peningkatan Jalan Sukadana - Teluk Batang. Dengan kemampuannya dalam meningkatkan kekuatan dan stabilitas lapis pondasi, CTSB diharapkan dapat mengatasi permasalahan daya dukung tanah dasar yang relatif rendah, sehingga menghasilkan struktur perkerasan yang lebih kuat dan awet.

Tahap Perencanaan dan Desain Perkerasan.

Berdasarkan hasil Perencanaan Teknis yang dilakukan oleh Bidang Bina Marga dengan berpedoman pada Manual Desain Perkerasan Jalan Tahun 2017, diperoleh desain awal struktur perkerasan untuk ruas Jalan Sukadana - Teluk Batang seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Tipikal Pot Melintang Ruas Jalan Sukadana - Teluk Batang

Desain awal tersebut merupakan perkerasan lentur dengan susunan lapis aspal setebal 11 cm yang terdiri atas lapis aus (AC-WC) setebal 4 cm dan lapis antara (AC-BC) setebal 7 cm. Lapis pondasi atas direncanakan menggunakan agregat kelas A dengan ketebalan 20 cm. Total ketebalan struktur perkerasan awal adalah 31 cm di atas lapis tanah dasar.

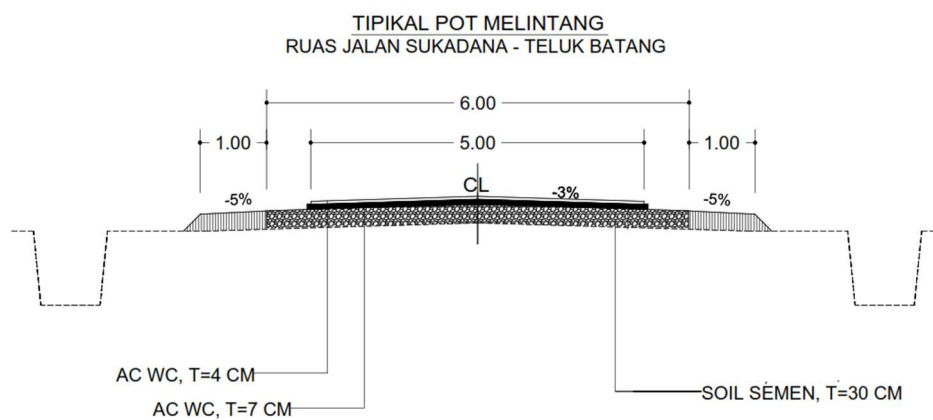
Analisis Desain Perkerasan CTSB sebagai Solusi Alternatif

Sebagai alternatif solusi untuk meningkatkan kinerja struktural perkerasan sekaligus mengatasi keterbatasan material agregat, dilakukan analisis konversi desain menggunakan teknologi CTSB (Cement Treated Subbase) dengan semen komposit tanah. Metode yang digunakan adalah Indeks Tebal Perkerasan (ITP) Bina Marga 1987 dan AASHTO 1986.

Langkah pertama adalah menghitung nilai ITP dari desain perkerasan awal sebagai berikut:

- Lapis Aspal (Wearing Course / AC-WC), tebal 4 cm, ITP = 1,6
- Lapis Aspal (Binder Course / AC-BC), tebal 7 cm, ITP = 2,8
- Lapis Pondasi Agregat Kelas A, tebal 20 cm, ITP = 4,2
- Total ITP desain awal = 8,6

Selanjutnya dilakukan konversi lapis pondasi agregat kelas A dengan tebal 20 cm menjadi lapis CTSB dengan semen komposit. Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh tebal CTSB yang dibutuhkan adalah 30 cm dengan koefisien kekuatan relatif sebesar 0,15. Hasil analisis konversi desain ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Tipikal Pot Melintang Hasil Konversi Desain Perkerasan CTSB

Dari hasil konversi desain, didapatkan nilai ITP total sebesar 8,9 dengan rincian sebagai berikut:

- Lapis Aspal (AC-WC), tebal 4 cm, ITP = 1,6
- Lapis Aspal (AC-BC), tebal 7 cm, ITP = 2,8
- Lapis CTSB, tebal 30 cm, ITP = 4,5
- Total ITP desain CTSB = 8,9

Nilai ITP desain CTSB yang dihasilkan lebih tinggi 3,49% dibandingkan dengan ITP desain awal. Hal ini menunjukkan bahwa desain perkerasan dengan CTSB memenuhi syarat dan dapat digunakan sebagai alternatif struktur perkerasan pada ruas Jalan Sukadana - Teluk Batang.

Evaluasi Pelaksanaan Konstruksi CTSB

Pelaksanaan konstruksi CTSB pada ruas Jalan Sukadana - Teluk Batang meliputi serangkaian tahapan mulai dari persiapan dan uji coba mix design, penghamparan, pencampuran, pemadatan, hingga kontrol kualitas.

1. Tahap Persiapan

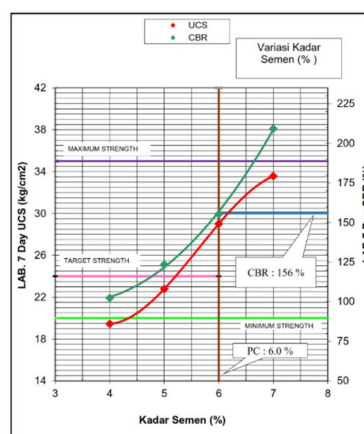
Tahap persiapan meliputi penyusunan *Job Mix Formula* (JMF) berdasarkan hasil uji laboratorium terhadap sampel tanah dan material agregat lokal di lokasi proyek. Berdasarkan amanat Spesifikasi teknis wajib dilakukan seerangkaian pengujian dengan menggunakan kombinasi kadar semen untuk mencapai nilai kuat tekan bebas atau UCS (*Unconfined Compression strength*) soil semen komposit yang syaratkan yaitu minimal 24 kg/cm² sampai 35 kg/cm² [6].

Berdasarkan *Job Mix Formula* (JMF) yang disusun dalam proyek Peningkatan Jalan Sukadana – Teluk Batang tahun 2023 oleh PT. Bayu Karsa Utama selaku kontraktor dan PT. Tritunggal Rekayasa selaku konsultan pengawas diperoleh komposisi campuran menggunakan 6% semen dan 2% bahan aditiv Matos® [16].

REKAPITULASI HASIL TEST

ANALISA SARINGAN

SARINGAN		$1/2''$	$3/8''$	$1/4''$	# 4	# 10	# 50	# 200
% LOLOS		100,0	100,0	92,91	83,17	76,93	44,04	27,87
SPESIFIKASI								
Test Laboratorium		HASIL UJI						TARGET NILAI
		Tanah Asli	% SEMEN terhadap MDD Tanah					
PEMADATAN	MDD (gr/cm ³)	1,655	1,685	1,716	1,756	1,788	1,754	
	Kadar Air (%)	19,25	18,90	17,63	16,20	15,21	16,25	
ATTERBERG	LL (%)	35,40						
	PL (%)	19,20						
	PI (%)	16,20						
CBR 95 %		(%)						
CBR 100 %		(%)	105,3	125,3	132,5	219,2	156,0	<7,20
SPECIFIC GRAVITY		2,675						
UCS / Kekuatan Tekan Bebas (Kg/Cm ²)			19,45	22,8	29,0	33,6	29,0	24,0
Kadar Semen (%)		6,00						



Gambar 7. Hasil test pengujian *Job Mix Formula*

2. Tahap Pelaksanaan

Untuk memudahkan metode pelaksanaan, maka dihitung kebutuhan penghamparan semen setiap meter persegi rencana perkerasan jalan dengan data utama JMF.

- MDD (berat kering maksimum Tanah) : 1,754 gr/cm³
- OMC Tanah (kadar air optimum) : 16,25%
- % Cement terhadap berat kering tanah : 6,00%
- % Additive terhadap berat Cement : 2,0 %

Menghitung kebutuhan semen dalam 1m³ tanah padat mksimum untuk penghamparan

- Tanah = 1,754 gr/cm³ x 1 m³ = 1754,00 Kg
- Semen = 6% x 1754 Kg = 105,24 Kg

- c. Air = $16,25\% \times 1754 \text{ Kg}$ = 285,025 Liter
 d. Additive = $2\% \times 105,24 \text{ Kg}$ = 2,100 Kg

Jika tebal perkerasan soil semen adalah 30 cm, maka jumlah semen yang dihampar adalah sebesar 31,57 Kg untuk setiap 1,00 m² [16].



Gambar 8. Peralatan utama yang digunakan

Peralatan utama yang digunakan dalam pelaksanaan CTSB meliputi *Recycler Wirtgen* WR 240i untuk penghamparan dan pencampuran, Motor Grader untuk pembentukan profil perkerasan, Sheepfoot Roller untuk pemadatan awal, serta Tandem Roller untuk pemadatan akhir. Pasokan semen Portland curah dan aditif merk Matos® untuk stabilisasi diangkut menggunakan truk trailer dari distributor di Kota Pontianak.

Proses pelaksanaan diawali dengan penghamparan tanah dasar yang telah dipadatkan sesuai elevasi dan ketebalan rencana. Semen Portland kemudian disebar secara merata di atas hamparan secara manual dengan takaran. Selanjutnya, *Recycler* dioperasikan

untuk mencampur tanah, semen, *fly ash*, air, dan bahan tambah hingga homogen dengan kedalaman 30 cm per lintasan.



Gambar 9. Proses pencampuran dengan alat Recycler [9]

Pengujian kualitas selama pelaksanaan meliputi pemeriksaan kadar dan penyebaran semen serta *fly ash*, pengukuran kepadatan di lapangan dengan metode *sand cone*, penentuan kadar air campuran, serta pengambilan sampel benda uji (core) untuk pengujian kuat tekan bebas. Hasil pemantauan menunjukkan bahwa parameter mutu memenuhi spesifikasi yang disyaratkan, dengan rata-rata kepadatan lapangan 98,5% terhadap kepadatan laboratorium dan kuat tekan rata-rata pada umur 7 hari sebesar 32 kg/cm² [16].

Evaluasi Kinerja CTSB

Pelaksanaan konstruksi CTSB dilakukan melalui serangkaian tahapan yang sistematis, dimulai dari *trial compaction* hingga pengujian mutu akhir. Berdasarkan hasil trial compaction yang dilakukan pada Sta. 24+150 s/d 24+350, diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil *Trial Compaction* Lapis Pondasi Semen Komposit Tanah

Parameter	6 Passing	8 Passing	10 Passing
Kepadatan Lapangan (%)	96,78	97,77	98,50
Kadar Air (%)	22,00	14,90	16,00
CBR Lapangan (%)	113,26	132,53	151,54
UCS 7 hari (kg/cm ²)	25,39	-	-

Hasil pengujian menunjukkan bahwa jumlah passing optimal adalah 10 kali, yang menghasilkan tingkat kepadatan 98,50% dan nilai CBR tertinggi sebesar 151,54%. Nilai ini jauh melampaui persyaratan minimum CBR 100% yang ditetapkan dalam spesifikasi teknis.



Gambar 10. Hasil Akhir Setelah Perbaikan dengan Metode CTSB

Gambar 10 memperlihatkan kondisi permukaan jalan setelah penerapan CTSB, yang menunjukkan permukaan yang lebih stabil dan kompak, dengan tekstur yang seragam. Pengamatan visual menunjukkan:

- a. Permukaan yang homogen dan kompak
- b. Tidak ada indikasi retak atau deformasi
- c. Drainase permukaan yang baik
- d. Ketahanan terhadap erosi

Dari hasil pengujian yang rutin dilakukan setiap hari pada masa pelaksanaan diperoleh data pengujian

Tabel 2. Hasil Pengujian Rutin Lapis Pondasi Semen Komposit Tanah

Periode	MDD Lapangan Rata – rata (Gr/cc)	Kadar Air (%)	Density (%)	CBR Lapangan (%)
Periode Mei 2023	1,721 – 1,733	15,38 – 16,35	98,70 – 99,18	114,14 – 122,63
Periode Juni 2023	1,720 – 1,736	15,18 – 16,27	98,46 – 99,37	110,85 – 129,07
Periode Juli 2023	1,720 – 1,733	15,15 – 18,12	98,45 – 99,42	114,55 – 130,24
Periode Agustus 2023	1,723 – 1,737	13,90 – 15,79	98,29 – 99,45	118,09 – 124,69

Hasil pelaksanaan menunjukkan bahwa hasil pekerjaan menghasilkan tingkat kepadatan 98,46% sampai 99,45% dan nilai CBR lapangan 110,85% sampai 130,24%. Nilai ini jauh melampaui persyaratan minimum CBR 100% yang ditetapkan dalam spesifikasi teknis. Sehingga secara garis besar maka dapat hasil pekerjaan CTSB/soil semen komposit yang dilaksanakan diproyek Peningkatan Jalan Sukadana – Teluk Batang tahun 2023 sangat memuaskan.

Evaluasi Kinerja Pasca-Konstruksi CTSB

Pemantauan dan evaluasi kinerja jangka panjang perkerasan dilakukan secara berkala setelah pelaksanaan konstruksi CTSB selesai. Tujuannya adalah untuk menilai durabilitas, *serviceability*, serta efektivitas CTSB dalam menahan beban lalu lintas dan faktor lingkungan. Beberapa indikator kinerja utama yang dievaluasi meliputi:

- a. Indeks Permukaan Internasional (*International Roughness Index*, IRI) yang mengukur kekasaran permukaan jalan. Survey kondisi jalan dilakukan minimal setahun sekali menggunakan alat roughometer untuk mendapatkan nilai IRI.
- b. Indeks Kondisi Jalan (*Road Condition Index*, RCI) yang menilai tingkat kerusakan permukaan seperti retak, alur, atau lubang. Penilaian RCI dilakukan secara visual oleh tim ahli berdasarkan metode Bina Marga.
- c. Lendutan (*deflection*) yang menunjukkan kekuatan struktural perkerasan dalam mendistribusikan beban. Pengukuran lendutan dilakukan dengan alat Falling Weight Deflectometer (FWD) atau Benkelman Beam.
- d. Repitisi beban lalu lintas yang dihitung berdasarkan data Survey Lalu Lintas Harian Rata-Rata (LHR). Data LHR diperlukan untuk mengevaluasi apakah beban lalu lintas aktual sesuai dengan asumsi desain serta memprediksi kinerja perkerasan di masa mendatang.

Hasil pemantauan dan evaluasi berkala ini menjadi masukan berharga untuk menyusun strategi pemeliharaan dan rehabilitasi yang efektif. Jika terindikasi penurunan kinerja yang signifikan, tindakan preventif atau korektif dapat segera diambil untuk memperpanjang umur layan perkerasan CTSB. Selain itu, data pemantauan jangka panjang juga berkontribusi dalam pengembangan model prediksi kinerja yang lebih akurat. Dengan memahami pola penurunan kondisi serta hubungannya dengan faktor-faktor seperti lalu lintas, cuaca, atau sifat material, kita dapat meningkatkan efisiensi desain serta menentukan solusi yang paling optimum dalam penanganan perkerasan jalan

Potensi Pengembangan Teknologi CTSB untuk Proyek Sejenis

Keberhasilan penerapan teknologi CTSB dengan semen komposit pada ruas Jalan Sukadana - Teluk Batang memberikan perspektif positif terhadap potensi replikasi dan pengembangan lebih lanjut pada proyek-proyek infrastruktur jalan dengan karakteristik serupa. Beberapa aspek yang dapat menjadi pertimbangan antara lain:

1. Adopsi CTSB sebagai alternatif solusi perkerasan untuk ruas-ruas jalan lain di wilayah Kalimantan Barat dan sekitarnya yang memiliki keterbatasan material agregat serta kondisi tanah dasar lunak. Hal ini dapat berkontribusi pada percepatan pembangunan dan peningkatan konektivitas wilayah.

2. Optimalisasi proporsi campuran serta penggunaan bahan tambah dan semen alternatif (e.g. pozzolan alam, semen slag) yang sesuai dengan ketersediaan material lokal untuk meningkatkan efisiensi biaya serta mengurangi jejak karbon konstruksi.
3. Integrasi sistem manajemen jalan yang terdiri atas perencanaan, desain, konstruksi, serta pemeliharaan berbasis kinerja untuk menjamin keberlanjutan layanan perkerasan CTSB sebagai aset infrastruktur jalan.
4. Penguatan kapasitas kelembagaan serta transfer teknologi melalui pelaksanaan pelatihan, workshop, dan pendampingan oleh para ahli di bidang teknologi perkerasan jalan. Hal ini penting untuk memastikan kesiapan sumber daya manusia dalam mengadopsi dan mengelola infrastruktur berbasis CTSB secara berkelanjutan.
5. Diseminasi hasil dan lesson learned dari proyek peningkatan Jalan Sukadana - Teluk Batang melalui seminar, publikasi ilmiah, serta media komunikasi lainnya. Berbagi pengalaman dan praktik terbaik dapat menjadi referensi berharga bagi para pemangku kepentingan serta mendorong replikasi pada skala yang lebih luas.
6. Kerjasama strategis dengan institusi penelitian, universitas, serta industri untuk mengembangkan inovasi teknologi CTSB yang lebih efisien, ramah lingkungan, serta adaptif terhadap perubahan iklim. Kolaborasi riset terapan dan pengembangan material lokal dapat membuka peluang optimasi lebih lanjut di masa mendatang.

Melalui pertimbangan multi-aspek tersebut, penerapan CTSB pada ruas Jalan Sukadana - Teluk Batang diharapkan tidak hanya memberikan solusi teknis yang efektif, namun juga menjadi katalis bagi pengembangan infrastruktur jalan yang lebih berkelanjutan. Replikasi pada skala regional dengan pemanfaatan sumber daya lokal serta inovasi teknologi yang kontekstual dapat berkontribusi signifikan terhadap pemerataan ekonomi serta peningkatan kesejahteraan masyarakat.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan evaluasi terhadap penerapan teknologi CTSB pada proyek peningkatan Jalan Sukadana - Teluk Batang, dapat disimpulkan bahwa metode stabilisasi tanah menggunakan CTSB dengan semen komposit terbukti efektif dalam mengatasi permasalahan daya dukung tanah dasar yang rendah. Hasil pengujian menunjukkan peningkatan nilai CBR yang signifikan, mencapai 151,54% pada kondisi optimal, jauh melampaui persyaratan minimum yang ditetapkan. Tingkat kepadatan lapangan yang dicapai juga sangat memuaskan, dengan nilai rata-rata di atas 98% dari kepadatan maksimum laboratorium, menunjukkan efektivitas metode pemadatan yang diterapkan.

Penggunaan CTSB dari segi teknis memberikan solusi yang lebih berkelanjutan dibandingkan metode konvensional, terutama dalam mengatasi keterbatasan material agregat di wilayah tersebut. Pemanfaatan material lokal yang distabilisasi dengan semen komposit tidak hanya menghasilkan penghematan biaya konstruksi yang signifikan, tetapi juga

mempercepat waktu pelaksanaan proyek. Hasil pemantauan pasca-konstruksi menunjukkan kinerja struktural yang baik, dengan permukaan jalan yang homogen, kompak, dan tahan terhadap deformasi.

Keberhasilan implementasi CTSB pada proyek ini memberikan pembelajaran berharga tentang pentingnya kontrol kualitas yang ketat selama proses konstruksi, mulai dari tahap trial mix hingga pemadatan akhir. Pencapaian nilai UCS sebesar 25,39 kg/cm² pada umur 7 hari mengindikasikan bahwa desain campuran yang digunakan telah memenuhi kriteria kekuatan yang dipersyaratkan. Pengalaman ini juga menunjukkan bahwa teknologi CTSB dapat menjadi solusi yang layak untuk diterapkan pada proyek-proyek serupa di wilayah lain dengan karakteristik tanah dasar yang mirip.

REKOMENDASI

Untuk pengembangan dan implementasi teknologi CTSB di masa mendatang, diperlukan upaya berkelanjutan dalam standarisasi prosedur perancangan dan pelaksanaan. Hal ini mencakup penyusunan pedoman teknis yang lebih komprehensif, terutama terkait metode pengujian dan kriteria penerimaan yang disesuaikan dengan kondisi lokal. Pengembangan database karakteristik material lokal dan dokumentasi best practices juga sangat penting untuk mendukung proses pembelajaran dan transfer pengetahuan antar proyek.

Dalam aspek kelembagaan, perlu dilakukan penguatan kapasitas para pemangku kepentingan melalui program pelatihan dan sertifikasi yang terstruktur. Kerjasama dengan institusi penelitian dan perguruan tinggi juga perlu ditingkatkan untuk mendorong inovasi dalam pengembangan teknologi CTSB yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Selain itu, sistem pemantauan kinerja jangka panjang perlu diintegrasikan ke dalam manajemen aset jalan untuk memastikan keberlanjutan infrastruktur yang dibangun.

Pengembangan mekanisme quality assurance yang lebih robust juga direkomendasikan, termasuk penerapan sistem dokumentasi digital dan penggunaan teknologi pemantauan real-time untuk mengoptimalkan proses kontrol kualitas di lapangan. Dengan demikian, penerapan teknologi CTSB dapat memberikan kontribusi yang lebih signifikan dalam meningkatkan kualitas dan sustainabilitas infrastruktur jalan di Indonesia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan apresiasi dan terima kasih kepada Pemerintah Provinsi Kalimantan Barat, khususnya Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang, yang telah memberikan dukungan penuh dalam pelaksanaan proyek peningkatan Jalan Sukadana - Teluk Batang. Terima kasih juga kepada tim konsultan perencana, kontraktor pelaksana, serta seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam menyukseskan penerapan teknologi CTSB pada proyek ini. Semoga kerjasama dan semangat inovasi ini dapat terus dijaga dalam mewujudkan infrastruktur jalan yang lebih baik di masa depan.

REFERENCES

- [1] Pemerintah Kabupaten Kayong Utara, "Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah Kabupaten Kayong Utara Tahun 2019-2024," Sukadana, 2019.
- [2] Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Provinsi Kalimantan Barat, "Kontrak Nomor: 620/027/KTRK/DPUPR-PJN/2023 Paket Peningkatan Jalan Sukadana - Teluk Batang," Pontianak, 2023.
- [3] Gubernur Kalimantan Barat, "Surat Keputusan Gubernur Kalimantan Barat Nomor 1470 Tahun 2022 tentang Ruas-Ruas Jalan Menurut Status dan Fungsinya sebagai Jalan Provinsi Kalimantan Barat," Pontianak, 2022.
- [4] H. N. Marbun, H. R. Siahaan, I. L. K. Wong, dan A. A. Azis, "Perencanaan dan Pelaksanaan CTSB (*Cement Treated Sub-base*) dengan Semen Komposit pada Proyek Jalan Merauke-Tanah Merah," *J. Tek. Sipil ITB*, vol. 27, no. 3, hal. 233–242, Des 2020.
- [5] Departemen Pekerjaan Umum, "Perencanaan Stabilisasi Tanah dengan Bahan Serbuk Pengikat untuk Konstruksi Jalan," *Pedoman Konstruksi dan Bangunan*, Pd T-10-2005-B, 2005.
- [6] Pemerintah Republik Indonesia, "Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan," Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Jakarta, 2018.
- [7] Y. H. Huang, *Pavement Analysis and Design*, 2nd ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall, 2004.
- [8] Direktorat Jenderal Bina Marga, "Manual Desain Perkerasan Jalan," Nomor 02/M/BM/2013, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Jakarta, 2013.
- [9] PT Watukali Capita Ciptama, "Matos Soil Stabilizer: Inovasi Masa Kini untuk Efisiensi Stabilisasi Tanah," Jakarta, 2021.
- [10] AASHTO, *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*. Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials, 1986.
- [11] S. P. R. Wardani, A. Muhrozi, and A. R. A. Sidik, "Stabilization of expansive soil using cement treated sub base for road subgrade," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 620, no. 1, 2019.
- [12] H. Widodo, "Pelaksanaan *Cement Treated Sub-base* (CTSB) pada Pelebaran Jalan Melonguane-Beo di Sulawesi Utara," *J. Tek. Sipil ITB*, 2016.
- [13] ASTM D6433-18, "Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018.
- [14] I. Hadi and B. Siswoyo, "Kajian Perbandingan Biaya Siklus Hidup Perkerasan Lentur dan Perkerasan Kaku pada Ruas Jalan Pantura Jawa Barat," *J. Tek. Sipil ITB*, vol. 25, no. 2, pp. 97-106, 2018.
- [15] R. L. Baus and N. R. Stires, "Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide: Features and Distinctive Elements," *Transportation Research Circular E-C155*, Transportation Research Board, Washington, D.C., 2010.

- [16] Bina Marga, "Laporan Akhir Proyek Peningkatan Jalan Sukadana - Teluk Batang," Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Provinsi Kalimantan Barat, Pontianak, 2023.