Jurnal Aplikasi Teknik Sipil
Volume 19, Nomor 1, Februari 2021

Journal homepage: http://iptek.its.ac.id/index.php/jats

Analisis Sensitivitas Kecepatan Rata-rata Kedalaman dan Tinggi Muka Air terhadap Parameter Masukan *Setting Model* pada Saluran Berbelok 180° dengan Menggunakan Program Bantu Delft3D

Willy Lucyta Nugraha[1,*], Mahendra Andiek Maulana[1], Wasis Wardoyo[1], Satria Damar Negara[1]
Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya[1]
Koresponden*, Email: *willylucytanugraha@gmail.com*

Info Artikel
Diajukan 11 Februari 2021
Diperbaiki 19 Februari 2021
Disetujui 20 Februari 2021

Keywords: sensitivity, channel bends, river bends, Delft3D, numerical models

Abstract

The flow at the bends of the river is complex. At this time, solving the problem of river curves still uses the straight channel flow theory. While the flow characteristics of river bends are different from the characteristics of straight river flow. So it is necessary to do an approach with the analysis of the prismatic curve numerical model. The numerical model analysis was performed using Delft3D software. In creating numerical models on Delft3D, many input parameters for model settings can affect the simulation results. So an analysis is needed that aims to determine the model setting parameters that have the greatest influence on the results of the numerical model in the form of average velocity depth and water level. The analysis is carried out by changing one of the input parameters in the model setting, then the model is run and then the results of the change in input parameters are analyzed by reviewing the R^2 value. Based on the analysis that has been done, it can be concluded that for the simulation results of water level, the most influential input parameter setting model is the number of grids with a percentage difference in the value of R^2 of 9.39%, while for the simulation results the average velocity depth of the input parameter setting model the most influential is the channel's bottom roughness with a percentage difference in the value of R^2 of 2.01%.

Kata kunci: sensitivitas, belokan saluran, belokan sungai, Delft3D, model numerik

Abstrak

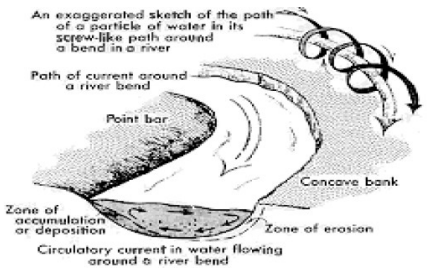
Aliran pada belokan sungai merupakan suatu hal yang komplek. Pada saat ini, penyelesaian permasalahan belokan sungai masih menggunakan teori aliran saluran lurus. Sedangkan karakteristik aliran belokan sungai berbeda dengan karakteristik aliran sungai lurus. Dalam upaya menyelesaikan permasalahan belokan sungai, perlu dilakukan suatu pendekatan yaitu dengan analisis model numerik saluran berbelok prismatik. Analisis model numerik dilakukan dengan *software* Delft3D. Dalam membuat model numerik pada Delft3D, banyak parameter masukan untuk *setting model* yang dapat berpengaruh terhadap hasil simulasi. Sehingga diperlukan analisis yang bertujuan untuk mengetahui parameter *setting model* yang paling besar pengaruhnya terhadap hasil model numerik berupa kecepatan rata-rata kedalaman dan tinggi muka air. Analisis dilakukan dengan mengganti salah satu parameter masukan pada *setting model,* kemudian model dijalankan dan selanjutnya dianalisis hasil dari perubahan parameter masukan tersebut dengan meninjau nilai R^2. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa untuk hasil simulasi tinggi muka air, parameter masukan *setting model* yang paling berpengaruh adalah jumlah grid dengan prosentase beda nilai R^2 sebesar 9,39% sedangkan untuk hasil simulasi kecepatan rata-rata kedalaman parameter masukan *setting model* yang paling berpengaruh adalah kekasaran dasar saluran dengan prosentase beda nilai R^2 sebesar 2,01%.

1. Pendahuluan

Sungai adalah suatu sistem aliran yang terbentuk secara alami untuk mengalirkan air. Pada aliran sepanjang sungai yang lurus maupun pada sungai yang berkelok (*meander*), seringkali terjadi gerusan (degradasi) dan pengendapan (agradasi) pada dasar sungainya. Di daerah alur sungai dengan pola aliran lurus, pada saat terjadi debit yang mengakibatkan penggerusan alur sungai, maka sesuai dengan teori regim hasil gerusan tersebut akan diendapkan di sebelah hilir pada saat debit menurun. Dengan demikian akan terjadi keseimbangan jumlah sedimen yang tergerus dan jumlah sedimen yang mengendap di sepanjang ruas tertentu dalam kurun waktu tertentu yang tidak akan berakibat pada bentuk alur secara keseluruhan.

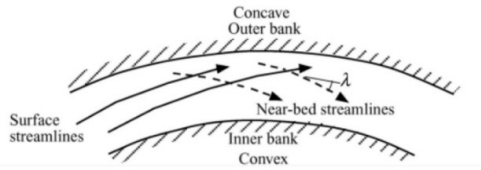
Gerusan pada umumnya mengalami peningkatan pada daerah belokan sungai. Pada daerah sungai dengan pola aliran *meander*, proses penggerusan dan pengendapan berbeda dengan pola alur sungai lurus karena penggerusan

di lengkungan sebelah luar akan berdampak pengendapan di lengkungan sebelah dalam. Gerusan di belokan sungai terjadi pada daerah awal masuk belokan. Sedangkan pengendapan terjadi pada daerah tengah belokan sampai akhir belokan. Penggerusan terbesar terjadi pada belokan sebelah luar dan pengendapan pada bagian sebelah dalam seperti pada **Gambar 1**. Akibat adanya gerusan dan pengendapan, maka akan terjadi perubahan profil dasar saluran. Perubahann profil dasar saluran tersebut, nantinya akan berpengaruh terhadap karakteristik aliran pada belokan sungai.



Gambar 1. Penggerusan dan Pengendapan pada Belokan Sungai [1].

Fenomena pada **Gambar 1** dapat terjadi karena pada belokan sungai terjadi sirkulasi/aliran sekunder yang dibentuk karena adanya perubahan orientasi saluran hilir. Hal tersebut seperti ditunjukan pada **Gambar 2**. Garis aliran/arus pada permukaan bergerak ke arah bagian luar tebing sungai, sedangkan pada daerah dekat dasar saluran berbelok ke arah bagian dalam tebing sungai.



Gambar 2. Aliran pada Belokan Sungai [2]

Berdasarkan fenomena yang terjadi pada belokan sungai, hal tersebut dapat menunjukan bahwa aliran pada belokan sungai merupakan suatu hal yang komplek. Kesulitan dalam merencanakan seringkali ditimbulkan oleh kompleksitasnya. Kompleksitas aliran pada belokan sungai, tentunya memiliki dampak bagi aliran itu sendiri. Pasda saat ini, penyelesaian permasalahan pada belokan sungai seperti misalnya perencanaan bangunan pengaman tebing, masih menggunakan teori aliran pada saluran yang lurus. Sedangkan karakteristik aliran pada belokan sungai berbeda dengan karakteristik aliran pada sungai lurus. Sehingga perlunya dilakukan suatu pendekatan guna menyelesaikan permasalahan pada belokan sungai. Pendekatan terhadap permasalahan belokan sungai dapat dilakukan melalui pendekatan dengan analisis saluran prismatik yang berbelok.

Penelitian terdahulu tentang aliran pada saluran berbelok telah banyak dilakukan, salah satunya terdapat penelitian uji model fisik di laboratorium yang menganalisis karakteristik aliran berupa tinggi muka air dan kecepatan rata-rata kedalaman pada sudut lengkung saluran 180° dengan saluran dasar rata atau tak tergerus [3]. Pada saat ini, penelitian uji model fisik terkait saluran berbelok juga telah banyak dilakukan. Dalam 10 tahun terakhir terdapat beberapa penelitian terkait aliran pada belokan saluran. Penelitian tersebut banyak meninjau berbagai hal pada saluran berbelok, salah satu penelitian dilakukan dengan meninjau tentang aliran sekunder [4]. Penelitian lain terkait aliran pada belokan saluran 180º juga pernah dilakukan dengan meninjau tentang distribusi kecepatan, tegangan geser, perubahan dasar saluran, dan distribusi intensitas turbulensi, serta energi kinetis turbulen [5]. Penelitian lain juga banyak dilakukan oleh peneliti lain terkait aliran pada belokan saluran atau sungai dengan berbagai percobaan seperti debit yang mengalir, bentuk saluran, karakteristik dasar saluran, sudut tikungan, serta berbagai karakteristik aliran yang dijadikan sebagai hal yang ditinjau. [6]–[14]

Penelitian terkait saluran berbelok telah banyak dilakukan dengan uji model fisik di laboratorium, namun pada era sekarang telah banyak juga dilakukan suatu pengembangan terkait aliran pada saluran berbelok dengan uji model numerik. Beberapa peneliti telah melakukan penelitian dengan pemodelan numerik yang membahas tentang hidrodinamika pada tikungan tajam, aliran sekunder, dan pengaruh morfologinya tentang defleksi pada belokan dan perilaku alirannya [15]–[17]. Namun, dari beberapa penelitian tersebut belum pernah ada yang membahas sensitivitas hasil model terhadap parameter masukan saat melakukan *setting model.* Sedangkan dalam membuat model numerik, banyak parameter masukan untuk *setting model* yang dapat berpengaruh terhadap hasil simulasi model. Sehingga pada penelitian kali ini dilakukan analisis yang bertujuan untuk mengetahui parameter *setting model* yang paling besar pengaruhnya terhadap hasil model numerik berupa kecepatan rata-rata kedalaman dan tinggi muka air. Analisis model numerik dilakukan dengan *software* Delft3D.

2. Metode

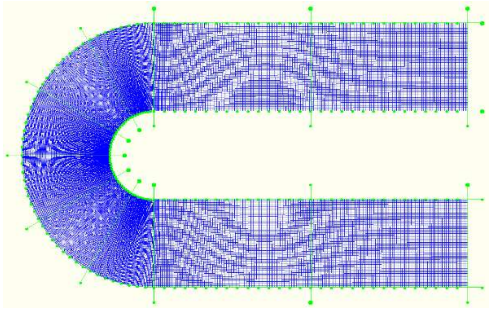
Pada penelitian ini, analisis model numerik dilakukan dengan program bantu Delft3D. Program bantu ini dapat melakukan simulasi aliran, pengangkutan sedimen, gelombang, kualitas air, perkembangan morfologi dan

ekologi. Delft3D terdiri dari beberapa modul, salah satunya yaitu Delft3D-FLOW. Delft3D-FLOW adalah program simulasi hidrodinamik (dan angkutan sedimen) multi-dimensi (2D atau 3D) yang menghitung fenomena aliran dan transportasi yang tidak stabil yang dihasilkan dari gaya pasang surut dan meteorologi pada grid yang dipasangkan secara bujursangkar atau melengkung. Metode numerik Delft3D-FLOW didasarkan pada model numerik elemen hingga.

Pada *setting model* dengan Delft3D, parameter masukan didasarkan dari data uji model fisik yang telah dilakukan Ahmed Shukry pada saluran segi empat menikung 180° dengan dasar saluran dan dinding saluran rata. Data tersebut meliputi data dimensi saluran (lebar saluran 0,3 m, panjang *approach* saluran 1,07 m, panjang jari-jari dalam lengkung saluran 0,15 m, dan panjang jari-jari luar lengkung 0,45 m), data *boundary* hulu berupa debit sebesar 0,07 m^3/det, data *initial condition* berupa tinggi muka air setinggi 0,3 m, dan data *boundary* hilir berupa tinggi muka air setinggi 0,28 m. Data lain yang disesuakan dengan kondisi sebenarnya pada uji model fisik laboratorium adalah data parameter fisik aliran yaitu berupa nilai percepatan gravitasi sebesar 9,81 m/s^{-2}, temperatur air digunakan 27°C dan salinitas digunakan 5,4 ppt [18]. Nilai kekasaran dasar saluran didasarkan pada bahan yang digunakan dalam uji model fisik yaitu menggunakan bahan dasar saluran kaca sehingga digunakan nilai koefisien kekadaran Manning 0,009 [19]. Sedangkan nilai kerapatan massa air didasarkan pada tabel hubungan sifat air murni dengan temperature, maka dengan nilai temperatur 27°C nilai kerapatan massa airnya adalah 996,512 kg/m^3 [20].

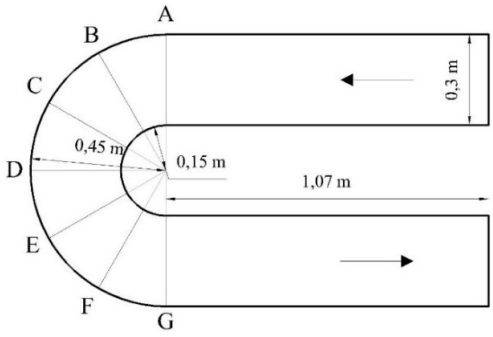
Pada penelitian ini, terlebih dahulu dilakukan pembuatan *model default. Model default* berfungsi sebagai model acuan untuk model selanjutnya. Model selanjutnya akan dilakukan dengan skenario pemodelan yaitu perubahan salah satu parameter masukan *setting model,* sedangkan parameter lainnya sama seperti *setting model default.* Sehingga semua data parameter masukan *setting model* di atas digunakan untuk *setting model default* terlebih dahulu.

Dalam pembuatan grid pada *model default* ini, sebelumnya dilakukan pembuatan *spline. Spline* dibuat pada awal saluran, pada dinding luar dan dalam saluran, pada tengah *approach,* pada daerah tikungan, dan pada akhir saluran. Kemudian *spline* yang telah dibuat digunakan untuk membuat grid. Grid yang digunakan dalam *setting model default* ini berjumlah memanjang (M) 75 buah dan melintang (N) 51 buah untuk setiap batas *spline*nya seperti pada **Gambar 3**. Grid dan *spline* dibuat lebih rapat pada daerah tikungan saluran, diharapkan pada daerah tersebut grid dapat mewakili komputasi yang lebih detail dan mendekati kondisi sebenarnya. Selanjutnya setelah semua *setting model default* telah dilakukan, kemudian simulasi model dijalankan.



Gambar 3. Pembuatan *Spline* dan Grid pada *Model default*

Berdasarkan hasil simulasi model yang telah dijalankan, selanjutnya *model default* dilakukan uji keandalan hasil simulasi model numeriknya dengan hasil uji model fisik laboratorium. Uji keandalan model dilakukan dengan cara membandingkan hasil uji model numerik dan hasil uji model fisik laboratorium yang dilakukan oleh Ahmed Shukry. Dalam membandingkan dua parameter hasil uji digunakan metode statistic R^2. Dalam uji keandalan model digunakan titik tinjau melintang pada daerah tikungan saluran. Pada penelitian ini digunakan titik tinjau dari titik A sampai dengan titik G yang teletak pada daerah tikungan saluran seperti pada **Gambar 4**. Parameter yang ditinjau untuk uji keandalan model adalah kecepatan rata-rata kedalaman dan tinggi muka air pada setiap titik tinjau.



Gambar 4. Dimensi Saluran dan Lokasi Titik Tinjau

Langkah selanjutnya setelah *model default* diuji keandalannya, kemudian pada percobaan selanjutnya dilakukan perubahan parameter masukan *setting model.* Perubahan parameter masukan *setting model* dilakukan dengan skenario sebagaimana berikut :

1. Jumlah grid (M 60 N 41)
2. Jumlah grid (M 45 N 31)
3. Jumlah grid (M 30 N 21)

4. Kekasaran dasar saluran (koefisien kekasaran 0,011)
5. Kekasaran dasar saluran (koefisien kekasaran 0,012)
6. Kekasaran dasar saluran (koefisien kekasaran 0,013)
7. Temperatur dan *water density* (28°C & 996,232 kg/m^3)
8. Temperatur dan *water density* (30°C & 995,646 kg/m^3)
9. Temperatur dan *water density* (32°C & 995,025 kg/m^3)
10. Salinitas (10 ppt)
11. Salinitas (20 ppt)
12. Salinitas (30 ppt)

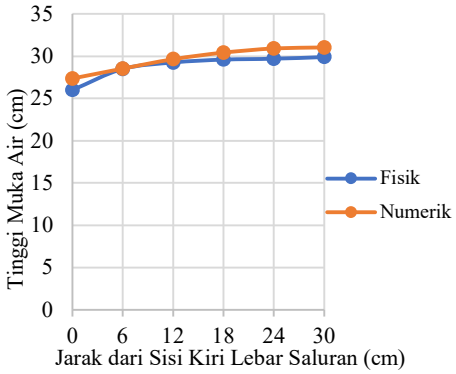
Dalam menentukan parameter kekasaran dasar saluran yang diubah pada skenario pemodelan, hal tersebut didasarkan pada rentang nilai koefisien kekasaran dari bahan yang digunakan pada uji model fisik yaitu berbahan kaca dengan rentang nilai koefisien kekasaran berkisar antara 0,009 – 0,013 [19]. Sehingga pada skenario pemodelan dibuat dengan nilai koefisien kekasaran 0,011. 0,012, dan 0,013. Sedangkan dalam penentuan salinitas dan temparatur didasarkan dari penelitian studi faktor fisika kimia pada sungai Belawan [18], yaitu untuk salinitas berkisar sampai dengan 34 ppt, maka dalam scenario pemodelan diambil nilai salinitas 10 ppt, 20 ppt, dan 30 ppt, sedangkan untuk nilai temperatur berkisar antara 28°C sampai dengan 32°C, maka pada scenario pemodelan digunakan nilai temperatur 28°C, 30°C, dan 32°C. Untuk nilai *water density* didasarkan pada Tabel Hubungan Variasi Sifat Air Murni dengan Temperatur, sehingga nilainya bergantung pada nilai temperature yang dipilih [20]. Setelah setelah semua *setting model* pada scenario pemodelan telah dilakukan, kemudian simulasi model pada scenario pemodelan dijalankan.

Berdasarkan hasil dari simulasi yang telah diljalankan, kemudian semua hasil skenario pemodelan dilakukan uji keandalan model dengan menggunakan metode statistic R^2. Kemudian nilai R^2 dibandingkan antar satu percobaan dengan percobaan yang lainnya untuk mengetahui perbedaannya. Selanjutnya beda nilai R^2 dibuat prosentase terhadap nilai R^2 pada *model default* untuk mengetahui besar prosentase perubahan hasil simulasi jika dilakukan perubahan parameter masukan *setting model* sesuai dengan skenario pemodelan yang telah direncanakan.

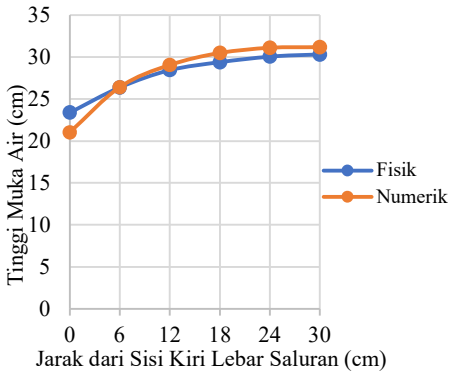
3. Hasil dan Pembahasan

Dalam melakukan suatu uji model hidrodinamika, baik model fisik maupun numerik, perlu dilakukan uji keandalan model. Uji keandalan model berguna untuk meminimalisir penyimpangan hasil simulasi model terhadap kondisi sebenarnya. Pada penelitian ini, pengujian keandalan model numerik dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi model numerik dengan hasil penelitian model fisik laboratorium Ahmed Shukry. Uji keandalan model terlebih dahulu dilakukan untuk *model default*, setelah itu baru dilanjutkan uji keandalan model untuk sebelas skenario pemodelan. Uji keandalan model dilakukan dengan metode statistik R^2 dengan meninjau parameter kecepatan rata-rata kedalaman aliran dan tinggi muka air pada setiap titik tinjau pada **Gambar 4**. Perbandingan hasil model fisik dan numerik untuk *model default* pada berbagai titik tinjau disajikan dalam **Gambar 5** sampai dengan **Gambar 18**.

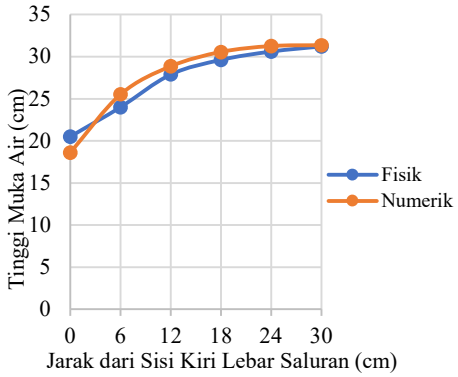
- Tinggi Muka Air



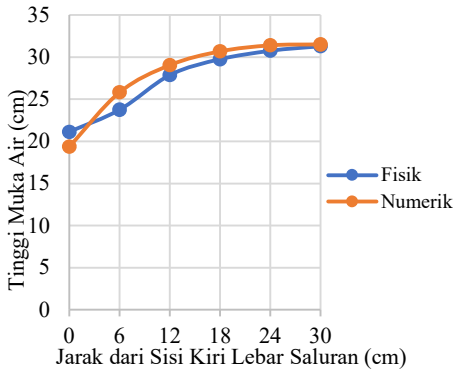
Gambar 5. Perbandingan Tinggi Muka Air Hasil Percobaan Model Fisik dan Numerik pada Garis Melintang A



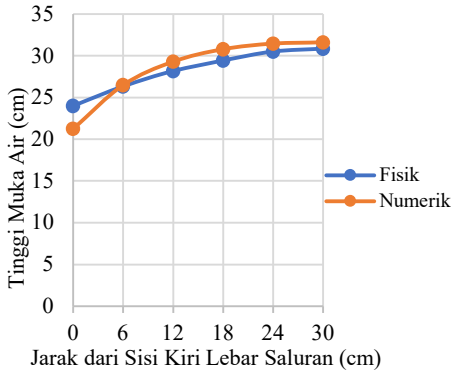
Gambar 6. Perbandingan Tinggi Muka Air Hasil Percobaan Model Fisik dan Numerik pada Garis Melintang B



Gambar 7. Perbandingan Tinggi Muka Air Hasil Percobaan Model Fisik dan Numerik pada Garis Melintang C

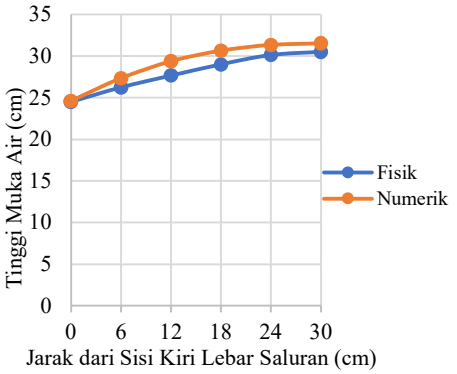


Gambar 8. Perbandingan Tinggi Muka Air Hasil Percobaan Model Fisik dan Numerik pada Garis Melintang D

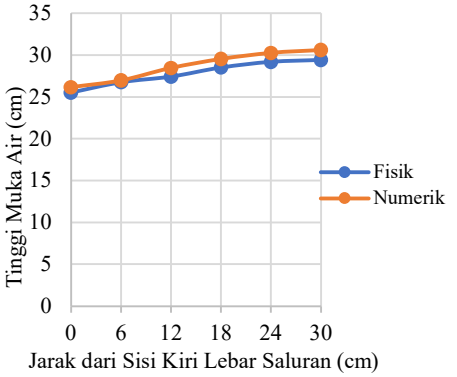


Gambar 9. Perbandingan Tinggi Muka Air Hasil Percobaan Model Fisik dan Numerik pada Garis Melintang E

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, selanjutnya dihitung nilai R^2. Berdasarkna perhitungan, diperoleh nilai R^2 untuk parameter aliran Tinggi Muka Air adalah 0,87518. Dengan nilai R^2 tersebut, maka hasil simulasi model numerik untuk parameter aliran tinggi muka air dapat dikatakan relatif sama dengan hasil uji model fisik.

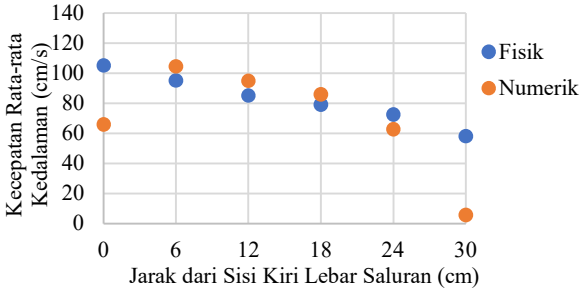


Gambar 10. Perbandingan Tinggi Muka Air Hasil Percobaan Model Fisik dan Numerik pada Garis Melintang F



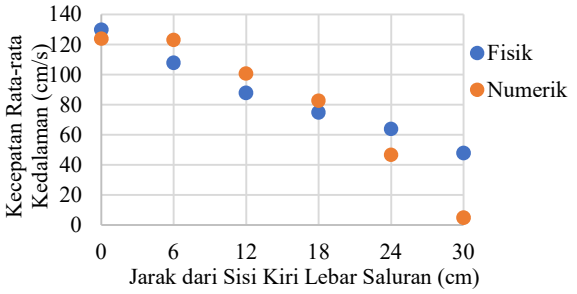
Gambar 11. Perbandingan Tinggi Muka Air Hasil Percobaan Model Fisik dan Numerik pada Garis Melintang G

- Kecepatan Rata-rata Kedalaman Aliran

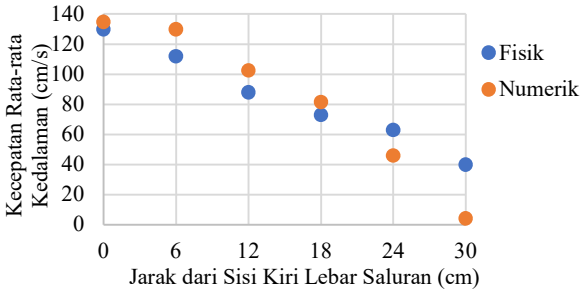


Gambar 12. Perbandingan Kecepatan Rata-rata Kedalaman Hasil Percobaan Model Fisik dan Numerik pada Garis Melintang A

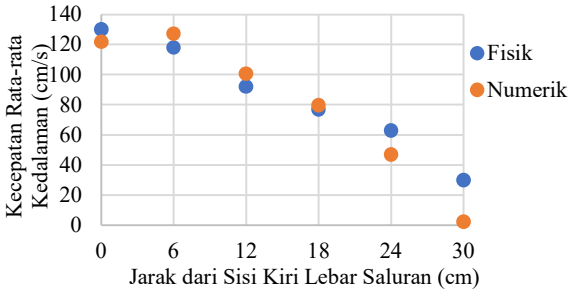
Berdasarkan perhitungan pada parameter kecepatan rata-rata kedalaman, diperoleh nilai R^2 sebesar 0,6222. Dengan nilai R^2 tersebut, maka hasil simulasi model numerik untuk parameter aliran kecepatan rata-rata kedalaman dapat dikatakan relatif sama dengan hasil uji model fisik. Selanjutnya dapat dilanjutkan dengan melakukan *setting model* dan *running model* untuk skenario pemodelan.



Gambar 13. Perbandingan Kecepatan Rata-rata Kedalaman Hasil Percobaan Model Fisik dan Numerik pada Garis Melintang B



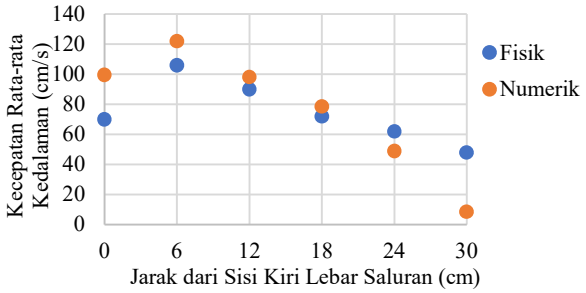
Gambar 14. Perbandingan Kecepatan Rata-rata Kedalaman Hasil Percobaan Model Fisik dan Numerik pada Garis Melintang C



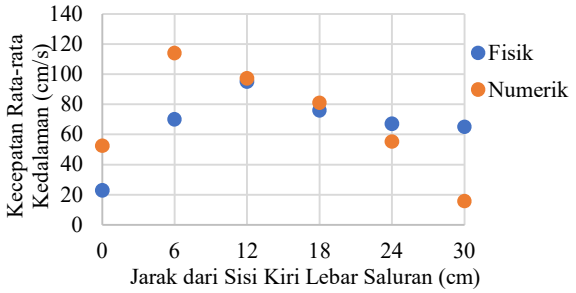
Gambar 15. Perbandingan Kecepatan Rata-rata Kedalaman Hasil Percobaan Model Fisik dan Numerik pada Garis Melintang D

Dalam melakukan *setting model* pada scenario pemodelan, parameneter masukan *setting model* diubah satu per satu dan parameter masukan yang lain tetap sama dengan *setting model default.* Perubahan parameter masukan *setting model* dilakukan seperti dijelaskan pada tahap Metode.

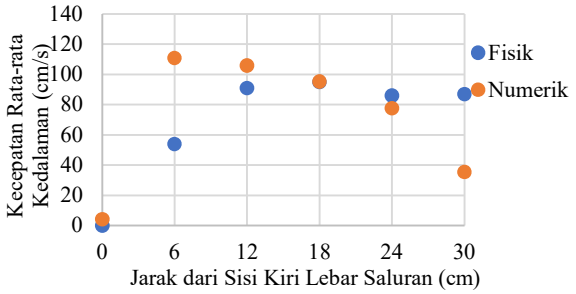
Setelah dilakukan *setting model* dan *running model* pada model yang telah di skenariokan, maka selanjutnya model-model tersebut juga dilakukan uji keandalannya terhadap hasil model fisik. Uji keandalan tersebut juga dilakukan dengan metode statistik R^2. Selanjutnya nilai R^2 pada setiap percobaan dicari selisihnya terhadap nilai R^2 pada *model default,* kemudian selisih nilai R^2 tersebut dibuat prosentase terhadap nilai R^2 *model default*. Sehingga dapat diketahui parameter masukan apa yang memiliki prosentase perubahan nilai R^2 paling besar, maka parameter itulah yang memiliki pengaruh besar terhadap model.



Gambar 16. Perbandingan Kecepatan Rata-rata Kedalaman Hasil Percobaan Model Fisik dan Numerik pada Garis Melintang E



Gambar 17. Perbandingan Kecepatan Rata-rata Kedalaman Hasil Percobaan Model Fisik dan Numerik pada Garis Melintang F



Gambar 18. Perbandingan Kecepatan Rata-rata Kedalaman Hasil Percobaan Model Fisik dan Numerik pada Garis Melintang G

Berdasarkan hasil perhitungan R^2 untuk setiap model percobaan pada skenario model, maka selanjutnya dibuat rekapitulasi terhadap semua hasil R^2 model. Rekapitulasi nilai R^2 dan prosentase beda nilai R^2 disajikan dalam **Tabel**

1. Pada tabel tersebut dapat dilihat perubahan hasil simulasi model akibat perubahan parameter masukan *setting model* terlihat pada prosentase beda nilai R^2 nya. Prosentase beda nilai R^2 adalah prosentase selisih nilai R^2 skenario model dengan nilai R^2 model default. Sehingga prosentase beda nilai R^2 ini dapat digunakan sebagai indicator bahwa hasil simulasi model mengalami perubahan akibat perubahan parameter masukan *setting model*.

Pada **Tabel 1** terlihat bahwa hasil simulasi model yang mengalami perubahan akibat perubahan parameter masukan *setting model* adalah pada scenario model nomor 1 sampai dengan 6 yaitu akibat perubahan masukan *setting model* jumlah grid dan kekasaran dasar saluran. Hal tersebut ditunjukan dengan prosentase beda nilai R^2 berkisar antara 0,53% - 9,39% untuk parameter aliran tinggi muka air dan 0,9% - 1,05% untuk parameter aliran kecepatan rata-rata kedalaman yang diakibatkan oleh perubahan jumlah grid, serta 0,54% - 1,61% untuk parameter aliran tinggi muka air dan 1,07% - 2,01% untuk parameter aliran kecepatan rata-rata kedalaman yang diakibatkan oleh perubahan kekasaran dasar saluran. Sedangkan pada skenario pemodelan nomor 7 sampai dengan nomor 12 yaitu dengan perubahan parameter masukan *setting model* berupa *temperature*, *water density,* dan salinitas, hasil simulasi model tidak mengalami perubahan. Hal tersebut ditunjukan dengan prosentasi beda nilai R^2 sebesar 0,00%.

4. Simpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa parameter masukan *setting model* yang memiliki prosentase beda nilai R^2 paling besar adalah pada parameter jumlah grid yaitu sebesar 9,39% untuk hasil simulasi tinggi muka air dan beda nilai R^2 paling besar lainnya adalah pada parameter kekasaran dasar saluran yaitu sebesar 2,01% untuk hasil simulasi kecepatan rata-rata kedalaman. Berdasarkan hal tersebut, maka parameter yang menyebabkan sensitivitas terhadap hasil simulasi tinggi muka air pada program bantu Delft3D ini adalah parameter masukan *setting model* jumlah grid model. Sedangkan parameter yang menyebabkan sensitivitas terhadap hasil simulasi kecepatan rata-rata kedalaman pada program bantu Delft3D ini adalah parameter masukan *setting model* kekasaran dasar saluran.

Tabel 1. Rekapitulasi Nilai R^2 dan Prosentase Beda Nilai R^2

No.	Parameter Masukan *Setting Model*	Nilai R^2		Prosentase Beda Nilai R^2	
		Kecepatan Rata-rata Kedalaman	Tinggi Muka Air	Kecepatan Rata-rata Kedalaman	Tinggi Muka Air
	Model Default	0,622	0,875	-	-
1.	Jumlah Grid (MN 60 41)	0,628	0,870	0,90%	0,53%
2.	Jumlah Grid (MN 45 31)	0,624	0,857	0,27%	2,10%
3.	Jumlah Grid (MN 30 21)	0,629	0,793	1,05%	9,39%
4.	Kekasaran Dasar Saluran (koefisien kekasaran 0,011)	0,616	0,870	1,07%	0,54%
5.	Kekasaran Dasar Saluran (koefisien kekasaran 0,012)	0,613	0,866	1,54%	1,02%
6.	Kekasaran Dasar Saluran (koefisien kekasaran 0,013)	0,610	0,861	2,01%	1,61%
7.	Temperatur dan *water density* (28°C & 996,232 kg/m^3)	0,622	0,875	0,00%	0,00%
8.	Temperatur dan *water density* (30°C & 995,646 kg/m^3)	0,622	0,875	0,00%	0,00%
9.	Temperatur dan *water density* (32°C & 995,025 kg/m^3)	0,622	0,875	0,00%	0,00%
10.	Salinitas (10 ppt)	0,622	0,875	0,00%	0,00%
11.	Salinitas (20 ppt)	0,622	0,875	0,00%	0,00%
12.	Salinitas (30 ppt)	0,622	0,875	0,00%	0,00%

Daftar Pustaka

[1] S. Murniningsih, "Pengaruh Pergerakan Meander Terhadap," *Indones. J. Constr. Eng. Sustain. Dev.*, vol. 01, no. 02, pp. 45–52, 2018.

[2] P. Y. Julien, *River mechanics*. Cambridge: Cambridge University Press, 2018.

[3] A. Shukry, "Flow Around Bends in an Open Flume," 1950.

[4] M. Wei, K. Blanckaert, J. Heyman, D. Li, and A. J. Schleiss, "A parametrical study on secondary flow in sharp open-channel bends: Experiments and theoretical modelling," *J. Hydro-Environment Res.*, vol. 13, pp. 1–13, 2016, doi: 10.1016/j.jher.2016.04.001.

[5] Sumiadi, "Aliran pada Saluran Menikung Dasar Rata dan Dasar Tergerus," Universitas Gajah Mada, 2014.

[6] A. Purnama, "Analisa Distribusi Kecepatan dan Sedimen pada Tikungan 55° Saluran Terbuka Tampang Segi Empat," 2016.
[7] D. Sisinggih and S. Wahyuni, "Evaluasi Distribusi Kecepatan Aliran di Belokan Sungai Jelarai dan Perubahan Morfologi yang Terjadi," vol. 13, no. 2, pp. 1–10, 2014.
[8] A. R. Falah, Sumiadi, and M. J. Ismoyo, "Kajian Distribusi Tegangan Geser Di Saluran Menikung 120 ° Dengan Acoustic Doppler Velocimeter," 2017.
[9] H. Djufri, "Studi Pengaruh Sudut Belokan Sungai Terhadap Volume Gerusan," *INTEK J. Penelit.*, vol. 4, no. 1, p. 60, 2017, doi: 10.31963/intek.v4i1.95.
[10] G. E. Braden, "Flow Around Bends in Stream Channels," *Proc. Oklahoma Acad. Sci.*, vol. 39, pp. 115–117, 2015.
[11] W. H. Graf and K. Blanckaert, "Flow around bends in rivers," *2nd Int. Conf. New Trends Water Environ. Eng. Saf. Life Eco-compatible Solut. Aquat. Environ.*, pp. 1–9, 2002.
[12] S. Ukiman, RY Kodoatie, "Studi konfigurasi dasar saluran di tikungan 90," *Pilar*, vol. 15, pp. 1–13, 2006.
[13] A. Purnama and E. Nuraini, "Karakteristik Aliran pada Belokan Saluran Terbuka," 2017.
[14] J. Jongbloed, "Three-dimensional modelling of secondary flow in river bends," *Master Thesis*, 1996.
[15] K. Blanckaert, "Hydrodynamic processes in sharp meander bends and their morphological implications," *J. Geophys. Res. Earth Surf.*, vol. 116, no. 1, pp. 1–22, 2011, doi: 10.1029/2010JF001806.
[16] K. Blanckaert, G. Constantinescu, W. Uijttewaal, and Q. Chen, "Hydro- and morphodynamics in curved river reaches - recent results and directions for future research," *Adv. Geosci.*, vol. 37, pp. 19–25, 2013, doi: 10.5194/adgeo-37-19-2013.
[17] R. Bai, D. Zhu, H. Chen, and D. Li, "Laboratory study of secondary flow in an open channel bend by using PIV," *Water (Switzerland)*, vol. 11, no. 4, pp. 16–18, 2019, doi: 10.3390/w11040659.
[18] Khairul, "Studi Faktor Fisika Kimia Perairan Terhadap Biota Akuatik Di Ekosistem Sungai Belawan," vol. 3, pp. 1132–1140, 2017, doi: 10.31227/osf.io/r2uy8.
[19] V. T. Chow, *Open Channel Hydraulics. Mcgraw-Hill Company*. Bandung: Erlangga, 1989.
[20] B. of R. U.S. Department of the Interior, "Ground Water Manual," vol. 4, p. 1965, 1977.