

004

KONDISI GEOLOGI TEKNIK DAERAH JALUR JALAN CANGAKAN-SIDOLADJU KABUPATEN NGAWI PROPINSI JAWA TIMUR (Studi Kasus : Instabilitas Jalan dan Cara Mengatasinya)

*Geological Engineering Condition Along Cangakan - Sidoladju
Road, Ngawi District East Java Province
(Case Study : Road Instability and Their Treatment)*

Harly Hamad¹, Sukandarrumidi² dan Dwikorita Karnawati²

Program Studi Teknik Geologi
Program Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada

ABSTRACT

This research is purposed to know the condition of geological engineering along Cangakan - Sidoladju road and to study the character of expansive clay as a subgrade of the road that causes road instability.

Based on field observation and laboratory work, there are 3 geomorphological units in research area, e.g. a fluvial plain unit, aluvial plain unit, and undulating slope denudational unit. The stratigraphic of the area consists of 6 units, namely marl, limestone, sandstone, breccia, gravel - sand and clay unit. The geological structure which is found, i.e. Gandong dextral strike slip fault. The geological engineering unit of along the road Cangakan - Sidoladju consists of 3 units : black grey/brow clay unit, grey clay unit, dan clay - silt unit.

The damaged road was generally resulted from the expansive subgrade of body road in the form of grey-black clay by high plasticity, which has the number of plastic limit (PL) = 60-100, water content (34 - 48)%, shrinkage limit (SL) 10 - 16, and clay fraction about (27 - 50)%. The changes of water content which is influenced by rainfall and land used as rice field needs much water, and also the channel of road drainage that did not work properly causes road damage, i.e. crack along the road, undulating of the upper surface, sagging and also sliding in the shoulder of the road.

Key words : *Geological engineering, Instability, Clay.*

¹ Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu

² Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

PENGANTAR

Pada ruas jalan Cangkanan - Sidoladju di daerah Kabupaten Ngawi, Propinsi Jawa Timur, terjadi kerusakan jalan berupa retak memanjang pada bahu jalan dan pada beberapa tempat, telah berkembang menjadi longsor.

Kerusakan jalan raya disebabkan oleh tanah dasar yang memiliki sifat ekspansif, yang terindikasi dari tingginya nilai plastisitas dan adanya mineral montmorillonit. Keberadaan tanah dasar yang ekspansif itu dikontrol oleh penyebaran litologi batulempung dan endapan aluvial di daerah ini. Di samping itu, pemanfaatan lahan menjadi persawahan dan curah hujan di daerah ini menjadi faktor pemicu terjadinya sifat ekspansif pada tanah dasar.

Penelitian kondisi geologi teknik pada jalur jalan ini sangat penting dalam penanganan dan penanggulangan kerusakan itu, karena akan memberikan informasi tentang keberadaan dan karakteristik tanah yang bersifat ekspansif tadi. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan andil dalam penanganan dan penanggulangan kerusakan jalan di daerah penelitian.

CARA PENELITIAN

Peralatan penelitian meliputi : peta topografi, palu, kompas, kantong sampel, tabung UDS (*Undisturb Sample*), meteran, kamera, bor tangan, lup, larutan HCL (0,1) n, alat gambar dan tulis, kontainer (cawan), timbangan, oven, *casagrande apparatus*, ayakan dan tabung hidrometer. Pengujian laboratorium meliputi analisis hidrometer, uji konsolidasi, uji kuat geser langsung.

Data yang dikumpulkan meliputi : data geomorfologi, data geologi, karakter keteknikan tanah, tata guna lahan dan data sekunder yang berkaitan dengan penelitian.

Pengkajian terhadap data geomorfologi dilakukan secara kualitatif untuk mengetahui kemiringan lereng serta menghasilkan peta geomorfologi. Kondisi geologi teknik atas dasar analisis lapangan tentang sebaran satuan batuan dan sifat mekanik tanah menghasilkan peta geologi teknik. Pengujian laboratorium akan menghasilkan :

a. Distribusi ukuran butir dalam persen berat (BS 1377 No 7B atau ASTM D421-85), batas cair (BS 1377 no.2B atau ASTM D4318 - 93) dan batas plastis (BS1377 no 3 atau D 4318 -93), untuk penentuan klasifikasi tanah.

b. Dari uji konsolidasi dan kuat geser langsung diperoleh nilai koefisien konsolidasi, angka pori, derajat permeabilitas, kohesi dan sudut geser dalam, yang mencerminkan karakter tanah dasar.

Evaluasi terhadap hasil-hasil penelitian meliputi data geomorfologi, data geologi teknik, dan sifat keteknikan yang digunakan dalam menyusun rekomendasi untuk memperbaiki kerusakan jalan, dalam hal ini ditekankan pada stabilisasi tanah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Geomorfologi

Jalur jalan Cangakan - Sidoladju tersusun atas satuan dataran fluvial yang merupakan daerah yang relatif datar, luas $\pm 8\%$, ketinggian 25 - 37,5 m dari permukaan laut, kemiringan lereng 0 - 1°, proses yang terjadi adalah proses fluvial yang dicirikan oleh terbentuknya tanggul-tanggul alam daerah sungai. Penyusun utama tanah adalah kerikil hingga lempung hasil pengendapan material sungai Madiun dan anak sungainya. Lembah sungai berbentuk U lebar, dan terdapat pula satuan dataran aluvial yang merupakan daerah dataran, dengan luas $\pm 72\%$, ketinggian berkisar 37,5 - 62,5 m dari muka laut, kemiringan lereng 0 - 1°. Proses yang terjadi adalah sedimentasi yang dicirikan oleh endapan aluvial hasil aktifitas sungai, lembah sungai yang berbentuk huruf U dan material penyusunnya terdiri atas : lempung - pasir halus, tufa, breksi, batupasir, batulempung, dan batulanau.

Satuan lereng bergelombang denudasional adalah satuan di daerah penelitian yang tidak dilewati jalur jalan dan merupakan daerah dengan morfologi bergelombang dengan luas $\pm 20\%$ yang pada peta dicirikan oleh kontur yang agak rapat, relief sedang serta topografi menengah dengan ketinggian berkisar antara 62,5 - 125 m dari muka laut dengan kemiringan lereng 3° - 15°. Dari kenampakan lapangan satuan ini dicirikan oleh puncak bukit yang tumpul, tebing lereng relatif landai, lembah berbentuk huruf V tumpul, gradien sungai sedang dengan arus agak deras, erosi kearah vertikal lebih berkembang dibanding erosi lateral. Perbedaan antara lembah dengan puncak bukit tidak begitu besar dengan kemiringan relatif landai. Sungai kecil seperti sungai Pondok, sungai Patjing terdapat pada satuan ini. Litologi penyusun satuan ini berupa napal, batupasir, batupasir tufaan, batugamping, batulempung dan tufa.

Sungai-sungai di daerah penelitian pada umumnya merupakan sungai *intermittent*, yaitu sungai yang debit airnya menyusut di musim kemarau (Thornbury, 1969). Pada satuan lereng bergelombang denudasional sungai - sungai mengalir kearah selatan. Pada satuan dataran aluvial, anak-anak sungai mengalir kearah selatan, sedangkan sungai utama, yakni sungai Madiun mengalir kearah Utara yang ditempati oleh satuan dataran fluvial.

Jika dikaitkan dengan kemiringan perlapisan batuan dan struktur geologi yang ada, maka sungai-sungai di daerah penelitian dapat dibedakan menjadi sungai konsekuen. Berdasarkan pola aliran sungai menurut Howard, pola aliran sungai di daerah penelitian dapat dikelompokkan menjadi pola aliran subparalel.

2. Stratigrafi

Secara stratigrafis daerah penelitian terbagi menjadi 6 satuan batuan, berturut-turut dari tua ke muda adalah :

1. Satuan napal yang terdiri atas napal masif, napal sisipan batupasir tufaan, dan napal berlapis. Luas penyebaran sekitar 1,2 % dari daerah penelitian. Pola penyebaran dikontrol oleh perlapisan batuan dan sesar. Posisi stratigrafi dengan satuan batugamping di atasnya adalah selaras.

2. Satuan batugamping yang tersusun atas jenis litologi batugamping klastik, batugamping fragmental, dan di beberapa tempat terdapat sisipan napal. Penyebaran mencapai luas 9 % luas daerah penelitian. Posisi stratigrafi berhubungan tidak selaras dengan satuan batupasir.

3. Satuan batupasir tersusun oleh perulangan litologi batupasir, dengan sisipan batulempung, batulempung karbonatan, dan tufa dan penyebarannya 24 % luas daerah penelitian. Posisi stratigrafi berhubungan tak selaras dengan satuan di bawahnya, karena adanya kemiringan yang mencolok. Di atas satuan batupasir terendapkan secara tak selaras satuan aluvial. Jalur jalan Cangakan - Sidoladju sebagian berada pada satuan ini.

4. Satuan breksi tersusun atas litologi breksi dengan sisipan batupasir, batulempung, dan tufa yang menempati 3,8 % luas daerah penelitian. Posisi stratigrafi mempunyai hubungan yang selaras dengan satuan dibawahnya, yakni satuan batupasir dan tak selaras dengan satuan lempung di atasnya.

5. Satuan kerikil- pasir, merupakan material endapan sungai berukuran kerikil-pasir dengan luas sebaran 8 % dari luas daerah

penelitian, berhubungan tidak selaras dengan satuan batupasir dan menjari dengan satuan lempung.

6. Satuan lempung yang merupakan endapan aluvial tersusun atas endapan lepas berukuran lempung yang merupakan material-material hasil rombakan batuan yang lebih tua dan mencakup 25% luas daerah penelitian.

3. Struktur Geologi

Berdasarkan hasil pengamatan dan analisis lapangan, terdapat sesar geser yang berkembang di daerah penelitian, yaitu sesar geser Gandong. Sesar itu mempunyai arah NW - SE dan merupakan *dextral strike slip fault*. Sesar geser ini dicirikan oleh kelurusan topografi, seperti kelurusan sungai, perubahan jurus dan kemiringan pada daerah yang berdekatan dengan jalur sesar yang jika direkonstruksi pada peta geologi akan menunjukkan kesan seretan sesar, adanya pergeseran litologi dan adanya zona hancuran sepanjang jalur sesar.

4. Hidrogeologi

Aliran permukaan terpisah menjadi 3 bagian oleh sungai Bengawan Solo dan sungai Madiun. Sungai - sungai kecil yang bermuara pada sungai Bengawan Solo umumnya mengalir menuruni lereng gunungapi Lawu dan sebagian besar sifat alirannya adalah *intermitten*. Sungai - sungai yang bermata air di Pegunungan Kendeng bermuara pada sungai Madiun, alirannya bersifat *intermitten*. Kedua sungai ini bertemu dibagian Utara daerah penelitian dan mengalir kearah Utara memotong pegunungan Kendeng.

Dari beberapa contoh pemboran yang dilakukan oleh P2AT Bagian Proyek Madiun di kecamatan Paron diketahui bahwa sistem akuifer bertipe akuifer tertekan, dengan material penyusun dari pasir, kerikil, dan beberapa mikrobreksi. Ketebalan akuifer antara 50 - 86 meter, sedangkan tipe akuifer yang ada di pegunungan Kendeng juga termasuk tipe akuifer tertekan, tetapi mempunyai ketebalan yang lebih kecil bila dibandingkan dengan akuifer di kecamatan Paron. Pergerakan air tanah dalam mengikuti kondisi morfologinya, yaitu untuk fisiografi gunungapi Lawu bergerak secara radial dari kerucut gunungapi kearah sungai Bengawan Solo dan sungai Madiun, sedangkan dari pegunungan Kendeng, air tanah mengikuti kemiringan perlapisan batuan menuju sungai Bengawan Solo.

Daerah pegunungan Kendeng umumnya tersusun atas sedimen Tersier yang mempunyai nilai permeabilitas rendah,



sehingga tergolong zona imbuhan yang kurang baik, kecuali pada daerah batugamping yang mempunyai banyak diaklas, sehingga air mudah masuk melalui celah-celah itu ke dalam tanah.

Mata air dijumpai pada pegunungan Kendeng yang merupakan kaki antiklin, dan air dari daerah imbuhan masuk melalui celah batugamping terus ke dalam tanah dan muncul sebagai mata air.

Berdasarkan data curah hujan bulan Oktober 1999 - September 2000, curah hujan bulanan tertinggi terjadi pada bulan November 1999 dan terendah terjadi pada bulan Juli 2000 dan rata-rata hujan dalam tahun itu adalah 373 mm/bulan.

Pengaruh perubahan cuaca dari musim kemarau dan musim hujan ini, mengakibatkan berubahnya kondisi tanah lempung ekspansif pada jalur jalan, yang memicu terjadinya proses kembang-susut pada tanah itu sehingga dapat mengakibatkan kerusakan jalan. Hal ini ditunjang oleh saluran samping jalan yang tidak kedap air.

5. Tataguna lahan

Tipe penggunaan lahan di daerah penelitian adalah hutan, yang berupa hutan jati dan hutan produksi lainnya, seperti karet, pinus dan mahoni. Tegalan, umumnya di dekat lembah sungai dan cekungan antara bukit. Variasi tanaman adalah kacang tanah, ketela, dan kedelai. Persawahan yang paling luas pada daerah dataran, menunjukkan bahwa umumnya mata pencaharian penduduk daerah ini adalah sebagai petani dan pemukiman penduduk hampir tersebar merata di daerah ini. Sebaran kepadatan penduduk berada pada dataran aluvial terutama pada tanggul alam sungai, daerah lereng gunungapi umumnya membentuk kelompok dekat dengan sumber mata air, dan di daerah pegunungan pada sekitar lembah sungai atau ledok antara perbukitan.

Penggunaan lahan berupa persawahan yang memerlukan air untuk tanaman, khususnya untuk sawah yang terdapat di sekitar jalan berpengaruh terhadap perubahan kondisi tanah jalan yang dapat mengakibatkan jalan itu berpotensi mengalami kerusakan.

6. Satuan geologi teknik jalur jalan Cangakan - Sidoladju

Pembagian satuan geologi teknik atas dasar karakter keteknikan tanah, maka tanah di daerah penelitian terbagi atas :

1. Satuan lempung abu-abu hitam/coklat yang berukuran lempung, berwarna abu-abu hitam atau coklat, lembek. Kadar air (34 -

47) %, batas cair 76 - 106, batas plastis 30 - 38, indeks plastisitas 43 - 76, fraksi lempung (36 - 48)%, dan batas susut 10 - 16.

2. Satuan lempung abu-abu/kelabu yang berukuran lempung, berwarna abu-abu atau kelabu, lembek. Kadar air (36 - 48)%, batas cair 72 - 100, batas plastis 30 - 37, indeks plastisitas 35 - 62, fraksi lempung (27 - 50)%, dan batas susut 13 - 16.

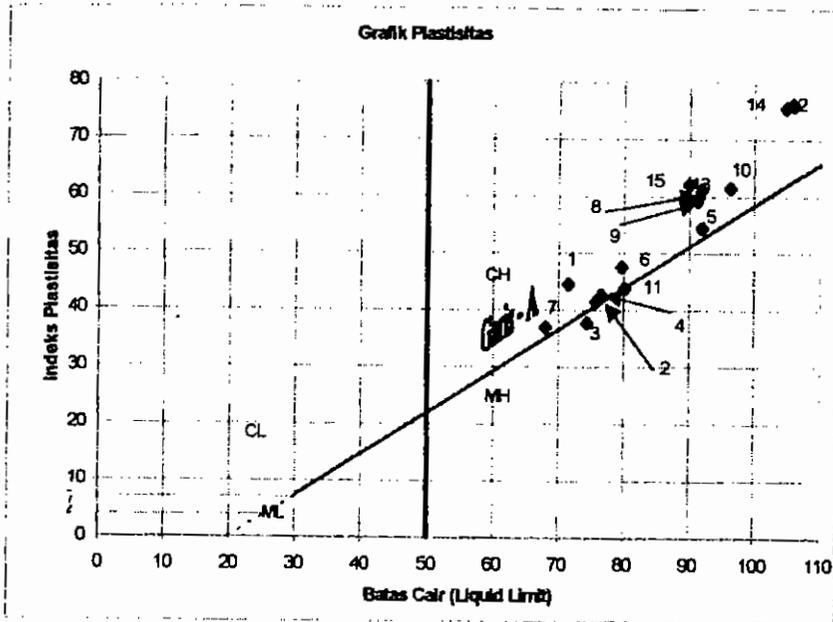
3. Satuan lanau lempungan yang berukuran butir lanau lempungan, lanau berpasir halus, atau lempung medium (peneliti terdahulu), berwarna coklat, kekuningan dan abu-abu, keras - agak keras dan lepas-lepas. Kadar air (31 - 35) %, batas cair 68 - 71, batas plastis 27 - 31, indeks plastisitas 37 - 44, fraksi lempung (6 - 13) %, dan batas susut 7 - 10.

7. Komposisi mineral, klasifikasi dan sifat fisik lempung

Berdasarkan hasil penelitian x-ray difraksi untuk mengetahui komposisi mineral dari material lempung, maka diperoleh komposisi mineral sebagai berikut : kuarsa, montmorillonit, kaolinit, kalsit, dan anortit. Adanya kandungan mineral montmorillonit dalam material lempung, maka material lempung itu dapat dikategorikan sebagai lempung ekspansif yang mempunyai potensi mengembang dan mengkerut jika terjadi perubahan kandungan air.

Tabel 1. Hasil pemeriksaan tanah

Nomor Contoh	Macam Pemeriksaan						Aktifitas Skemton (Bardet, 1997)
	Kadar Air (%)	Batas Cair (%)	Batas Plastis (%)	Indeks Plastisitas (%)	Fraksi Lempung (%)	Batas Susut	
HR 01	30,89	71,48	27	44,48	13,65	9,88	3,257432
HR 02	48,18	75,74	34,39	41,35	31,96	16,25	1,293662
HR 03	36,24	74,39	36,7	37,69	28,44	9,77	1,325402
HR 04	37,52	76,59	34,06	42,53	37,98	14,95	1,119837
HR 05	34,29	92,04	37,65	54,39	35,53	10,47	1,530972
HR 06	37,02	79,71	32,22	47,49	49,75	12,8	0,954633
HR 07	35,09	67,99	31,14	36,85	5,86	6,79	6,286572
HR 08	41,58	91,4	31,52	59,88	34,27	16,05	1,747376
HR 09	45,88	91,29	32,16	59,13	47,83	16,06	1,236356
HR 10	44,24	96,34	34,87	61,47	45,44	13,5	1,352644
BS 01/178,038	46,37	72	37,25	34,75	27	-	1,287037
BS 02/175,2	48,5	81	29,97	51,53	40	-	1,28825
BS 03/172,156	46,51	92,95	30,97	61,98	27,5	36,35	2,253818
BS 04/171,97	45,01	100	31,85	65,4	18	-	3,633333
BS 05/166,92	45,5	80,2	36,51	43,69	39,5	14,96	1,106076
BS 06/164,95	47,31	105,9	29,93	75,97	17	16,11	4,468824



Gambar 1. Grafik plastisitas tanah daerah Ngawi berdasarkan hasil pemeriksaan tanah

Berdasarkan data parameter tanah hasil pengujian laboratorium (tabel 1), dan menggunakan klasifikasi sistem USCS dengan memakai grafik plastisitas (gambar 1), yaitu hubungan antara indeks bias dengan batas cair. Dari grafik itu diketahui bahwa jenis tanah di daerah ini tergolong lempung anorganik berplastisitas tinggi (CH). Contoh tanah no. 3 dan 11, memperlihatkan bahwa tanah itu termasuk dalam lanau anorganik berplastisitas tinggi (MH).

Klasifikasi Seed menunjukkan tanah termasuk dalam klasifikasi potensi tingkat pengembangan tinggi-sangat tinggi sedangkan sebagian kecil tanah memiliki tingkat potensi pengembangan sedang. Berdasarkan klasifikasi Gillot, data tanah menunjukkan klasifikasi potensi tingkat pengembangan sangat tinggi, sedangkan sebagian lainnya memiliki potensi pengembangan rendah-sedang.

Hasil sondir peneliti terdahulu menunjukkan nilai sondir di atas tanah keras dan kedalaman lebih besar dari 3 m pada umumnya berkisar antara 20 - 30 kg/cm². Dengan kuat geser sebesar itu, tanah dapat diklasifikasikan sebagai tanah keras (*stiff soil*). Untuk daerah-daerah permukaan, nilai sondir pada umumnya rendah antara 5

sampai 10 kg/cm² (kuat geser 25 - 50 kPa) yang berarti masuk dalam klasifikasi lunak sampai kaku (*firm*).

Dari hasil uji kuat geser langsung nilai C yang diperoleh sebesar 0,0139 Kg/cm² dengan $\phi = 0,3^\circ$. Hasil pengujian lainnya, yakni uji konsolidasi diperoleh nilai tekanan prakonsolidasi sebesar 0,119 Kg/cm². Tanah yang memiliki nilai tekanan prakonsolidasi tergolong tanah overkonsolidasi (Wesley, 1977). Besarnya penurunan konsolidasi (S_c) yaitu = 0,01786 m.

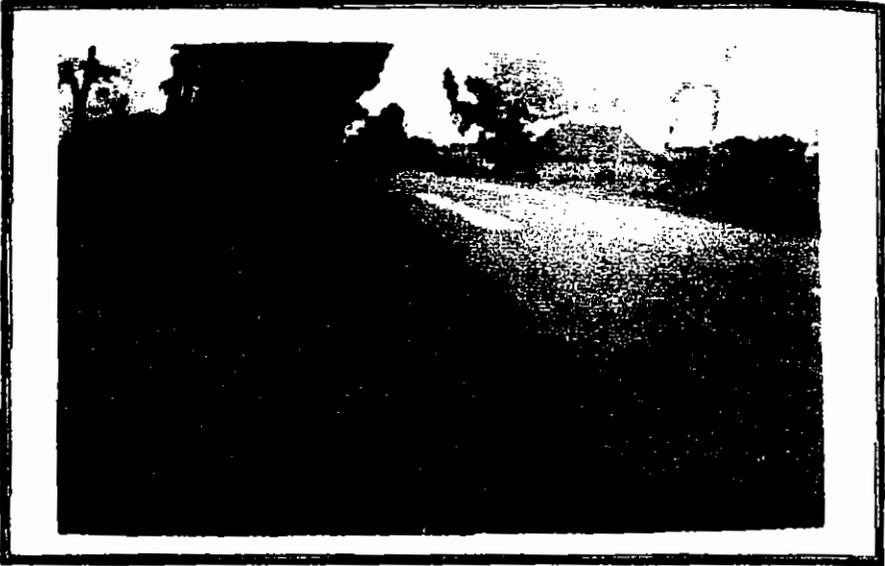
Dari hasil observasi di lapangan, diperoleh data bahwa pada daerah-daerah yang diidentifikasi sebagai tidak stabil dan terjadi kerusakan pada jalan serta kondisi lingkungan sekitar jalan yang mempengaruhi adalah :

1. Pada Km 183 hingga Km 185, Km 176 - 178 , Km170,4, dan Km 166 - 167 terjadi keretakan memanjang pada bahu jalan bagian perkerasan jalan dengan bahu jalan berupa perkerasan aspal (AC), lihat gambar 2. Panjang retakan bervariasi 0,5 m hingga 2 m. Lebar retakan 1-3 cm. Kerusakan diakibatkan oleh hujan yang turun di tempat datar memungkinkan meresapnya air hujan ke dalam tanah sekitar jalan dan badan jalan. Hal ini mengakibatkan terjadinya penjumlahan air pada lapisan fondasi badan jalan sehingga lapisan fondasi itu berkurang kepadatannya dan mengurangi daya tahan lapisan permukaan jalan sehingga terjadi retakan memanjang pada bahu jalan.

2. Pada Km 179,1, Km 173,2 dan Km 165 - Km 166, bahu jalan dari agregat B (standar) daerah pelebaran perkerasan jalan, mengalami retak-retak dan bergelombang pada daerah tepi jalan, lihat gambar 3. Keretakan dan bergelombang ini diakibatkan oleh perubahan kadar air pada jenis tanah yang ekspansif. Perubahan kadar air ini dipengaruhi oleh fluktuasi muka air tanah yang terjadi akibat pergantian musim.

3. Pada lokasi sekitar terminal Kabupaten Ngawi, jalan ambles (lihat gambar 4) karena kondisi tanah lapisan fondasi jalan tidak stabil oleh hujan dan beban kendaraan yang melintas.

4. Longsoran pada Km 172,8 (gambar 5) dan 169,1 diawali oleh retak memanjang pada bahu jalan, Retak ini kemudian terisi air hujan pada musim hujan, yang mengakibatkan air dapat masuk ke dalam tanah dan mengurangi kuat geser tanah dan mengakibatkan beban vertikal kendaraan tidak dapat ditahan oleh bahu jalan sehingga terjadi tekanan aktif secara lateral dan adanya gerusan air pada dinding penahan saluran samping jalan.



Gambar 2. Foto kerusakan jalan berupa retak memanjang (Km 176,4) akibat badan jalan (lapisan fondasi) jenuh air dan mengurangi daya tahan lapisan permukaan terhadap beban kendaraan



Gambar 3. Foto kerusakan jalan pada bahu jalan perkerasan agregat B, berupa retakan dan bergelombang, bagian yang rusak pada bahu jalan Km 179+200



Gambar 4. Foto kerusakan jalan berupa amblesnya permukaan jalan di depan terminal angkutan darat Kabupaten Ngawi



Gambar 5. Foto lokasi jalan di KM 172 + 800 yang mengalami longsor

Upaya pencegahan dan penanggulangan

1. Secara umum perbaikan kerusakan jalan dilakukan dengan memperbaiki bagian jalan yang rusak dengan mengganti lapisan aspal jalan yang mengalami keretakan agar tidak berkembang menjadi lebih parah, seperti terjadinya amblesan.

2. *Monitoring* kerusakan jalan perlu dilakukan terus menerus mengingat jalan didaerah ini berpotensi mengalami kerusakan karena berada pada tanah lempung ekspansif.

3. Perbaikan *drainage* atau saluran samping jalan harus segera dilakukan, karena saluran samping ini memegang peranan penting dalam mengatur aliran air pada daerah disekitar badan jalan.

KESIMPULAN

1. Pemanfaatan lahan di sekitar jalur jalan berupa persawahan yang memerlukan air juga berperan dalam proses terjadinya kerusakan. Hal ini ditunjang juga oleh tidak adanya atau rusaknya saluran samping jalan pada jalur jalan. Keadaan jalan yang relatif stabil umumnya dekat dengan pemukiman dan saluran samping jalan cukup baik atau jalan yang terdapat didaerah persawahan dan telah menggunakan konstruksi geomembran, meskipun saluran samping jalan tidak ada atau tidak kedap air.

2. Upaya penanggulangan kerusakan jalan telah dilakukan dengan : mengadakan *monitoring* kerusakan jalan dan memperbaiki kerusakan jalan dengan mengganti material jalan yang rusak dengan yang baru dan sebagian jalur jalan telah dipasang konstruksi geomembran. Usaha untuk mengurangi instabilitas jalan adalah perbaikan saluran samping jalan (*drainage*). Saluran *drainage* sepanjang jalur jalan hendaknya merupakan saluran yang kedap air sehingga aliran air sekitar badan jalan tidak masuk ke badan jalan yang dapat mengakibatkan perubahan kondisi tanah fondasi jalan. Saluran *drainage* ini pada sebagian jalur jalan yang meliwati daerah persawahan dibuat secara khusus sehingga air irigasi untuk persawahan tidak meluap dan masuk ke badan jalan serta arus air tidak cukup kuat untuk mengikis dinding saluran yang membatasi badan jalan dengan saluran.

DAFTAR PUSTAKA

- Chen, F. H., 1975, *Foundation on Expansive Soils*, Elsevier Scientific Publishing Company, New York.
- Gillott, J.E., 1968, *Clay in Engineering Geology*, Elsevier Publishing Company, Amsterdam.
- Thornbury, W.D., 1969, *Principles of Geomorfology*, second edition, John Wiley & Sons., New York.
- Wesley L. D., 1977, *Mekanika Tanah*, Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta Selatan.