

STABILITAS ALUR MEANDER DITINJAU DARI GEOMETRI ALUR DAN KLASIFIKASI TANAH

Siti Murniningsih

Departemen Teknik Sipil, Universitas Indonesia, Depok

titik_winaro@yahoo.com

Pemasukan: 21 April 2021 Perbaikan: 27 Mei 2021 Diterima: 28 Mei 2021

Intisari

Sungai pada umumnya dapat dikelompokkan menjadi 3 bagian yaitu bagian hulu, bagian tengah dan bagian hilir. Dari hulu sampai ke hilir dapat dicermati perubahan-perubahan komponen sungai seperti kemiringan sungai, debit sungai, kecepatan aliran, ukuran bahan dasar material dasar sungai dan bentuk alur sungai. Daerah meander atau bagian sungai yang mempunyai alur dengan pola meander atau berkelok-kelok biasanya terdapat di daerah perpindahan sungai bagian tengah dan bagian hilir yang mana kemiringan memanjang di daerah tersebut mulai berkurang sehingga kecepatan akan menurun. Dengan demikian adanya perubahan geometri penampang sungai dan geometri alur serta perubahan klasifikasi tanah dasar sungai dapat mempengaruhi stabilitas alur meander. Hubungan antara stabilitas alur meander dengan geometri meander dan klasifikasi tanah dasar sungai akan diteliti dengan menggunakan data-data pada sungai Pesanggrahan yang telah dinormalisasi pada tahun 2011. Untuk penelusuran alur sebelum dan sesudah normalisasi dipergunakan perangkat lunak HEC-RAS, sedangkan klasifikasi tanah dasar sungai Pesanggrahan diperoleh dari pengambilan sampel tanah di lokasi. Berdasarkan data-data tersebut dibangun model fisik geometri alur meander dengan radius kurva lebih kecil dari 90^0 dan radius kurva lebih besar dari 90^0 serta klasifikasi tanah dasar sandy silt dan clayey silt. Hasil dari model fisik untuk alur meander dengan geometri radius kurva lebih kecil dari 90^0 lebih stabil daripada alur meander dengan geometri radius kurva lebih besar dari 90^0 . Dengan demikian jika ada pekerjaan normalisasi sungai dan ditemukan alur meander yang tidak berubah bentuk selama beberapa tahun disarankan tidak perlu dilakukan pelurusan untuk menjaga ekosistem dari Daerah Aliran Sungai (DAS) secara keseluruhan.

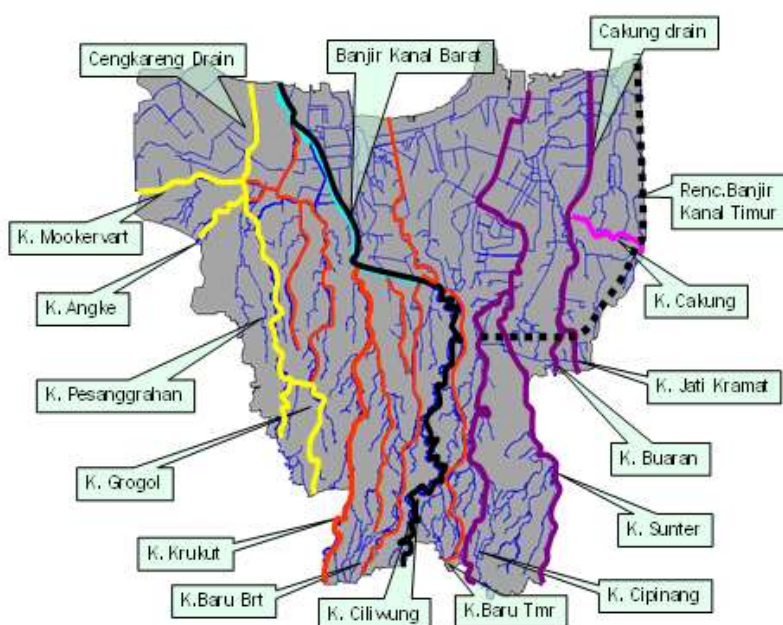
Kata Kunci : geometri meander, radius kurva, klasifikasi tanah, normalisasi

Latar Belakang

Daerah meander atau bagian sungai yang mempunyai alur dengan pola meander atau berkelok-kelok biasanya terdapat di daerah perpindahan sungai bagian tengah dan bagian hilir yang mana kemiringan memanjang di daerah tersebut mulai berkurang dan penampang melintang juga semakin melebar sehingga kecepatan akan menurun. Di daerah perpindahan ini gradasi butiran yang terangkut dalam aliran juga akan mengecil dari yang semula batuan besar akan terpecah menjadi kerikil besar, kerikil kecil dan semakin ke hilir akan menjadi tanah liat dan lumpur.

Hal ini disebabkan karena disepanjang perjalanan aliran dari hulu ke hilir bekerja gaya-gaya dalam atau inner energy yang akan memecah ukuran angkutan sediment dari batuan besar menjadi butiran yang lebih kecil dan halus (Abad, Jorge D., et.al, 2007). Dengan demikian adanya perubahan geometri penampang sungai dan geometri alur serta perubahan klasifikasi tanah dasar sungai dapat mengakibatkan perubahan bentuk alur terutama di daerah perpindahan antara bagian tengah dan bagian hilir di sepanjang alur sungai tersebut.

Jakarta adalah Ibukota negara Indonesia dengan tingkat kepadatan penduduk yang cukup tinggi yaitu sekitar 10 juta penduduk dengan luas daerah sekitar 661,5 km². Sebagian kota Jakarta terletak di bawah permukaan air pasang dan dilalui 13 sungai diantaranya yaitu Sungai Pesanggrahan, Sungai Krukut, Sungai Ciliwung dan Sungai Sunter seperti yang tercantum pada peta kota Jakarta (Gambar 1).



(Sumber: Litbang “Kompas”/PUT/C13/DEW/SGH)
 Gambar 1. Sungai yang melalui kota Jakarta

Hubungan antara stabilitas geometri meander dengan klasifikasi tanah dasar sungai ini akan di teliti pada beberapa sungai yang melalui kota Jakarta akan tetapi dengan keterbatasan waktu maka dipilih Sungai Pesanggrahan yang akan diteliti lebih mendalam.

Sungai Pesanggrahan yang berhulu di Kabupaten Bogor, mengalir melintasi kota Depok, daerah Jakarta Selatan, daerah Jakarta Barat hingga akhirnya ke Cengkareng Drain kemudian mengalir ke laut Jawa. Panjang sungai Pesanggrahan sekitar 66,7 km, yang mana terlihat bahwa alur sungai di daerah tengah berkelok-kelok tajam sedangkan di bagian hilir cenderung lurus dengan radius curvature lebih besar dari 90⁰. Untuk mengurangi bencana banjir yang hampir setiap tahun terjadi di beberapa wilayah kota Jakarta, pada tahun 2011 sampai dengan 2015 dilakukan normalisasi sungai Pesanggrahan sepanjang 26,7 km. Jenis pekerjaan normalisasi untuk mendapatkan dimensi dan kecepatan aliran sesuai dengan debit

yang akan dilalukan adalah pelebaran alur, perkuatan tebing sungai, pendalaman alur sungai serta pembuatan pelurusan alur meander di ruas sungai bagian tengah. Dengan melakukan normalisasi pada Sungai Pesanggrahan ini, diharapkan sekitar 50% banjir di DKI Jakarta dapat diatasi (Kompas.com, 2013). Dengan jenis pekerjaan seperti tersebut diatas maka untuk melakukan normalisasi banyak sekali faktor yang harus dipertimbangkan terutama perubahan kemiringan alur untuk daerah sodetan yang akan mempengaruhi kecepatan sehingga akan terjadi masalah erosi dan sedimentasi, perubahan habitat di daerah aliran sungai dan besarnya biaya untuk menjaga perubahan alur sebagai akibat dari normalisasi tersebut.

Identifikasi Masalah

Daerah aliran sungai Pesanggrahan selama kurang lebih 30 tahun terakhir telah mengalami perubahan tata guna lahan yang sangat signifikan yang mengakibatkan proses stabilisasi alur yang terus menerus sehingga merubah bentuk alur melintang dan memanjang. Karena adanya energy aliran yang akan memecah butiran-butiran dasar sungai dari hulu ke hilir dari batuan besar menjadi kerikil dan akhirnya menjadi pasir dan lumpur maka bentuk geometri alur kearah memanjang berhubungan dengan komposisi tanah dasar.

Sungai Pesanggrahan di bagian tengah dan hilir melewati daerah-daerah yang telah terbangun sehingga dengan adanya perubahan geometri alur akan mengakibatkan genangan-genangan atau banjir pada saat debit sungai melebihi debit normal.



Gambar 2. Sungai Pesanggrahan di daerah tengah

Banjir yang terjadi di sepanjang aliran Sungai Pesanggrahan sebenarnya sebagai akibat karena tidak sebandingnya daerah resapan air dengan kawasan terbangun di Daerah Aliran Sungai (DAS). Sebagai contoh pada Sungai Pesanggrahan, sebanyak 70% kawasan terbangun dari luas DAS dengan sekitar 45% terdiri dari pemukiman padat yang tersebar di daerah perpindahan sungai bagian tengah ke sungai bagian hilir yaitu dari Kebayoran Lama, Jakarta Selatan dan Kedoya, Jakarta Barat sedangkan kawasan hijau hanya sekitar 7% dan tidak merata. (Sumber: Pusat Data Informasi dan Humas Badan Nasional Penanggulangan Bencana). Sehingga perlu adanya pendekatan rekayasa alur sungai untuk mengurangi bencana banjir yang salah satunya adalah pemotongan lengkung meander guna mempercepat aliran kearah hilir. Namun demikian perlu adanya penelitian apakah pemotongan tersebut tidak membawa dampak erosi dan sedimentasi di alur sungai secara keseluruhan.

Metode Penelitian

Penelitian hubungan antara geometri meander dengan klasifikasi tanah dasar pada Sungai Pesanggrahan di DKI Jakarta dengan ruas area yang diamati sepanjang $\pm 10,127$ km dimulai dari wilayah Grogol Selatan, Kecamatan Kebayoran Lama hingga wilayah Cengkareng, Jakarta Pusat. Jika ditinjau dari keseluruhan bagian sungai maka ruas tersebut adalah sungai bagian tengah, yang melewati daerah perkotaan yang telah berkembang dan berpola meander yang mana terlihat bahwa alur sungai di daerah tengah berkelok-kelok tajam sedangkan di bagian hilir cenderung lurus dengan sudut radius kurvature lebih besar dari 90^0 .

Hubungan antara stabilitas alur meander dengan geometri meander dan klasifikasi tanah dasar sungai ini dengan mempergunakan data-data pada Sungai Pesanggrahan yang telah di normalisasi pada tahun 2011 sampai dengan 2013 (Murniningsih, S., 2020).

Langkah-langkah penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pemetaan DAS dengan mempergunakan Sistem Informasi Geografis
2. Penelusuran Aliran Sungai Pesanggrahan dengan mempergunakan perangkat lunak HEC-RAS (US Army Corps of Engineers, 1995).
3. Pengambilan sample tanah dasar sungai untuk menentukan klasifikasi tanah dan komposisi material.
4. Simulasi Hubungan Antara Geometri Alur Meander dengan Klasifikasi Tanah dengan membuat pemodelan fisik.

Untuk mendapatkan gambaran yang lebih akurat maka dengan Sistem Informasi Geografis (Arc-GIS) dilakukan pemetaan DAS Pesanggrahan. Kemudian penelusuran alur sebelum dan sesudah normalisasi dengan bantuan perangkat lunak HEC-RAS, sedangkan klasifikasi tanah dasar diperoleh dari pengambilan sampel tanah di lokasi. Berdasarkan data-data tersebut di bangun model fisik geometri alur meander dengan radius kurva lebih kecil dari 90^0 dan radius kurva lebih besar dari 90^0 serta klasifikasi tanah dasar sandy silt dan clayey silt.

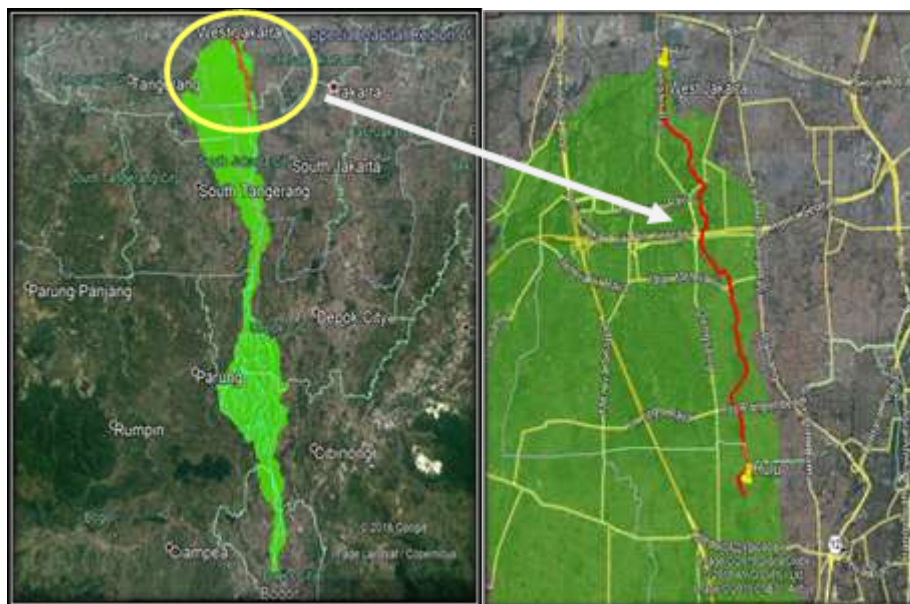
Pemetaan DAS dengan mempergunakan Sistem Informasi Geografis

Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan sistem pengolahan informasi geografis berbasis komputer. ArcGIS adalah perangkat lunak yang dikeluarkan oleh ESRI Inc. digunakan untuk memproses pemetaan Daerah Aliran Sungai (DAS) Pesanggrahan sehingga diperoleh hasil yang lebih akurat (Gambar 3). Bentuk dari DAS Pesanggrahan adalah pipih memanjang dengan luas DAS 112.06 km². Sesuai dengan bentuk DAS maka apabila terjadi debit yang melebihi debit rencana maka penurunannya akan lebih lambat karena jarak yang di tempuh sampai dengan muara cukup Panjang. Lokasi penelitian terletak di daerah perpindahan sungai bagian tengah dan hilir (Gambar 3).

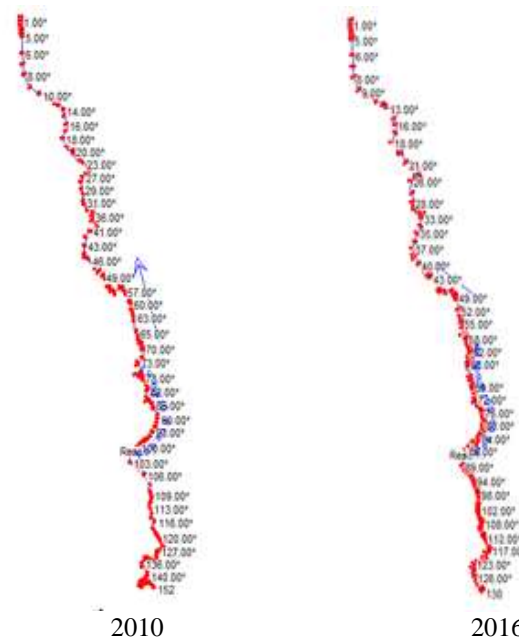
Penelusuran Aliran Sungai Pesanggrahan dengan mempergunakan perangkat lunak HEC-RAS

Hydrologic Engineering Center – River Analysis System (HEC-RAS) merupakan program perangkat lunak yang dikembangkan oleh US Army Corps of Engineer

dipergunakan untuk melakukan penelusuran aliran sungai Pesanggrahan dari Hulu ke Hilir berdasarkan debit aliran tahun 2010 sebelum ada normalisasi dan debit tahun 2016 sesudah dilakukan normalisasi. Normalisasi menyebabkan perubahan panjang sungai di mana panjang sungai di ruas penelitian sebelum normalisasi adalah 10.127 m dan setelah normalisasi menjadi 9.029 m. Hal ini disebabkan karena ada pekerjaan pelurusan dan sodetan di beberapa bagian sungai. Gambar 4 menunjukkan perbedaan profil memanjang sungai sebelum dinormalisasi dan setelah dinormalisasi.



Gambar 3. DAS Pesanggrahan dan lokasi penelitian



Gambar 4. Alur Sungai Pesanggrahan sebelum normalisasi (2010) dan sesudah normalisasi (2016)

Alur sungai Pesanggrahan pada kondisi tahun 2016, terdapat beberapa ruas sungai yang dinormalisasi, Sebagian dengan memasang perkuatan tebing dan memperlebar penampang sungai (Gambar 5) dan sebagian lagi dengan pelurusan alur (Gambar 6) yang mengakibatkan berkurangnya panjang alur di daerah yang diteliti, semula 10.127 km menjadi 9.090 km.



Gambar 5. Pekerjaan Perkuatan Tebing



Gambar 6. Pelurusan Alur Meander

Pengambilan sample tanah dasar sungai untuk menentukan klasifikasi tanah dan komposisi material.

Lokasi dari penelitian ini adalah terletak di daerah tengah menuju ke hilir dengan pola alur sungai berkelok-kelok atau meander. Untuk dapat memperoleh hubungan antara geometri meander dengan klasifikasi tanah dasar maka di ambil sample tanah dasar sungai di hulu dan hilir ruas yang ditinjau (Gambar 7).

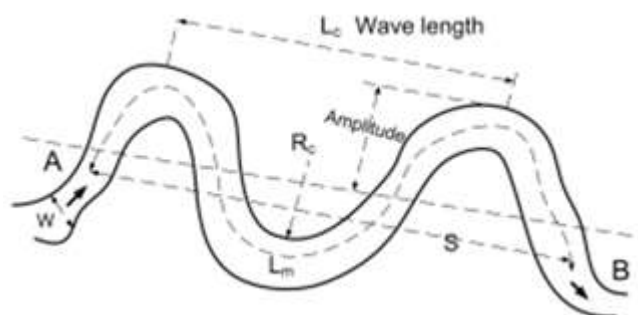


Gambar 7. Lokasi Pengambilan Sampel Tanah

Data hasil uji gradasi butiran tanah dasar dari ke-2 (dua) lokasi tersebut akan dipergunakan untuk menentukan klasifikasi tanah dan komposisi material yang akan dipergunakan untuk membuat pemodelan fisik dengan alur lengkung tunggal (Yang, C. T., 2004).

Simulasi Hubungan Antara Geometri Alur Meander dengan Klasifikasi Tanah dengan membuat pemodelan fisik.

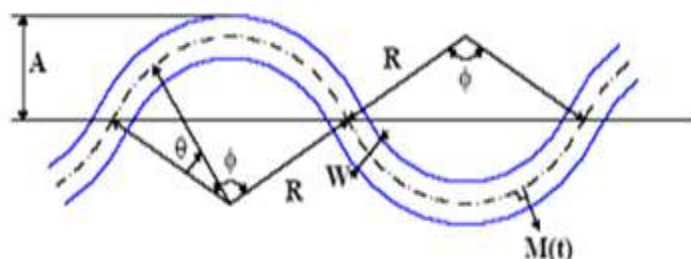
Simulasi hubungan antara geometri alur meander (Gambar 8) dengan klasifikasi tanah dilakukan dengan membuat pemodelan fisik.



L adalah panjang lengkung meander dari A ke B, S adalah Jarak lurus dari A ke B, dan R adalah Radius kurvature

Gambar 8. Geometri Alur Meander (Duan, Jennifer G. & Julien, Pierre Y., 2005)

Pemodelan fisik dilakukan di Laboratorium Hidrolika dan Hidrologi Universitas Indonesia dengan menggunakan peralatan Mobile Bed yang panjangnya 200 cm, lebar 60 cm dan kedalaman 12 cm. Untuk pemodelan fisik dipergunakan parameter meander seperti Gambar 9.



A adalah Amplitudo Meander, W adalah Lebar Alur; $M(t)$ adalah Pergerakan Distribusi Meander; R adalah Radius Kurvature; ϕ adalah Sudut Lengkungan; dan t adalah waktu

Gambar 9. Parameter Alur Meander pada model fisik

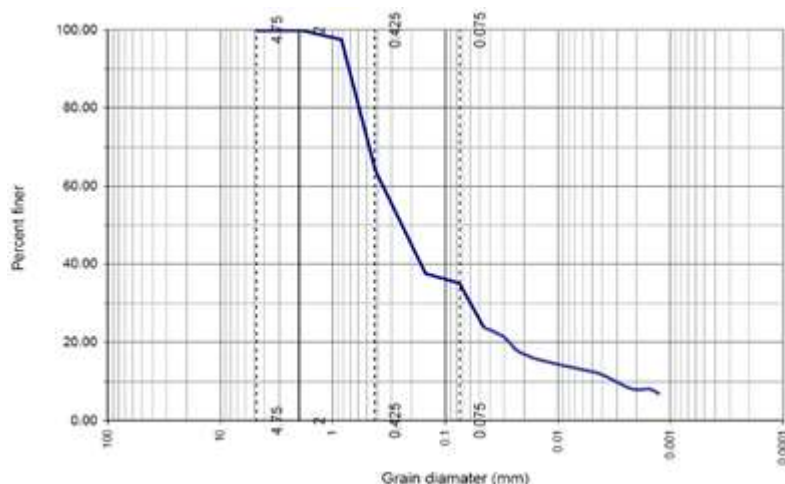
Percobaan pertama, pemodelan fisik untuk alur meander di daerah hulu dengan sudut lengkungan (ϕ) kurang dari 90^0 dan dibentuk dengan klasifikasi tanah dan komposisi tanah hasil sampling pada titik 1 (satu). Percobaan kedua, pemodelan fisik untuk alur meander di daerah hilir dengan sudut lengkungan (ϕ) lebih besar dari 90^0 dan dibentuk dengan klasifikasi tanah dan komposisi tanah hasil samplings pada titik 2 (dua).

Hasil dan Pembahasan

Dari penelusuran alur Sungai Pesangrahan pada ruas penelitian, maka diperoleh gambaran bahwa di daerah hulu, bentuk alur adalah meander yang berkelok-kelok tajam dengan sudut lengkungan (ϕ) di titik 1 (satu) lebih kecil dari 90^0 (Gambar 10). Hasil uji gradasi sampling material di titik 1 (satu), klassifikasi tanah adalah *Sandy Silt* dengan komposisi *Sand* 65 %; *Silt* 27 %; *Clay* 8 % (Gambar 11).



Gambar 10. Alur Meander di daerah hulu (titik 1)



Gambar 11. Uji Gradasi (Sand 65 %; Silt 27 %; Clay 8 %)

Hasil percobaan laboratorium pada penelitian terdahulu (Murniningsih, 2018) dengan lengkung tunggal dan klasifikasi tanah sandy silt menunjukkan bahwa untuk komposisi tanah sand 65 %; silt 27 %; clay 8 %, bentuk alur meander relatif stabil (Gambar 12). Karena setelah dilakukan percobaan selama 3 jam bentuk alur tidak menunjukkan perubahan yang berarti.

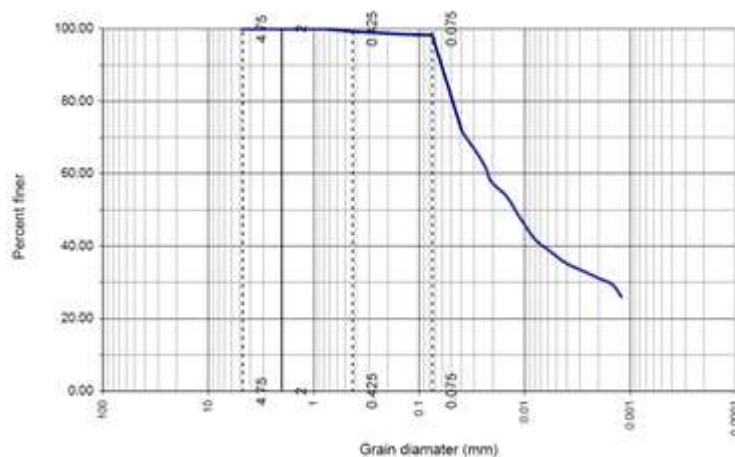


Gambar 12. Percobaan Laboratorium; Komposisi tanah 65%; Silt 27%;Clay 8 % (Sandy Silt)

Sudut lengkung meander alur sungai pada ruas penelitian, semakin kearah hilir semakin membesar dan pada titik penelitian 2 (dua) di daerah hilir, sudut lengkungan (ϕ) menjadi lebih besar dari 90^0 . Sedangkan hasil uji gradasi sampling material di titik 2 (dua) klasifikasi tanah adalah *Clayey Silt* dengan komposisi *Sand* 2 %; *Silt* 67 %; *Clay* 31%.



Gambar 13. Alur Meander di daerah hilir (titik 2)



Gambar 14. Hasil Uji Gradasi (Sand 2 %; Silt 67 %; Clay 31 %)



11.00

11.20

11.30

Gambar 15. Percobaan Laboratorium ; Komposisi tanah 2%;Silt 67%; Clay 31% (Clayey Silt)

Hasil percobaan laboratorium penelitian terdahulu (Murniningsih, 2018) dengan lengkung tunggal dan klasifikasi tanah *Clayey Silt* menunjukkan bahwa untuk komposisi tanah *Sand 2 %; Silt 67 %; Clay 31%*, bentuk alur dalam waktu 30 menit telah berubah karena kondisi penampang sungai dengan klasifikasi tanah *Clayey Silt* mudah tergerus sehingga terjadi pelebaran penampang.

Kesimpulan dan Saran

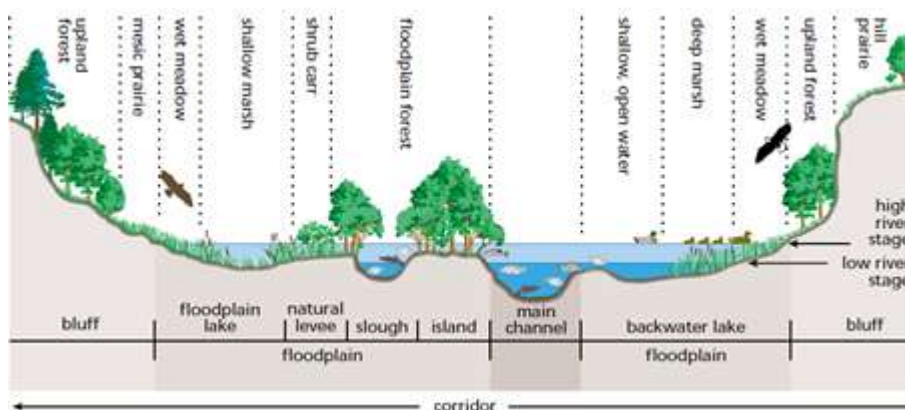
Dari penelitian stabilitas alur meander ditinjau dari geometri alur dan klasifikasi tanah dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Sungai Pesanggrahan yang berhulu di Bogor mengalir melalui kota Jakarta dan bermuara di Laut Jawa dan mempunyai bentuk alur meander pada daerah perpindahan sungai bagian tengah dan bagian hilir atau lebih dikenal dengan daerah *transfer zone*.
2. Ruas sungai yang diteliti adalah sepanjang ± 10.127 km dimulai dari wilayah Grogol Selatan, kecamatan Kebayoran Lama yang disebut daerah hulu hingga wilayah Cengkareng, Jakarta Pusat yang disebut daerah hilir.
3. Pada daerah hulu geometri alur meander mempunyai sudut lengkungan (ϕ) lebih kecil dari 90^0 , radius curvature pendek dan amplitude pendek sedangkan pada daerah hilir alur meander mempunyai sudut lengkungan (ϕ) lebih besar dari 90^0 , radius curvature dan amplitude lebih panjang daripada lengkung meander di daerah hulu (Gambar 8).
4. Dari hasil sampling pengambilan tanah dasar ada perbedaan klasifikasi dan komposisi tanah dasar sungai yaitu dibagian hulu klasifikasi tanah adalah **Sandy Silt** dengan komposisi tanah **Sand 65 %; Silt 27 %; Clay 8 %**, sedangkan di bagian hilir klasifikasi tanah **Clayey Silt** dengan komposisi **Sand 2 %; Silt 67 %; Clay 31 %**. Hal ini disebabkan karena semakin ke hilir gradasi butiran yang terangkut dalam aliran juga akan mengecil dari yang semula batuan besar akan terpecah menjadi kerikil besar, kerikil kecil dan semakin ke hilir akan menjadi tanah liat dan lumpur.
5. Dari hasil pemodelan fisik dengan lengkung tunggal untuk alur meander yang mempunyai sudut lengkungan (ϕ) lebih kecil dari 90^0 dan klasifikasi tanah dasar **Sandy Silt** dengan komposisi komposisi tanah **Sand 65%; Silt 27%; Clay 8%**, menunjukkan bentuk alur meander relative stabil (Gambar 12), sedangkan alur meander yang mempunyai sudut lengkungan (ϕ) lebih besar dari 90^0 dan klasifikasi tanah dasar **Clayey Silt** dengan komposisi **Sand 2%; Silt 67 %; Clay 31%** bentuk alur cenderung mendekati alur lurus karena kondisi penampang sungai dengan klasifikasi tanah Clayey Silt mudah tergerus sehingga terjadi pelebaran penampang.

Dari penelitian stabilitas alur meander ditinjau dari geometri alur dan klasifikasi tanah disarankan beberapa hal sebagai berikut:

1. Untuk pekerjaan normalisasi di daerah alur meander perlu dilakukan penelitian terlebih dahulu sebelum melakukan rekayasa sungai seperti halnya pelebaran alur, mengurangi daerah bantaran (floodplain), membangun perkuatan tebing untuk menjaga lebar penampang dan pelurusan lengkung meander (Soar, P. J., & Thorne, C. R., 2001).
2. Dari hasil pengamatan untuk alur meander yang terletak di bagian hulu dengan geometri alur yang mempunyai sudut lengkungan (ϕ) lebih kecil dari 90^0 tidak perlu dilakukan rekayasa sungai seperti halnya memperlebar alur dengan

membuat penampang baru dan pelurusan lengkung meander akan tetapi lebih disarankan untuk menjaga daerah profil melintang koridor sungai seperti yang tercantum pada Gambar 16.



Gambar 16. Koridor Sungai (The Federal Interagency Stream Restoration Working Group, 2001)

Daftar Referensi

- Abad, Jorge D., et.al, 2007. *2D Stream Hydrodynamic, Sediment Transport and Bed Morphology Model for Engineering Application*, Department of Civil and Environment Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign. Wiley Inter Science.
- Duan, Jennifer G. & Julien, Pierre Y., 2005. Numerical Simulation of the Inception of Channel Meandering, dipublikasikan pada *Earth Surface Processes and Landforms* 30, pp 1093-1110, Wiley Inter Science.
- Murniningsih, S., 2018. Study of Erosion and Sedimentation in Urban Area for River with Meander Pattern, dipublikasikan pada *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*
- Murniningsih, S., 2020. Analisis dampak normalisasi sungai terhadap erosi dan sedimentasi di daerah perkotaan: dipublikasikan pada *Journal Construction Engineering and Sustainable Development Universitas Trisakti*
- Soar, P. J., & Thorne, C. R., 2001. *Channel Restoration Design for Meandering Rivers*: Washington DC: U.S. Army Corps of Engineers
- US Army Corps of Engineers, 1995. HEC-RAS, River Analysis System, Hydraulics Reference Manual Version 1.0, *Hydrologic Engineering Center*.
- The Federal Interagency Stream Restoration Working Group. (2001). *Stream Corridor Restoration*. United State: USDA.
- Yang, C. T., 2004. Sediment Transport Modelling - combination of theoretical concepts and practical approach: *US Bureau of Reclamation Technical Service Center, Denver, Colorado, USA*.