

# **CASE-BASED REASONING PEMILIHAN METODE KONSTRUKSI JALAN DI ATAS TANAH BERMASALAH KEDALAMAN 10 SAMPAI DENGAN 20 METER (Studi Kasus: Proyek Jalan Tol Pemalang-Batang)**

*(Case-Based Reasoning on Selection of Road Construction Above Problematic Subgrade Range From 10-20 m Depth Cases Review, Case Studi : Pemalang – Batang Toll Road Project)*

**Maulana Iqbal<sup>1</sup>, Anton Soekiman<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Program Studi Magister Manajemen Proyek Konstruksi Pascasarjana Universitas Katolik Parahyangan  
E-mail: [iqbal51923@gmail.com](mailto:iqbal51923@gmail.com)

Diterima 29 Juli 2020, Disetujui 28 Agustus 2020

## **ABSTRAK**

Permasalahan konstruksi jalan di atas tanah bermasalah (*problematic soil*) tanpa adanya perbaikan tanah (*soil improvement*) maupun perkuatan tanah (*soil reinforcement*), pada umumnya akan mengakibatkan instabilitas timbunan dan penurunan tanah dasar. Tidak sedikit jaringan jalan di atas tanah dasar bermasalah di beberapa area di Indonesia mengalami penurunan tingkat pelayanan yang drastis sebelum umur rencana. Kurangnya pemahaman karakteristik tanah dasar menyebabkan pemilihan metode konstruksi tidak efektif dan efisien. Kecenderungan pemilihan metode yang digunakan masih didasari ketersediaan pagu anggaran. Pemilihan metode konstruksi jalan di atas tanah dasar bermasalah dengan analisis *Case-Based Reasoning* (CBR), dapat menghemat waktu dalam pengambilan keputusan berdasarkan keahlian pakar, sehingga risiko ketidakakuratan pemilihan metode berakibat pada keputusan penanganan yang kurang tepat dapat diminimalisir. Berdasarkan hasil analisis dengan mengambil studi kasus tol Pemalang – Batang pada kedalaman tanah bermasalah antara 10 sampai dengan 20 meter dan menggunakan analisis CBR, didapatkan gejala kecocokan (*similarity*) sebesar 97,74% pada metode Prefabricated Vertical Drain (PVD) yang dikombinasikan dengan metode pembebanan dengan vakum (*vacuum preloading*) dan Prefabricated Horizontal Drain (PHD).

**Kata Kunci:** Tanah dasar bermasalah, Case-based reasoning, Pemilihan metode konstruksi

## **ABSTRACT**

*Problems with road construction over problematic soils without soil improvement or reinforcement generally will result in embankment instability and settlement. Many road networks over problematic subgrade in some areas in Indonesia experienced significant decrease of service levels before attaining their service life. Lack of understanding of subgrade characteristics results in ineffective and inefficient selection of construction methods. The tendency to choose the method used is still based on budgeting scheme. The selection of road construction methods on subgrade problems with a Case-Based Reasoning (CBR) analysis can save time in making decisions based on expertise of experts, so that the risk of inaccuracies in the method selection results in appropriate decision making can be minimized. Based on the results of analysis by taking case study of Pemalang - Batang toll road at the depth of 10 to 20 meters and using CBR analysis, obtained 97.74% similarity of Prefabricated Vertical Drain (PVD) construction method combined with vacuum preloading and Prefabricated Horizontal Drain (PHD) method.*

**Keywords:** Problematic subgrade, Case-based reasoning, Construction method selection

## PENDAHULUAN

Kondisi lahan konstruksi di Indonesia sangat beragam, khususnya pembangunan konstruksi jalan di atas tanah bermasalah (*problematic soil*). Sangat bergantung terhadap tebal lapisan tanah dasar yang bermasalah. Sementara pembangunan infrastruktur tidak dapat memilih lahan dalam kondisi yang baik semua, maka diberberapa area tertentu diperlukan suatu penanganan dengan metode konstruksi khusus.

Permasalahan konstruksi jalan di atas tanah bermasalah pada umumnya akan terjadi instabilitas timbunan dan penurunan tanah dasar. Kondisi daya dukung rendah dengan kadar air yang tinggi, dapat menyebabkan membengkaknya biaya konstruksi, dan berdampak terhadap umur rencana konstruksi jalan tidak sesuai dengan perencanaan, serta yang lebih parah lagi berpengaruh terhadap keselamatan.

Dalam mengatasi kondisi tanah dasar bermasalah, secara garis besar teknik yang digunakan dalam rangka meningkatkan mutu tanah dasar (Darwis, 2017), yaitu metode teknik perbaikan tanah (*soil improvement*) dan metode perkuatan tanah (*soil reinforcement*). Tanah bermasalah (*problematic soil*) meliputi tanah lunak organik dan non organik, dan tanah gambut. Sebagian besar tanah bermasalah terdapat di pesisir pantai, antara lain di Sumatera, Kalimantan Selatan dan Barat serta di Pantai Utara Jawa dan Papua (Arsyad et al., 2014). Setiap jenis tanah tersebut mempunyai karakteristik yang berbeda, meskipun sebagian ada sifat yang mempunyai kesamaan. Sifat tanah bermasalah secara umum, antara lain:

- 1) Kuat geser rendah
- 2) Bila kadar air bertambah, kuat gesernya berkurang
- 3) Bila basah bersifat plastis dan mudah mampat
- 4) Memiliki kompresibilitas yang besar
- 5) Berubah volumenya dengan bertambahnya waktu akibat rangkai pada beban yang konstan

Kondisi geografis di Indonesia dengan tingkat keanekaragaman tanah dasar, meskipun terdapat beberapa lokasi yang mempunyai karakteristik yang hampir menyerupai, menjadi tantangan tersendiri dalam penanganannya, khususnya di bidang struktur jalan. Untuk dapat memberikan solusi penanganan yang optimal, diperlukan sistem manajemen yang dapat mempermudah dan mempercepat dalam pengambilan keputusannya. Dokumentasi pengetahuan berdasarkan pengalaman para pakar dan pemberian solusi merupakan faktor utama untuk mendukung keberhasilan suatu sistem manajemen yang baik.

Tanah lunak di Indonesia diperkirakan meliputi sekitar 20 juta hektar atau sekitar 10 persen dari luas total daratannya ditemukan terutama di daerah sekitar pantai (Kimpraswil, 2002a). Hambatan yang terjadi ketika akan dibangun suatu konstruksi jalan di atas tanah bermasalah yang memiliki kuat geser rendah, dengan tingkat kompresibilitas dan kadar air yang tinggi, pada umumnya akan terjadi instabilitas timbunan dan terjadinya penurunan tanah dasar (Huda et al, 2014).

Menurut (Perdede et al, 2007) pada umumnya manusia belajar dari masa lalu, menggunakan kasus-kasus yang terdahulu untuk menemukan solusi pada sebuah kasus baru. Metode *Case-Based Reasoning* (CBR) mempunyai kemampuan mendiagnosa berbasis kasus dan memberikan informasi secara otomatis berdasarkan pengetahuan terdahulu yang dapat direvisi untuk dapat menyesuaikan dengan permasalahan terbaru, sehingga pengetahuan dengan metode *Case-Based Reasoning* (CBR) akan terus berkembang. Berdasarkan pengembangan sistem pengambilan keputusan mengenai alternatif metode teknologi yang akan digunakan untuk pekerjaan konstruksi jalan di atas tanah dasar bermasalah menggunakan metode sistem pakar dengan analisis CBR. Metode tersebut dapat menghindari pengulangan kesalahan yang telah ada pada kasus sebelumnya sehingga dapat memberikan solusi keputusan yang paling optimal. Konsep dari metode pengambilan keputusan dengan CBR didasarkan dari ide menggunakan pengalaman-pengalaman yang terdokumentasi guna dapat menyelesaikan masalah baru. CBR sendiri didasarkan pendekatan kecerdasan buatan (*artificial intelligent*) yang menitikberatkan pemecahan masalah berdasarkan *knowledge* dari kasus-kasus sebelumnya (Darmawan et al., 2016).

Pakar merupakan seseorang yang mempunyai keahlian khusus. Pada umumnya berpengalaman dan pernah terlibat dalam suatu pekerjaan yang serta dapat menyelesaikan permasalahan yang tidak dapat diselesaikan oleh orang awam. Keterbatasan tenaga ahli dalam suatu bidang tertentu dapat menjadi hambatan akan suatu solusi terhadap permasalahan dilain waktu atau di suatu tempat yang baru. Diperlukan suatu sistem dengan kecerdasan buatan (*artificial intelligence*). Sistem kecerdasan buatan dengan CBR dapat menyimpan pengalaman-pengalaman yang pernah terjadi dan dapat diingat kembali pada saat dibutuhkan.

Alternatif penanganan konstruksi jalan di atas tanah bermasalah pada saat ini telah banyak, Menurut Kimpraswil, (2002b) solusi pekerjaan tanah untuk konstruksi jalan di atas tanah dasar bermasalah secara garis besar, antara lain:

- 1) Penggantian material (*replacement*)
- 2) Berem pratibobot (*counterweight berms*)
- 3) Penambahan beban (*surcharging*)
- 4) Konstruksi bertahap (*staged construction*)
- 5) Penggunaan material ringan (*use of light material*)
- 6) Fondasi tiang, cerucuk (*pile slab*)
- 7) Pita drain vertikal prafabrikasi/*Prefabricated Vertical Drain (PVD)*

Tujuan penelitian diharapkan dapat mengaplikasikan teori yang telah dikemukakan oleh beberapa ahli/pakar dalam proses pengambilan keputusan yang berkaitan dengan pemilihan metode konstruksi jalan yang paling tepat untuk kondisi di atas tanah bermasalah sehingga memberikan metode konstruksi yang paling sesuai. Dengan harapan pemilihan metode konstruksi dengan *Case Based Reasoning (CBR)* selain untuk menghindari terjadinya kesalahan dimasa lalu dapat juga mempercepat proses pemilihan metode konstruksi yang akan digunakan dengan memberikan standar pelayanan jalan dalam kapasitas kondisi baik.

Deposit tanah bermasalah pada area tertentu meskipun berdekatan, kadang mempunyai tingkat kedalaman yang berbeda, untuk itu penyelidikan tanah secara optimal harus dilakukan. Tingkat deposit tanah bermasalah, memerlukan waktu untuk proses konsolidasi untuk mencapai stabilitas fondasi yang sangat panjang.

Tanah bermasalah memiliki permeabilitas yang rendah maka waktu yang dibutuhkan proses konsolidasi lebih lama. Jika suatu bangunan konstruksi akan dibangun di atas tanah bermasalah, untuk menghindari permasalahan instabilitas dan penurunan, sebaiknya tanah dasarnya harus terlebih dahulu telah terkonsolidasi yaitu air pori terdisipasi yang berlebih dari tanah dasar dikeluarkan secara cepat.

Kemajuan teknologi berkembang, mendorong metode konstruksi untuk mempercepat proses konsolidasi saat ini. Dengan percepatan waktu konsolidasi pada tanah bermasalah, dapat mempercepat peningkatan kekuatan geser tanah dasar, sehingga meningkat daya dukung tanah dasarnya. Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah studi kasus dan objek yang diteliti adalah studi kasus tanah bermasalah di lokasi poyek tol Pematang – Batang, dengan gejala permasalahan tebal lapisan tanah bermasalah 10 sampai dengan 20 meter.

### **Case-Based Reasoning**

*Case Base Reasoning (CBR)* merupakan paradigma *problem solving* yang secara fundamental sangat berbeda dibandingkan dengan pendekatan sub-bidang kecerdasan buatan lainnya seperti sistem pakar. CBR dapat

digunakan pada domain yang lemah karena dapat membantu hubungan asosiasi antara permasalahan yang ada dengan solusi yang akan diberikan (Abdiansah, 2015).

Pengetahuan dalam CBR dibentuk dalam suatu kasus, yang terdiri dari tahapan permasalahan dan solusi yang akan diberikan. Dalam mencari kesamaan antara suatu kasus terdahulu solusi yang telah diberikan sebelumnya dibandingkan dengan suatu kasus yang belum ada solusinya maka digunakan fungsi kesamaan atau hampir menyerupai/*similarity* (Pal, 2004).

*Case Base Reasoning (CBR)* (Wipraja et al, 2017) adalah pendekatan untuk membangun sistem pakar dengan mengakses solusi yang pernah ada agar dapat mengambil kesimpulan dari masalah-masalah yang akan datang. Metode CBR merupakan metode pemecahan masalah yang memberikan prioritas penggunaan pengalaman masa lalu untuk memecahkan masalah saat ini, solusi untuk masalah saat ini dapat ditemukan kembali atau mengadopsi solusi untuk masalah yang telah diselesaikan saat ini. Siklus CBR terdiri dari:

1. *Retrieve*, memperoleh atau mendapatkan kembali kasus, atau permasalahan yang hampir mirip. Dimulai dengan menguraikan satu atau sebagian permasalahan dan berakhir apabila telah ditemukan kasus sebelumnya yang hampir sesuai. Pada tahapan ini mengacu pada segi identifikasi, kecocokan awal, pencarian dan pemilihan serta eksekusi.
2. *Reuse*, merupakan proses memodelkan/menggunakan informasi pengetahuan dari kasus-kasus untuk memecahkan kasus dari masukan-masukan mengenai kasus tersebut. Proses *reuse* dari solusi kasus diperoleh dalam konteks kasus baru di fokuskan pada dua aspek:
  - Perbedaan antara kasus yang sebelumnya dan yang sekarang
  - Bagian apa dari kasus yang telah diperoleh yang dapat ditransfer menjadi kasus baru
 Secara matematis untuk menentukan nilai kecocokan antara kasus lama dengan kasus baru, menggunakan perhitungan *similarity problem case*. *Similarity problem case* :

$$= \frac{S1 * W1 + S2 * W2 + \dots + Sn * Wn}{W1 + W2 + \dots Wn}$$

Dimana:

S = *Similarity* kasus baru terhadap kasus lama  
(1 jika sama dan 0 jika tidak)

W = nilai bobot pada kasus baru

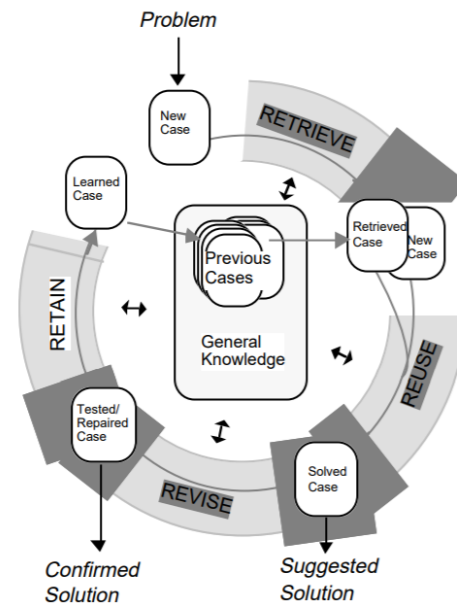
Pembobotan ditentukan berdasarkan pada pengamatan kasus. Semakin berpengaruh suatu gejala pada kasus, maka bobot nya semakin tinggi, begitu sebaliknya (Tabel 1).

**Tabel 1. Bobot Parameter**

Bobot Parameter (w)	
Gejala Penting	5
Gejala Sedang	3
Gejala Biasa	1

3. *Revise*, meninjau kembali atau memperbaiki usulan dari solusi terbaru. Dari solusi tersebut dilakukan pengujian terhadap kasus nyata (simulasi) dan jika diperlukan untuk memperbaiki solusi tersebut agar cocok dengan kasus terbaru.
4. *Retain*, menyimpan bagian-bagian dari pengalaman terhadap kasus terdahulu yang mungkin berguna untuk memecahkan masalah di masa-masa yang akan datang. Proses ini terdiri dari memilih informasi apa dari kasus yang akan disimpan. Apabila ditemukan solusi penanganan tidak berhasil, maka harus dapat menjelaskan ketidakberhasilan dari solusi tersebut, agar dapat diperbaiki dan dilakukan pengujian kembali.

Pada gambar 1 memperlihatkan alur atau siklus bagaimana proses metode CBR dalam menyelesaikan suatu kasus permasalahan. Proses pertama pada saat terjadi suatu permasalahan baru, sistem akan terlebih dahulu melakukan proses *retrieve*, yaitu melakukan proses pengenalan permasalahan yang terjadi dan melakukan pencarian permasalahan yang hampir sama pada database atau data-data yang telah terlebih dahulu dikumpulkan dalam suatu sistem. Proses kedua adalah *reuse*, dimana CBR akan melakukan seleksi dan menyalin permasalahan yang ada serta melengkapi data informasi yang akan digunakan. Tahap ketiga merupakan proses *revise*, dimana informasi mengenai data permasalahan yang ada akan dihitung, dievaluasi dan diperbaiki kembali untuk mengatasi kesalahan yang akan terjadi pada kasus permasalahan yang baru. Tahap ke empat, sistem, CBR akan melakukan proses *retain*, dimana sistem akan melakukan integrasi data dan mengekstrak terhadap solusi yang baru. Solusi yang diberikan akan tersimpan kedalam *knowledge-base* untuk dapat menyelesaikan permasalahan dengan kasus yang serupa dikemudian waktu.

**Gambar 1. Siklus CBR**

Sumber: (Aamodt et al., 1994)

Sistem aplikasi CBR telah banyak diaplikasikan pada banyak bidang ilmu antara lain bidang hukum yang memodelkan kejahatan dalam bentuk kalimat JUDGE, rekayasa untuk mendesain arsitektur bangunan kantor dengan aplikasi ARCHIE, CBR untuk perencanaan struktur yang disebut CADSYN, dan lain-lain Berdasarkan perkembangan aplikasi *Case Based Reasoning* (CBR) sangat pesat (Mulyana et al, 2009) dikarenakan memiliki keunggulan:

1. Dapat mengurangi pekerjaan akuisisi pengetahuan
2. Dapat membantu perkiraan sebagai kemungkinan keberhasilan suatu solusi yang telah ada
3. Dapat digunakan dalam berbagai permasalahan yang hampir serupa
4. Menggambarkan penalaran serupa
5. Dapat menjadi pembelajaran sepanjang waktu
6. Menghindari pengulangan kesalahan yang pernah ada

## METODE

Penelitian dimulai dengan dasar pemikiran bahwa pelaksanaan penentuan prioritas alternatif metode konstruksi jalan di atas tanah bermasalah dirasa belum optimal dan tepat sasaran. Pengumpulan data dilakukan melalui dua tahap, yaitu tahap validasi variabel penelitian berdasarkan kajian literatur, lalu dilakukan wawancara kepada pakar/ahli untuk tujuan validasi variabel yang akan dilakukan analisis dengan metode *case-based reasoning* (CBR). Tahap kedua pengumpulan data, melakukan pengumpulan data sekunder, berdasarkan data proyek jalan di atas tanah bermasalah yang pernah dilaksanakan.

Penentuan validasi variabel yang digunakan pada penelitian ini dengan kondisi dan karakteristik tanah bermasalah di Indonesia. Tahap awal, merupakan proses wawancara, peneliti menjabarkan apa saja variabel yang menentukan dalam pemilihan metode konstruksi berdasarkan kajian dari literatur. Pada tahap ini meminta pakar untuk dapat menjelaskan metode konstruksi apa yang paling banyak yang telah dikerjakan di Indonesia dan metode tersebut efektif untuk menangani permasalahan yang terjadi. Tahapan berikutnya peneliti meminta masukan variabel yang peneliti telah lakukan apakah ada yang perlu ditambahkan atau dikurangi sebagai faktor yang mempengaruhi pengambilan keputusan alternatif metode konstruksi jalan di atas tanah bermasalah. Sistem yang dibuat berbasis web dengan menggunakan bahasa pemrograman PHP dan database yang digunakan adalah MySQL, sistem tersebut dapat membantu user dalam melakukan identifikasi dan solusi penanganannya. MySQL sebagai bahasa dasar untuk mengakses database sehingga mudah digunakan, kinerja query cepat, dan bersifat *open source* (tidak berbayar).

Kriteria yang digunakan dalam penentuan prioritas pemilihan metode konstruksi untuk konstruksi jalan di atas tanah bermasalah antara lain kriteria biaya atau anggaran, waktu masa konstruksi, kualitas atau mutu hasil pekerjaan, serta dampak sosial dan lingkungan.

1. Kriteria anggaran atau biaya, penilaian mengenai ketersediaan pagu anggaran yang diusulkan terhadap penerapan konstruksi yang akan dilaksanakan.
2. Kriteria kualitas atau mutu hasil pekerjaan merupakan penilaian terhadap hasil pekerjaan yang memenuhi persyaratan berdasarkan standar atau pedoman yang telah ditetapkan. Dalam pemilihan metode konstruksi di atas tanah bermasalah terdapat kriteria yang harus dipenuhi antara lain:
  - Faktor keamanan, bagaimana analisa stabilitas timbunan untuk mengurangi risiko keruntuhan pada tingkatan yang dapat diterima
  - Kriteria deformasi atau penurunan timbunan jalan di atas tanah lunak dibatasi berdasarkan kelas jalan disyaratkan berdasarkan masa konstruksi dan kecepatan penurunan setelah konsolidasi
3. Kriteria waktu masa konstruksi, penilaian mengenai kecepatan waktu konstruksi dari suatu metode konstruksi yang akan dilakukan, Berdasarkan perkembangan teknologi, maka waktu konstruksi suatu metode konstruksi seharusnya dapat dilakukan lebih cepat dengan kualitas pekerjaan lebih baik.
4. Kriteria dampak sosial dan lingkungan. Dalam setiap pelaksanaan pekerjaan konstruksi

pada dasarnya menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan, untuk itu diperlukan suatu metode konstruksi yang ramah lingkungan.

### Perancangan Sistem Metode CBR untuk Pemilihan Metode Konstruksi Jalan di Atas Tanah Bermasalah

Basis pengetahuan merupakan bagaimana proses membangun basis pengetahuan dengan memasukkan fakta-fakta yang dibutuhkan oleh sistem. Tabel 2 merupakan kode dan keterangan yang digunakan untuk sistem yang digunakan dengan metode CBR agar memudahkan pengguna sistem.

**Tabel 2.** Kode dan Keterangan Metode CBR

KODE	KETERANGAN
G	GEJALA/PERMASALAHAN
KG	KATEGORI GEJALA
S	SOLUSI/PERBAIKAN
M	METODE
MK	METODE KONSTRUKSI

Pada penelitian ini faktor-faktor tersebut dibagi menjadi empat kategori. Tabel 3 menunjukkan keterangan Kategori Gejala (KG) atau permasalahan yang dibagi kedalam beberapa kriteria.

**Tabel 3.** Kategori Gejala

KODE	KETERANGAN
KG 01	Kategori Biaya
KG 02	Kategori Mutu
KG 03	Kategori Waktu
KG 04	Kategori Dampak Sosial dan Lingkungan

Tabel 4 merupakan nilai pembobotan terhadap gejala atau permasalahan pada kondisi tanah bermasalah. Semakin besar nilai bobot menunjukkan semakin penting gejala/permasalahan tersebut.

**Tabel 4.** Nilai Pembobotan

Bobot	Nilai
Penting	5
Sedang	3
Biasa	1

Pada masa lalu, banyak pekerjaan konstruksi jalan mengalami penundaan atau keterlambatan, serta memerlukan biaya yang besar, membutuhkan biaya perawatan dan pemeliharaan yang tinggi atau mengalami kegagalan. Tabel 5 menjelaskan mengenai kategori biaya dan pembobotan dari masing-masing kategori biaya.

**Tabel 5.** Kategori Biaya

KODE	KETERANGAN	BOBOT
G01	Biaya modal (anggaran telah ditetapkan)	5
G02	Biaya pemeliharaan (anggaran pemeliharaan terpisah, tidak ada	1

KODE	KETERANGAN	BOBOT
G03	pertimbangan biaya seumur hidup) Membutuhkan area yang besar (ROW harus lebar)	3
G32	Biaya konstruksi tinggi	3
G33	Biaya konstruksi paling tinggi	3
G34	Biaya konstruksi rendah	1

Sistem pengendalian mutu harus ditetapkan dan diimplementasikan. Jika terdapat persyaratan khusus yang akan mempengaruhi terhadap metode konstruksi yang akan digunakan, hal tersebut harus diklarifikasi lebih lanjut, agar dapat meminimalisir risiko yang akan terjadi. Kategori mutu dan bobot dapat dilihat pada Tabel 6.

**Tabel 6.** Kategori Mutu

KODE	KETERANGAN	BOBOT
G04	Daya dukung tanah dasar kecil	5
G05	Kedalaman tanah dasar bermasalah 0 - 10 meter	1
G06	Kedalaman tanah dasar bermasalah 10 - 20 meter	3
G07	Kedalaman tanah dasar bermasalah lebih dari 20 meter	5
G08	Penurunan ( <i>settlement</i> ) yang besar saat konstruksi	3
G09	Perbedaan penurunan ( <i>differential settlement</i> ) dan penurunan total jika berdampingan dengan bangunan struktur	3
G10	Penurunan rangkai ( <i>creep settlement</i> ) akibat beban dinamis dan statis	1
G11	Tanah dasar sangat lunak, sehingga timbunan yang tidak tinggi pun dapat mengakibatkan masalah stabilitas tanah timbunan	5
G12	Material timbunan yang baik sesuai spesifikasi teknis sulit diperoleh	3
G13	Diperlukan peralatan khusus yang dapat berdiri dan bekerja di atas tanah bermasalah	1
G14	Membutuhkan banyak material timbunan tambahan ( <i>surcharge</i> )	3
G15	Drainase horisontal harus lebih tebal	1
G16	Pergerakan arah lateral lebih besar	5
G17	Stabilitas (terhadap gelincir) lebih besar	3
G18	Keruntuhan geser selama proses konsolidasi	3
G19	Tinggi timbunan kritis (tinggi timbunan melebihi tinggi timbunan yang disyaratkan)	5
G20	<i>Constructibility</i> diperlukan penanganan khusus oleh spesialis khusus yang tidak banyak melaksanakan	3
G21	Risiko kegagalan atau perawatan yang besar setelah konstruksi	5
G22	Risiko kegagalan selama konstruksi	3

KODE	KETERANGAN	BOBOT
G23	Risiko keterlambatan konstruksi	3
G24	Adanya lapisan permeable ( <i>drainage layers</i> )	3
G25	Kuat geser tanah dasar sangat kecil	3

Faktor waktu merupakan salah satu faktor yang sangat penting untuk menunjang pekerjaan proyek konstruksi jalan, selain faktor biaya dan mutu. Tabel 7 menjelaskan mengenai kategori waktu dan bobotnya.

**Tabel 7.** Kategori Waktu

KODE	KETERANGAN	BOBOT
G26	Waktu konsolidasi lama	5
G27	Masa waktu konstruksi terbatas	1
G28	Waktu konstruksi lebih panjang	3

Secara umum pekerjaan konstruksi jalan, akan dapat menimbulkan banyak dampak baik sosial dan lingkungan. Dampak negatif tersebut harus dapat menjadi perhatian khusus, agar dapat dikelola dengan baik melalui upaya mitigasi dan pemantauan secara aktif, sehingga risikonya menjadi dapat diminimalisir. Tabel 8 menjelaskan mengenai kategori gejala dampak sosial dan lingkungan beserta bobotnya.

**Tabel 8.** Kategori Dampak Sosial Dan Lingkungan

KODE	KETERANGAN	BOBOT
G29	Dampak terhadap aliran air permukaan dan polusi air tanah	5
G30	Dampak lalu lintas selama konstruksi	1
G31	Penggunaan material alami (kayu)	3

Model keputusan merupakan penalaran berbasis kasus berdasarkan kumpulan beberapa data kasus yang terjadi sebelumnya. Solusi atau perbaikan terhadap gejala-gejala atau permasalahan konstruksi jalan di atas tanah bermasalah dapat dilihat pada Tabel 9.

**Tabel 9.** Solusi Penanganan Konstruksi Jalan di Atas Tanah Bermasalah

KODE	KETERANGAN
S01	Meningkatkan daya dukung tanah dasar dengan perbaikan tanah dasar dapat meningkatkan faktor keamanan selama konstruksi
S02	Meningkatkan kuat geser tanah
S03	Memperkecil kompresibilitas dan penurunan tanah
S04	Memperbesar permeabilitas tanah
S05	Memperkecil potensi kembang susut pada tanah
S06	Menjamin kelestarian dan keberlanjutan sumber daya alam dan lingkungan
S07	Perkuatan tanah ( <i>soil reinforcement</i> )

KODE	KETERANGAN
S08	Dengan teknik prakompresi dapat memperkecil penurunan dan mempercepat waktu penurunan (mempercepat proses konsolidasi)
S09	Pengurangan tinggi timbunan
S10	Perkuatan kaki timbunan ( <i>lateral berm</i> )
S11	Pengurangan berat beban timbunan
S12	Perkuatan tanah timbunan dengan matras (geosintetik)
S13	Dengan teknik timbunan bertahap
S14	Dengan teknik <i>preloading</i> dan beban tambahan ( <i>surcharge</i> )
S15	Dengan teknik tiang hingga mencapai tanah keras
S16	Penggantian lapisan tanah bermasalah
S17	Mereduksi pergerakan lateral tanah timbunan dan tanah dasar
S18	<i>Constructibility</i> telah banyak yang melakukan (tidak memerlukan spesialis khusus)
S19	<i>Constructibility</i> diperlukan speasialis khusus yang tidak banyak mampu melaksanakan
S20	Pengurangan kebutuhan material tanah timbunan
S21	Waktu konstruksi lama
S22	Waktu konstruksi cepat
S23	Waktu konstruki paling cepat
S24	Biaya konstruksi rendah - biaya pemeliharaan tinggi
S25	Biaya konstruksi rendah -biaya pemeliharaan rendah
S26	Biaya konstruksi tinggi - biaya pemeliharaan rendah
S27	Biaya konstruksi tinggi - biaya pemeliharaan tinggi
S28	Dapat memperbaiki tanah dasar hingga kedalaman 10 meter
S29	Dapat memperbaiki tanah dasar hingga kedalaman 20 meter
S30	Dapat memperbaiki tanah dasar hingga kedalaman lebih 20 meter
S31	Biaya konstruksi paling tinggi - biaya pemeliharaan rendah

Dalam pemilihan metode konstruksi yang paling optimal untuk konstruksi jalan di atas tanah bermasalah dipengaruhi oleh banyak faktor atau gejala permasalahan yang akan terjadi, untuk itu diperlukan suatu solusi yang tepat dalam menanggulangi permasalahan yang terjadi. Banyak alternatif metode konstruksi yang dapat digunakan dalam menyelesaikan permasalahan, tetapi harus terlebih dahulu mengetahui permasalahan atau gejala yang akan terjadi. Tabel 10 menjelaskan mengenai keterangan metode konstruksi, serta solusi penanganannya terhadap gejala umum yang terjadi pada area tanah bermasalah.

Tabel 10. Metode Konstruksi

KETERANGAN	KODE	METODE KONSTRUKSI
Stabilitas timbunan	MK01	<i>Preloading</i> dan <i>surcharge</i>
	MK02	Timbunan bertahap
	MK03	Penggantian meterial ( <i>replacement</i> )
	MK04	<i>Counterberm</i>
	MK05	Timbunan ringan
	MK06	Geosintetik separator dan stabilisator
	MK07	PVD ( <i>Prevabricated Vertical Drain</i> )
Daya dukung tanah dasar	MK08	Stabilisasi dangkal ( <i>shallow stabilization</i> ), dengan tanah, kimia serbuk, semen dan cerucuk
	MK09	Stabilisasi dalam ( <i>deep stabilization</i> )
	MK10	<i>Piled embankment</i> /timbunan bertiang
	MK11	<i>Stone column</i>
	MK12	<i>Deep mixing method</i> / stabilisasi dalam
Penurunan ( <i>settlement</i> )	MK13	Tiang beton

### Studi Kasus

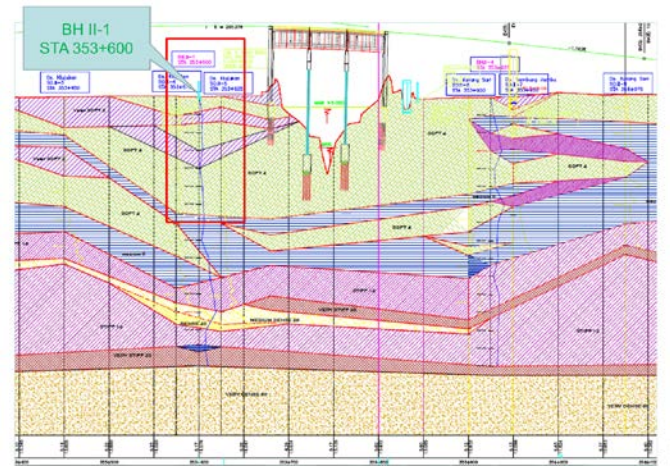
Studi kasus proses pemilihan metode konstruksi jalan diatas tanah bermasalah dengan kedalaman 10 meter sampai dengan 20 meter menggunakan metode analisis *Case-Based Reasoning (CBR)* terletak di Ruas Jalan Tol Pemalang – Batang dan merupakan bagian dari Jalan Tol Trans Jawa, dengan panjang jalan terbentang sepanjang 39,2 KM (Gambar 2). Ketebalan tanah bermasalah pada lokasi tersebut bervariasi pada beberapa lokasi. Diperlukan suatu metode konstruksi yang optimal selain kekuatan struktur konstruksi diatasnya, serta dari segi waktu pelaksanaan, teknologi yang digunakan dapat memberikan percepatan waktu pelaksanaan konstruksi, dikarenakan adanya perecepatan pembukaan lalu lintas pada waktu itu, dan dari segi biaya adanya pembataan terkait PAGU yang sudah dianggarkan.





**Gambar 2.** Lokasi Ruas Jalan Tol Pemalang–Batang

Berdasarkan hasil penyelidikan tanah, kondisi tanah bermasalah pada lokasi ruas jalan tol Pemalang – Batang bervariasi tingkat kedalamannya (Gambar 3). Metode konstruksi yang dipilih disesuaikan berdasarkan tingkat kedalamannya. Pada penelitian ini pemilihan metode konstruksi yang digunakan hanya hingga kedalaman 20 meter. Permasalahan pada ruas jalan tol Pemalang – Batang yang terjadi antara lain adanya timbunan yang tinggi di atas tanah dasar bermasalah, pekerjaan perbaikan tanah harus dilakukan kurang dari 1 tahun, pada umumnya perbaikan tanah di atas tanah bermasalah akan memakan waktu lebih dari 1 tahun. *Constructibility* berdasarkan kecakapan pelaksanaan dengan beberapa teknologi percepatan seiring kemajuan teknologi saat ini, diperlukan pelaksana yang khusus, sedangkan tidak banyak spesialis khusus yang ada di Indonesia.



**Gambar 3.** Stratifikasi Tanah

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada daerah dengan area tanah bermasalah memerlukan perencanaan yang tidak standar dimana aspek pemahaman mengenai kondisi geoteknik sangat dibutuhkan. Akan tetapi, seringkali dijumpai banyak perencanaan berakhir pada kegagalan konstruksi dikarenakan masih bertumpu pada perencanaan secara konvensional. Selain itu, kegagalan konstruksi khususnya pada tahap perencanaan terjadi karena kurangnya alternatif penanganan yang diusulkan, walaupun ada banyak alternatif metode konstruksi, masih sangat sulit mengevaluasi dan mengambil keputusan akan alternatif yang optimal yang mana yang akan digunakan.

### Analisis Hasil Pengujian Sistem Identifikasi Pemilihan Metode Konstruksi Jalan di Atas Tanah Dasar Bermasalah dengan Metode *Case Based Reasoning* (CBR)

Pengujian dengan metode *Case Based Reasoning* membandingkan hasil analisis identifikasi pemilihan metode konstruksi jalan di atas tanah dasar bermasalah yang dilakukan oleh sistem yang telah dibangun. Prosesnya, antara lain:

1. Proses *Retrieve*  
Tahap *retrieve* adalah tahap dimana sistem akan menerima masukan (*input*) berupa data gejala/permasalahan yang akan dicari kesamaan antara penanganan suatu kasus konstruksi jalan di atas tanah bermasalah dengan kasus sebelumnya. Proses sistem menerima masukan pada form data solusi.
2. Tahap *Reuse*  
Tahap *reuse* merupakan tahap sistem memanggil kembali informasi kasus yang pernah terjadi berdasarkan kasus yang paling mirip dengan kasus yang akan dialami oleh user yang ditunjukkan dengan nilai *similarity* tertinggi. Teknologi konstruksi jalan yang sesuai dengan kondisi di Indonesia antara lain:



- a. Berem Pratibobot (*Counterweight Berm*)
  - b. Timbunan Ringan
  - c. PVD *Preloading*
  - d. PVD, PHD Dan *Vaccum Consolidation*
  - e. Tiang Beton
  - f. Timbunan Bertiang (*Piled Embankment*)
  - g. Matras (Geotekstil)
  - h. Stabilisasi Dangkal
  - i. Stabilisasi Dalam (*Dept Stabilization*)
3. Tahap *Revise* dan *Retain*  
Tahap *revise* adalah tahap sistem untuk dapat melakukan perubahan basis kasus dengan data kasus yang baru. Selanjutnya data baru tersebut akan tersimpan kedalam basis kasus atau data lokasi. Proses tersebut merupakan tahap *retain* (penyimpanan kembali).
  4. Tahap *Retain*  
Di dalam proses sistem akan menyimpan permasalahan yang baru lalu di masukan ke dalam basis pengetahuan, setelah itu akan digunakan untuk dapat menyelesaikan permasalahan atau kasus yang akan datang.

Studi kasus kedalaman tanah dasar bermasalah 10 sampai dengan 20 meter, di lokasi proyek ruas jalan tol Pemalang – Batang dengan data teknis antara lain:

1. Total penanganan sepanjang 39,2 KM, dengan kedalaman tanah bermasalah bervariasi
2. Tinggi timbunan melebihi tinggi kritis timbunan yang di izinkan.
3. Perkiraan penurunan tanah dasar yang terjadi melebihi persyaratan teknis lebih dari 20 mm.
4. Waktu konstruksi terbatas, bila dengan konstruksi konvensional (timbunan) memakan waktu kurang lebih 15 bulan.
5. Hasil Input data berdasarkan sistem dengan menggunakan analisis CBR.

Perbaikan tanah dasar bermasalah, dengan metode *Prefabricated Verticals Drain* (PVD) dengan kombinasi *Preloading* merupakan salah satu metode yang sedang banyak digunakan untuk mengatasi permasalahan stabilitas dan penurunan. Seiring kemajuan dan perkembangan teknologi metode *Prefabricated Verticals Drain* (PVD) dikombinasikan dengan vakum dan *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD), dengan cara menerapkan vakum ke massa tanah yang terisolasi, dan mengurangi tekanan atmosfer di dalamnya, dengan harapan proses konsolidasi menjadi lebih cepat. Dengan perencanaan yang tepat, sangat membantu percepatan proses konsolidasi, sehingga waktu pelaksanaan pekerjaan konstruksi diharapkan tidak akan terganggu, serta dapat menghindari kebutuhan akan biaya terhadap pemeliharaan pasca konstruksi yang cukup tinggi.

Berdasarkan kondisi gejala atau permasalahan tanah dasar bermasalah pada kedalaman 10 sampai dengan 20 meter, maka pada penelitian ini melakukan kajian untuk mendapatkan metode konstruksi yang sesuai. Hasil Input data berdasarkan sistem dengan menggunakan analisis CBR dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5.

Tabel 11 memperlihatkan perbandingan gejala atau permasalahan pada kasus lama dengan studi kasus berdasarkan tingkat kedalaman 10 sampai dengan 20 meter, dibandingkan dengan gejala atau permasalahan kasus baru pada setiap metode konstruksi, dengan mempertimbangkan faktor-faktor pendukung pekerjaan konstruksi jalan. Berdasarkan sistem yang dibangun berfungsi dengan baik, ditunjukkan dengan hasil perhitungan menggunakan *nearest neighbor* baik secara manual maupun dengan sistem menunjukkan hasil yang sama.

Pemilihan Metode Konstruksi Jalan di atas Tanah Bermasalah Metode CBR

Beranda  
 Data Gejala  
 Data Solusi/Tindakan  
 Data Metode  
 Data Kasus  
 Data Lokasi  
 Setting

### Data Lokasi - Hasil

Lokasi : **STA 342+200 s/d STA 355+900** (Jawa Tengah ,Pemalang - Batang ,D.)  
 Keterangan :

Gejala yang dipilih

No	Kategori Gejala	Kode	Nama Gejala
1	KG01	G 02	biaya pemeliharaan (anggaran pemeliharaan terpisah, tidak ada pertimbangan biaya seumur hidup)
2	KG01	G 32	Biaya konstruksi paling tinggi
3	KG01	G 33	Biaya konstruksi tinggi
4	KG01	G01	biaya modal (anggaran telah ditetapkan)
5	KG01	G03	membutuhkan area yang besar (ROW harus lebar)
6	KG02	G04	daya dukung tanah dasar kecil
7	KG02	G06	kedalaman tanah dasar bermasalah 10 - 20 meter
8	KG02	G07	kedalaman tanah dasar bermasalah lebih dari 20 meter
9	KG02	G08	penurunan (settlement) yang besar saat konstruksi
10	KG02	G09	perbedaan penurunan (differential settlement) dan penurunan total jika berdampingan dengan bangunan struktur
11	KG02	G10	penurunan rangkai (creep settlement) akibat beban dinamis dan statis
12	KG02	G11	tanah dasar sangat lunak, sehingga timbunan yang tidak tinggi pun dapat mengakibatkan masalah stabilitas tanah timbunan
13	KG02	G13	diperlukan peralatan khusus yang dapat berdiri dan bekerja di atas tanah bermasalah
14	KG02	G15	drainase horizontal harus lebih tebal
15	KG02	G19	tinggi timbunan kritis (tinggi timbunan melebihi tinggi timbunan yang disyaratkan)
16	KG02	G20	constructibility diperlukan penanganan khusus oleh spesialis khusus yang tidak banyak melaksanakan
17	KG02	G24	adanya lapisan permeable (drainage layers)
18	KG03	G27	masa waktu konstruksi terbatas
19	KG04	G29	dampak terhadap aliran air permukaan dan polusi air tanah
20	KG04	G30	dampak lalu lintas selama konstruksi

Gambar 4. Input Data Gejala

### Perhitungan

No	Metode	Gejala Kasus	Bobot	Gejala Dipilih (Cocok)	Bobot	Prosentase Kecocokan
1	Tiang beton	G01, G 02, G04, G07, G08, G09, G10, G12, G13, G18, G17, G19, G21, G24, G25, G29, G27, G18, G19, G 32	5, 1, 5, 5, 3, 1, 3, 1, 5, 3, 5, 3, 3, 1, 1, 3, 5, 3	G10, G09, G08, G07, G04, G01, G 32, G 02, G13, G19, G24, G27, G30, G11	1, 2, 3, 5, 5, 3, 1, 1, 5, 3, 1, 1, 5	(4282) x 100 = 67,74%
2	stabilitas dangkal	G 33, G27, G29, G25, G24, G21, G19, G18, G17, G16, G11, G10, G08, G05, G04, G 02, G01	3, 1, 5, 3, 3, 5, 5, 3, 3, 5, 5, 1, 3, 1, 5, 1, 5	G10, G08, G04, G01, G 02, G18, G24, G27, G 33, G11	1, 3, 5, 5, 1, 5, 3, 1, 3, 5	(3257) x 100 = 56,14%
3	Penyair Vertikal (PVD) + Vakum + PHD	G01, G 02, G04, G06, G07, G08, G09, G10, G11, G13, G28, G19, G30, G25, G27, G29, G 32, G15, G 33	5, 1, 5, 3, 5, 3, 3, 1, 5, 1, 3, 5, 1, 3, 1, 5, 3, 1, 3	G10, G09, G08, G07, G06, G04, G01, G 32, G 02, G13, G15, G19, G20, G27, G28, G30, G 33, G11	1, 3, 3, 5, 3, 5, 3, 1, 1, 1, 5, 3, 1, 5, 1, 3, 5	(5457) x 100 = 94,74%
4	PVD Preloading	G05, G19, G01, G 02, G03, G04, G06, G08, G09, G10, G11, G12, G14, G15, G17, G18, G29, G24, G25, G28, G27, G19, G 33	1, 5, 5, 1, 3, 5, 3, 3, 3, 1, 5, 3, 3, 1, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 5, 1, 5, 3	G10, G09, G08, G06, G04, G03, G01, G 02, G15, G19, G20, G24, G27, G28, G 33, G11	1, 3, 3, 3, 5, 3, 5, 1, 1, 5, 3, 3, 1, 5, 3, 5	(5071) x 100 = 70,42%
5	timbunan regan	G05, G01, G 02, G04, G06, G08, G09, G12, G15, G17, G31, G19, G21, G22, G23, G25, G27, G30, G 34	1, 5, 1, 5, 3, 3, 3, 5, 3, 3, 5, 5, 3, 3, 3, 1, 1	G09, G08, G06, G04, G01, G 02, G16, G27, G30	3, 3, 3, 5, 5, 1, 5, 1, 1	(2757) x 100 = 47,37%

### Hasil

No	Kasus	Metode	Kecocokan (%)
1	Percepatan konsolidasi dengan vakum	Penyair Vertikal (PVD) + Vakum + PHD	94,74
2	percepatan konsolidasi dengan beban tambahan	PVD Preloading	70,42
3	menghilangkan penurunan tanah dasar	Tiang beton	67,74
4	Replacement	stabilitas dangkal	56,14
5	menurunkan besarnya penurunan	timbunan regan	47,37

Hasil metode yang paling cocok adalah **Penyair Vertikal (PVD) + Vakum + PHD**  
 pemberian tekanan vakum kepada selimut pasir yang dipasang di atas penyair vertikal akan meningkatkan aliran air dan ini akan mempercepat proses konsolidasi, untuk mencapai kondisi vakum, selimut tersebut harus dibungkus dengan membran.

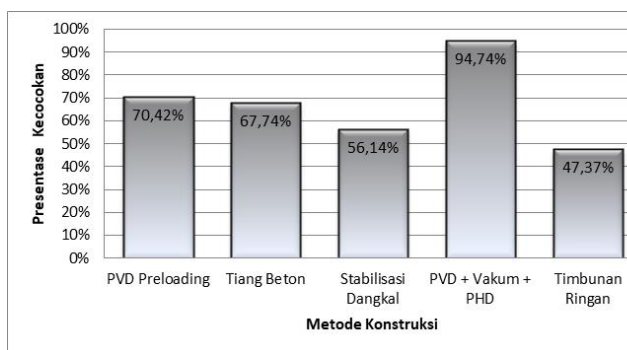
Solusi:  
 [922] waktu konstruksi cepat  
 [9 28] dapat memperbaiki tanah dasar hingga kedalaman 10 - 20 meter  
 [901] meningkatkan daya dukung tanah dasar dengan perbaikan tanah dasar dapat meningkatkan faktor keamanan  
 [902] meningkatkan kuat geser tanah  
 [903] memperbaiki kompresibilitas dan penurunan tanah  
 [904] memperbesar permeabilitas tanah  
 [906] menjamin kelestarian dan keberlanjutan sumber daya alam dan lingkungan  
 [908] dengan teknik prakompresi dapat memperbaiki penurunan dan mempercepat waktu penurunan  
 [912] perkuatan tanah timbunan dengan matras (geosintetik)  
 [919] constructibility diperlukan spesialis khusus yang tidak banyak mampu melaksanakan  
 [920] pengurangan kebutuhan material tanah timbunan  
 [923] waktu konstruksi paling cepat  
 [936] biaya konstruksi tinggi - biaya pemeliharaan rendah  
 [9 38] dapat memperbaiki tanah dasar hingga kedalaman lebih dari 20 meter  
 [940] pengurangan tinggi timbunan

Activate Windows  
 Go to Settings to activate Windows.

Gambar 5. Perhitungan dan Hasil Analisis Metode CBR

**Tabel 11.** Perbandingan Identifikasi Manual dan Sistem dengan Metode CBR Kedalaman Tanah Bermasalah 10 sampai dengan 20 meter

Keterangan	Identifikasi Secara Manual	Identifikasi Oleh Sistem		
		Bobot Gejala Kasus	Gejala Dipilih (Cocok)	Perhitungan
Metode PVD Preloading	$Similarity (X,01) = \frac{[(1 * 5) + (1 * 1) + (1 * 3) + (1 * 5) + (0 * 1) + (1 * 3) + (1 * 3) + (1 * 3) + (1 * 1) + (1 * 5) + (0 * 3) + (0 * 3) + (1 * 1) + (0 * 5) + (0 * 3) + (0 * 3) + (1 * 5) + (1 * 3) + (1 * 3) + (0 * 3) + (1 * 1) + (1 * 5) + (1 * 3)]}{(1 + 3 + 3 + 3 + 5 + 3 + 5 + 1 + 1 + 5 + 3 + 3 + 1 + 5 + 3 + 5)} = \frac{50}{71} = 0,7042$	1, 5, 5, 1, 3, 5, 3, 3, 3, 1, 5, 3, 3, 1, 3, 3, 3, 3, 3, 5, 1, 5, 3	1, 3, 3, 3, 5, 3, 5, 1, 1, 5, 3, 3, 1, 5, 3, 5	$(50/71) * 100\% = 70,42\%$
Metode Tiang Beton	$Similarity (X,02) = \frac{[(1 * 5) + (1 * 1) + (1 * 5) + (1 * 5) + (1 * 3) + (1 * 3) + (1 * 1) + (1 * 5) + (0 * 3) + (1 * 1) + (1 * 5) + (0 * 3) + (0 * 3) + (1 * 5) + (0 * 3) + (0 * 3) + (1 * 1) + (1 * 1) + (0 * 3) + (1 * 3)]}{(1 + 3 + 3 + 5 + 5 + 5 + 3 + 1 + 1 + 5 + 3 + 1 + 1 + 5)} = \frac{42}{62} = 0,6774$	5, 1, 5, 5, 3, 3, 1, 3, 1, 5, 3, 5, 3, 3, 3, 1, 1, 3, 5, 3	1, 3, 3, 5, 5, 5, 3, 1, 1, 5, 3, 1, 1, 5	$(42/62) * 100\% = 67,74\%$
Metode Stabilisasi Dangkal	$Similarity (X,03) = \frac{[(1 * 5) + (1 * 1) + (1 * 5) + (0 * 1) + (1 * 3) + (1 * 1) + ((1 * 5) + (0 * 5) + (0 * 3) + (0 * 3) + (1 * 5) + (0 * 5) + (0 * 5) + (1 * 3) + (0 * 3) + (0 * 5) + (1 * 1) + (1 * 3)]}{(1 + 3 + 5 + 5 + 1 + 5 + 3 + 1 + 3 + 5)} = \frac{32}{57} = 0,5614$	3, 1, 5, 3, 3, 5, 5, 3, 3, 5, 5, 1, 3, 1, 5, 1, 5	1, 3, 5, 5, 1, 5, 3, 1, 3, 5	$(32/57) * 100\% = 56,14\%$
Metode PVD + Vakum + PHD	$Similarity (X,04) = \frac{[(1 * 5) + (1 * 1) + (1 * 5) + (1 * 3) + (1 * 5) + (1 * 3) + (1 * 3) + (1 * 1) + (1 * 5) + (1 * 1) + (1 * 1) + (1 * 5) + (1 * 3) + (0 * 3) + (1 * 1) + (1 * 5) + (1 * 1) + (1 * 3) + (1 * 3)]}{(1 + 3 + 3 + 5 + 3 + 5 + 5 + 3 + 1 + 1 + 1 + 5 + 3 + 1 + 5 + 1 + 3 + 5)} = \frac{54}{57} = 0,9474$	5, 1, 5, 3, 5, 3, 3, 1, 5, 1, 3, 5, 1, 3, 1, 5, 3, 1, 3	1, 3, 3, 5, 3, 5, 5, 3, 1, 1, 1, 5, 3, 1, 5, 1, 3, 5	$(54/57) * 100\% = 94,74\%$
Metode Timbunan Ringan	$Similarity (X,05) = \frac{[(1 * 5) + (1 * 1) + (1 * 5) + (0 * 1) + (1 * 3) + (1 * 3) + (1 * 3) + (0 * 3) + (0 * 5) + (0 * 3) + (1 * 5) + (0 * 5) + (0 * 3) + (0 * 3) + (0 * 3) + (1 * 1) + (1 * 1) + (0 * 3) + (0 * 1)]}{(3 + 3 + 5 + 5 + 1 + 5 + 1 + 1)} = \frac{27}{57} = 0,4737$	1, 5, 1, 5, 3, 3, 3, 3, 5, 3, 3, 5, 5, 3, 3, 3, 1, 1, 1	3, 3, 3, 5, 5, 1, 5, 1, 1	$(27/57) * 100\% = 47,37\%$



**Gambar 6.** Persentase Kecocokan Gejala Permasalahan Konstruksi dengan Metode Konstruksi Jalan di Atas Tanah Bermasalah Kedalaman 10 sampai dengan 20 Meter

Berdasarkan Gambar 6, metode konstruksi PVD dengan kombinasi vakum dan PHD mempunyai nilai kemiripan yang paling besar 94,74% dibandingkan dengan metode konstruksi lainnya.

Metode konstruksi PVD dengan kombinasi vakum dan PHD merupakan salah satu metode konstruksi yang memerlukan biaya tinggi untuk pelaksanaan pekerjaan, tetapi dapat menghindari kebutuhan akan biaya terhadap pemeliharaan pasca konstruksi yang cukup tinggi, dengan harapan proses konsolidasi terjadi pada saat pelaksanaan, dan sisa masa konsolidasi pasca konstruksi sangat kecil. Faktor dampak lingkungan metode konstruksi PVD dengan kombinasi vakum dan PHD mempunyai dampak terhadap lingkungan dikarenakan air pori di dalam tanah dipaksa untuk keluar lebih cepat, untuk menghindari hal tersebut, pada tahap perencanaan harus direncanakan mengenai dampak terhadap lingkungan dan bangunan disekitar yang akan terdampak dari metode konstruksi tersebut.

## Validasi Hasil Penelitian

Tanah mempunyai sifat yang sulit untuk diidentifikasi berbeda halnya dengan beton yang kekuatannya bisa diatur. Suatu lokasi yang berbeda pada umumnya mempunyai sifat tanah yang tergantung pada proses pembentukannya. Untuk mendapatkan informasi kondisi tanah (properties) dengan baik diperlukan penyelidikan geoteknik dan uji laboratorium yang benar, sehingga dapat memberikan hasil yang lebih representatif.

Permasalahan pada tanah bermasalah salah satunya adalah proses konsolidasi. Konsolidasi merupakan proses pengecilan volume pada tanah jenuh dikarenakan permeabilitas rendah akibat dari keluarnya air pori sehingga dapat menyebabkan penurunan permukaan tanah.

Teknologi PVD mempunyai fungsi untuk dapat mempercepat proses konsolidasi. Metode PVD preloading/prabeban merupakan salah satu teknologi untuk memperbaiki tanah bermasalah, namun pada proses pelaksanaannya sering dijumpai permasalahan kelongsoran tanah timbunan, dan memerlukan biaya yang cukup besar dikarenakan memerlukan tanah timbunan tidak sedikit, sedangkan di beberapa lokasi di Indonesia tidak semua lokasi mempunyai tanah timbunan yang memenuhi syarat.

Berdasarkan kemajuan teknologi, adanya pengembangan dari teknologi sebelumnya agar menghasilkan kinerja menjadi lebih baik. Metode teknologi PVD dengan kombinasi vakum dan PHD merupakan pengembangan dari teknologi PVD preloading, dimana vakum dapat menghisap air dan udara didalam tanah, dengan harapan penurunan akibat proses konsolidasi pada tanah dapat lebih cepat dibanding dengan teknologi PVD dengan preloading. PVD dengan vakum dapat mengurangi tanah timbunan, maka secara tidak langsung, tinggi timbunan dapat dikurangi, sehingga tekanan ke tanah dasar berkurang.

Pemilihan metode konstruksi pada tanah bermasalah selain mempertimbangkan aspek mutu, juga harus mempertimbangan aspek biaya dan waktu pada saat pelaksanaan. Umumnya pada tanah bermasalah menggunakan teknologi tiang untuk konstruksi jalan, tetapi penggunaan teknologi tersebut membutuhkan biaya yang cukup besar. Diperlukan alternatif yang lebih efisien dari segi biaya waktu, dan meminimalisirkan risiko terhadap dampak lingkungan.

Berdasarkan hasil analisis pemilihan metode konstruksi jalan di atas tanah bermasalah pada studi kasus Jalan Tol Pemalang – Batang menggunakan metode CBR didapatkan

teknologi metode PVD dengan kombinasi vakum dan PHD mempunyai nilai kemiripan yang paling tinggi dibandingkan dengan teknologi lainnya. Dengan sistem yang dibangun maka metode CBR dapat membuktikan bahwa sistem yang dibangun dapat membantu pengambil keputusan dalam mengambil keputusan secara efektif dengan mempertimbangkan aspek mutu, waktu, biaya dan dampak lingkungan.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan mengenai pemilihan metode konstruksi jalan di atas tanah bermasalah dengan analisis menggunakan sistem metode *Case Based Reasoning* (CBR), maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- 1) Dalam pengambilan keputusan metode CBR tidak dapat berdiri sendiri, tetapi harus didukung oleh data teknis lainnya. Metode CBR dapat menjadi *screening* awal alternatif metode konstruksi apa saja yang dapat digunakan dalam pemilihan metode konstruksi jalan di atas tanah bermasalah.
- 2) Metode *Case-Based Reasoning* (CBR) dapat diterapkan dalam melakukan identifikasi gejala permasalahan pemilihan metode konstruksi jalan di atas tanah bermasalah
- 3) Sistem yang menggunakan metode *Case-Based Reasoning* (CBR) dapat memberikan solusi yang paling tepat untuk pemilihan metode konstruksi jalan di atas tanah bermasalah
- 4) Hasil yang diberikan oleh sistem sesuai dengan pengecekan manual yang dilakukan
- 5) Metode *Case Based Reasoning* mampu diterapkan dalam sistem yang dibangun, terbukti dari hasil nilai kecocokan yang dihasilkan sistem sama dengan nilai kecocokan melalui proses penghitungan secara manual
- 6) Sistem yang dibuat dapat menampilkan perbandingan hasil perhitungan *similarity* dari nilai tertinggi ke paling rendah.
- 7) Kedalaman tanah bermasalah antara 10 sampai dengan 20 meter, didapatkan gejala kecocokan yang paling besar adalah metode konstruksi jalan dengan PVD yang dikombinasikan dengan vakum dan PHD. Dengan nilai kecocokan berdasarkan gejala atau permasalahan sebesar 97,74%. Metode konstruksi jalan dengan diatas tanah bermasalah dengan PVD yang dikombinasikan dengan vakum dan PHD berdasarkan analisis dinilai lebih efektif dan efisien
- 8) Untuk mendukung aplikasi sistem yang telah dibuat dengan metode CBR, diperlukan data yang sangat banyak (*big data*)
- 9) Aplikasi sistem yang dibuat dapat terus dikembangkan lebih lanjut, seiring kemajuan

teknologi, untuk itu harus adanya penambahan informasi dari para pakar lainnya agar dapat memberikan pemilihan metode konstruksi jalan di atas tanah bermasalah yang lebih efektif dan efisien dan basis kasus dari setiap variabel pada aplikasi dapat ditambahkan atau diubah jika memang diperlukan

## REFERENSI

- Aamodt, A., Plaza., E.** (1994). *Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches*. AI Communications. IOS Press. Vol. 7: 1, pp. 39-59. <https://www.iiia.csic.es/~enric/papers/AICom.pdf>
- Abdiansah** (2015). *Eksplorasi Framework Mycbr Untuk Membuat Aplikasi Berbasis Case-Based Reasoning*, Jur. Teknik Informatika, Fak. Ilmu Komputer, Universitas Sriwijaya, Palembang Laboratorium Riset Kecerdasan Buatan, [https://www.researchgate.net/publication/281287093\\_Eksplorasi\\_Framework\\_MyC\\_BR\\_untuk\\_Membuat\\_Aplikasi\\_Berbasis\\_Case-Based\\_Reasoning](https://www.researchgate.net/publication/281287093_Eksplorasi_Framework_MyC_BR_untuk_Membuat_Aplikasi_Berbasis_Case-Based_Reasoning)
- Arsyad Ardy., Samang Lawalenna., Yusmin Andi., Hamid Wahniar., Ibrahim Fadly** (2014). Studi Pengambilan Keputusan Akan Metode Perkuatan Timbunan Badan Jalan Di Atas Deposisi Tanah Lunak Dengan Menggunakan Pemodelan Elemen Hingga Dan Assessment Kegagalan Berbasis Teori Peluang. *Kolokium Jalan dan Jembatan 2014* <https://core.ac.uk/download/pdf/25495154.pdf>
- Darmawan Deni., Rahayu Puji Ayu.** (2016). *Case-Based Reasoning (CBR) dan Pengaruhnya Terhadap Peningkatan Kemampuan Pemecahan Masalah* (hal 33-42) Teknologi Pembelajaran PPs STKIP Garut, <https://jurnalkwangsan.kemdikbud.go.id/index.php/jurnalkwangsan/article/view/33>
- Darwis.** (2017). *Dasar-Dasar Teknik Perbaikan Tanah*, Penerbit : Pustaka AQ Nyutran MG II /14020 YogyakartaFB- Pustaka AQ, Imprint Penerbit YLJK2 Indonesia ISBN : 978-602.0938-48.6
- Huda-AI Nafisah., Suryolelono Basah Kabul** (2014). *Perilaku Tanah Dasar Fondasi Embankment dengan Perkuatan Geogrid dan Drainase Vertikal*, Universitas Syiah Kuala, Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil, ISSN 0853-2982, [file:///C:/Users/Kungfu/Downloads/2869-10813-1-SM%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Kungfu/Downloads/2869-10813-1-SM%20(1).pdf)
- Kimpraswil Pt T-10-2002-B.** (2002). *Panduan Geoteknik 4: Desain dan Konstruksi. Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah* (Kimpraswil)
- Mulyana Sri., Hartati Sri** (2009) *Tinjauan Singkat Perkembangan Case-Based Reasoning* hal D17-D24, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Gadjah Mada [http://repository.upnyk.ac.id/258/1/D-3\\_Survey\\_Jurnal\\_SeminarUPN-09\\_.pdf](http://repository.upnyk.ac.id/258/1/D-3_Survey_Jurnal_SeminarUPN-09_.pdf)
- Pal, S, K. Shiu, S, C.** (2004). "*Foundations of Soft Case-Based Reasoning*". Hoboken. New Jersey: John Willey & Sons, Inc. [http://cdn.preterhuman.net/texts/science\\_and\\_technology/artificial\\_intelligence/Foundations%20Of%20Soft%20Casebased%20Reasoning%20%20SANKAR%20K.%20PAL.pdf](http://cdn.preterhuman.net/texts/science_and_technology/artificial_intelligence/Foundations%20Of%20Soft%20Casebased%20Reasoning%20%20SANKAR%20K.%20PAL.pdf) [19 Februari 2020]
- Perdede Dani Erna, Dharma Muntina Eddy, A.w Firdaus Yanuar.** (2007). "*SHELL Sistem Pakar dengan Menggunakan Case Based Reasoning*". Teknik Informatika, Fakultas Teknik Informatika, Universitas Telkom, Bandung <https://repository.telkomuniversity.ac.id/home/catalog/id/93967/slug/shell-sistem-pakar-dengan-menggunakan-case-based-reasoning.html>
- Wipraja Dharma Budi Made I, Darwiyanto Eko, Bijaksana Arif Moch.** (2017). "*Perancangan Sistem Pendukung Keputusan untuk Menentukan Tujuan Wisata di Bandung Menggunakan Metode Case Based Reasoning*". Program Studi Teknik Informatika, Universitas Telkom, Bandung (hal 4607 – 4613)