

PEMROSESAN CITRA SATELIT DAN PEMODELAN UNTUK MEMPREDIKSI PENYEBARAN BANJIR BENGAWAN SOLO MENGGUNAKAN METODE NAVIER STOKES

Ratih Febrianty¹⁾, Ir. Dadet Pramadihanto, M.Eng, Ph.D², Ir. Wahjoe Tjatur Sesulihatien, MT³⁾

Jurusan Teknik Informatika, PENS ITS Surabaya

Jl. Raya ITS, Surabaya

+62(31) 594 7280; Fax: +62(31) 594 6114

E-mail : cahkediri07@student.eepis-its.edu , dadet@eepis-its.edu , wahyu@eepis-its.edu

ABSTRAK

Bengawan Solo merupakan sungai terpanjang di Pulau Jawa. Daerah-daerah desekitar sungai tersebut juga merupakan daerah rawan banjir. Kejadian semacam ini tentu saja akan menyebabkan kerugian yang sangat besar, bahkan memungkinkan terjadinya korban jiwa. Oleh karena itu perlu adanya pemikiran kembali tentang pencegahan bencana banjir. Dalam hal ini diperlukan sistem permodelan penyebaran air untuk mengetahui perkiraan pergerakan air di sungai Bengawan Solo. Tentu saja sistem ini harus di sertai dengan penyaluran informasi yang akurat, tindakan penanganan dini banjir yang tepat, dan manajemen evakuasi yang bagus seandainya banjir sudah tidak terelakan. Jika hal ini terpenuhi, maka resiko terjadi banjir dapat dikurangi. Dan walaupun banjir masih terjadi, pergerakan air dapat diketahui dan dapat dilakukan upaya pencegahan-pencegahan ataupun evakuasi. Proyek akhir ini dilakukan untuk membuat aplikasi tentang permodelan penyebaran air berdasarkan sungai Bengawan Solo. Data-data yang berasal dari satelit mengenai peta, kontur tanah, curah hujan, dan ketinggian air diolah dengan suatu algoritma sehingga mengeluarkan sebuah peta tentang perkiraan penyebaran air. Algoritma yang dipakai adalah Navier Stokes, yaitu algoritma yang mencari kecepatan aliran setiap daerah sungai, agar didapatkan kecepatan yang dinamik.

Kata kunci : *Banjir, Bengawan Solo, Navier Stokes, Prediksi*

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Sebagian besar dari wilayah di Indonesia adalah perairan. Baik air laut maupun air sungai. Banyak sekali terdapat sungai di Indonesia, khususnya pulau jawa. Salah satu sungai yang terkenal di Indonesia adalah sungai Bengawan Solo yang merupakan sungai terpanjang di pulau jawa. Namun disayangkan sekali, karena setiap tahun sungai Bengawan Solo selalu dilanda banjir. Baik itu banjir karena hujan maupun banjir karena waduk yang jebol. Tidak sedikit kerugian yang disebabkan oleh banjir Bengawan Solo. Pemerintah memperkirakan kerugian di daerah aliran sungai Bengawan Solo hampir mencapai 1triliun tiap tahun. Selain mengakibatkan kerugian material yang cukup besar, banjir Bengawan Solo juga menyebabkan terhambatnya pertumbuhan ekonomi secara nasional, khususnya di daerah jawa timur.

Diperlukan adanya pencegahan banjir tersebut, yaitu penanganan secara intensif pada daerah aliran sungai penanaman hutan gundul. Selain itu diperlukan usaha preventif yaitu menghindari banjir sejak dini. Dalam hal ini diperlukan sistem permodelan penyebaran air untuk mengetahui perkiraan pergerakan air di sungai Bengawan Solo. Tentu saja sistem ini harus di sertai dengan penyaluran informasi yang akurat, tindakan penanganan dini banjir yang tepat, dan manajemen evakuasi yang bagus seandainya banjir sudah tidak terelakan. Jika hal ini terpenuhi, maka resiko terjadi banjir dapat dikurangi. Dan walaupun banjir masih terjadi, pergerakan air dapat diketahui

dan dapat dilakukan upaya pencegahan-pencegahan ataupun evakuasi.

Proyek akhir ini dilakukan untuk membuat aplikasi tentang permodelan penyebaran air berdasarkan sungai Bengawan Solo. Data-data yang berasal dari satelit mengenai peta, kontur tanah, curah hujan, dan ketinggian air diolah dengan suatu algoritma sehingga mengeluarkan sebuah peta tentang perkiraan penyebaran air.

1.2. Rumusan Permasalahan

Dalam melaksanakan perencanaan dan pembuatan sistem akan dibuat pada proyek akhir ini, permasalahan yang ada adalah sebagai berikut :

1. Mengklasifikasi area klasifikasi area terjadinya banjir berdasarkan daerah genangan air yang berada disekitar sungai bengawan solo
2. Menentukan variabel-variabel yang mempengaruhi penyebaran. Yaitu : curah hujan dan durasi waktu. Dan dibutuhkan data-data mengenai ketinggian air, elevasi tanah, curah hujan, kecepatan aliran sungai, dan daya serap tanah yang dibuat dinamis.
3. Memodelkan penyebaran banjir pada daerah aliran sungai (DAS) Bengawan Solo dengan visualisasi (2 dimensi).

1.3. Penelitian Terkait

1. Arif Rachman Himawan. *Klasifikasi Area Pada Citra Satelit Dan Penerapannya Pada Pedeteksian Banjir Di Situs Bengawan Solo*, PENS-ITS, 2009
Pada penelitian ini, penulis menggunakan konsep-konsep sebagai berikut :
 - a. Penginderaan Jauh : digunakan untuk pengambilan atau pengukuran data atau

informasi dari satelit.

- b. Citra Normalisasi (NDVI) : adalah perhitungan citra yang digunakan untuk mengetahui tingkat kehijauan, yang sangat baik sebagai awal dari pembagian daerah vegetasi. NDVI dapat menunjukkan parameter yang berhubungan dengan parameter vegetasi, antara lain, biomassa dedaunan hijau, daerah dedaunan hijau dan hence yang merupakan nilai yang dapat diperkirakan untuk pembagian vegetasi.

Nilai yang dihasilkan pada proses NDVI ini memiliki rentang nilai antara -1.0 hingga +1.0. Dalam penelitian ini, nilai NDVI untuk wilayah atau kelompok yang sudah ditetapkan dipecah agar bisa mendapatkan nilai untuk air dan juga nilai dari awan. Tetapi hasil yang didapat kurang sempurna, karena daratan yang tertutup awan tipis sehingga banyak daerah yang terdeteksi menjadi awan. Meskipun hasil yang didapat kurang maksimal dikarenakan terdapatnya daerah yang tertutup awan tipis, hal ini dapat mendeteksi terjadinya banjir disuatu daerah.

Hasil keseluruhan dari penelitian ini, adalah sistem dapat telah dapat mendeteksi area awal terjadinya banjir berdasarkan daerah genangan air yang berada disekitar sungai bengawan solo.

2. Muhammad Nunu Sanusi. *Prediksi Penyebaran Banjir Disitus Bengawan Solo Berdasarkan Curah Hujan Dan Elevasi Permukaan Tanah*, PENS-ITS, 2009

Pada penelitian ini, penulis menggunakan metode cellular automata untuk membuat sistem yang dapat memprediksi penyebaran banjir di daerah aliran sungai Bengawan Solo. Dan masih terdapat kekurangan pada hasil output. Adapun kekurangan tersebut adalah sebagai berikut :

- a. Variabel daya serap tanah masih dalam kondisi konstan. Akibatnya menghasilkan akurasi prediksi yang kurang.
- b. Jika terdapat dataran yang lebih rendah dari area yang diseleksi sebagai daerah yang terkena hujan, maka air belum dapat dimodelkan mengalir ke dataran yang lebih rendah tersebut. Mengingat sifat air adalah mengalir dari tempat yang tinggi ke tempat yang rendah.

3. Ratna Nur Tiara Shanty. *Pemrosesan Citra Satelit dan Pemodelan untuk Prediksi Penyebaran Banjir*, PENS-ITS, 2011

Pada penelitian ini, penulis menggabungkan dua proses utama, yaitu:

- a. Memproses citra satelit untuk diklasifikasikan dan diambil nilai NDVI nya. Kemudian, akan diketahui daerah mana yang merupakan vegetasi atau non vegetasi.

- b. Melakukan pemodelan dan visualisasi secara 2 dimensi tentang persebaran banjir. Melalui variabel-variabel yang mempengaruhinya, yaitu : menggunakan persamaan bernoulli untuk representasi hubungan antar sungai, menggunakan cellular automata untuk metode penyebarannya, serta menggunakan persamaan horton untuk melakukan proses penyerapan tanah terhadap air. Yang mana, data daya serap tiap daerah dihasilkan dari proses klasifikasi NDVI sebelumnya.

1.4. Tujuan Proyek

Tujuan dari proyek akhir ini adalah membuat pemodelan dan visualisasi 2 dimensi tentang persebaran banjir di daerah sungai Bengawan Solo, dengan menggunakan metode Navier Stokes, diharapkan dapat menjadikan prediksi persebaran lebih akurat dari sebelumnya.

1.5. Kontribusi Proyek

Kontribusi dari proyek akhir ini adalah membuat persebaran banjir Daerah Willayah Sungai (DAS) sungai Bengawan Solo daerah Bojonegoro dengan menggunakan open source software, sehingga pengguna software komersial dapat beralih ke software open source

2. Rancangan Sistem

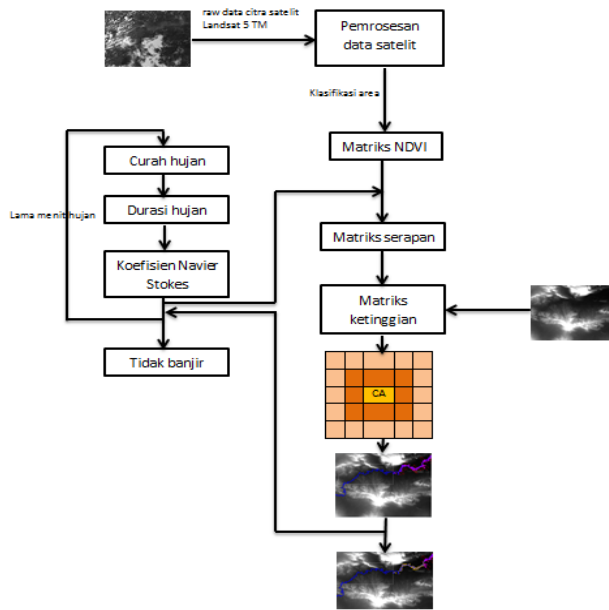
Dalam bab ini akan dibahas mengenai langkah – langkah perencanaan data dan pembuatan program aplikasi yang digunakan.

Berikut ini adalah prosesnya :

- Input : Curah hujan, durasi waktu dan tinggi muka air awal sungai + koefisien navier stokes dan daya serap tanah.
- Proses :
 - a. Dikatakan banjir, jika : $\text{Curah hujan} > \text{kapasitas sungai}$.
 - b. Data nilai navier stokes dan daya serap tanah, digunakan untuk menghitung dan memprediksi kemana air menyebar.
 - c. Iterasi akan berjalan hingga waktu hujan habis.
- Output : Hasil informasi tentang sebuah prediksi penyebaran banjir pada daerah aliran sungai bengawan solo dan air mengalami surut

2.1. Pembuatan Sistem

Pada sub bab ini dijelaskan proses – proses yang dilakukan dan dikerjakan selama pembuatan proyek akhir. Pembuatan sistem dapat dijelaskan pada diagram sistem dibawah ini :



Gambar 1. Diagram sistem penyebaran banjir

• **Menghitung Pergerakan Sungai**

Algoritma untuk pemodelan gerakan fluida adalah sebagai berikut :

1) Inisialisasi nilai $h(0)$ sebagai ketinggian air awal, $u(0)$ sebagai kecepatan awal, $v(0)$ sebagai kecepatan kinematik awal, dan b sebagai tinggi daratan

2) Perulangan untuk semua waktu t_{n+1}

3) Selesaikan $h^{n+1/2}$ menggunakan :

$$\begin{aligned}
 & \left[\begin{aligned} & g\Delta t^2 \left(\frac{d_{i-1,j} + 2d_{i,j} + d_{i+1,j}}{2\Delta x^2} \right) \\ & + \left(\frac{d_{i,j-1} + 2d_{i,j} + d_{i,j+1}}{2\Delta y^2} \right) \end{aligned} \right] h_{i,j}^{n+1/2} \\
 & + 1 \\
 & = \frac{g\Delta t^2}{2\Delta x^2} (d_{i-1} + d_{i,j}) h_{i-1,j}^{n+1/2} + \frac{g\Delta t^2}{2\Delta x^2} (d_{i,j} + d_{i+1,j}) h_{i+1,j}^{n+1/2} \\
 & + \Delta t \left[\begin{aligned} & \left(\frac{d_{i-1} + d_{i,j}}{2\Delta x} \right) u_{i-1,j}^n (1 - S_x) - \left(\frac{d_{i,j} + d_{i+1,j}}{2\Delta x} \right) u_{i,j}^n (1 - S_x) \\ & + \frac{g\Delta t}{2\Delta y^2} (d_{i,j} + d_{i,j-1}) h_{i,j-1}^n + \left(\frac{d_{i,j} + d_{i,j+1}}{2\Delta y} \right) v_{i,j-1}^n (1 - S_y) \\ & + \frac{g\Delta t}{2\Delta y^2} (d_{i,j+1} + d_{i,j}) h_{i,j+1}^n - \left(\frac{d_{i,j+1} + d_{i,j}}{2\Delta y} \right) v_{i,j}^n (1 - S_y) \end{aligned} \right] + h_{i,j}^{1/2}
 \end{aligned}$$

4) Selesaikan h^{n+1} menggunakan :

$$\begin{aligned}
 & \left[\begin{aligned} & \left(\frac{d_{i-1,j} + 2d_{i,j} + d_{i+1,j}}{2\Delta x^2} \right) \\ & + \left(\frac{d_{i,j-1} + 2d_{i,j} + d_{i,j+1}}{2\Delta y^2} \right) \end{aligned} \right] h_{i,j}^{n+1} \\
 & + 1 \\
 & = \frac{g\Delta t^2}{2\Delta x^2} (d_{i-1} + d_{i,j}) h_{i-1,j}^{n+1} + \frac{g\Delta t^2}{2\Delta y^2} (d_{i,j+1} + d_{i,j}) h_{i,j+1}^{n+1} \\
 & + \Delta t \left[\begin{aligned} & \frac{g\Delta t}{2\Delta x^2} (d_{i-1} + d_{i,j}) h_{i-1,j}^{n+1/2} + \left(\frac{d_{i-1} + d_{i,j}}{2\Delta x} \right) u_{i-1,j}^n (1 - S_x) \\ & + \frac{g\Delta t}{2\Delta x^2} (d_{i,j} + d_{i+1,j}) h_{i+1,j}^{n+1/2} - \left(\frac{d_{i,j} + d_{i+1,j}}{2\Delta x} \right) u_{i,j}^n (1 - S_x) \\ & + \left(\frac{d_{i,j} + d_{i,j-1}}{2\Delta y} \right) v_{i,j-1}^n (1 - S_y) - \left(\frac{d_{i,j+1} + d_{i,j}}{2\Delta y} \right) v_{i,j}^n (1 - S_y) \end{aligned} \right] + h_{i,j}^{1/2}
 \end{aligned}$$

5) Perbarui u^{n+1} dan v^{n+1} masing-masing menggunakan

$$\begin{aligned}
 u_{i,j}^{n+1} &= -g \frac{\Delta t}{\Delta x} (h_{i+1,j}^n - h_{i,j}^n) + u_{i,j}^n (1 - S_x) \\
 & \text{dan} \\
 v_{i,j}^{n+1} &= -g (h_{i,j+1}^{n+1} - h_{i,j}^{n+1}) \frac{\Delta t}{\Delta y} + v_{i,j}^n (1 - S_y)
 \end{aligned}$$

6) Akhiri perulangan

• **Visualisasi 2 Dimensi Penyebaran Banjir dengan metode Cellular Automata**

Cellular automata digunakan untuk mencari nilai kecepatan yang lebih kecil dari sekumpulan pixel. Titik tengah dijadikan sebagai acuan. Titik tengah akan bergeser dan membandingkan dengan nilai dari pixel di sekitarnya. Air akan mengalir ke tempat yang memiliki kecepatan dari perhitungan navier stokes yang lebih kecil.

Berikut ini adalah contoh dari bentuk cellular automata 3x3. Maka bentuk looping for yang digunakan adalah :

(x-1,y-1)	(x,y-1)	(x+1,y-1)
(x-1,y)	(x,y)	(x+1,y)
(x-1,y+1)	(x,y+1)	(x+1,y+1)

Gambar 2: Metode Cellular Automata 3x3

Jika matriks Cellular Automata yang digunakan adalah 81x81, maka looping sistemnya adalah :

```

for (a = i - 40; a <= i + 40; a++) {
    for (b = j - 40; b <= j + 40; b++) {
        }
    }

```

• **Daya Serap Tanah**

Nilai serapan tergantung dari nilai dari NDVI. Nilai-nilai vegetasi tadi, didapatkan dari hasil penghitungan NDVI yang telah dilakukan pada langkah sebelumnya.

Tanah yang berbeda-beda menyebabkan air yang meresap dengan laju yang berbeda-beda pula. Setiap tanah memiliki daya serap yang berbeda, f ,

yang diukur dalam mm/jam. Tingkat penyimpanan tanah terhadap air, bertambah terus untuk jangka waktu yang lama. Maka dari itu, nilai f_c turun ke bawah hingga batas waktu yang ditentukan. Meskipun demikian, tanah akhirnya akan menjadi lembap. Bila hujan berhenti, tanah-pun akan kehilangan tingkat kelembapan.

Adapun hubungan antara kapasitas daya serap tanah dengan waktu, dinyatakan dalam persamaan Horton sebagai berikut :

$$f = f_c + (f_o + f_c)e^{-kt}$$

Dimana :

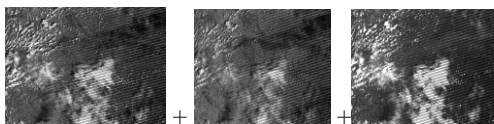
- f adalah kapasitas infiltrasi (daya serap tanah) pada sembarang waktu,
- f_o adalah kapasitas infiltrasi awal pada $t=0$,
- f_c adalah kapasitas infiltrasi setelah mencapai harga konstan,
- k adalah konstanta positif yang bergantung pada tanah dan tumbuhan penutup tanah,
- t adalah waktu.

Surutan

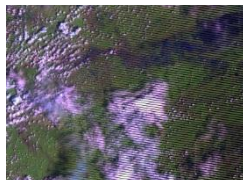
Surutan terjadi ketika hujan mulai berhenti. Penyurutan terjadi akibat adanya aliran air yang terjadi di sungai. Air yang tergenang secara perlahan-lahan akan masuk kembali ke sungai dan terbawa aliran air menuju laut. Waktu yang dibutuhkan air yang tergenang untuk habis seluruhnya terbawa aliran sungai merupakan waktu surutan.

3. Pengolahan Data

Hasil penggabungan citra dari 3 channel yaitu 5, 4, 2 menjadi gambar baru. Gambar band tersebut dapat ditampilkan sebagai berikut :

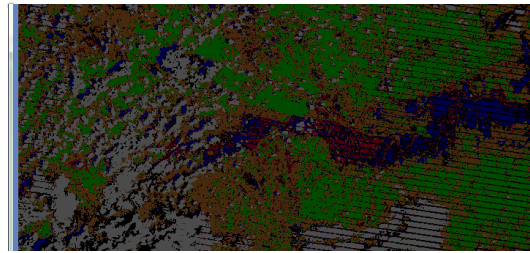


Gambar 3 :Band 5 Gambar 4 :Band 4 Gambar 5 :Band 2



Gambar 6: Citra Penggabungan 3 Band

Dari input Band 4 dan 2 diperoleh hasil NDVI:



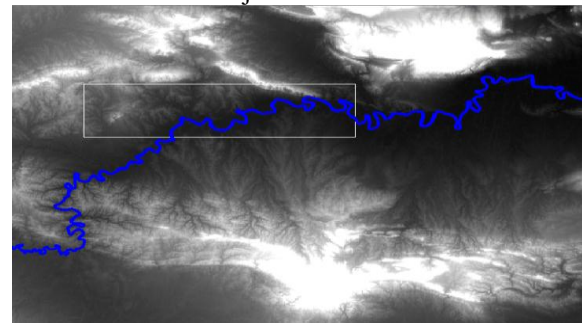
Gambar 7: Peta Klasifikasi Area

Hasil klasifikasi gambar di atas diperoleh :

Daerah Klasifikasi	Range nilai NDVI dan RGB
Daerah Air	NDVI = -0,3 - 0 R = 16 - 50 G = 18 - 59 B = 8 - 255
Daerah Awan	NDVI = -1 - 0,01 R = 110 - 255 G = $R \pm (0,1 \times R)$ B = $R \pm (0,1 \times R)$
Daerah Daratan & Tanah Kosong	NDVI = 0 - 1
Daerah Padang Rumput dan Semak - semak	NDVI = 0,15 - 0,3
Daerah Hutan Tropis	NDVI = 0,35 - 0,8

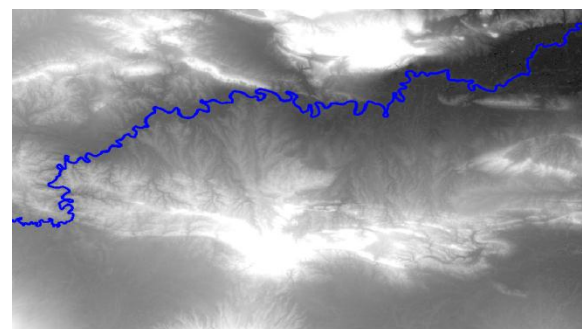
Nilai tersebut digunakan untuk perhitungan serapan tanah.

Hasil uji coba dengan input 200 untuk curah hujan, dan 3 untuk durasi hujan.



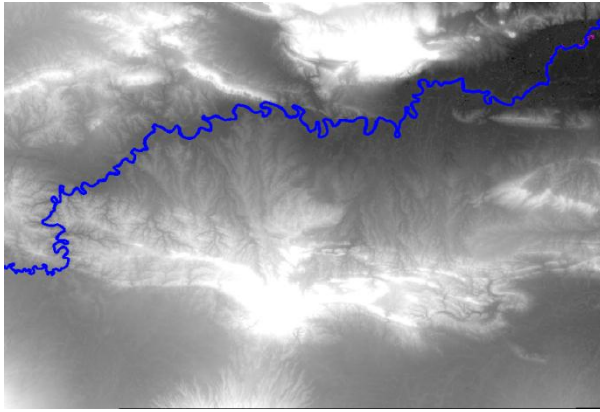
Gambar 8: Luas Area Hujan

Luas daerah hujan yang terjadi adalah seluas 1285939.2 m²



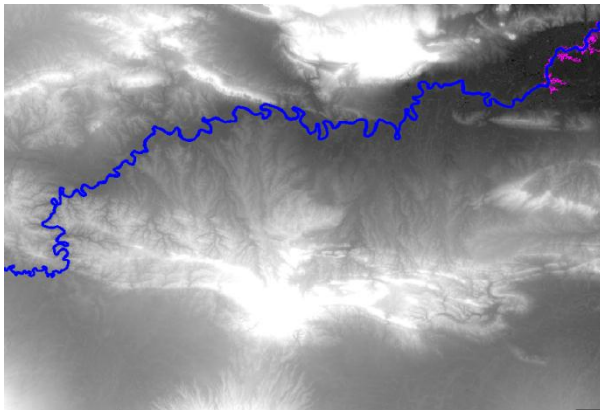
Gambar 9 : Luapan Banjir 1 Jam

Luas genangan pada saat durasi hujan 1jam 146 m²



Gambar 10 : Luapan Banjir 2 Jam

Pada saat hujan 2 jam, terlihat sedikit genangan banjir. Daerah yang tergenang adalah daerah Lamongan



Gambar 11 : Luapan Banjir 3 Jam

Luas daerah pada saat 3 jam 831m^2 . Mulai terlihat jelas daerah yang telah tergenang. Daerah yang telah tergenang adalah daerah Lamongan. Untuk melihat lebih jelas daerah mana saja yang telah tergenang, dapat menggunakan slider lihat peta, terlihat seperti gambar dibawah ini :



Gambar 12 : Lihat Peta Bojonegoro

Dengan adanya slider Lihat Peta, kita dapat melihat kecamatan mana saja yang sudah tergenang dan mana yang belum.

4. Kesimpulan :

- Luasnya genangan tergantung dari banyaknya air yang meluap. Dan air yang meluap volumenya berdasarkan luas wilayah hujan, curah hujan yang turun, durasi hujan, banjir kiriman.
- Daerah persebaran tergantung dari tinggi dari daratan dan serapan yang terjadi. Semakin rendah dan semakin kecil konstanta serapan, semakin cepat air menyebar ke daerah di sekitarnya.
- Untuk menentukan arah persebaran digunakan perhitungan Navier Stokes.
- Tiap pixel mempunyai daya tampung terhadap air berbeda-beda tergantung pada ketinggian pixel tersebut dan tinggi dari pixel tetangganya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Purnama, Ig Setyawan. 2004. *Infiltrasi Tanah di Kecamatan Nguter Kabupaten Sukoharjo*. Jawa Tengah.
- [2] Jay A. Parsons dan Mark A. Fonstad. 2007 *A cellular automata model of surface water flow*. San Marcos.
- [4] Himawan, Arif Rachman. 2009. *Klasifikasi Area Pada Citra Satelit Dan Penerapannya Pada Pedeteksian Banjir Di Situs Bengawan Solo*. Surabaya : PENS.ITS.
- [5] Sanusi, Muhammad Nunu. 2009. *Prediksi Penyebaran Banjir Disitus Bengawan Solo Berdasarkan Curah Hujan Dan Elevasi Permukaan Tanah*. Surabaya : PENS.ITS.
- [6] Shanty, Ratna Nur Tiara. 2011. *Pemrosesan Citra Satelit dan Pemodelan untuk Prediksi Penyebaran Banjir Bengawan Solo*. Surabaya : PENS.ITS.
- [7] Rezel, Rohana. 2007. *A 2D Multi-Resolution Urban Flood Propagation Model Using Simplified Navier-Stokes Equations*. Netherland : International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation.