

ANALISIS KUALITAS DRAINASE TERHADAP KERUSAKAN PERKERASAN JALAN BERDASARKAN *METODE PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI)*

(Studi Kasus : Jalan Raya Tanjung Anom - Daleman KM 0+000 – KM 3+150)

Faizatul Fitriyah¹, Agus Riyanto², Sri Sunarjono³, Senja Rum Harnaeni⁴

Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417
Email: faizatulfitriyah100@gmail.com¹

Abstrak

Jalan raya Tanjung Anom – Daleman mengalami kerusakan di beberapa titik, sehingga tidak memberikan pelayanan yang mantap bagi masyarakat. Dikarenakan Indonesia beriklim tropis dengan curah hujan umumnya tinggi, kemungkinan penyebab dominan kerusakan perkerasan jalan adalah pengaruh dari Air. Penelitian ini menggunakan metode PCI (*Pavement Condition Index*) untuk menganalisis kerusakan jalan dan metode analisis mempertimbangkan debit air hujan untuk menganalisis kualitas drainase. Data-data yang diperlukan dalam penelitian ini berupa data primer (*Jenis kerusakan jalan, tingkat keparahan kerusakan jalan, dimensi kerusakan jalan, fasilitas drainase, kondisi drainase, karakteristik inlet time, dokumentasi jalan dan drainase*) dan data sekunder (*peta lokasi penelitian, geometrik jalan, curah hujan*). Berdasarkan analisis keduanya diperoleh hasil untuk menentukan hubungan kualitas drainase terhadap kerusakan jalan pada ruas jalan yang ditinjau menggunakan microsoft excell 2007 yang didukung dengan dokumentasi dan hasil analisis dalam bentuk grafik. Kondisi jalan raya Tanjung Anom - Daleman mengalami kerusakan jalan akibat kualitas drainase yang tidak baik karena sumbatan oleh sampah, limbah pabrik dan tanaman serta karena saluran drainase hanya tersedia di salah satu sisi jalan. Berdasarkan hasil analisis kerusakan jalan dengan metode PCI didapat nilai PCI 17,27 – 36,60 (*Serious – verry poor*) dengan rata – rata 24,36 (*Serious*) dan debit limpasan didapat 0,01164 m³/dt – 0,01241 m³/dt dengan hasil rata – rata 0,01206 m³/dt, dengan karakteristik inlet time 0-3 hari. Penyajian analisis melalui grafik hubungan karakteristik inlet time dan debit limpasan dengan nilai PCI menunjukkan semakin besar karakteristik inlet time dan debit limpasan semakin kecil nilai PCI. Pada grafik juga disajikan nilai kritis kerusakan yang menunjukkan nilai 24,36 dengan nilai debit limpasan maksimal 0,01206 m³/dt, sehingga diketahui jalan tidak sepenuhnya layak digunakan untuk prasarana transportasi.

Kata kunci: Debit Limpasan; Drainase; Inlet Time; PCI

Pendahuluan

Berdasarkan Undang-Undang Nomor 38 tahun 2004 pasal 5 ayat 2 menyebutkan jalan sebagai prasarana distribusi barang dan jasa merupakan urat nadi kehidupan masyarakat, bangsa, dan Negara.

Jalan raya Tanjung Anom – Daleman berperan penting dalam pelayanan distribusi barang dan jasa, serta pelayanan sosial seperti kesehatan dan pendidikan, akan tetapi jalan tersebut mengalami kerusakan di beberapa titik. Menurut Departemen Pekerjaan Umum (2007) kerusakan jalan dipengaruhi oleh material konstruksi, lalu lintas, iklim, kondisi tanah dasar (*subgrade*), proses pemadatan dan air, karena Indonesia beriklim tropis, dengan suhu udara dan curah hujan umumnya tinggi maka kemungkinan penyebab dominan kerusakan perkerasan jalan adalah pengaruh dari air.

Air dapat menggenangi ke badan jalan disebabkan oleh beberapa faktor, kualitas drainase yang buruk, curah hujan yang tinggi pada lokasi yang ditinjau, serta dimensi saluran drainase yang tidak sesuai dengan debit air yang ada. Adanya genangan air oleh beberapa faktor tersebut akan berpotensi menyebabkan kerusakan infrastruktur jalan, lepasnya ikatan butir – butir agregat yang disebabkan oleh limpasan hujan mengakibatkan jalan tersebut tidak dapat berfungsi dengan baik (S R Harnaeni, dkk. 2017). Oleh sebab itu, perlu adanya pengkajian sebagai acuan dalam pengambilan keputusan penanganan secara efisien, sehingga memberikan kenyamanan bagi pengguna jalan.

Metode Penelitian

Penelitian ini bersifat studi kasus yang diawali dengan menentukan lokasi, perizinan pada instansi terkait serta persiapan alat. Data-data yang diperlukan dalam penelitian ini berupa data primer (Jenis kerusakan jalan, tingkat keparahan kerusakan jalan, dimensi kerusakan jalan, fasilitas drainase, kondisi drainase, karakteristik *inlet time*, dokumentasi jalan dan drainase) dan data sekunder (peta lokasi penelitian, geometrik jalan, curah hujan). Pengkajian penelitian ini menggunakan metode PCI (*Pavement Condition Index*) yang memiliki beberapa tingkat kondisi perkerasan (Shahin, 1994), untuk menganalisis kerusakan jalan dan metode analisis mempertimbangkan debit air hujan (Wasli, 2008), untuk menganalisis kualitas drainase berdasarkan *inlet time* (Pamungkas, 2017). Penelitian sebelumnya (Pamungkas, 2017), (Zulkarnain, 2014), (Sulistiyanto, 2012), (Azwaningtyas, 2017), (Galih, 2017).

Hasil dan Pembahasan

Penentuan Kondisi Perkerasan

Segmen jalan penelitian sepanjang 3,15 km dengan lebar badan jalan 6 m dan lebar bahu jalan 1,5 m dengan membaginya menjadi 63 segmen. Penelitian ini dilakukan karena lokasi penelitian diprediksi mengalami kerusakan dikarenakan oleh drainase jalan yang kurang baik. Dari pengamatan langsung dilapangan diperoleh data primer yaitu: Jenis kerusakan jalan, tingkat keparahan kerusakan jalan dan dimensi kerusakan jalan.

Berikut adalah tahapan perhitungan kondisi perkerasan menggunakan metode PCI (*Pavement Condition Index*) pada jalan raya Tanjung Anom - Daleman KM 0+000 – KM 3+150:

- Menentukan jenis dan tingkat keparahan, yang dimana setiap jenis kerusakan memiliki tingkat keparahan yang berbeda (ASTM D6433, 2011). Pada segmen 1 jenis kerusakan adalah retak tepi dengan tingkat keparahan tinggi (*high*).
- Kerapatan (*Density*), didapat dari luas kerusakan/luas segmen jalan yang ditinjau dikalikan 100% (ASTM D6433, 2011).
- Deduct value* (DV), didapat dengan memplotkan nilai *density* dan tingkat keparahan pada grafik (Suswandi dkk, 2008). Selanjutnya dari perpotongan garis horizontal diperoleh nilai DV.

Hasil perhitungan Kerapatan (*Density*) dan Nilai Pengurang (*Deduct Value*) dapat dilihat pada Tabel 1. berikut ini:

Tabel 1. Hasil perhitungan Kerapatan (*Density*) dan Nilai Pengurang (*Deduct Value*)

LEMBARAN DATA SURVEI KONDISI PERMUKAAN JALAN BERASPAL UNTUK UNIT SAMPEL		SKETSA: 50 m 6 m		
LOKASI SURVEI: JALAN RAYA SOLO - BAKI KM 0+000 - 0+050		UNIT SAMPEL: 1		
DISURVEI OLEH: TEAM		TANGGAL: 27 APRIL 2018		
		LUAS SAMPEL: 300 m ²		
		Arah survei →		
1. Retak Kulit Buaya	6. Amblas	11. Tambalan & Tambalan Utilitas	16. Sungkur	
2. Kegemukan Aspal	7. Retak Tepi	12. Pengausan	17. Retak Slip	
3. Retak Blok	8. Retak Refleksi Sambungan	13. Lubang	18. Pengembangan	
4. Tonjolan & Cekungan	9. Penurunan Jalur/Bahu Jalan	14. Persilangan Jalan Rel	19. Pelapukan/Pelepasan	
5. Keriting	10. Retak Memanjang/Melintang	15. Alur	Butir	
KEPARAHAN KERUSAKAN	KUANTITAS	TOTAL	KERAPATAN (%)	NILAI PENGURANG
7 H	2.15	2.15	0.72	13.0
9 M	20	20.00	6.67	13.5
10 M	2.5	2.50	0.83	7.0
11 L	3,35x0,88	2.95	0.98	2.0
13 M	1	1.00	0.33	15.0
13 H	1 2 6 1	10.00	3.33	78.5

- Total deduct value* (TDV), total dari *deduct value* yang diizinkan (Suswandi dkk, 2008). Didapat dengan menghitung nilai m (jumlah pengurang yang diizinkan) (ASTM D6433, 2011). Kemudian menjumlahkan TDV terbesar yang diizinkan dan melakukan perhitungan secara iterasi. Lebih jelasnya dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$m = 1 + (9/98) (100-HDV) \leq 10 \tag{1}$$

pada segmen 1 di dapatkan hasil dari 6 DV yang dimiliki hanya 3 DV terbesar yang diizinkan.

- e. *Corrected Deduct Value* (CDV), diperoleh dengan memplotkan nilai TDV dan nilai ‘q’, yang mana nilai ‘q’ didapat dari jumlah *deduct value* yang nilainya lebih besar dari 2 (ketentuan untuk jalan beraspal) (Shahin, 2005). Selanjutnya dari perpotongan garis horizontal diperoleh nilai CDV.
- f. Nilai PCI (ASTMD6433, 2011), indeks kondisi jalan dan tingkat kerusakan dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$PCIs = 100 - CDV \text{ Maks} \tag{2}$$

Hasil perhitungan *Total deduct value* (TDV), *Corrected Deduct Value* (CDV) dan PCI dapat dilihat pada Tabel 2. berikut ini:

Tabel 2. Hasil Perhitungan *Total Deduct Value* (TDV), *Corrected Deduct Value* (CDV) dan PCI

#	Nilai Pengurang/DV			TDV	q	CDV
1	78.5	15.0	13.5	107.0	3	67.0
2	78.5	15.0	2.0	95.5	2	67.5
3	78.5	2.0	2.0	82.5	1	82.5
CDV Maks.				=	82.5	
PCI = 100 - CDV Maks.				=	17.5 (<i>Serious</i>)	

Penentuan Kualitas Drainase

Dari pengamatan langsung dilapangan diperoleh data primer yaitu : Fasilitas drainase, kondisi drainase dan karakteristik *inlet time* (waktu pengaliran air yang mengalir diatas permukaan tanah menuju saluran). Hasil *survey* dan *interview* kualitas drainase dapat dilihat pada Tabel 3 , Tabel 4 dan Tabel 5. berikut ini :

Tabel 3. Ketersediaan Saluran Drainase

Segmen Jalan	Ketersediaan Saluran	Keterangan
0+000 - 3+150	Ada	1 sisi jalan (kanan) dengan pasangan batu kali

Tabel 4. Laju Aliran

Segmen Jalan	Laju Aliran Air	Keterangan
0+000 - 3+150	Terarah	Aliran terganggu adanya sampah rumput dan limbah pabrik serta dikarenakan hanya terdapat saluran drainase pada salah satu sisi jalan

Tabel 5. Karakteristik *Inlet Time*

Segmen Jalan	<i>Inlet time</i> (hari)
0+000 - 0+500	1
0+500 - 1+050	2
1+050 - 1+700	3
1+700 - 2+650	1
2+650 - 3+150	0

Berikut adalah tahapan perhitungan debit limpasan menggunakan metode analisis mempertimbangkan debit air hujan pada jalan raya Tanjung Anom - Daleman KM 0+000 – KM 3+150 :

- a. Mencari curah hujan harian maksimum, berdasarkan data sekunder yang telah di peroleh dari PU Sukoharjo. Ada 3 stasiun yang diprediksi berpengaruh terhadap limpasan air pada ruas jalan Tanjung Anom – Daleman yaitu stasiun Gatak, Baki dan Grogol. Dikarenakan TAD (Tidak Ada Data)/*missing record* digunakan *Normal Ratio Method* untuk mencari data hilang (Linsley, kohler, paulhus. 1958), persamaan *Normal Ratio Method* sebagai berikut :

$$Dx = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i \frac{An_x}{An_i} \tag{3}$$

Kelengkapan data hilang curah hujan harian maksimum dapat dilihat pada Tabel 3. berikut ini :

Tabel 6. Kelengkapan Data Hilang Curah Hujan Harian Maksimum

Tahun	Stasiun Hujan (mm)		
	Baki	Gatak	Grogol
2010	113	102	109
2011	91	87	95
2012	83	86	104
2013	203	51	99
2014	85	72	70
2015	82	90	84

Tahun	Stasiun Hujan (mm)		
	Baki	Gatak	Grogol
2016	94	123	72
2017	69	85	87
2018	88	116	88
2019	73	92	54
Hujan rerata tahunan (mm/th)	981	904	862

- b. Analisis frekuensi data hujan, untuk menentukan distribusi probabilitas yang akan digunakan dalam mencari debit limpasan. Menghitung R (curah hujan rerata) dengan rata – rata aljabar:

$$R = \frac{1}{n}(R_1 + R_2 + \dots + R_n) \tag{4}$$

Hasil perhitungan curah hujan dapat dilihat pada Tabel 7. berikut ini:

Tabel 7. Hasil perhitungan curah hujan (R)

Tahun	Stasiun Hujan (mm)			R
	Baki	Gatak	Grogol	
2010	113	102	109	108
2011	91	87	95	91
2012	83	86	104	91
2013	203	51	99	118
2014	85	72	70	76
2015	82	90	84	85
2016	94	123	72	96
2017	69	85	87	80
2018	88	116	88	97
2019	73	92	54	73
Hujan rerata tahunan (mm/th)	981	904	862	916

untuk mencari jenis distribusi menggunakan rumus - rumus statistik dengan metode *annual maximum series* (Triatmodjo, 2008) sebagai berikut:

$$\text{Standar deviasi, } Sd = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{(n-1)} \right]^{0.5} \tag{5}$$

$$\text{Koefisien skewness, } Cs = \frac{n}{(n-1)(n-2)s^3} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^3 \tag{6}$$

$$\text{Koefisien variasi, } Cv = \frac{S}{\bar{X}} \tag{7}$$

$$\text{Koefisien kurtosis, } Ck = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^4 \tag{8}$$

Dari hasil perhitungan distribusi, diperoleh jenis distribusi *Log Pearson Tipe III*

- c. Hujan rencana, perhitungan hujan rencana menggunakan distribusi *Log Pearson Tipe III*. Hasil dari perhitungan hujan rencana metode *Log Pearson III* dapat dilihat pada Tabel 8. berikut ini :

Tabel 8. Hasil Hujan Rencana Metode *Log Pearson III*

T (tahun)	P (%)	log \bar{x}	G	S _D	G.S _D	log R _i	R _i (mm)
1.01	99.01%	1.9569	-2.118	0.0657	-0.1391	1.8178	65.74
2	50.00%	1.9569	-0.413	0.0657	-0.0271	1.9298	85.07
5	20.00%	1.9569	0.825	0.0657	0.0542	2.0111	102.59
10	10.00%	1.9569	1.308	0.0657	0.0859	2.0428	110.35
25	4.00%	1.9569	1.843	0.0657	0.1211	2.0780	119.66
50	2.00%	1.9569	2.201	0.0657	0.1446	2.1015	126.32
100	1.00%	1.9569	2.531	0.0657	0.1662	2.1231	132.77
200	0.50%	1.9569	2.839	0.0657	0.1864	2.1433	139.10

Berdasarkan pengolahan data hujan diperoleh hujan rencana (R_{ti}) periode ulang 1 tahun sebesar 65,74 mm. Selanjutnya mencari debit limpasan dengan menggunakan data geometrik jalan dari PU Sukoharjo, koefisien *manning* (n) sebesar 0,017 (untuk saluran pasangan batu) dan koefisien aliran sebesar 0,9 (untuk jalan beraspal) yang diperoleh dari ketetapan menurut buku Drainase Perkotaan oleh Wasli. Karena tidak mendapatkan data kecepatan aliran (V) untuk menghitung debit limpasan, maka dilakukan *trial and error* (Wasli, 2008), dengan persamaan berikut berikut ini :

$$8x \left(\frac{n}{S_1^{1/2}} \right)^3 V^4 = 0,278 \times C \times A \times C_s \times I \tag{9}$$

$$8x \left(\frac{n}{S_1^{1/2}} \right)^3 V^4 = 0,278 \times C \times A \times \left(\frac{0,00065 \left(\frac{L_0}{\sqrt{S_0}} \right)^{0,77} + 0,000556 \frac{L_1}{V}}{0,00065 \left(\frac{L_0}{\sqrt{S_0}} \right)^{0,77} + 0,000834 \frac{L_1}{V}} \right) \times \left(\frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{0,000325 \left(\frac{L_0}{\sqrt{S_0}} \right)^{0,77} + 0,000278 \frac{L_1}{V}} \right)^{\frac{2}{3}} \right) \tag{10}$$

Berdasarkan nilai kecepatan aliran dapat diperoleh waktu konsentrasi (T_c) untuk menghitung intensitas hujan (I) dan koefisien tampungan (C_s) menurut buku Drainase Perkotaan oleh Wasli. Berikut adalah tahapan perhitungan waktu konsentrasi (T_c), intensitas hujan (I) dan koefisien tampungan (C_s) :

- d. Waktu konsentrasi (T_c) (Wasli, 2008), perhitungan T_c dengan persamaan berikut ini :

$$T_c = T_o + T_d \tag{11}$$

$$T_c = 0,000325 x \left(\frac{L_0}{S_0} \right)^{0,77} + 0,000278 \frac{L_1}{V} \tag{12}$$

- e. Intensitas hujan (I) (Wasli, 2008), perhitungan I dengan persamaan berikut ini :

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{T_c} \right)^{\frac{2}{3}} \tag{13}$$

- f. Koefisien tampungan (C_s) (Wasli, 2008), perhitungan C_s dengan persamaan berikut ini :

$$C_s = \frac{2T_c}{2T_c + T_d} \tag{14}$$

- g. Debit limpasan (Wasli, 2008), dengan persamaan berikut ini :

$$Q_T = 0,278 . C . C_s . I . A \tag{15}$$

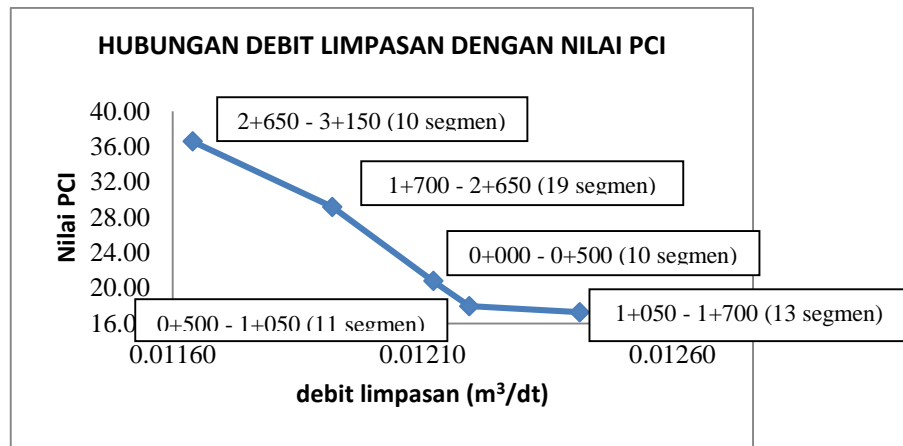
Hubungan Kualitas Drainase terhadap Kerusakan Jalan

Berdasarkan analisis keduanya diperoleh hasil untuk menentukan hubungan kualitas drainase terhadap kerusakan jalan pada ruas jalan yang ditinjau menggunakan *microsoft excell 2007* yang didukung dengan dokumentasi dan hasil analisis dalam bentuk grafik. Hasil analisis kerusakan jalan berdasarkan metode PCI dan debit limpasan pada setiap karakteristik *inlet time* dapat dilihat pada Tabel 9. berikut ini:

Tabel 9. Hasil analisis nilai PCI dan debit limpasan pada setiap karakteristik *inlet time*

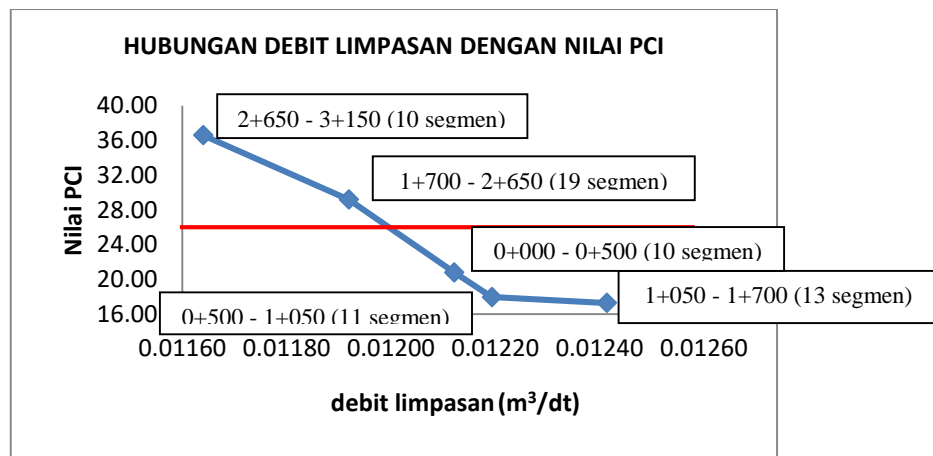
Segmen Jalan	Nilai PCI	Q_T (m ³ /detik)	Inlet time (hari)
0+000 - 0+500	20.80	0,01212	1
0+500 - 1+050	17.95	0,01219	2
1+050 - 1+700	17.27	0,01241	3
1+700 - 2+650	29.18	0,01192	1
2+650 - 3+150	36.60	0,01164	0

Hubungan debit limpasan dengan nilai PCI dapat dilihat pada Gambar 2. berikut ini :



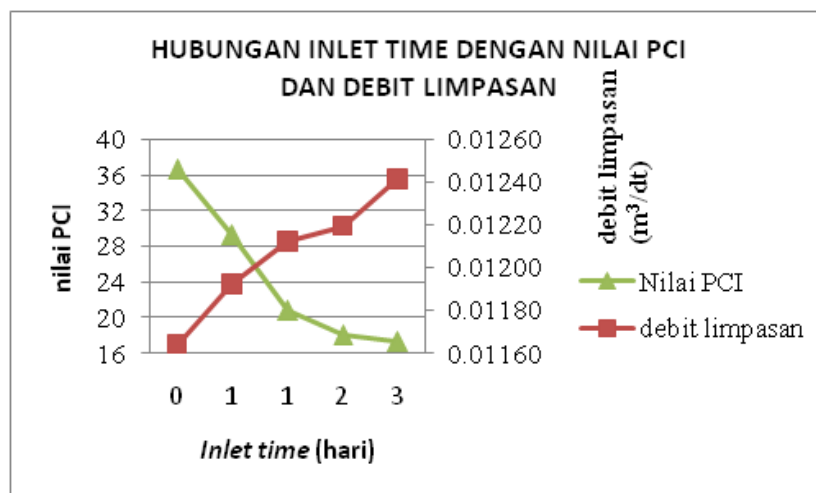
Gambar 2. Hubungan Debit Limpasan (m³/dt) dengan Nilai PCI

Berdasarkan gambar tersebut debit limpasan berbanding terbalik dengan nilai PCI, dengan kondisi perkerasan *serious - very poor* (17,27 – 36,60). menurut Galih, 2017 dari rentang nilai tersebut ditentukan *average*, diperoleh nilai kritis kondisi kerusakan jalan sebesar 24,36 (*serious*) dan debit limpasan maksimal 0,01206 m³/dt. Hubungan debit limpasan dengan nilai PCI kritis dapat dilihat pada Gambar 3 berikut ini:



Gambar 3. Hubungan Debit Limpasan dengan Nilai PCI Kritis

Berdasarkan gambar tersebut nilai PCI ruas jalan Tanjung Anom - Dalemnan tidak semuanya berada di atas nilai kritis. Hal tersebut menunjukkan bahwa ruas jalan yang ditinjau tidak sepenuhnya layak untuk digunakan sebagai prasarana transportasi. Hubungan nilai PCI dan debit limpasan terhadap karakteristik *inlet time* dapat dilihat pada Gambar 4. berikut:



Gambar 4. Hubungan Nilai PCI dan Debit Limpasan terhadap Karakteristik *Inlet Time*

Berdasarkan gambar tersebut karakteristik *inlet time* berbanding terbalik nilai PCI dan debit limpasan berbanding lurus dengan karakteristik *inlet time*. Keadaan jalan saat hujan dan saluran drainase dapat dilihat pada Gambar 5. berikut ini :



Gambar 5. Keadaan Jalan Saat Hujan dan Saluran Drainase

Kesimpulan

Berdasarkan analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada ruas jalan Tanjung Anom – Daleman KM 0+000 – KM 3+150 karakteristik *inlet time* terjadi 0 - 3 hari yang terdapat saluran drainase di sisi kanan jalan dengan aliran terarah.
2. Pada saat musim hujan drainase yang tersedia tidak dapat berfungsi dengan baik dikarenakan beberapa faktor, antara lain akibat drainase tersumbat sampah, limbah pabrik dan tanaman liar yang tumbuh di sekitar drainase tersebut, sehingga tidak mampu menampung air hujan dan mengakibatkan genangan pada jalan. Selain itu dikarenakan hanya terdapat saluran drainase pada kanan jalan mengakibatkan air hujan yang seharusnya masuk ke saluran melimpas ke jalan. Hal tersebut menjadi salah satu faktor penyebab kerusakan jalan.
3. a. Kualitas drainase berdasarkan karakteristik *inlet time* pada ruas jalan Tanjung Anom – Daleman KM 0+000 – KM 3+150 berpengaruh terhadap kerusakan jalan. Hal tersebut dibuktikan melalui grafik hubungan karakteristik *inlet time* terhadap nilai PCI, grafik hubungan limpasan air terhadap nilai PCI dan grafik hubungan karakteristik *inlet time* terhadap nilai PCI dan debit limpasan yang dapat dilihat bahwa karakteristik *inlet time* dan limpasan air berbanding terbalik dengan nilai PCI, yaitu semakin besar *inlet time* dan limpasan air maka nilai PCI semakin kecil.
b. Berdasarkan nilai PCI kritis 24,36 (*serious*) maka diketahui bahwa ruas jalan Tanjung Anom – Daleman KM 0+000 – KM 3+150 dengan debit limpasan maksimal 0,01206 m³/dt, sehingga apabila nilai PCI di bawah nilai kritis dan nilai debit limpasan diatas limpasan maksimal maka dapat dikatakan ruas jalan tersebut mengalami kerusakan akibat drainase jalan sehingga di ruas jalan Tanjung Anom – Daleman KM 0+000 – KM 3+150 jalan tidak sepenuhnya layak untuk digunakan sebagai prasarana transportasi.

Daftar Pustaka

- Azwaningtyas, Nadhilah. 2017. *Analisis Kerusakan Lapis Permukaan Jalan Dengan Metode Pavement Condition Index (PCI) Serta Alternatif Solusi Penanganan (Studi Kasus: Ruas Jalan Raya Solo – Baki Grogol Sukoharjo)*
- ASTM D6433-07.2011. *Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys*. ASTM International. United States.
- Galih, Riski Tiara Wening. 2017. *Analisis Kualitas Drainase Terhadap Kerusakan Perkerasan Lentur Berdasarkan Metode Pavement Condition Index (PCI) (Studi Kasus : Ruas Jalan Boyolali - Kartosuro)*.
- Linsley, kohler, paulhus. 1958. *Metode Normal Ratio Method*
- Martha, Joyce, Adidarma, Wannu. *Normal Ratio Method*
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum.2014.*Nomor 12/PRT/M/2014 Tentang Penyelenggaraan Drainase Perkotaan*. DepartemenPekerjaanUmum.2007.*Faktor-Faktor Penyebab Kerusakan Jalan*.Jakarta.
- Pamungkas, Oktarian Adam. 2017. *Evaluasi Kualitas Drainase Terhadap Kerusakan Dini Perkerasan Lentur Berdasarkan Metode AASTHO 1993 (Studi Kasus : Ruas Jalan Prambanan – Piyungan KM 22 + 200 – KM 24 + 600 DI. Yogyakarta)*.Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.Surakarta
- Shahin, M. Y. 1994. *Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots*.Chapman & Hall. New York.
- Shahin,M.Y.2005.*PavementManagementforAirports,Roads,andParkingLotsSecond Edition*. Springer. United States.
- Sulistiyanto, Aan. 2012. *Studi Pengaruh Genangan Air Terhadap Kerusakan Jalan Aspal dan Perencanaa Subdrain Untuk Ruas Jl. Rungkut Industri Raya, Jl. Rungkut Kidul Raya, Jl. Jemur Sari, Jl. Nginden Raya, Jl. Manyar Dan Jl. Mulyosari Raya*. Fakultas Teknik Sipil dan PerencanaanInstitut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Surabaya.
- Sunarjono, Sri. 2014. *Pengaruh Penuaan Dan Lama Perendaman Terhadap Durabilitas Campuran Asphalt Concrete Wearing Course (Ac-Wc)*. Surakarta. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Suswandi, dkk. 2008. *Evaluasi Tingkat Kerusakan Jalan dengan Metode PavementConditionIndex(PCI)untukMenunjangPengambilanKeputusan(Studikasu:JalanLingkarSelatan,Yogyakarta)*. ForumTeknikSipilNo. XVIII.Yogyakarta.
- S R Harnaeni, dkk. 2017. *A preliminary study of mechanistic approach in pavement design to accommodate climate change effects*. IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science (EES)*.
- Triatmodjo, Bambang. 2008. *Annual Maximum Series*
- Wasli.2008.*Drainase Perkotaan*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Zulkarnain, Rifky Mela. 2014. *Evaluasi Tingkat Kerusakan Perkerasan Jalan dengan Metode Pavement Condition Index (PCI) (Studi Kasus : Jl. M.H. Thamrin, Jember)*.Fakultas Teknik Universitas Jember.Jember.