

## Studi Kerusakan Jalan Piyungan – Wonosari dari Aspek Geoteknik

Agus Darmawan Adi

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM  
Jl. Grafika No.2 Yogyakarta 55281

### Abstract

*Some road sections in Yogyakarta suffer from frequent damage following the rainy season. Repairs have been conducted regularly and various efforts to improve the road condition have also been done, however, this problem always comes every year. Soil condition below the road pavement is suspected to give a major contribution on road damage in this region.*

*A series of investigation was carried out on the soil beneath the road of Piyungan-Wonosari section. Field observation on road damage condition was conducted and it was followed by in situ tests, consisting of hand boring, sampling and cone penetration test. Properties of soil were obtained from several laboratory tests. To simulate effect of water changes on soil strength, a series of shear strength tests were performed on the samples made of soil with various water contents.*

*The results indicate that the road damages in this region are resulted by several reasons. At road section built on slope, the damage was mainly caused by downward movement of the fill which was not massive enough standing on the original slope. Soil softening due to water changes is identified to give a major contribution on this problem, especially for road constructed on clays. Expansive soil was also found at some road section. This soil type produces significant amount of pressure and volume changes which lead to movement of the adjacent structures.*

*Keywords : road-damage, soil, strength, water, soften.*

### 1. Pendahuluan

Daerah Istimewa Yogyakarta telah dikenal sebagai salah satu tempat tujuan wisata untuk pendidikan, budaya, panorama maupun hiburan. Dengan demikian, wisatawan ke daerah ini meliputi berbagai kalangan dan umur, dari dalam dan luar negeri. Selama di DIY, wisatawan melakukan perjalanan dari satu obyek wisata ke obyek wisata yang lain. Untuk menunjang kenyamanan perjalanan wisatawan diperlukan prasarana yang memadai, diantaranya yang paling penting adalah ketersediaan jalan yang memadai dan cukup baik. Permasalahan yang ada, di beberapa bagian dari ruas jalan di DIY sering mengalami kerusakan pada musim hujan walaupun ruas jalan tersebut baru diperbaiki.

Perbaikan jalan sering tidak bisa langsung dilakukan karena berbagai kendala terutama menyangkut masalah alokasi dana perbaikan. Kondisi jalan yang rusak sering bertahan pada waktu yang cukup lama sehingga mengganggu kenyamanan pengguna jalan.

Dengan permasalahan tersebut diperlukan penelitian penyebab kerusakan jalan terkait dengan kondisi tanah dasar dan perubahannya akibat pengaruh air/hujan.

Daerah penelitian yang dipilih kali ini adalah ruas jalan antara Piyungan-Wonosari DIY. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi masukan untuk perancangan konstruksi jalan dan secara tidak langsung membantu perencanaan anggaran pembangunan serta pemeliharaan.



## 2. Fundamental

Penelitian kerusakan jalan selama ini lebih banyak dilakukan dengan meneliti lapisan perkerasannya, diantaranya oleh Collop dan Cebon (1995). Di negara tropis seperti di negara ini, air telah dicurigai sebagai pemegang peran penting pada perubahan sifat-sifat tanah terutama pada tanah berbutir halus dan sekaligus sebagai salah satu penyebab ketidak-stabilan berbagai bangunan atau lahan. Di Indonesia, bagian terbesar air berasal dari hujan yang biasanya terjadi selama musim hujan, sekitar setengah tahun dengan setengah tahun berikutnya musim kemarau. Banyak kerusakan yang terjadi selama musim hujan akibat pengaruh air pada prasarana fisik maupun lingkungan alam.

Lempung mempunyai sifat menyerap air bebas dan cenderung mengembang. Kemampuan menyerap air yang tinggi dari lempung, mengakibatkan lempung menjadi lunak dan berubah menjadi plastis atau bahkan cair. Lempung dengan kadar yang tinggi akan mempunyai kuat geser yang rendah, sebagaimana dilaporkan oleh Brand dan Brenner (1981) bahwa banyak lokasi di berbagai negara mempunyai lempung lunak dengan kuat geser *undrained* antara 0 – 30 kN/m<sup>2</sup>. Kondisi tanah akan semakin buruk jika tanah mempunyai sensitivitas dan batas cair tinggi.

Banyak penelitian pada tanah lempung residu yang mengalami ketidak-stabilan atau longsor akibat pengaruh air diantaranya Karnawati (1996). Hujan disimpulkan menjadi pemicu tanah longsor di Jawa Barat.

Ruas jalan antara Piyungan-Wonosari DIY melintasi daerah yang kondisi tanahnya cukup bervariasi. Tanah sebagai dasar jalan (*subgrade*) dituntut untuk mempunyai kekuatan yang memadai untuk mendukung beban di segala kondisi. Kondisi tanah dasar yang ada dan perubahan kekuatan akibat pengaruh air merupakan penekanan pada penelitian ini.

Pengaruh air terhadap kekuatan tanah akan menjadi dominan jika tanah berupa lempung. Parameter utama kekuatan pada lempung jenuh air dinyatakan sebagai kohesi tak terdrainasi ( $c_u$ ).

Untuk mendapatkan nilai  $c_u$  pada tanah lempung jenuh air sering digunakan uji tekan bebas yang menghasilkan nilai kuat tekan bebas ( $q_u$ ). Nilai  $c_u$  merupakan setengah dari nilai  $q_u$ . Dalam penelitian ini, kekuatan tanah akibat pengaruh kadar air dievaluasi berdasarkan nilai kuat tekan bebas dari sampel yang diuji.

## 3. Metodologi

### 1. Observasi lapangan

Untuk mendapatkan data kerusakan jalan di daerah penelitian, observasi lapangan (*walk over*) dilakukan disepanjang ruas jalan yang mengalami kerusakan. Observasi lapangan dilakukan pada akhir musim kemarau (Oktober 2003).

### 2. Uji lapangan dan pengambilan sampel tanah

Untuk mendapatkan data tanah dasar jalan di daerah penelitian, dilakukan pengujian lapangan yang terdiri atas pemboran tangan, uji sondir/SPT dan pengambilan sampel tanah untuk diuji di laboratorium.

### 3. Uji laboratorium terhadap sampel tanah

Sampel tanah dasar badan jalan diuji di laboratorium untuk mendapatkan sifat-sifat umum/klasifikasi, sifat mekanis tanah dan mineralogi lempung.

### 4. Uji pengaruh air terhadap kekuatan tanah

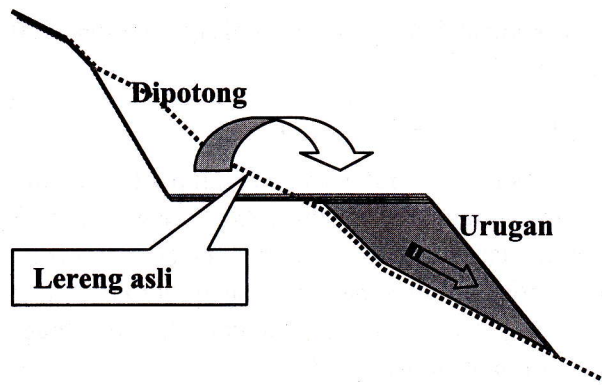
Serangkaian pengujian kuat tekan bebas tanah dilakukan terhadap sampel tanah yang kandungan airnya divariasikan. Penelitian ini dilakukan untuk mendapat gambaran pengaruh air terhadap kekuatan tanah. Pengujian dilakukan terhadap sampel tanah dari Km. 28,8 dan Km. 33.

## 4. Hasil Penelitian

### 1. Observasi kerusakan jalan

Berdasarkan observasi lapangan, kondisi kerusakan jalan sepanjang daerah penelitian dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis yang dipengaruhi oleh kondisi topografi, jenis tanah atau kombinasi keduanya.





Gambar 1. Pembuatan jalan di lereng

Tipe kerusakan pertama diamati di ruas jalan sekitar Km 15 dan Km 16. Di daerah ini, jalan dibangun di lereng yang cukup terjal dan menurut informasi, sebagian badan jalan dibuat di atas tanah asli (keprasan lereng) dan sebagian dibuat di atas timbunan hasil keprasan yang diurugkan ke sisi lereng di bawahnya (Gambar 1). Kerusakan jalan ditandai dengan adanya retakan memanjang searah as jalan, diikuti penurunan ke arah luar lereng.

Tipe kerusakan kedua diamati di daerah yang relatif datar dan jalan dibangun di atas timbunan yang tidak terlalu tebal. Kerusakan jalan ditandai dengan beberapa retakan pada perkerasan dan gejala gerakan tanah di bawah badan jalan secara lateral sehingga jalan bergelombang. Gerakan mengakibatkan desakan tanah ke dinding penahan di kanan-kiri badan jalan. Tipe kerusakan ini dijumpai di sekitar Km 33. Secara umum di daerah ini tanah asli bagian atas berupa lempung kehitaman yang pada saat penelitian (akhir musim kemarau) tanah permukaan kering dan banyak rekahan yang cukup lebar.

Tipe kerusakan ketiga diamati pada daerah yang kemiringan lahan tidak terlalu terjal dan badan jalan sebagian besar dibuat di atas tanah asli (setempat). Kerusakan berupa retakan-retakan perkerasan jalan yang umumnya searah as jalan, diikuti dengan gerakan lateral tanah mendorong dinding penahan tanah di sisi badan jalan dan kondisi jalan sedikit bergelombang. Daerah yang mengalami kerusakan tipe ini tercatat di daerah sekitar Km. 28,8.

Berdasarkan hasil observasi lapangan di atas, ditetapkan bahwa penelitian lebih dikonsentrasikan pada daerah-daerah tersebut.

## 2. Uji lapangan

Dari hasil uji lapangan secara umum didapatkan data kondisi tanah di lokasi penelitian sebagai berikut.

Di sekitar Km 15 sisi lereng atas, lapisan tanah bagian atas berupa lempung pasir hasil pelapukan batuan dengan tebal sekitar 2 meter yang selanjutnya disusul di bawahnya lapisan batuan yang keras. Di sisi lereng bawah, tanah dasar jalan berupa campuran batu, kerikil, pasir dan sebagian kecil lempung/lanau. Tanah ini diperkirakan merupakan urugan yang didatangkan dari tempat lain.

Di sekitar Km 16, kondisi lapisan tanah mirip dengan di Km 15. Di sisi lereng atas, lapisan tanah berupa lapukan batuan yang berupa lanau atau lempung berpasir dengan kondisi cukup padat dengan ketebalan sekitar 2 meter, disusul di bawahnya lapisan batuan yang cukup kompak dengan nilai konus sondir ( $q_c$ ) tercatat lebih dari 200 kg/cm<sup>2</sup>. Di sisi lereng bawah, tanah tersusun dari lanau-lempung berpasir dan berbatu yang agak padat dengan ketebalan sekitar 3.50 meter, dilanjutkan di bawahnya lapisan batuan (cadas) berwarna keputihan yang cukup padat/keras dengan  $q_c$  lebih dari 200 kg/cm<sup>2</sup>.

Di sisi lereng atas disekitar daerah Km. 28,8, kondisi tanah bagian atas berupa lanau pasir tipis, disusul dengan lapisan cadas lanau pasir yang keras sehingga uji sondir tak dapat dilakukan. Di bahu jalan sisi lereng bawah, lapisan atas terdiri dari lempung-lanau berkerikil dan berbatu dengan tebal sekitar 0.50 meter yang tampaknya merupakan material urugan jalan. Lapisan di bawahnya berupa lempung kemerahan yang sebagian bercampur batu dengan ketebalan sekitar 2.0 meter dengan kondisi cukup padat. Lapisan di bawahnya setebal sekitar 2 meter berupa lempung-lanau dengan batu putih yang cukup padat, disusul di bawahnya lapisan lempung dengan kondisi tidak terlalu padat setebal sekitar 1.5 meter dan selanjutnya lapisan berupa batuan

berwarna keputihan yang keras dengan nilai  $q_c$  lebih dari 200 kg/cm<sup>2</sup>.

Di sekitar Km. 33, di kiri-kanan jalan kondisi lahan relatif datar dan pelapisan tanah relatif sama. Lapisan atas setebal sekitar 1.20 meter berupa lempung kehitaman dengan kepadatan sedang, disusul lapisan lempung berbatu kapur dengan kondisi agak padat sampai kedalaman sekitar 2.20 meter. Selanjutnya lapisan didominasi batu kapur

yang kompak/keras dengan nilai  $q_c$  lebih dari 200 kg/cm<sup>2</sup>.

### 3. Sifat tanah dari uji laboratorium

Hasil uji laboratorium atas sampel tanah yang diambil, dirangkum dalam Tabel 1 dan 2. Secara umum, tanah atau campuran tanah di lokasi penyelidikan didominasi oleh tanah berbutir halus dengan plastistas tinggi sampai ekstrim tinggi menurut *British Standard*.

**Tabel 1.** Data hasil uji laboratorium

No. Titik	Kedalaman (m)	Kadar air (%)	Berat jenis	Batas cair (%)	Batas plastis (%)	Indeks plastis (%)	Batas susut (%)	Kejujuran (%)	Fraksi halus (%)	Simbol grup tanah *)
<b>Km 15</b>										
HB2	3.40	46	2.62	72	36	36	15	94	81	MH/MV
HB2	6.00	61	2.61	71	35	36	15	100	74	MH/MV
<b>Km 16</b>										
HB1	1.00	27	2.54	62	33	29	18	85	80	MH
BH2	1.00	33	2.65	63	31	32	16.5	95	59	CH
<b>Km 28,8</b>										
HB1	1.00	38	2.65	98	34	64	15	83	92	CE
HB2	3.60	50	2.66	89	45	44	18	100	62	MV/ME
HB2	5.20	125	2.67	133	37	96	18	100	94	CE
<b>Km 33</b>										
HB1	0.50	31	2.62	79	26	53	13	79	93	CV
HB2	0.80	44	2.77	95	36	59	15	85	90	CE
HB2	1.80	46	2.67	90	31	59	12	98	82	CV/CE

\*) Berdasarkan British Standard 5930 : 1981

**Tabel 2.** Data hasil uji laboratorium (lanjutan)

No. Titik	Dalam (m)	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )	Densitas kering (g/cm <sup>3</sup> )	Kuat geser			Konsolidasi	
				$\phi$ (...°)	c (kN/m <sup>2</sup> )	$c_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	$C_c$ (%)	$C_r$ (%)
<b>Km 15</b>								
HB2	3.40	1.68	1.15	7	56	-	0.44	-
HB2	6.00	1.63	1.01	6	46	-	0.52	-
<b>Km 16</b>								
HB1	1.00	1.79	1.41	10	64	-	-	-
BH2	1.00	1.83	1.37	9	77	-	0.36	-
<b>Km 28.8</b>								
HB1	1.00	1.65	1.20	-	-	187	-	-
HB2	3.60	1.90	1.26	-	-	34	-	-
HB2	5.20	1.38	0.61	-	-	36	1.403	0.198
<b>Km 33</b>								
HB1	0.50	1.69	1.29	-	-	89	0.456	0.064
HB2	0.80	1.63	1.13	-	-	49	0.482	0.015
HB2	1.80	1.73	1.18	-	-	33	-	-



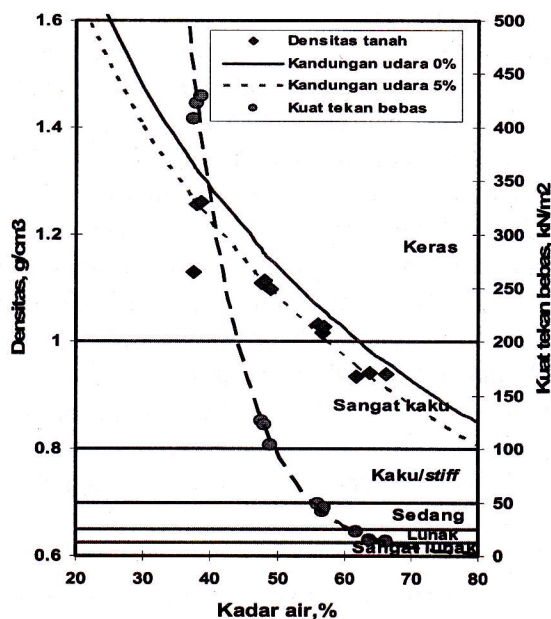
Batas cair sampel tanah berkisar antara 62% sampai 133% dengan batas susut tanah berkisar antara 12% sampai 18%. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa ada potensi kembang-susut sehingga dilakukan uji mineralogi untuk sampel dari Km. 28,8 dan Km. 33.

Hasil uji mineralogi tanah memberikan gambaran bahwa tanah dari Km 28,8 mempunyai sekitar 70% *illite* dan 29% *montmorillonite*. Sampel dari Km. 33 mempunyai mineral *illite* sekitar 40%, *kaolinite* 37% dan *montmorillonite* 22%.

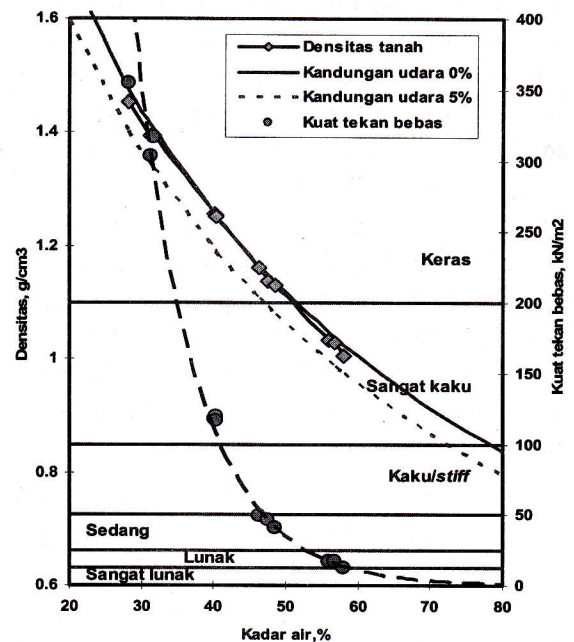
4. Variasi kadar air pada kekuatan tanah

Hasil uji kekuatan tanah dengan variasi kadar air dan densitas (kepadatan) disajikan pada Gambar 2 dan Gambar 3, berturut-turut sampel dari Km. 28,8 dan Km. 33. Variasi kadar air dimulai dari nilai kadar air tanah di dasar badan jalan, yang pada saat penelitian, kondisinya cukup baik/kering karena diambil di akhir musim kemarau.

Kepadatan tanah untuk pengujian dibuat sesuai kondisi terbaik pekerjaan pemadatan tanah untuk dasar jalan, yaitu sampai mencapai kepadatan dengan kondisi kandungan udara antara 0 sampai 5%.



Gambar 2. Pengaruh air pada kekuatan tanah dari Km 28,8



Gambar 3. Pengaruh air pada kekuatan tanah dari Km 33

Dari gambar tersebut dapat dievaluasi perubahan kekuatan tanah karena perubahan kadar air dan juga perubahan densitas tanah dengan berubahnya kadar air.

5. Pembahasan

1. Identifikasi penyebab kerusakan jalan

Dari observasi lapangan dan pengujian-pengujian yang dilakukan, penyebab kerusakan jalan ruas Piyungan-Wonosari dapat diidentifikasi sebagai berikut.

Di ruas jalan sekitar Km. 15 dan Km 16, jalan dibuat sebagian di atas tanah yang kuat dan stabil hasil pengeprasan lereng bukit yang umumnya cukup baik dan kompak dengan kondisi lereng cukup curam. Tanah tersusun atas campuran butiran pasir, batu dan fraksi halus yang berupa lanau berlempung. Sebagian lain dari badan jalan berupa tanah hasil keprasan yang berupa material hancuran yang ditimbun dan dipadatkan di atas lereng sisi luar. Ditinjau dari jenis tanah, material urugan mempunyai kualitas cukup baik namun karena berupa timbunan baru, tanah urugan cenderung mengalami penurunan lebih lanjut sedangkan tanah asli cenderung tidak turun.



Kondisi akan menjadi semakin buruk jika ikatan antara tanah lereng asli dengan tanah yang diurugkan tidak baik, sehingga terbentuk bidang antara yang merupakan bidang lemah dari massa tanah di bawah jalan. Bidang antara yang lemah tersebut sering menjadi pemicu kelongsoran atau gerakan tanah apabila lereng mengalami perubahan beban/kondisi lingkungan, misalnya : beban lalu lintas yang besar atau air hujan masuk ke bidang antara sehingga menjadi lebih licin. Gerakan tanah urugan ini diperkirakan merupakan penyebab utama kerusakan jalan di sekitar Km 15 dan Km 16.

Di sekitar Km 28,8, kondisi lereng relatif landai dan urugan relatif tipis. Di bawah urugan, lapisan tanah asli didominasi lapisan lempung-lanau dengan plastisitas sangat tinggi sampai ekstrim tinggi. Keberadaan mineral *montmorillonite* mengakibatkan tanah mudah menyerap air dan mengembang sehingga kekuatannya turun. Tampaknya kualitas tanah dasar jalan di lokasi ini yang menjadi penyebab kerusakan jalan di lokasi ini akibat perubahan kadar air.

Sifat tanah dasar yang dapat menyerap air cukup besar tampaknya juga menjadi penyebab kerusakan jalan di Km. 33. Tanah dasar di lokasi ini berupa lempung yang mempunyai batas cair yang tinggi dan batas susut yang rendah. Data tersebut menunjukkan bahwa tanah mempunyai sifat mudah menyerap air dan kecenderungan mengembang cukup besar. Hal tersebut diperkuat dengan adanya mineral *montmorillonite* yang dikandung dalam tanah.

## 2. Pengaruh kadar air pada kekuatan tanah

Kadar air tanah asli lapangan di Km. 28,8 berkisar antara 38% sampai 125%, sebagian besar pada kadar air plastis, bahkan beberapa sampel mempunyai kadar air mendekati batas cair. Tingkat kepadatan yang dicapai pada sampel berada di sekitar kandungan udara 5%.

Dari Gambar 2, nilai kuat tekan bebas tanah di atas  $400 \text{ kN/m}^2$  untuk kadar air sekitar 38% dengan densitas sekitar  $1.25 \text{ gr/cm}^3$  dan kandungan udara sekitar 5%. Apabila kadar air naik, maka tanah akan menjadi jenuh dan dapat mengembang sehingga densitasnya turun. Pada

kadar air sekitar 48%, densitas tanah akan turun di sekitar  $1.10 \text{ gr/cm}^3$  dan nilai kuat tekan bebas tinggal sekitar  $120 \text{ kN/m}^2$ . Penurunan kuat tekan bebas tanah cukup drastis dengan naiknya lagi kadar air. Pada kadar air sekitar 56%, nilai kuat tekan bebas tanah tinggal sekitar  $45 \text{ kN/m}^2$  yang menandakan tanah pada kondisi lunak, dan pada kadar sekitar 65%, nilai kuat tekan bebas tanah kurang dari  $25 \text{ kN/m}^2$  yang menandakan tanah pada kondisi sangat lunak.

Kondisi tanah dasar jalan di Km. 33 lebih mengkhawatirkan lagi. Kadar air tanah asli dari sampel yang diambil saat penyelidikan berkisar antara 31% sampai 46%. Tingkat kepadatan yang dicapai sampel mendekati batas kandungan udara 0%. Hasil uji kuat geser tanah pada kadar air sekitar 31% menghasilkan kuat tekan bebas tanah sekitar  $300 \text{ kN/m}^2$ . Dengan kadar air dinaikkan menjadi sekitar 40%, kuat tekan bebas tanah turun cukup drastis menjadi sekitar  $115 \text{ kN/m}^2$ . Kondisi lunak ( $q_u = 25-50 \text{ kN/m}^2$ ) telah terjadi pada kadar air sekitar 46% dan pada kadar air di atas 50%, kondisi tanah menjadi sangat lunak.

## 3. Sifat ekspansif tanah

Dengan ditemukannya kandungan mineral *montmorillonite* pada tanah dasar jalan, maka besar kemungkinan bahwa tanah dasar mengalami pengembangan yang cukup besar di musim penghujan akibat terserapnya air yang cukup banyak. Pengembangan tanah jenis ini menimbulkan tekanan dan perubahan volume yang bisa sangat besar. Lapis perkerasan jalan dan talud di sekitarnya akan mengalami dorongan yang cukup kuat dan bisa bergerak atau bergeser. Disisi lain, dengan bertambahnya kadar air, kekuatan tanah akan turun dan tidak mampu lagi mendukung beban lalu lintas dengan baik. Akibat yang tampak adalah tanah bergerak mendorong bangunan di sekitarnya termasuk lapis perkerasan jalan, dan jalan bergelombang karena penurunan yang tanah yang tak mampu mendukung beban dengan baik.

## 4. Rangkuman

Dari hasil penelitian sebagaimana telah diuraikan di atas, kerusakan jalan di daerah yang diteliti terjadi karena beberapa penyebab, sebagai berikut.



Di sekitar daerah Km. 15 dan Km. 16, kerusakan jalan diakibatkan oleh ketidak stabilan urugan di atas lereng yang kurang menyatu dengan tanah asli di lereng. Pergerakan tanah urug ke bawah menyebabkan sebagian tanah dasar jalan dan lapis perkerasan mengalami penurunan, ditandai dengan keretakan lapisan perkerasan jalan searah sumbu jalan dan berlanjut dengan penurunan sebagian jalan ke arah lereng. Beban kendaraan yang besar merupakan penyebab utama gerakan tanah dasar jalan. Ikatan yang kurang baik antara urugan dan tanah asli lereng dapat menjadi lebih buruk jika air hujan masuk dan membasahi bidang antara dua meterial tersebut. Usaha perbaikan dapat dilakukan dengan memperbaiki teknik penimbunan dan kondisi timbunan di lereng berbagai cara, misalnya dengan pemasangan angkur tanah, penulangan tanah urug dan beberapa cara lain yang diuraikan dalam Jones (1988).

Tanah dasar yang berupa lempung dengan plastisitas tinggi cenderung menyerap banyak air apabila ada kesempatan. Menjaga kondisi kadar air tanah relatif konstan (misalnya dengan sarana drainasi yang baik) mungkin dapat mencegah penurunan drastis dari kekuatan tanah. Penggantian tanah dasar sampai ketebalan yang cukup sampai pengaruh beban pada tanah menjadi kecil, dapat menjadi alternatif penyelesaian yang baik pula.

Sifat tanah ekspansif merupakan permasalahan yang kompleks. Kembang susut tanah mengakibatkan Bergeraknya bangunan disekitarnya. Usaha mengurangi pengaruh kembang susut telah banyak dilakukan, diantaranya oleh Fathani dan Adi (1999) yang memberi bahan tambah kapur untuk mereduksi kembang susut tanah.

## 6. Kesimpulan

Dari penelitian ini, beberapa penyebab kerusakan jalan di ruas Piyungan-Wonosari dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Pada jalan di lereng yang cukup terjal (Km 15 dan Km 16), kerusakan jalan lebih diakibatkan oleh teknik pengurugan badan jalan yang kurang baik. Air hujan juga dapat memberikan kontribusi apabila dapat masuk dan membasahi bidang antara.
2. Di daerah sekitar Km. 28,8 dan Km. 33, kerusakan jalan diakibatkan oleh kondisi tanah dasar yang berupa lempung plastisitas tinggi yang mempunyai kemampuan serap air yang tinggi sehingga menjadi lunak akibat kenaikan kadar air pada batas tertentu.
3. Selain tanah lempung yang melunak akibat menyerap air, lempung di sekitar Km. 28,8 dan Km. 33 mempunyai kandungan mineral *montmorillonite* dengan kemampuan kembang susut besar dan mampu menimbulkan tekanan pengembangan yang cukup besar. Jenis tanah ini banyak menyebabkan kerusakan bangunan termasuk jalan.

## Daftar Pustaka

- Brand, E.W. dan Brenner, R.F. (1981), *Soft Clay Engineering*, Elsevier Scientific Publishing Company.
- Collop, A.C dan Cebon, D., 1995, Parametric Study of Factors Affecting Flexible Pavement Performance, *ASCE J. Transp. Eng.*, Vol 121, No 6.
- Craig, R.F. (1992), *Soil Mechanics*, Chapman & Hall.
- Fathani, T.F. dan Adi, A.D. (1999), Perbaikan Sifat Lempung Ekspansif dengan Penambahan Kapur, Prosiding Seminar Nasional Geoteknik, Yogyakarta.
- Jones, C.J.F.P., 1988, *Earth Reinforcement and Soil Structures*, Butterworth & Co. (Publishers) Ltd.
- Karnawati, D., 1996, Rain Induced Landslide Problems in West Java, *Media Teknik*, No. 3, Th. XVIII, November