ANALISIS DISTRIBUSI KECEPATAN DAN SEDIMEN PADA TIKUNGAN 55° SALURAN TERBUKA TAMPANG SEGI EMPAT

ADY PURNAMA

Dosen Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Samawa Sumbawa Besar

ABSTRACT

Predicting the behavior of the flow in the channel bend quite important, because the channel bend a fairly high degree of cartilage against the destructive force of water when compared to a straight channel. Phenomena that may occur and cause detriment is the phenomenon of sediment transport that passes through the channel bend. The phenomenon that occurs in the channel bend can be detected by measuring the field directly. For a case study of the Irrigation Mataram, research done by the measurement of the concentration profiles of sediment transport using devices Opcon. The study was conducted at a locations with the curves that have angles, $\alpha = 55^\circ$ with Radius = 50 m. From the analysis of the measurement of velocity flow and sediment concentration suspensions were performed at the curves that have angles, $\alpha = 55^\circ$ with Radius = 50 m, indicating that the minimum velocity for trend occurs near the base and the increase in size towards the surface of the stream. Flow velocity acceleration and deceleration experienced when through the turn, which increases the velocity flow in the bend side (inner bank) when passing the initial curves and velocity decreases as it passes through the opposite end of the turn and descent speed on the outside of the bend (outer bank) when passing through curves and initial experience increase in the inside of the turn as it passes through the end of the turn. The concentration of sediment suspensions have almost the same trend for the entire face, the concentration of sediment suspension increases towards the base line and decreased with the trend towards the surface of the water distribution more upright with a more uniform rate towards the surface of the water. In the transverse direction, the concentration of sediment suspension tends to increase towards the inner side of the bend when passing through the initial turn, and then decreases towards the inner side of the bend as it passes through the middle of the turn and increased again towards the inside of the turn as it passes through the final turn which resulted in deposition on the inside of the turn (inner bank) and erosion on the outside of the bend (outer bank) at the base of the channel. For analysis of the concentration of sediment suspension field measurement results are compared with the analysis of the Rouse equation and equation-Sugimoto Tanaka showed that the measurement data can reasonably predict the concentration of sediment suspension on curves, although the angle and bend radius varies. Measurement data of suspended sediment concentration approaching the value of data analysis results Rouse and Tanaka-Sugimoto.

Keyword: Concentration of sediment suspension, velocity, channel bends, Rouse method, Tanaka-Sugimoto method.

PENDAHULUAN

Saluran terbuka yang ada di alam seperti halnya sungai mempunyai bentuk fisik yang variatif sehingga pola alirannya sangat kompleks dengan karakteristik yang khusus. Dikarenakan tekstur yang bervariasi, sehingga di saluran terbuka banyak kita temukan section yang berbentuk belokan, baik itu berbentuk kelokan berlanjut (*meandering*) atau kelokan tunggal (*curvature bend profile*). Secara umum, faktor yang mempengaruhi aliran pada tikungan adalah gaya sentrifugal akibat keleng-

kungan aliran, ketidakseragaman kecepatan tampang vertikal, tekanan pada potongan, dan gradien tekanan arah radial yang disebabkan oleh kemiringan lateral permukaan air (Chow 1959). Hal yang tak kalah penting dari perilaku aliran pada belokan saluran adalah perilaku sedimen (*transport sedimen*). Transpor sedimen yang terjadi pada saluran terbuka, sungai dan waduk merupakan peristiwa yang sangat kompleks dimana transpor sedimen pada kondisi aliran tertentu dapat dibedakan

sebagai transpor sedimen kasar (*bed load*) dan transpor sedimen halus (*suspended load*). Proses terjadinya pendangkalan sungai sebagai akibat dari proses erosi (*scouring*) pada bagian hulu sungai, yang mengakibatkan terjadinya angkutan sedimen ke hilir. Aliran air yang mengandung sedimen akan mengendapkan terlebih dahulu butiran kasar (*bed load*) dibandingkan dengan butiran halus (*suspended load*) yang akan terus melayang mengikuti aliran air. Kondisi seperti inilah yang kadang menjadi permasalahan dalam pemanfaatan air sungai. Oleh karena itu, pengetahuan mengenai kuantitas dan karakteristik sedimen suspensi sangatlah penting dalam pengembangan sumber daya air (*water resources*).

Selama dekade terakhir, hanya beberapa peneliti yang telah mempelajari karakteristik dan pola aliran pada belokan saluran. Rozovskii (1957) merupakan salah satu peneliti pertama yang melakukan studi komprehensif di lapangan. Mosonyi dan Gotz (1973) adalah yang pertama yang meneliti distribusi aliran heliks yakni kekuatan dan perubahan di sepanjang saluran. Blanckaert, K (2001) mengukur kecepatan tiga arah (*longitudinal, transversal* dan *vertikal*) pada satu tampang secara bersamaan pada *grid* yang telah diatur. Hasilnya menunjukkan bahwa kecepatan tangensial di tikungan melenceng dengan profil kecepatan logaritmik pada saluran lurus, profil kecepatan tangensial cembung di bawah dan letak kecepatan maksimum pada satu penampang terukur lebih dekat ke luar tikungan. Aliran *sekunder* memiliki satu pusaran utama sesuai dengan teori di tikungan dan ada pusaran minor di sisi luar tikungan pada bagian atas, yang memiliki arah berlawanan dengan pusaran utama. Adapun beberapa peneliti yang pernah mempelajari fenomena dari transpor sedimen suspensi yaitu Kironoto, Lutjito dan Nugraha (2002) kajian laboratorium, Zainuddin dan Kironoto (2003) kajian laboratorium serta Kironoto dkk (2004) kajian laboratorium.

Berdasarkan dari uraian diatas, sangat layak dilakukan penelitian mengenai distribusi kecepatan dan sedimen pada belokan saluran dengan melakukan pengukuran konsentrasi sedimen suspensi menggunakan alat pengukur

Opcon dan pengukuran kecepatan aliran dengan menggunakan alat ukur *Propeller Current Meter*. Maka dari itu, dalam penelitian ini akan membahas kecepatan dan konsentrasi sedimen di belokan pada saluran terbuka.

Distribusi Kecepatan Aliran. Untuk analisis distribusi kecepatan pada saluran terbuka dibagi menjadi dua wilayah yaitu *inner region* dan *outer region*, dimana aliran pada *inner region* dipengaruhi langsung oleh kekasaran dasar atau dinding dan aliran pada *outer region* dipengaruhi secara tidak langsung melalui tegangan geser dasar. Adapun persamaan pada *inner region* menurut Kironoto (1993) adalah:

$$U_y = \frac{U_*}{\kappa} \ln y - \frac{U_*}{\kappa} \ln k_s + Br \cdot U_* \dots\dots\dots(1)$$

dengan asumsi, U_y , kecepatan pada suatu titik yang berjarak y dari dasar (m/s), U_* , kecepatan gesek (m/s), y , ketinggian titik yang ditinjau dari dasar saluran terbuka (m), κ , konstanta Von Karman (bernilai 0,4), k_s , tinggi kekasaran menurut Nikuradse (m), Br , konstanta integrasi numerik (log law) dan $y_0 = 0,2k_s$.

Pada *outer region* profil kecepatan menyimpang dari persamaan logaritmik. Disini berlaku distribusi kecepatan Coles, yang juga berlaku untuk *inner region*.

$$\frac{U_c - u}{u_*} = -\frac{1}{\kappa} \ln \left(\frac{z}{\delta} \right) + \frac{2\Pi}{\kappa} \cos^2 \left(\frac{\pi z}{2\delta} \right) \dots\dots\dots(2)$$

dengan asumsi, U_c , kecepatan maksimum, δ , kedalaman titik dimana terjadi kecepatan maksimum (U_c) dan Π , parameter wake Coles ($\Pi = -0,03$ untuk $B/D \approx 2$ & $\Pi = 0,09$ untuk $B/D > 5$).

Distribusi Sedimen Suspensi. Untuk analisis sedimen suspensi menggunakan persamaan yang dipublikasikan oleh Rouse, sehingga z sering disebut sebagai parameter Rouse (*Rouse number*).

$$\frac{C}{C_a} = \left[\frac{D - y}{y} \frac{a}{D - a} \right]^z \dots\dots\dots(3)$$

dengan C sebagai konsentrasi sedimen pada suatu titik berjarak y dari dasar referensi; C_a , konsentrasi referensi yang berjarak a dari titik referensi; D , kedalaman aliran dan z sama dengan parameter Rouse.

Tanaka dan Sugimoto (1958, dalam Garde, 1977) mengusulkan suatu persamaan eksponensial untuk distribusi sedimen suspensi. Dikemukakan bahwa hukum distribusi kecepatan logaritmik Karman-Prandtl yang berasumsi bahwa τ sama dengan τ_0 adalah kurang benar. Oleh sebab itu dengan menggunakan variasi τ dan y aktual dan diperoleh persamaan baru du/dy , sehingga persamaan Rouse dapat diekspresikan dengan :

$$\frac{C}{C_a} = \left\{ \left(\frac{\sqrt{D} + \sqrt{D-y}}{\sqrt{D} - \sqrt{D-y}} \right) \left(\frac{\sqrt{D} - \sqrt{D-a}}{\sqrt{D} + \sqrt{D-a}} \right) \right\}^{\frac{w_* K}{u_* K}} \dots\dots\dots(4)$$

Adapun metodologi penelitian dalam Analisis Distribusi Sedimen dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

Gambar 1.
Skema Penelitian

Diskripsi Umum. Penelitian ini merupakan pengukuran lapangan yang dilakukan pada belokan Saluran Irigasi Mataram dengan tampang persegi serta material dinding saluran yang bervariasi (beton

dan pasangan batu). Penelitian ini menggunakan alat ukur konsentrasi sedimen suspensi *Opcon*. Adapun lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar dibawah ini.

Gambar 2.
Lokasi Penelitian (Google Earth dan Foto Lapangan)

Prosedur Penelitian. Parameter yang digunakan untuk pengukuran adalah pengukuran arah vertikal dan transversal, dimana arah vertikal (kedalaman) pada posisi yang berbeda dari tepi ke tepi saluran. Secara praktis, titik-titik tersebut ditentukan berdasarkan pembagian pias-pias tampang. Penentuan jarak pengukuran arah transversal tampang dari tepi ke tepi: $\frac{1}{6}B$, $\frac{1}{3}B$, $\frac{1}{2}B$, $\frac{2}{3}B$, dan $\frac{5}{6}B$.

Gambar 3.
Sketsa titik pengukuran pada tampang aliran

Pengukuran pada satu tampang yang direncanakan seperti pada Gambar 3 adalah :

1. Cross section yang dipilih yaitu : sudut belokan 55° dipilih cross section pada sudut belokan 0° (C0), 27.5° (C27.5), 55° (C55).
2. Saluran terbuka bentuk segi empat dengan lebar 4,2 m dan dibagi menjadi 6 pias dengan jarak yang sama setiap pias 70 cm.
3. Jarak vertikal antara titik pengukuran adalah interval 2,5 cm untuk bagian bawah dekat dasar (0,2H) dan sisanya dengan interval 5 cm. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan data pengukuran yang lebih banyak untuk *inner region*, dimana variasi kecepatan terhadap tinggi lebih besar dibandingkan di *outer region*.

Alat Propeller Current Meter. Alat ukur ini dilengkapi dengan bantalan *spindle* serta sistem sinyal *on-contact* yang dapat memberikan hasil pengukuran kecepatan aliran hingga 2,5 cm/detik dengan batas kedalaman minimum pengukuran kurang lebih 4 cm. Penentuan kecepatan aliran ditentukan oleh putaran baling-baling yang otomatis dikalibrasi oleh alat tersebut dengan menentukan kecepatan alirannya menggunakan persamaan : $V = k \cdot n + \Delta$ (5) Dengan, V , Kecepatan aliran ($m^2/detik$), k , panjang hidrolik baling-baling (m) ditentukan oleh tes berjalan dalam *rating tank*, n , jumlah putaran baling-baling per detik, Δ , meteran konstan (m/detik) ditentukan oleh tes berjalan dalam *rating tank*.

Alat Opcon. Alat ukur ini mengukur partikel-partikel lanau (*silt*) dalam aliran suspensi dengan cara memasukkan alat ke dalam aliran yang akan diukur. Hasil dari pengukuran lalu dikalibrasi. Kalibrasi dilakukan dengan mencari hubungan antara bacaan mesin *analog* sebagai *output* dari signal *processor* yang terletak di atas batang *opcon* dengan suatu nilai konsentrasi sedimen suspensi yang telah diketahui nilai besarnya.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Parameter Utama Aliran. Penelitian ini merupakan pengukuran lapangan yang dilakukan pada belokan disepanjang Saluran Induk Mataram dengan tampang persegi serta material dinding saluran pasangan batu kali.

Adapun parameter utama aliran (*running*) yang diukur adalah pengukuran distribusi sedimen suspensi. Untuk lokasi pengukuran belokan terletak di depan siphon saluran Mataram.

Pengkodean *running* didasarkan pada perbedaan lokasi pengukuran, sudut belokan dan kedalaman titik pengukuran. Untuk lokasi pengukuran lapangan (*Field*) dengan sudut belokan 55° diawali dengan kode **F**. Pengukuran pada setiap penampang belokan (*Section*) dilambangkan dengan huruf **S** dan jari-jari setiap belokan yang diukur dari inner bank ke outer bank (*Resultan*) dilambangkan dengan huruf **R** serta pengkodean *running* tiga karakter **FSR** masing-masing ditambahkan angka untuk menunjukkan jumlah karakter dan urutan pengukuran yang dimulai dari dasar saluran.

Hasil dari pengukuran dan pendataan di lapangan serta analisis akhir terkait kecepatan aliran, konsentrasi sedimen suspensi serta kemiringan saluran dan debit kecepatan diklasifikasikan sebagai parameter utama aliran. Parameter utama aliran ditampilkan secara detail pada tabel 1.

Tabel 1. Parameter Utama Aliran

Kode Running	Radius (-)	So (-)	B (m)	D (m)	B/D (-)	t (°C)	U (m/det)	u_{*ci} (m/det)	Br (10^6 (-))	Q (m^3/det)	Fr (-)	$\bar{C}$ (gr/l)
FIS1R1	0	0.0166	4.15	0.67	6.19	29	0.137	0.017	3.039	0.377	0.05	0.152
FIS1R2		0.0166		0.69	6.01	29	0.142	0.020	2.388			0.174
FIS1R3		0.0166		0.68	6.10	29	0.146	0.021	2.075			0.174
FIS1R4		0.0166		0.65	6.38	29	0.134	0.015	3.547			0.206
FIS1R5		0.0166		0.62	6.69	29	0.127	0.016	3.189			0.215
FIS2R1	27.5	0.0184	4.20	0.70	6.00	30	0.143	0.016	3.560	0.404	0.06	0.095
FIS2R2		0.0184		0.74	5.68	30	0.149	0.020	2.707			0.103
FIS2R3		0.0184		0.72	5.83	30	0.154	0.022	2.229			0.119
FIS2R4		0.0184		0.62	6.77	30	0.139	0.019	2.719			0.149
FIS2R5		0.0184		0.57	7.37	30	0.133	0.019	2.937			0.157
FIS3R1	55	0.0202	4.15	0.68	6.10	27	0.180	0.029	1.553	0.407	0.06	0.335
FIS3R2		0.0202		0.70	5.93	27	0.173	0.025	2.163			0.353
FIS3R3		0.0202		0.69	6.01	27	0.149	0.024	1.729			0.363
FIS3R4		0.0202		0.60	6.92	27	0.127	0.020	1.758			0.387
FIS3R5		0.0202		0.62	6.69	27	0.116	0.017	2.279			0.403

Sumber : Analisis

Keterangan : Q = debit aliran terukur (m^3/det); So = kemiringan dasar saluran; B = lebar flume/saluran (m); D = kedalaman aliran (m); B/D = aspect ratio; t = suhu aliran ($^{\circ}C$); α = Sudut belokan ($^{\circ}$); R = Jari-jari belokan (m); U = kecepatan aliran (m/det); U^* = kecepatan gesek aliran (m/det); Br = konstanta integrasi dari *Log-Low*; $Fr = U/(gD)^{0.5}$ dan $\bar{C}$ = konsentrasi sedimen suspensi rata-rata tampang (gr/liter).

Distribusi Kecepatan Aliran. Dari hasil pengukuran kecepatan aliran, lalu dianalisis sehingga diperoleh data utama yaitu kecepatan aliran.

Gambar 4. Profil distribusi kecepatan aliran pada section C0°, C27.5°, C55° dengan $\alpha = 55^\circ$

Pada Gambar 4 dan 5 diperlihatkan contoh tipikal profil dan kontur distribusi kecepatan pada aliran yang bersedimen di belokan dengan sudut belokan, $\alpha=55^\circ$. Secara umum, *trend* distribusi kecepatan yang diukur dengan variasi jari-jari pengukuran arah transversal menunjukkan bahwa kecepatan minimum terjadi didekat dasar dan bertambah besar ke arah permukaan aliran. Kecepatan aliran mengalami percepatan dan perlambatan saat melewati belokan, dimana kecepatan aliran meningkat disisi dalam belokan (*inner bank*) ketika melewati awal belokan dan kecepatan menurun saat melewati akhir belokan, sebaliknya kecepatan aliran menurun di sisi luar belokan (*outer bank*) ketika melewati awal belokan dan mengalami peningkatan di sisi dalam belokan (*inner bank*) saat melewati akhir belokan.

Distribusi Konsentrasi Sedimen Suspensi. Dari hasil pengukuran sedimen suspensi, lalu dianalisis sehingga diperoleh data utama yaitu konsentrasi sedimen suspensi.

Gambar 5. Kontur Distribusi Kecepatan pada tiap section dengan $\alpha = 55^\circ$

Gambar 6. Profil distribusi konsentrasi sedimen suspensi pada section C0°, C27.5°, C55° dengan $\alpha = 55^\circ$

Gambar 7. Kontur konsentrasi sedimen suspensi pada tiap section dibelokan dengan $\alpha = 55^\circ$

Dari Gambar 6 dan 7 dapat dijelaskan bahwa Secara umum, distribusi konsentrasi sedimen suspensi hasil pengukuran lapangan belokan dengan sudut, $\alpha=57^\circ$ menunjukkan bentuk yang hampir sama untuk seluruh tampang, yaitu konsentrasi sedimen suspensi meningkat ke arah dasar saluran dan mengalami penurunan ke arah permukaan air dengan *trend* distribusinya semakin tegak dengan nilai yang semakin seragam ke arah permukaan air. Pada arah transversal, konsentrasi sedimen suspensi cenderung meningkat ke arah sisi dalam belokan (*inner bank*) ketika melewati awal belokan, lalu mengecil ke arah sisi dalam belokan (*inner bank*) saat melewati pertengahan belokan dan kembali meningkat ke arah sisi dalam belokan (*inner bank*) saat melewati akhir belokan yang mengakibatkan terjadinya *deposition* di sisi dalam belokan (*inner bank*) dan terjadinya *erosion* di sisi luar belokan (*outer bank*).

Prediksi Distribusi Sedimen Suspensi Dengan Persamaan di Literatur. Sebagaimana

disampaikan pada bab tinjauan pustaka, di literatur banyak dijumpai persamaan-persamaan *teoritis/semi teoritis* yang dapat dipergunakan untuk menentukan distribusi konsentrasi sedimen suspensi. Diantara beberapa persamaan tersebut, persamaan yang paling populer adalah persamaan Rouse dan persamaan Tanaka-Sugimoto. Oleh karena itu, persamaan Rouse dan Tanaka-Sugimoto digunakan sebagai dasar untuk mengkaji dan membandingkan data distribusi konsentrasi sedimen suspensi yang digunakan dalam tulisan ini dengan persamaan-persamaan di literatur.

Gambar 8. Distribusi Konsentrasi sedimen suspensi hasil pengukuran dibandingkan dengan persamaan Rouse dan Tanaka-Sugimoto untuk aliran pada belokan dengan $\alpha=55^\circ$

Dari Gambar 8. menunjukkan bahwa secara umum, analisis distribusi konsentrasi sedimen suspensi hasil pengukuran lapangan yang dibandingkan dengan analisis dari persamaan Rouse dan persamaan Tanaka-Sugimoto menunjukkan bahwa cukup dapat memprediksi data pengukuran distribusi sedimen suspensi pada belokan dimana data hasil pengukuran distribusi sedimen suspensi nilainya mendekati data hasil analisis Rouse dan Tanaka-Sugimoto. Adapun hasil analisis Tanaka-Sugimoto bisa memberikan hasil lebih baik dari analisis Rouse.

PENUTUP

Dari analisis yang dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Analisis konsentrasi sedimen suspensi hasil pengukuran lapangan belokan saluran terbuka dengan sudut, $\alpha=55^\circ$, menunjukkan bahwa *trend* distribusi konsentrasi sedimen suspensi meningkat ke arah dasar saluran dan mengalami penurunan ke arah permukaan air dengan *trend* distribusinya semakin tegak dengan nilai yang semakin seragam ke arah permukaan air. Pada arah *transversal*, konsentrasi sedimen suspensi cenderung meningkat ke arah sisi dalam belokan (*inner bank*) ketika melewati awal belokan, lalu menurun ke arah sisi dalam belokan saat melewati pertengahan belokan dan kembali meningkat ke arah sisi dalam belokan saat melewati akhir belokan yang mengakibatkan terjadinya *deposition* di sisi dalam belokan (*inner bank*) dan *erosion* di sisi luar belokan (*outer bank*) pada dasar saluran.
2. Analisis distribusi konsentrasi sedimen suspensi hasil pengukuran lapangan yang dibandingkan dengan analisis dari persamaan Rouse dan persamaan Tanaka-Sugimoto menunjukkan bahwa cukup dapat memprediksi data pengukuran distribusi sedimen suspensi pada belokan. Data hasil pengukuran sedimen suspensi nilainya mendekati data hasil analisis Rouse dan Tanaka-Sugimoto. Adapun hasil analisis Tanaka-Sugimoto bisa memberikan hasil yang lebih baik dari analisis Rouse pada belokan saluran terbuka.

Adapun saran dari kesimpulan di atas adalah Untuk penelitian lebih lanjut mengenai topik bahasan yang serupa terutama di dalam pengambilan data pembacaan sangat perlu dilakukan pembagian *grid* yang lebih rapat dan teratur (jarak antar *grid* yang lebih seragam) terutama pada wilayah dekat dasar saluran (*inner region*) yang dimulai dari titik referensi *0,2D* agar diperoleh data lebih banyak serta data yang lebih seragam dan teratur.

DAFTAR PUSTAKA

- Blanckaert, K. and Graf, W. H. 2001. Mean Flow and Turbulence in Open Channel Bend. *Journal of Hydraulic Engineering*. Vol. 127: 835 - 847.
- Blanckaert, K. and de Friend. 2001. Secondary Flow in Sharp Open Channel Bends, *submitted for publication to J. Fluid Mech.* Cambridge Univ. Press.
- Garde, R. J., and Ranga Raju, K. G., 1977, *Mechanics of Sediment Transportation and Alluvial Streams Problems*, Wiley Eastern Limited, New Delhi.
- Graf, W.H. and M.S. Altinakar, 1998, *FLUVIAL HYDRAULICS – Flow and Transport Processes in Channels of simple Geometry*, Presses polytechniques romandes, Lausanne, CH., John Wiley & Sons Ltd, West Sussex, England.
- Kironoto, B.A. 1993, Turbulence Characteristics of Uniform and Non-Uniform Rough Open Channel Flow, *Doctoral Disertation*. Ecole Polytechnique Federale de lausanne (EPFL), Switzerland.
- Kironoto, B.A., Andoyono, T., Yustiana, F, dan Muharis, C., 2004, Kajian Metode Pengambilan Sampel Sedimen Suspensi Sebagai Dasar Penentuan Debit Sedimen Pada Saluran Terbuka, *Penelitian Hibah Bersaing*, XII/1-Th. Anggaran 2004, Lembaga Penelitian, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Kironoto, B.A., Lutjito. and Nugraha, D.H., 2002. Karakteristik Aliran tidak Seragam Dengan Sedimen Suspensi Pada Saluran Terbuka. *Journal Dinamika Teknik Sipil*, Penelitian PascaSarjana, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Lutjito, 2002, *Sedimen Suspensi Pada Kondisi Aliran Diperlambat Dalam Saluran Terbuka*, Tesis S-2 Program Pascasarjana Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Mosonyi, E., and Gotz, W. 1973. Secondary currents in subsequent model bends. *Proceedings of the International Association for Hydraulic Research International Symposium on River Mechanics*, 191-201. Bangkok: Asian Institute of Technology.
- Purnama, A, 2015. *Konsentrasi Sedimen Suspensi pada Belokan 57° Saluran Terbuka*, Jurnal Unsa Progress. Vol.1, No.3, Oktober, Universitas Samawa, Sumbawa Besar.

- Rozovskii, I. L. 1957. Flow of Water in Bends of Open Channels. *Israel Programme of Scientific Translation*, Jerusalem.
- Sangging, P.Y.B., 2013, *Karakteristika Distribusi Tegangan Geser Pada Saluran Menikung Dengan Dasar Rata Tak-Bergerak*, Tesis S-2 Program Pascasarjana Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Vanoni, V. A., 1977, *Sedimentation Engineering*, ASCE, New York.
- Yang, C T, 1996, *Sediment Transport Theory and Practice*, The McGraw-Hill Companies, Inc., New York.
- Yulistiyanto, B., 1997, Flow Around a Cylinder Installed in a Fixed-Bed Open Channel. Docteur es Sciences Techniques These, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, Lausanne.
- Zainuddin, M., dan Kironoto, BA, 2003, "Distribusi Sedimen Suspensi Pada Aliran Seragam Dengan dan Tanpa Angkutan Sedimen Dasar", *Journal Teknosains*, Jilid 16, No.1, Januari, Berkala Penelitian Pasbcasarjana, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.