



Pengaruh Geometri Jalan dan Intensitas Hujan Terhadap Kedalaman Gerusan di Bahu Jalan yang Tidak Diperkeras

Sanidhya Nika Purnomo¹, Purwanto Beki Santoso¹, Wahyu Widiyanto^{1,2}, Dimas Baiqun¹, Miftah Muslihudin¹

¹ Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Jenderal Soedirman, Indonesia

² Department of Hydraulic and Ocean Engineering, National Cheng Kung University, Taiwan

Email: sanidhyanika.purnomo@unsoed.ac.id

Info Artikel

Sejarah Artikel:
Diterima Oktober 2016
Disetujui Januari 2016
Dipublikasikan Januari 2017

Keywords: scour depth in the shoulder of the road, road geometry, the intensity of the rain.

Abstract

Scour on the unpaved shoulder of the road is an interesting phenomenon that is still quite new in terms of analysis and discussion so that still needs further publication, since most of the roads in Indonesia has many national, provincial, district and village roads have unpaved shoulders. One cause scours in the shoulder of the road is the runoff of rain. The runoff flowing on the unpaved shoulder road, resulting in sediment transport from the upstream to the lower elevation of road shoulder. It is necessary to analyse the influence of the road geometry and intensity of the rain to scour depths of the road shoulder. In this publication conducted multivariable analysis in the influence of road geometry and rain intensity against scour depth in the unpaved shoulder of the road. The analysis starts from primary data collection in the form of a soil sample originating from the road shoulder and road geometry on some streets in Central Java, as well as secondary data in the form of rainfall data at the rain station in Central Java. The primary data in the form of soil samples, were tested in the laboratory to obtain sediment grain diameter D_{50} , specific gravity, and the type of soil samples. Primary data that have been tested in the laboratory, as well as secondary data, then analyzed using multivariate analysis to obtain the equation model for the depth of scour at the shoulder of the road due to the influence of the road geometry and intensity of rainfall. Equation depth of scour at the curb multivariable analysis provides equal results are quite close to the depth of the data collection in the field. The results of the equation also shows that the scour depth of scour at the shoulder of the road were most affected by the slope of the cross street (S_l), and successively followed by the influence of the slope of the elongated path (S_p), the rainfall intensity (I), and the diameter of the granules (D_{50}), where each regression coefficient row is 1223.067; 941.233; 0.8321; and 0.183. Results of multivariable analysis on shoulder scour equation provides multiple regression statistical value R of 0.946, R square of 0.894, adjusted R square of 0.869, and the standard error of 55.344.

✉ **Alamat korespondensi:**

Gedung C1 Lantai 1 FIS UNNES
Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang, 50229
E-mail : jurnal.geografi@mail.unnes.ac.id

I. PENDAHULUAN

Gerusan yang terjadi di bahu jalan merupakan manifestasi dari gerusan lokal, karena letaknya cukup dekat dengan struktur (badan) jalan. Proses gerusan lokal umumnya terjadi karena adanya aliran pada daerah yang butiran tanahnya mudah terangkut (alluvial), baik pada kondisi aliran normal maupun kondisi banjir (Breusers, 1977), (Khwairakpam & Mazumdar, 2009), (Elsebaie, 2013), (Halim, 2014), (Ghazvinei, Ariffin, Abdullah, & Mohamed, 2014), (Akib, Jahangirzadeh, & Basser, 2014).

Indonesia memiliki curah hujan dan pola hujan yang cukup tinggi. Pada bulan Januari (bulan basah), rata-rata hujan di Indonesia adalah diatas 150 mm. Bahkan di Pulau Jawa hingga diatas 300 mm. Sedangkan pada bulan Juli (bulan kering) curah hujan reratanya adalah kurang dari 100 mm (Aldrian, 2000), (Aldrian, 2003), (Aldrian, Gates, & Widodo, 2003). Tingginya curah hujan di Indonesia berimbas pada kondisi jalan di Indonesia, terutama pada jalan yang memiliki bahu jalan yang tidak diperkeras. Pada bahu jalan yang tidak diperkeras, hujan yang jatuh di bahu jalan akan memberikan energi kinetik yang sangat besar, sehingga akan mengakibatkan lepasnya ikatan antar partikel butiran tanah, dan mengakibatkan semakin parahnya gerusan di bahu jalan.

Publikasi mengenai gerusan di bahu jalan yang mulai diteliti selama ini baru memberikan analisis-analisis mengenai gerusan di bahu jalan berdasarkan kondisi geometri jalannya. (Purnomo et al., 2015) mempublikasikan analisis variabel yang berpengaruh terhadap kedalaman gerusan di bahu jalan berdasarkan kemiringan melintang jalan (S_l), kemiringan memanjang jalan (S_p), dan diameter butiran bahu jalan (D_{50}). Sedangkan (Santosa, Purnomo, Nasaiin, & Aprilia, 2016) mempublikasikan mengenai pengaruh kemiringan melintang badan jalan pada kedalaman gerusan di bahu jalan dengan pemodelan gerusan di bahu jalan yang menunjukkan pola gerusan di bahu jalan tidak diperkeras akibat kemiringan melintang jalan. Hal tersebut menunjukkan belum adanya publikasi yang memasukkan unsur hujan pada bahu jalan.

Melihat minimnya publikasi dan penelitian mengenai gerusan di bahu jalan, dan belum adanya publikasi yang memasukkan analisis hujan pada publikasi mengenai gerusan di bahu jalan, maka publikasi ini akan memberikan analisis mengenai keterkaitan curah hujan pada gerusan di bahu jalan berdasarkan pengambilan data primer dari lapangan berupa sampel data bahu jalan di sekitar Jawa Tengah dengan data sekunder berupa

data curah hujan dari beberapa stasiun hujan di Jawa Tengah.

Konsep gerusan lokal selalu dihubungkan dengan teori awal gerak butiran yang dikemukakan oleh Shields (United States of Soil Conservation Service, 1983), (Wilcock, 1988), (Dey, 1999), (Paphitis, 2001). Beberapa penelitian dan publikasi telah menjelaskan mengenai parameter-parameter yang mengakibatkan gerusan lokal, namun parameter-parameter tersebut umumnya adalah untuk gerusan di pilar atau abutmen jembatan.

Proses gerusan lokal diakibatkan oleh banyak variabel. Aliran, fluida, pilar, karakteristik sedimen, adalah variabel utama yang mengakibatkan waktu gerusan lokal pada pilar dan jarak antar pilar (Beg & Beg, 2013). Lebih lanjut parameter gerusan lokal tampak pada Persamaan 1 (Yanmaz, 2001).

$$f(d_s, \rho, \nu, g, d_0, u, \alpha, u_*, S_0, B, C_c, K_a, K_b, K_c, K_d, \rho_s, D_{50}, \sigma_g, C, K_f, b, K_s, K_g, K_r, K_v, t)$$

dimana d_s = kedalaman gerusan di sekitar pilar jembatan, ρ = rapat massa air, ν = kekentalan kinematic, g = gravitasi, d_0 = kedalaman aliran, u = kecepatan rerata aliran, α = sudut aliran terhadap as pilar, u_* = kecepatan gesek, S_0 = kemiringan dasar saluran, B = lebar saluran, C_c = koefisien kontraksi, K_a = factor yang mengindikasikan arah aliran, K_b =

kekasaran hulu saluran, K_c = kekasaran dinding saluran, K_d = factor yang mengindikasikan efek geometri melintang saluran, ρ_s = rapat massa sedimen, D_{50} = diameter butiran sedimen, σ_g = standar deviasi ukuran distribusi partikel sedimen, C = kohesifitas material dasar, K_f = factor bentuk butiran, b = karakteristik ukuran pilar, K_g = factor yang mengindikasikan jumlah pilar, K_r = kekasaran permukaan pilar, K_v = faktor sudut pilar terhadap arah vertikal, t = durasi aliran.

Grafik hubungan antara kedalaman gerusan dan waktu yang menyebabkan gerusan umumnya pada awalnya naik hingga memuncak, kemudian mengalami penurunan dan akhirnya membentuk asimtot. Bentuk dari hidrograf aliran menjadi penting, sebagaimana durasi banjir. Selain itu durasi dari periode resesi juga memegang peranan penting (Melville, 2008). Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama terjadi aliran yang mengalir permukaan tanah, maka kedalaman aliran juga akan semakin dalam.

Pada publikasi terdahulu, (Purnomo & Widiyanto, 2014) telah memberikan fungsi variabel yang berpengaruh pada gerusan di bahu jalan yang tidak diperkeras yang dibuat berdasarkan teori Shields dan dengan mempertimbangkan parameter-parameter gerusan lokal, seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 2.

$y_s = f(I, t, \rho, \rho_s, d_{50}, v, U, y_0, g)$
 dengan I = intensitas hujan, t = durasi hujan, ρ = rapat massa air, ρ_s = rapat massa sedimen / tanah, ν = kekentalan kinematik air, U = kecepatan aliran rata-rata, y_0 = kedalaman *run-off*, d_{50} = diameter butiran sedimen.

Selanjutnya, (Purnomo et al., 2015) memberikan analisis multivariabel 26 set data bahu jalan tidak diperkeras yang berupa tanah, berdasarkan Persamaan 1, sehingga menghasilkan persamaan yang ditunjukkan pada Persamaan 3.

$$y_s = 1.817,56 \times S_l + 1.039,87 \times S_p + 275,02 \times D_{50} \quad (3)$$

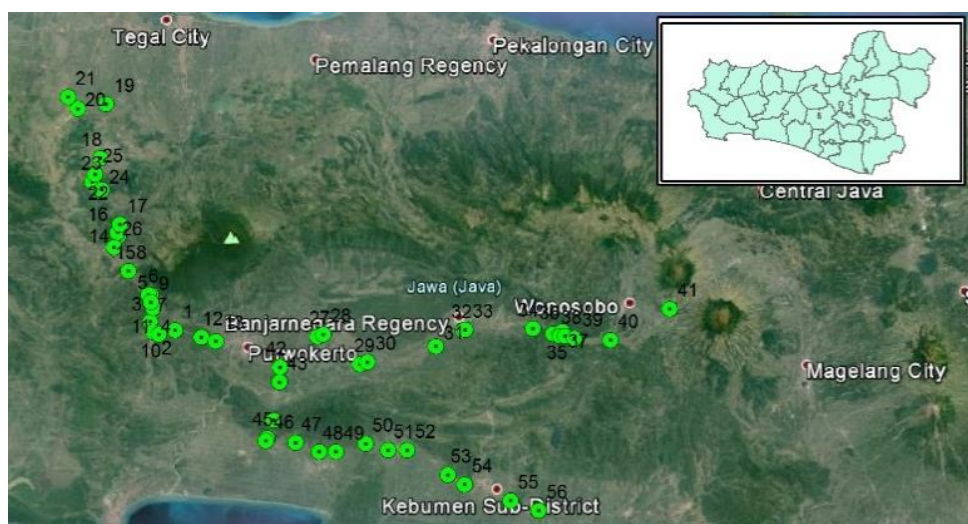
Persamaan 3 memiliki statistik regresi yang menghasilkan *multiple R* = 0,93, *R square* = 0,87, *adjusted R square* = 0,82, *standard error* = 61,03.

II. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis dimulai dengan pengambilan data primer, kemudian dilakukan pengujian di laboratorium untuk mengetahui karakteristik tanah tersebut. Data lain yang dibutuhkan adalah berupa perekaman data curah hujan di daerah Jawa Tengah. Berbekal data-data yang telah diambil di lapangan, maka data-data tersebut dapat diolah lebih lanjut dan dilakukan analisis multivariabel sehingga nantinya didapatkan persamaan regresi multivariabel.

a. Titik Pengambilan Data Primer

Data primer diambil sebanyak 56 set data di sepanjang ruas jalan nasional Purwokerto – Bumiayu – Pejagan, Purbalingga – Banjarnegara – Wonosobo, dan Purbalingga – Bumiayu – Kebumen. Peta persebaran titik sampel ditunjukkan pada Gambar 1.



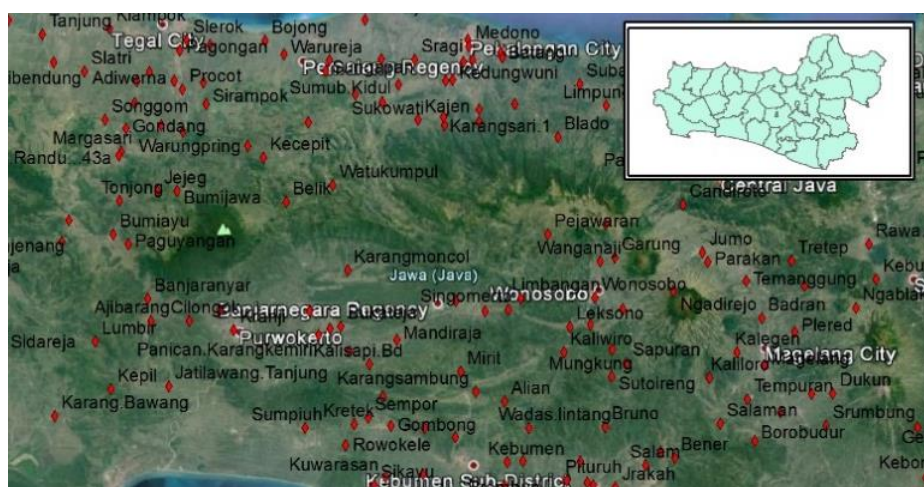
Gambar 1. Peta Persebaran Titik Sampel

Sumber: (Google-Earth-Pro, 2016), dan diolah lebih lanjut

Data primer yang diambil adalah berupa data sampel tanah (sedimen) yang berasal dari bahu jalan yang tidak diperkeras. Selain karakteristik tanah, pengambilan data di lapangan juga meliputi data kemiringan melintang jalan, kemiringan memanjang jalan, kedalaman, lebar, dan panjang gerusan.

a. Data Curah Hujan

Data curah diambil dari stasiun-stasiun hujan yang berada di Jawa Tengah dengan panjang data dari tahun 1985 – 2014. Titik lokasi stasiun hujan tampak pada Gambar 2.



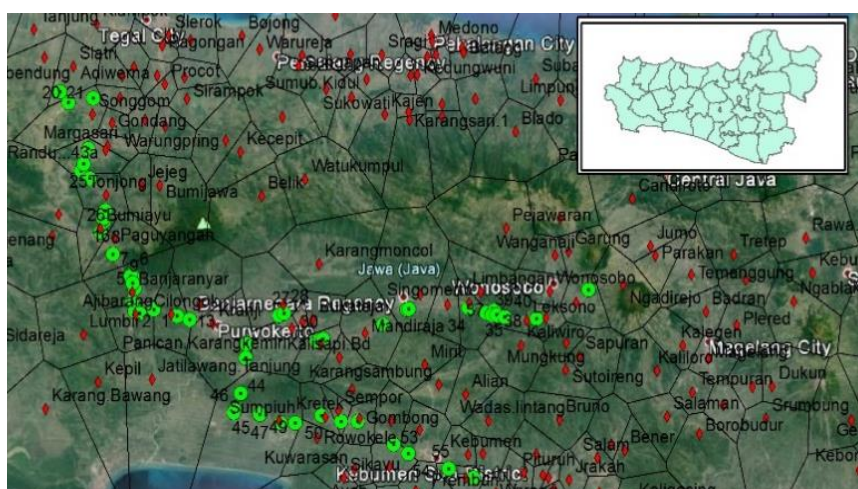
Gambar 2. Lokasi Stasiun Hujan di yang Dekat dengan Wilayah Studi

Sumber: (Google-Earth-Pro, 2016), dan diolah lebih lanjut

Stasiun-stasiun hujan tersebut kemudian dianalisis lebih lanjut sehingga didapatkan Poligon Thiessen untuk mengetahui kondisi dan pengaruh meteorologi di tiap titik sampel. Data hujan di tiap stasiun hujan dipilih menggunakan metode *partial series*. Metode *partial series* adalah memilih data dengan cara menetapkan suatu batas tertentu dengan pertimbangan-pertimbangan tertentu, dan selanjutnya data yang digunakan dalam analisis adalah data yang berada diatas ambang tersebut. Proses pemilihan data menggunakan

metode *partial series* karena dianggap lebih lebih baik dalam mewakili data (Madsen, Rasmussen, & Rosbjerg, 1997), (Mkhandi, Opere, & Willems, 2005), (Bezak, Brilly, & Šraj, 2014).

Setelah data hujan dipilih, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis frekuensi hingga mendapatkan kala ulang hujannya. Kala ulang yang digunakan pada publikasi ini adalah hujan kala ulang 2 tahun, karena diasumsikan gerusan di bahu jalan diakibatkan oleh hujan yang cukup sering berulang.



Gambar 3. Peta titik sampel dan Polygon Thiessen
 Sumber: (Google-Earth-Pro, 2016), dan diolah lebih lanjut

b. Analisis Multivariabel

Analisis multivariabel digunakan dalam penelitian ini karena berdasarkan Persamaan 2, terdapat lebih dari 1 variabel respon (Y) yang mempengaruhi variabel predictor (X).

Pada publikasi ini, dianalisis pengaruh kondisi geomteri jalan dan intensitas hujan terhadap kedalaman gerusan di bahu jalan. Hasil analisis multivariabel ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Regresi Multivariabel untuk Kedalaman Gerusan di Bahu Jalan Berdasarkan Kondisi Geometri Jalan Dan Intensitas Hujan.

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	0	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
Kemiringan Melintang Jalan (S1)	1223,067	755,2477	1,619426	0,111406	-292,448	2738,583	-292,448	2738,583
Kemiringan Memanjang Jalan (Sp)	941,2331	401,9335	2,341763	0,023059	134,6946	1747,772	134,6946	1747,772
D50 (mm)	0,183326	2,984816	0,06142	0,951261	-5,80615	6,172798	-5,80615	6,172798
Hujan rencana (mm)	0,832005	0,131886	6,308535	6,25E-08	0,567357	1,096652	0,567357	1,096652

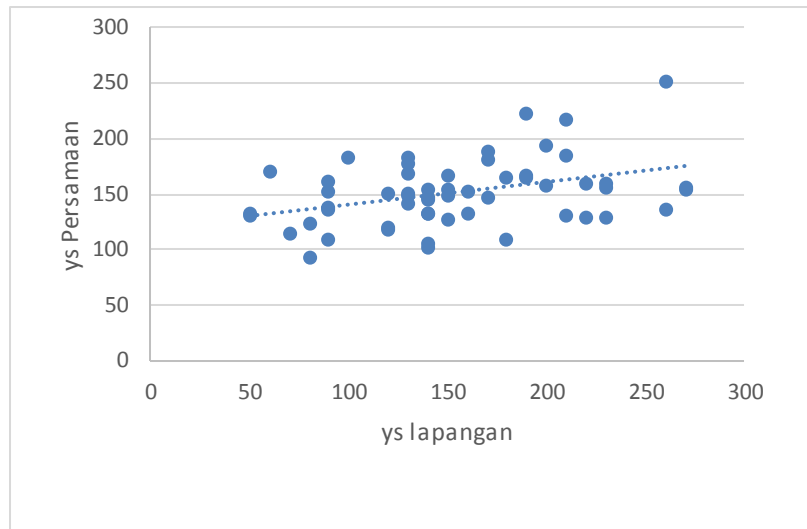
Sumber: Hasil Analisis, 2016

Tabel 2. Perbandingan Kedalaman Gerusan di Bahu Jalan Hasil Pengukuran Lapangan dengan Persamaan 4.

y_s pengukuran di lapangan (mm)	y_s hasil Persamaan 4 (mm)
210	184.521
50	130.621
90	139.264
190	166.134
140	132.832
150	127.455
170	180.994
200	157.447
130	178.687
130	150.044
130	168.973
130	183.570
230	160.060
260	137.097
150	148.597
60	170.127
130	151.566
160	132.778
140	106.544
70	115.468
90	109.756
80	93.784
140	102.972
270	154.231
50	133.405
270	156.175
120	120.854
80	124.925
90	135.914

y_s pengukuran di lapangan (mm)	y_s hasil Persamaan 4 (mm)
140	133.188
130	142.979
180	110.220
220	128.710
160	153.600
120	119.078
180	164.744
190	167.809
170	146.849
230	129.029
220	159.551
140	148.069
100	183.490
260	252.810
210	217.502
170	189.109
120	151.646
150	166.879
140	155.508
200	194.920
230	156.578
190	222.340
90	161.961
210	131.610
150	154.688
140	145.311
90	152.839

Sumber: Hasil Analisis, 2016



Gambar 4. Grafik Hubungan Kedalaman Gerusan Berdasarkan Data Lapangan dan Berdasarkan Persamaan 4

Berdasarkan Tabel 2 dan Gambar 4 tampak bahwa Persamaan 4 dapat memberikan model persamaan yang cukup mendekati kondisi di lapangan. Namun terdapat beberapa data yang memiliki perbedaan yang cukup signifikan. Titik-titik sampel yang memiliki perbedaan nilai kedalaman gerusan umumnya memiliki jenis tanah lempung tak organik.

III. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis multivariabel, tampak bahwa kedalaman gerusan di bahu jalan paling dipengaruhi oleh kemiringan melintang jalan. Dengan melihat hasil statistic regresi yang dihasilkan oleh analisis multivariabel, tampak bahwa Persamaan 4 memberikan model persamaan yang lebih baik

dibandingkan dengan Persamaan dari publikasi sebelumnya.

Perlu dilakukan analisis lebih lanjut untuk melihat keterkaitan lebar dan panjang gerusan dengan geometri jalan dan intensitas hujan, serta pengaruh jenis tanah yang digunakan sebagai bahu jalan yang tidak diperkeras di bahu jalan.

IV. DAFTAR PUSTAKA

- Akib, S., Jahangirzadeh, A., & Basser, H. (2014). Local scour around complex pier groups and combined piles at semi-integral bridge. *J. Hydrol. Hydromech.*, 62(2), 108–116. <https://doi.org/10.2478/johh-2014-0015>.
- Aldrian, E. (2000). Pola Hujan Rata-Rata Bulanan Wilayah Indonesia ; Tinjauan Hasil Kontur Data Penakar Dengan Resolusi Echam T -42. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 1(2), 113–123.

- Aldrian, E. (2003). *Simulations of Indonesian Rainfall with a Hierarchy of Climate Models*. Universitas Hamburg.
- Aldrian, E., Gates, L. D., & Widodo, F. H. (2003). *Report No. 346 Variability of Indonesian Rainfall and the Influence of ENSO and Resolution in ECHAM4 Simulations and in the Reanalyses*. Hamburg.
- Beg, M., & Beg, S. (2013). Scour Reduction around Bridge Piers: A Review. *International Journal of Engineering Inventions*, 2(7), 7–15.
- Bezak, N., Brilly, M., & Šraj, M. (2014). Comparison Between The Peaks-Over-Threshold Method And The Annual Maximum Method For Flood Frequency Analysis. *Hydrological Sciences Journal – Journal Des Sciences Hydrologiques*, 59(5), 959–977.
<https://doi.org/10.1080/02626667.2013.831174>
- Breusers, H. N. C. (1977). Local Scour Around Cylindrical Piers. *Journal of Hydraulic Research*, 15(3), 211–252.
- Dey, S. (1999). Sediment threshold. *Applied Mathematical Modelling*, 23(5), 399–417.
[https://doi.org/10.1016/S0307-904X\(98\)10081-1](https://doi.org/10.1016/S0307-904X(98)10081-1)
- Elsebaie, I. H. (2013). An Experimental Study of Local Scour Around Circular Bridge Pier in Sand Soil. *International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS*, 13(01).
- Ghazvinei, P. T., Ariffin, J., Abdullah, J., & Mohamed, T. A. (2014). Assessment of Local Scour at Bridges Abutment. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 8(3), 296–304.
- Google-Earth-Pro. (2016). Retrieved December 24, 2016, from www.earth.google.com.
- Halim, F. (2014). Pengaruh Debit Terhadap Pola Gerusan di Sekitar Abutmen Jembatan (Uji Laboratorium Dengan Skala Model Jembatan Megawati). *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 4(1).
- Khwairakpam, P., & Mazumdar, A. (2009). Local Scour Around Hydraulic Structures. *International Journal of Recent Trends in Engineering*, 1(6), 1–3.
- Madsen, H., Rasmussen, P. F., & Rosbjerg, D. (1997). Comparison of Annual Maximum Series and Partial Duration Series Methods for Modeling Extreme Hydrologic Events. *WATER RESOURCES RESEARCH*, 33(4), 747–757.
- Melville, B. (2008). The Physics Of Local Scour. In *Fourth International Conference on Scour and Erosion* (pp. 28–40).
- Mkhandi, S., Opere, A. O., & Willems, P. (2005). *Comparison Between Annual Maximum And Peaks Over Threshold Models For Flood Frequency Prediction* (Vol. 1). Tanzania. Retrieved from http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Cairo/pdf/COMPARISON_BETWEEN_ANNUAL_MAXIMUM.pdf
- Paphitis, D. (2001). Sediment movement under unidirectional flows: An assessment of empirical threshold curves. *Coastal Engineering*, 43(3-4), 227–245.
[https://doi.org/10.1016/S0378-3839\(01\)00015-1](https://doi.org/10.1016/S0378-3839(01)00015-1)
- Purnomo, S. N., & Widiyanto, W. (2014). Perencanaan Model Fisik Peristiwa Gerusan di Bahu Jalan Raya. In *Peran Rekayasa Sipil dalam Pembangunan Infrastruktur Perkotaan Berkelanjutan untuk Mendukung Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia* (pp. 163–171). Bandung: Institut Teknologi Nasional.
- Purnomo, S. N., Widiyanto, W., Santosa, P. B., Wahyu, E., Tri, T., Yuni, K., ... Soedirman, U. J. (2015). Analisis variabel yang berpengaruh terhadap

- kedalaman gerusan di bahu jalan. In *Pengembangan Sumber Daya Pedesaan dan Kearifan Lokal Berkelanjutan V (in Bahasa Indonesia)* (pp. 199 – 209). Purwokerto: Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat UNSOED.
- Santosa, P. B., Purnomo, S. N., Nasiain, & Aprilia, P. D. (2016). Pengaruh kemiringan melintang badan jalan pada kedalaman gerusan di bahu jalan dengan pemodelan gerusan di bahu jalan. In Universitas Jenderal Soedirman (Ed.), *Pengembangan Sumber Daya Pedesaan dan Kearifan Lokal Berkelanjutan VI*. Purwokerto: Universitas Jenderal Soedirman.
- United States of Soil Conservation Service. (1983). Sedimentation. In *National Engineering Handbook*. Washington D. C.: U. S. Dept. of Agriculture, Soil Conservation Service.
- Wilcock, P. R. (1988). Methods for estimating the critical shear stress of individual fractions in mixed size sediment. *Water Resources Research*, 24(7), 1127–1135.
- Yanmaz, A. M. (2001). Uncertainty of Local Scouring Parameters Around Bridge Piers. *Turk J Engin Environ Sci*, 25, 127–137.