

APLIKASI PENGINDERAAN JAUH DAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS UNTUK PEMETAAN DAERAH RAWAN BANJIR DI KOTA MALANG

Suryandono Bhekti Satrya Putra
suryandono.bhekti@mail.ugm.ac.id

Sigit Heru Murti B.S.
sigit@geo.ugm.ac.id

Abstract

This research is purposed to analyze Quickbird's image to extract land physical parameter which affect the flood susceptible level, analyze the potential inundation level with the surface runoff, also to maps the flood vulnerability area in Malang. The primary data used are the land physical parameter resulted from the Quickbird Image and field research. This research on the flood vulnerability area mapping uses the combination method between visual interpretation on Quickbird Image, calculation of NRCS's runoff curve number, Geographic Information System and field research. The mapping process of flood vulnerability area is conducted with; physical parameter interpretation, rainfall data processing, runoff calculation, and overlay analysis on physical parameter. The result of this research shows that the potential flood area with the high level overflow very prone to caused flooded area. Those flood vulnerability area are mostly in Southern part of Malang, especially in Kedungkandang subdistrict

Keyword: remote sensing, flood, inundation, runoff, geographic information system

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kemampuan citra Quickbird untuk menyadap parameter fisik lahan yang mempengaruhi tingkat kerawanan banjir, mengkaji hubungan antara potensi genangan banjir dengan limpasan permukaan, serta memetakan daerah rawan genangan banjir di Kota Malang. Sumber data primer yang digunakan adalah parameter fisik lahan yang diperoleh dari interpretasi Citra Quickbird dan survei lapangan. Metode yang digunakan dalam pemetaan kerawanan genangan banjir merupakan metode gabungan antara teknik interpretasi visual pada citra Quickbird, perhitungan limpasan metode bilangan kurva NRCS, Sistem Informasi Geografis dan survei lapangan. Proses pemetaan genangan banjir dilakukan dengan rangkaian: interpretasi parameter fisik, olah data curah hujan, perhitungan limpasan, analisis tumpang susun parameter fisik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daerah berpotensi genangan banjir dengan tingkat limpasan yang tinggi sangat rawan terjadi genangan. Daerah yang rawan terjadi genangan banjir sebagian besar terletak di bagian selatan kota Malang khususnya wilayah kecamatan Kedungkandang.

Kata Kunci: penginderaan jauh, banjir, genangan, limpasan, sistem informasi geografis

PENDAHULUAN

Kota Malang yang terletak di dataran tinggi bila dilihat dari topografinya yang bergelombang seharusnya tidak mungkin terjadi banjir. Beberapa tahun belakangan ini, kota Malang menjadi langganan banjir di setiap musim penghujan. Banjir yang terjadi di kota Malang merupakan banjir sesaat yang rutin terjadi di beberapa tempat di kota Malang. Fenomena banjir hampir pernah terjadi di banyak daerah di Indonesia khususnya daerah daerah yang ber relief datar yang terletak di dataran rendah. Tetapi fenomena banjir yang terjadi di Kota Malang merupakan fenomena banjir yang kurang lazim. Meskipun Kota Malang dilewati beberapa sungai besar seperti sungai Brantas, Sungai Metro, Sungai Amprong dan Sungai Bango, tetapi topografi kota Malang yang bergelombang seharusnya tidak memungkinkan terjadinya banjir.

Kota Malang merupakan salah satu daerah yang perkembangan areal permukiman nya sangat cepat, hal ini dikarenakan kemajemukan kehidupan di daerah perkotaan. Di Kota Malang juga terdapat beberapa perguruan tinggi antara lain Universitas Brawijaya, Universitas Negeri Malang, Universitas Merdeka, Universitas Islam Malang, Universitas Muhammadiyah Malang, Politeknik Negeri Malang, dan Institut Teknologi Nasional serta beberapa sekolah tinggi setingkat universitas, sehingga dengan adanya perguruan tinggi tersebut maka akan memicu pertumbuhan areal permukiman yang tinggi disekitar universitas tersebut. Beberapa tahun

belakangan, kota Malang menjadi langganan banjir tiap tahunnya. Dengan berkembangnya areal permukiman pada Kota Malang, maka banyak terjadi alih fungsi lahan dari daerah resapan menjadi lahan terbangun. Selain perkembangan areal permukiman yang sangat cepat, di kota Malang juga banyak terjadi pembangunan fasilitas umum seperti Mall, Ruko, dan Arena Olahraga sehingga banyak daerah resapan yang hilang sehingga menambah resiko terjadi limpasan.

Di berbagai kota didunia ini telah banyak dibuat saluran-saluran drainase, sebagai bentuk perlindungan manusia terhadap banjir, baik yang di atas permukaan maupun di bawah permukaan. Pada kenyataannya, banyak saluran drainase yang tidak berfungsi semestinya entah akibat sampah dan sedimen, atau pembuatan drainase yang kurang memperhitungkan daya tampungnya, sehingga apabila terdapat curah hujan yang tinggi, beberapa sungai besar dan saluran-saluran akan meluap dan air bah menggenangi halaman-halaman di daerah-daerah sekitarnya. Pengendalian terhadap banjir di daerah perkotaan tersebut sangatlah dibutuhkan, untuk itu pemetaan daerah-daerah rawan banjir genangan di perkotaan sangat diperlukan sebagai sumber data awal.

Kota Malang salah satunya adalah kota yang dalam beberapa tahun terakhir ini telah mengalami banjir lokal.

Penelitian ini menekankan pada pemetaan kerawanan banjir di Kota Malang dengan memperhatikan

aspek parameter fisik lahan yaitu saluran drainase, penutup lahan, kemiringan lereng, curah hujan, serta jenis tanah. Hal tersebut memerlukan bantuan dari berbagai bidang secara menyeluruh, baik itu Penginderaan Jauh, Sistem Informasi Geografis maupun bidang-bidang lainnya.

Dalam penelitian ini digunakan Citra Satelit Quickbird yang merupakan citra resolusi tinggi. Melalui citra satelit itu dapat dipetakan penggunaan lahan aktual kota sehingga dapat diperkirakan besarnya limpasan permukaan akibat perubahan penggunaan lahan dari area resapan menjadi lahan terbangun. Untuk citra satelit Quickbird yang sudah terkoreksi, pemrosesannya memungkinkan seperti foto udara umumnya untuk perolehan data dengan kualitas foto orto dan proses fotogrametri lainnya. Citra satelit ini memiliki resolusi spasial yang tinggi yaitu 2,4 meter (multispektral) dan 61 centimeter (pankromatik), sehingga mempunyai gambaran piktorial yang baik dan menyerupai hasil foto udara. Objek kajian di daerah perkotaan yang umumnya berukuran kecil dan penggunaan lahan yang heterogen dapat dikenali dengan mudah pada citra satelit Quickbird.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kemampuan citra Quickbird untuk menyadap parameter fisik lahan yang mempengaruhi tingkat kerawanan banjir, mengkaji hubungan antara genangan banjir dengan limpasan permukaan. Serta memetakan secara spasial daerah potensi genangan banjir di Kota Malang.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan integrasi antara teknik penginderaan jauh dengan Sistem Informasi Geografi (SIG). Penelitian ini menggunakan penginderaan jauh dalam pengumpulan data-data yang berkaitan dengan variabel kerawanan banjir, dan didukung oleh Sistem Informasi Geografi sebagai alat untuk mengolah dan menganalisa data.

Daerah penelitian yang dipilih adalah Kota Malang. Kota Malang ini digunakan sebagai daerah penelitian karena letaknya yang dilalui Sungai Brantas, Sungai Metro, Sungai Amprong, Sungai Bango, Sungai Manten dan sungai-sungai kecil lainnya, sehingga Kota Malang ini rawan terhadap terjadinya banjir genangan. Selain itu, daerah ini memiliki laju pertumbuhan areal permukiman cukup tinggi yang disebabkan dari pertumbuhan penduduk dan urbanisasi yang tinggi juga. Banyaknya perubahan penggunaan lahan di Kota Malang akan mengakibatkan tingginya limpasan permukaan. Dengan memperhatikan hal-hal tersebut, maka daerah Kota Malang dapat dijadikan lokasi penelitian ini.

Tahapan penelitian yang dilakukan meliputi : a) persiapan dan pengumpulan data penelitian, b) pembuatan model elevasi digital, c) penentuan batas subdas, d) interpretasi citra Quickbird, e) kerja lapangan, f) pengolahan dan pemrosesan data, dan g) analisa data.

Citra penginderaan jauh yang digunakan adalah Citra Quickbird

yang meliputi Kota Malang. Parameter yang disadap dari Citra Quickbird dilakukan dengan teknik interpretasi secara visual (manual) dengan cara *digitasi on screen*, karena citra telah tersedia dalam format digital dengan dibantu Peta Rupa Bumi Indonesia untuk menentukan batas administrasi Kotamadya Malang. Citra penginderaan jauh digunakan sebagai data primer untuk menyadap parameter yang mempengaruhi kerawanan banjir, sedangkan data yang tidak dapat disadap langsung dari citra didapatkan dari instansi.

Dari interpretasi citra Quickbird ini nantinya akan didapatkan peta penggunaan lahan dan peta saluran drainase. Peta klasifikasi bentuklahan dan peta saluran drainase yang dihasilkan dari interpretasi citra Quickbird ditambah dengan peta kemiringan lereng diolah dengan menggunakan SIG, yaitu dengan overlay, sehingga dapat dihasilkan peta kerawanan banjir.

Peta kemiringan lereng didapatkan dari peta rupabumi. Data sekunder berupa peta jenis tanah. Dalam penelitian ini juga dilakukan kerja lapangan. Kerja lapangan dilakukan untuk uji ketelitian interpretasi dan pengamatan lapangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan peta SubDAS dilakukan karena Kota Malang sebagai wilayah kajian kurang relevan dijadikan sebagai batas wilayah penelitian hidrologi. Kota Malang terletak di SubDAS Brantas Hulu. Pembuatan batas SubDAS ini menggunakan data kontur, titik tinggi dan sungai. Pembatasan Sub-DAS

dimulai dengan mengklasifikasi ordo sungai terlebih dahulu sehingga bias diketahui sungai utama pada SubDAS. Garis batas digambarkan pada puncak punggung bukit dengan memperhatikan percabangan sungai. Pembatasan subDAS ini menghasilkan beberapa blok basin yang lebih kecil. Sehingga dengan posisi Kota Malang yang bias dikatakan berada pada bagian hulu SubDAS Brantas Hulu, maka wilayah penelitian bias diperkecil hanya sebagian Sub-DAS saja yang diwakili oleh beberapa blok basin.

Interpretasi geomorfologi merupakan salah satu parameter terkait analisis genangan dan limpasan. Berdasarkan hasil interpretasi yang dilakukan, pada wilayah kajian terdapat 2 (dua) kelompok satuan geomorfologi utama, yaitu satuan bentuklahan vulkanik dan satuan bentuklahan fluvial.

Perhitungan kerapatan saluran drainase dilakukan pada masing-masing blok basin. Nilai kerapatan saluran drainase tertinggi berada pada Blok Basin Brantas Hulu dengan nilai kerapatan 5.47 km/km^2 . Nilai kerapatan saluran drainase terendah berada pada Blok Basin Amprong dengan nilai kerapatan 3.98 km/km^2 . Pengaruh antara kerapatan drainase dengan genangan adalah semakin banyak nilai kerapatan saluran drainase, maka akan sedikit genangan. Hal tersebut disebabkan karena air yang mengalir di permukaan akan dapat ditampung pada saluran-saluran drainase yang ada dengan baik sehingga genangan dapat terminimalisir.

Kemiringan lereng merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk menentukan potensi genangan

banjir. Pembuatan peta kemiringan diperoleh dari analisis tiga dimensi data kontur peta rupa bumi Indonesia skala 1:25.000. Hasil analisis tiga dimensi, kemudian dibuat kelas kemiringan sebanyak 6 kelas sesuai dengan klasifikasi dari Bakosurtanal. Secara spasial, kelas kemiringan lereng curam yang mendominasi daerah penelitian, berada di sisi barat, barat laut, timur dan sedikit ditengah. Kelas kemiringan lereng cekung hingga landai (<8%) berada disisi tengah daerah penelitian, membentang dari selatan ke utara.

Parameter yang diperlukan untuk membuat peta limpasan permukaan adalah peta kompleks penutup lahan. Peta kompleks penutuplahan ini diperoleh melalui interpretasi citra satelit Quickbird. Interpretasi yang dilakukan meliputi interpretasi jenis penutup lahan, interpretasi kondisi hidrologi, dan interpretasi perlakuan terhadap lahan. Interpretasi yang dilakukan mengacu pada klasifikasi menurut NRCS.

Interpretasi jenis tutupan lahan dan kondisi hidrologi dilakukan secara visual dengan digitisasi on screen citra satelit Quickbird. Interpretasi perlakuan terhadap lahan, selain menginterpretasi citra satelit Quickbird secara visual, juga dibantu dengan menampilkan data elevasi digital. Data elevasi digital ini digunakan untuk mengetahui perlakuan terhadap lahan tersebut, antara lain apakah lokasi lahan mengikuti lereng atau kontur. Hasil dari interpretasi kompleks penutup lahan digunakan sebagai input peta

Curve Number (CN) pada Antecedent Runoff Condition (ARC) II.

Salah satu tujuan utama penelitian yang dilakukan ini adalah Mengkaji kemampuan citra Quickbird untuk menyadap parameter fisik lahan yang mempengaruhi tingkat kerawanan banjir. Hal ini menunjukkan bahwa citra penginderaan jauh yang dipakai memegang peranan penting dalam penelitian. Berdasarkan hasil pengujian interpretasi yang telah dilakukan mempunyai ketelitian sebesar 92,59%. Hasil ini menunjukkan bahwa interpretasi yang dilakukan dapat diterima sebagai data masukkan dalam proses selanjutnya yaitu estimasi limpasan menggunakan metode CN. Hasil ini tentunya tidak terlepas dari faktor kemudahan dan kerincian informasi yang dapat diperoleh dari citra Quickbird dengan resolusi tingginya.

Curah hujan merupakan salah satu unsur iklim yang paling penting bagi kehidupan di bumi. Curah hujan merupakan input utama bagi ketersediaan air untuk kehidupan di bumi baik airtanah maupun air permukaan. Penentuan curah hujan di suatu wilayah dapat dilakukan dengan membuat peta isohyet. Peta curah hujan harian metode isohyet yang dibuat mengacu pada data curah hujan harian bulan Februari 2011.

Peta Potensi Genangan dibuat dengan menggunakan metode pengharkatan berjenjang tertimbang, yaitu setiap parameter mempunyai harkat dan bobot, kemudian dilakukan pengharkatan total dengan cara menjumlahkan nilai-nilai semua

parameter. Adapun harkat yang digunakan meliputi skor kerapatan saluran drainase, bentuklahan, dan kemiringan lereng. harkat tiap parameter penilai potensi genangan ditentukan dalam klas-klas yang telah ditentukan. Setiap parameter potensi genangan mempunyai pengaruh yang berbeda-beda terhadap potensi genangan, maka setiap parameter tersebut juga akan mempunyai faktor penimbang masing-masing.

Jumlah kelas yang digunakan dalam penelitian ini adalah 5 (lima) kelas, agar lebih jelas dan memudahkan dalam melihat sebaran tingkat potensi genangan. Skor potensi genangan yang dihasilkan adalah penjumlahan dari tiap parameter fisik lahan yang telah dikalikan dengan faktor penimbangnya. Potensi genangan tersebut, dibagi menjadi Potensi Sangat Tinggi, Potensi Tinggi, Potensi Sedang, Potensi Rendah, dan Tidak Berpotensi. Tingkat potensi genangan sangat tinggi diperoleh jika nilai potensi genangan tinggi, dimana skor ini merupakan hasil penjumlahan nilai tertinggi dari tiap parameter. Semakin kecil nilai skor potensi genangan yang dihasilkan dari penjumlahan tiap parameter, maka tingkat potensi genangan akan semakin rendah.

Peta limpasan dihasilkan dari tumpang susun peta CN aktual dan peta curah hujan. Peta limpasan yang dihasilkan dalam penelitian ini adalah peta limpasan tanggal 25 februari 2011. Pemilihan tanggal ini karena pada tanggal tersebut terjadi kejadian hujan tertinggi dalam bulan februari. Pemilihan perhitungan limpasan saat terjadi

kejadian hujan tertinggi ini dimaksudkan agar dapat dibuat pengkelasan tinggi limpasan yang dapat mewakili seluruh kejadian limpasan, yaitu hasil pengurangan nilai limpasan saat curah hujan tertinggi dengan limpasan saat nilai hujan terendah (tidak ada kejadian hujan).

Peta kerawanan banjir merupakan hasil tumpang susun peta potensi genangan banjir dengan peta limpasan. Tujuan pembuatan kerawanan genangan banjir ini digunakan untuk mengetahui kondisi limpasan aktual pada daerah daerah yang berpotensi terjadi genangan. Dengan diketahui tinggi limpasan di daerah berpotensi genangan semakin menguatkan bahwa daerah berpotensi genangan tersebut memang sangat rawan menjadi genangan bila terjadi hujan.

Kerawanan genangan banjir sangat tinggi ini sebagian besar terletak di Kecamatan Kedungkandang yaitu seluas 718,88 ha. Hal tersebut disebabkan karena wilayah kecamatan Kedungkandang yang mempunyai kerawanan genangan banjir sangat tinggi merupakan daerah dataran aluvial dengan kemiringan lereng 0 – 1% dan kerapatan saluran drainase jarang yaitu 4,01 km/km². Selain itu tekstur tanahnya yang berupa geluh lempungan dan penutuplahannya sebagian besar berupa tanaman biji-bijian kecil dan perumahan dengan luas bangunan rata rata < 580 m² menyebabkan nilai CN di daerah tersebut sangat tinggi yaitu 92 dan 87 yang artinya sangat sedikit air yang bisa meresap ke dalam tanah. Dengan kata lain, daerah tersebut mempunyai tingkat potensi genangan banjir yang sangat tinggi serta tingkat tinggi limpasan yang sangat tinggi pula sehingga kerawanan genangan yang terjadi juga sangat tinggi.

Kerawanan genangan rendah dan kerawanan genangan sangat rendah sebagian besar terletak di kecamatan Lowokwaru meskipun tekstur tanah dan

jenis penutup lahan di kecamatan ini menyebabkan nilai CN yang tinggi yaitu antara 85 – 92. Hal tersebut disebabkan karena kemiringan lereng di kecamatan Lowokwaru rata-rata > 6%, sehingga meskipun limpasan yang terjadi cukup tinggi maka tidak akan terjadi genangan karena langsung dialirkan. Dari hasil penelitian dapat dilihat bahwa faktor yang lebih dominan menyebabkan kerawanan genangan adalah tingkat potensi genangan, dimana parameter fisik lahan yang dominan menyebabkan terjadinya potensi genangan adalah kemiringan lereng.

Pada penelitian ini terdapat fenomena yang tidak biasa pada daerah kerawanan genangan sangat tinggi di kecamatan Kedungkandang yang tutupan lahannya berupa daerah pertanian tetapi tingkat kerawanannya sangat tinggi. Karena pada kenyataan di lapangan daerah tersebut cenderung jarang terjadi genangan. Bila dibandingkan dengan kecamatan Klojen dan Sukun yang tutupan lahannya berupa permukiman yang pada kenyataan di lapangan lebih sering terjadi genangan maupun dibandingkan dengan daerah di utara daerah kerawanan sangat tinggi pada kecamatan Kedungkandang yang sama sama memiliki potensi genangan sangat tinggi dengan tutupan lahannya berupa permukiman tetapi tingkat kerawanan genangannya “hanya” tinggi tentu saja hal tersebut terlihat kurang logis. Hal ini bisa terjadi karena disebabkan kelemahan metode bilangan kurva ini hanya menitikberatkan pada tingkat infiltrasi tutupan lahan saja tanpa memperhitungkan geometri das, geometri sungai, dan pola aliran sungai yang tidak dilakukan dalam penelitian ini. Tetapi bila hanya dilihat dari kemampuan infiltrasinya saja, daerah kerawanan genangan sangat tinggi di kecamatan Kedungkandang memang sudah sesuai

dengan perhitungan limpasan metode bilangan kurva. Sehingga penggunaan perhitungan limpasan metode bilangan kurva ini hanya sesuai digunakan pada daerah dengan basin, SubDAS, maupun DAS dengan karakteristik geologi dan pola aliran yang seragam saja.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa :

1. Citra satelit Quickbird dapat digunakan untuk menyadap parameter fisik lahan yang mempengaruhi tingkat kerawanan banjir, yaitu saluran drainase dan kompleks penutup lahan.
2. Interpretasi kompleks penutup lahan pada citra Quickbird yang dilakukan dalam penelitian mempunyai ketelitian sebesar 92,59% hal ini menunjukkan bahwa hasil interpretasi dapat digunakan sebagai data masukan dalam estimasi limpasan permukaan metode CN.
3. Hasil dari pemetaan potensi genangan banjir dibagi menjadi 5 kelas. Di wilayah kota Malang sebagian besar daerahnya berada pada tingkat potensi genangan sedang dengan luas 4831.92 ha.
4. Wilayah kota Malang yang mempunyai potensi genangan sangat tinggi sebagian besar berada di wilayah kecamatan Kedungkandang, dan potensi genangan terendah berada di kecamatan Lowokwaru.
5. Terdapat sedikit perbedaan antara hasil perhitungan kerawanan genangan dengan kenyataan kejadian di lapangan yang disebabkan kelemahan metode bilangan kurva hanya menitikberatkan pada tingkat infiltrasi tutupan lahan saja tanpa memperhitungkan geometri das, geometri sungai, dan pola aliran

sungai yang tidak dilakukan dalam penelitian ini.

6. Parameter fisik lahan yang dominan mempengaruhi tingkat potensi genangan adalah kemiringan lereng dan kompleks penutup lahan.
7. Klasifikasi penutup lahan NRCS yang merupakan klasifikasi penutup lahan di Amerika perlu disesuaikan dengan jenis penutup lahan yang ada di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, K. 2006. Pemetaan Daerah Rawan Banjir di Daerah Aliran Sungai Garang Semarang Jawa Tengah Menggunakan Integrasi Teknik Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis. *Skripsi*. Yogyakarta; Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada.
- Aronoff. 1989. *Geographic Information System; A Management Perspective*. Ottawa: WDL Publication Canada.
- Asdak, C. 1995. *Hidrologi Dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Dibiyosaputro, S. 1984. *The Use of Remote Sensing Techniques in Flood Susceptibility and Hazard Mapping*. ITC; Netherlands.
- Engman, E.T., dan R.J. Gurney, 1991, *Remote Sensing in Hydrology*, Chapman and Hall : New York
- Huda, M. 2002. Aplikasi Foto Udara Pankromatik Hitam Putih dan Sistem Informasi Geografis Dalam Penentuan Kerentanan Banjir Kota di Kecamatan Tanahabang Jakarta Pusat. *Skripsi*. Yogyakarta; Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada.
- Kodoatie dan Sugiyanto. 2002. *Banjir, Beberapa Penyebab dan Metode Pengendaliannya Dalam Perspektif Lingkungan*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Lillesand T.M. and Kiefer R.W.1999. *Penginderaan Jauh dan Interpretasi Citra*. Terjemahan Tim Fakultas Geografi. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Prabawani, I.W.Dian.2010. Aplikasi Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis untuk Pemodelan Genangan Banjir di Kecamatan Jebres, Kota Surakarta. *Skripsi*. Yogyakarta; Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada
- Priyatno, S. 2005. Pemanfaatan Citra Ikonos dan Sistem Informasi Geografi untuk Estimasi Limpasan Permukaan pada DAS Ciliwung Hulu Bogor, Jawa Barat. *Skripsi*. Yogyakarta; Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada.
- Rahratmoko, D. 2005. Pemetaan Kerentanan Banjir Pada Kawasan Permukiman di Kota Yogyakarta . *Skripsi*. Yogyakarta; Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada.
- Sosrodarsono, S dan Takeda, K.1977. *Hidrologi Untuk Pengairan*. Jakarta: Pradyna Paramita.
- Suharsono, P. 1988. *Identifikasi Bentuklahan dan Interpretasi Citra untuk Geomorfologi*. Yogyakarta; Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada.
- Suharyadi. 2001. *Penginderaan Jauh Untuk Studi Kota*. Yogyakarta : Fakultas Geografi UGM
- Suripin. 2004. *Sistem Drainase Perkotaan Yang Berkelanjutan*. Yogyakarta: Andi Offset.

- Sutanto. 1986. *Penginderaan Jauh*. Jilid 1. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Sutanto. 1994. *Penginderaan Jauh*. Jilid 2. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Tim Fakultas Geografi. 2005. *Pedoman Penulisan Usulan Penelitian dan Skripsi*. Yogyakarta: Badan Penerbit Fakultas Geografi UGM.
- Yusuf, Y. 2005. *Anatomi Banjir Kota Pantai, Perspektif Geografi*. Surakarta: Pustaka Cakra.