

Dosen:
Prof Dr Ir Rudy C Tarumingkeng, MF (Penanggung Jawab)
Prof Dr Ir Zahrial Coto, MSc
Dr Ir Hardjanto, MS

KETERKAITAN PENGELOLAAN LAHAN ATAS DAN BAWAH (Pendekatan Cell Based Modeling Terhadap DAS Kota Ambon)

Oleh :

Johannes A. Lokollo, (C261040131 – SPL)

Johannes_al@yahoo.com

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Dengan diarahkannya pengembangan Kotamadya Ambon sebagai tempat tinggal penduduk, tempat usaha dan bekerja, pusat pendidikan tinggi, pemerintahan dan perdagangan (BAPPEDA, 1984), telah mengakibatkan pembangunan di kawasan ini mengalami pertumbuhan yang relatif pesat dibandingkan dengan kawasan lain disekitarnya. Pembangunan tersebut disatu sisi membutuhkan ketersediaan sumberdaya alam seperti lahan dan air, sementara itu, disisi lain, kotamadya Ambon yang terletak di Pulau Ambon, adalah merupakan pulau yang relatif kecil dan memiliki ketersediaan sumberdaya lahan yang sangat terbatas, baik dalam jumlah maupun sebarannya (Dahuri, 1996). Kedua sisi ini tentu saja sering menimbulkan konflik dalam pemanfaatannya, yang berakhir dalam bentuk banyaknya perubahan (*konversi*) penggunaan lahan.

Konversi penggunaan lahan yang ada sangat berkaitan erat dengan kualitas hidrologi. Rona alamiah, yang dicirikan oleh keberadaan hutan dan ragam pepohonan beserta lapisan humus (pelapukan dan jasad renik), menentukan potensi dan keberlanjutan sumberdaya air. Banyaknya konversi lahan yang memperluas permukaan kedap air menyebabkan berkurangnya infiltrasi, dan meningkatnya limpasan permukaan (Asdak, 1995).

Hingga kini, perubahan atau pergeseran fungsi ruang hidrologi di kawasan kotamadya Ambon terus berlangsung. Berdasarkan hasil evaluasi terhadap penggunaan lahan yang ada di lima wilayah DAS, tercatat bahwa selama tahun 1980 sampai dengan tahun 1995, pergeseran penggunaan lahan untuk pemukiman terjadi sebesar (+16,45%), tegalan (-2,43%), perkebunan (-0,21%), kebun campur (-7,30%), hutan (-0,12%), dan alang alang (-6,59%) (Lokollo, 2002).

Perubahan atau pergeseran yang dimaksud diatas pada gilirannya akan memberikan pengaruh yang cukup berarti terhadap keseimbangan air di setiap satuan unit cell permukaan lahan yang berada

dibawahnya. Hipotesa ini diperkuat dengan adanya pengaruh gaya gravitasi bumi yang mengakibatkan kecenderungan terakumulasinya massa air pada satuan unit cell permukaan lahan yang lebih rendah secara hirarkis hingga mencapai wilayah pesisir yang juga merupakan outlet dari sebuah DAS.

Tujuan Penulisan

Sehubungan dengan permasalahan dan hipotesa sebagaimana dijelaskan pada sub-bab sebelum ini, maka pada dasarnya tujuan dari penulisan ini adalah untuk menjelaskan seberapa besar dan sejauh mana dampak pengaruh perubahan fungsi ruang hidrologi pada lahan atas terhadap lahan dibawahnya berdasarkan pendekatan konsep Cell Based Modeling terhadap Sistem Distribusi Hidrologi pada DAS berukuran Kecil yang umumnya terdapat pada Pulau-Pulau Kecil seperti DAS Kota Ambon, beserta implikasi atau solusi pengelolaannya.

DAMPAK PERUBAHAN FUNGSI RUANG HIDROLOGI TERHADAP KESEIMBANGAN AIR

Keterkaitan Lahan Atas dan Bawah secara Hidrologis

Lahan bawah yang juga merupakan wilayah pesisir dari sebuah pulau kecil sangat dipengaruhi oleh aktifitas perubahan fungsi lahan pada wilayah dibelakangnya atau wilayah diatasnya. Fenomena ini didefinisikan oleh Sugiarto (1976), bahwa wilayah pesisir merupakan daerah pertemuan antara darat dan laut dimana kearah darat wilayah pesisir meliputi bagian daratan, baik kering maupun yang terendam air, yang masih dipengaruhi oleh sifat-sifat laut seperti pasang surut, angin laut dan perembesan air asin, sedangkan kearah laut wilayah pesisir mencakup bagian laut yang masih dipengaruhi oleh proses-proses alami yang terjadi didarat seperti sedimentasi dan aliran air tawar, maupun yang disebabkan oleh kegiatan manusia didarat seperti penggundulan hutan dan pencemaran.

Sebagai wilayah transisi antara laut dan daratan, pada umumnya wilayah pesisir di Indonesia memiliki karakteristik wilayah yang secara fisik relatif lebih rendah dibandingkan dengan wilayah belakangnya atau lahan atasnya. Hal ini menunjukkan bahwa wilayah pesisir sangat rentan terhadap bahaya alam terutama banjir yang ditimbulkan oleh proses pergerakan air sungai, aliran air limpasan (*run off*), aliran air tanah dan air tawar sebagai respon lahan diatasnya terhadap siklus hidrologi. (Dahuri *et.al*, 1996)

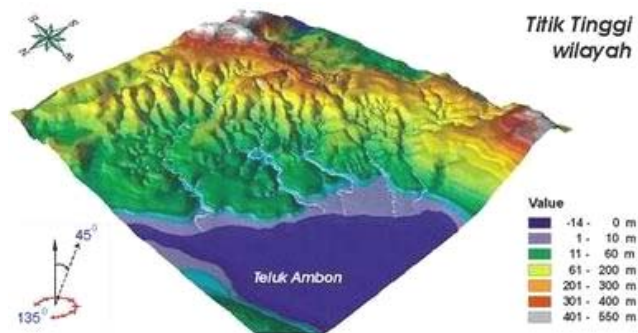
Kegiatan tataguna lahan yang bersifat merubah tipe atau jenis penutup lahan dalam suatu DAS seringkali dapat memperbesar atau memperkecil hasil air. Perubahan dari satu jenis vegetasi ke jenis vegetasi lainnya adalah umum dalam suatu pengelolaan DAS atau pengelolaan sumberdaya alam. Penebangan hutan, perladangan berpindah, atau perubahan tataguna lahan hutan menjadi areal pertanian, padang rumput atau pemukiman adalah contoh kegiatan yang sering dijumpai pada wilayah yang sedang bertumbuh. Terjadinya perubahan tata guna lahan dan jenis vegetasi dalam skala besar dan bersifat permanen dapat mempengaruhi besar kecilnya air yang dilimpaskan dari setiap satuan unit lahan tersebut dan terakumulasi pada satuan unit lahan yang lebih rendah dibawahnya sebagai akibat adanya pengaruh gravitasi terhadap massa air sehingga cenderung mengalir ketempat yang lebih rendah.

Dengan demikian kebanyakan persoalan sumberdaya air berkaitan dengan waktu dan penyebaran aliran air sebagai akibat adanya perubahan kondisi tataguna lahan dan faktor meteorologi, terutama curah hujan. Hasil penelitian jangka panjang yang dilakukan diberbagai penjuru dunia menunjukkan bahwa pengaruh tata guna lahan dan aktivitas lain terhadap perilaku aliran air dapat terjadi dengan cara (Hibbert, 1983; Bosch and Hewlett, 1982 dalam Asdak, 1995) :

- (1) Penggantian atau konversi vegetasi dengan transpirasi atau intersepsi tahunan tinggi menjadi vegetasi dengan transpirasi atau intersepsi rendah dapat meningkatkan volume aliran air dan mempercepat waktu yang diperlukan untuk mencapai debit puncak. Mekanisme peningkatan volume aliran air ini terjadi ketika hujan turun, kelembaban tanah awal cenderung meningkat dan karenanya daya tampung air dalam tanah menjadi berkurang.
- (2) Kegiatan yang bersifat memadatkan tanah seperti penggembalaan yang intensif, pembuatan jalan dan bangunan lainnya, dan penebangan hutan. Kegiatan-kegiatan tersebut dalam batas tertentu dapat meningkatkan volume dan waktu berlangsungnya air limpasan, dan dengan demikian, memperbesar debit puncak. Kegiatan yang bersifat memacu infiltrasi diharapkan dapat memberikan pengaruh sebaliknya.

Berdasarkan karakteristik perubahan tataguna lahan diatas, maka dapat dikatakan bahwa permasalahan paling serius yang berkaitan dengan pembangunan adalah berubahnya laju dan kuantitas limpasan didalam mencapai sungai, sehingga perencanaan dan manajemen penggunaan lahan yang baik, sangat bergantung kepada akuratnya analisis dampak lingkungan hidrologi yang diakibatkan oleh pembangunan itu sendiri terutama jika dilihat dari lokasi terakumulasinya dampak perubahan ruang hidrologi tersebut pada titik titik terendah yang pada umumnya berada pada lahan bawah atau merupakan wilayah pesisir dari suatu pulau kecil.

Sebagai salah satu Pulau Kecil, Ambon memiliki perubahan gradien kemiringan lahan yang cenderung sangat besar dari pantai sampai dengan puncak pegunungannya. Hasil deliniasi terhadap DAS dan Jaringan Sungai yang dilakukan dengan pendekatan *Cell Based Modeling* terhadap sistem distribusi titik tinggi wilayah dengan resolusi 20 x 20 m, menunjukkan akan adanya perubahan ketinggian yang sangat signifikan dari 0 – 500 m dengan panjang aliran berkisar antara 6 - 7 km (Gambar 1). Fenomena topografi seperti ini menunjukkan akan adanya potensi bahaya lingkungan beraspek geologi maupun hidrologi berupa tanah longsor sebagai akibat gerakan massa air yang sangat cepat dari lahan yang ada di atas menuju lahan bawah dan berakhir dalam bentuk banjir dan sedimentasi.



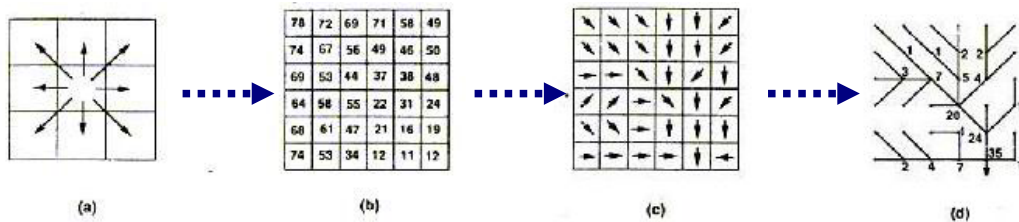
Gambar 1. Titik Tinggi Wilayah di 5 Kawasan DAS Kota Ambon

Kecepatan air ini sangat dipengaruhi oleh kemiringan lahan, kualitas penggunaan lahan yang ada, ditambah dengan tingkat kerapatan DAS yang berkisar antara 3 – 5 km^2/km^2 , serta kecenderungan muaramuara sungai (DAS Batu Gantung, Batu Gajah, Tomu, Batu Merah, dan Ruhu) yang mengarah pada pusat Kota Ambon, mengindikasikan bahwa wilayah pusat kota Ambon yang berada pada lahan bawah sangat rentan terhadap Bahaya Banjir sebagai akibat terakumulasinya air limpasan dari lahan atas dengan sangat cepat menuju kawasan pedataran rendah yang memiliki kecepatan discharge lebih rendah.

Kuantifikasi Dampak Perubahan Fungsi Ruang Hidrologi

Salah satu upaya secara kuantitatif yang dapat dipergunakan untuk menjelaskan teori keterkaitan antara lahan atas dan bawah sebagaimana dijelaskan dalam sub-bab sebelum ini adalah pendekatan model distribusi hidrologi yang merupakan model kuantifikasi dampak perubahan fungsi ruang hidrologi dari satuan unit lahan terhadap satuan unit lahan disekitarnya sebagai manifestasi dari suatu aktifitas pembangunan terhadap keseimbangan air dan diukur berdasarkan respon unit hidrograf dari setiap unit lahan terhadap curah hujan (*rainfall-runoff analysis*) yang terjadi pada suatu wilayah (Bedient, 1992).

Model distribusi hidrologi ini didasari oleh konsep “*Cell Based Modeling*” yang menitikberatkan pada kecenderungan arah gerakan air dari suatu sel untuk mengalir kearah salah satu dari delapan sel disekitarnya (Gambar 2), sebagai akibat dari pengaruh karakteristik permukaan lahan (Keckler, 1994 dan ESRI, 1997), yang ditunjukkan melalui besarnya faktor kehilangan air berdasarkan indeks limpasan atau *Curve Number* (McQueen, 1982) serta lamanya waktu yang dibutuhkan air limpasan pada setiap satuan luasan lahan untuk mencapai muara DAS atau *Time Travel* (Julien, 1995)

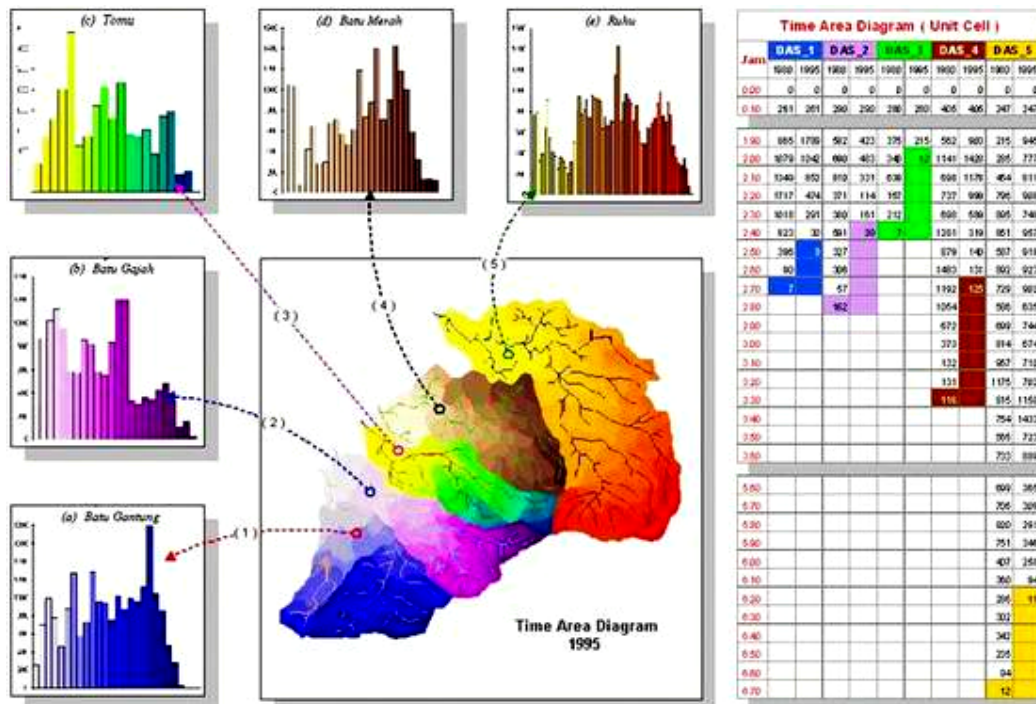


Gambar 2. Analisis arah gerakan air berdasarkan konsep *Cell Based Modeling*

Jika besaran dari setiap sel berupa kecepatan (V) dapat diketahui melalui faktor vegetasi dan kemiringan lahan yaitu dengan memasukan nilai kemiringan lahan (S) dan nilai koefisien penggunaan lahan (a dan b) sesuai dengan formula McQueen (1982), $V = a S^b$, dan jarak dari setiap sel menuju ke *outlet* DAS atau panjang aliran dapat diketahui, maka waktu perjalanan aliran (t) dari setiap sel menuju ke *outlet* DAS (*Travel Time*) dapat ditentukan (Julien, 1995). Selanjutnya dengan mengintervalkan waktu pengaliran dari setiap sel menuju *outlet* sebesar (Δt) unit, maka luasan area yang dibentuk persatuan unit tersebut dapat diklasifikasikan kedalam Zona i , $i = 1, 2, \dots$. Sehingga luas kumulatif setiap sel yang mengalir menuju *outlet* DAS dalam waktu tertentu dapat dihitung.

Untuk kasus DAS Kota Ambon klasifikasi terhadap travel time (T_t) dari setiap sel yang ada di DAS didasarkan pada interval waktu (Δt) sebesar 0.1 jam atau setara dengan 6 menit hingga didapat bagian luasan dari wilayah di DAS (δA_t) yang memiliki kesamaan waktu perjalanan ke outlet (isochrone). Hasil klasifikasi ini ditunjukkan dalam suatu *Time Area Diagram* (Gambar 3) yang memperlihatkan besarnya

wilayah didalam setiap DAS yang terakumulasi untuk setiap interval waktu serta waktu konsentrasi (T_c) dari setiap DAS di Kota Ambon yang cenderung berubah semakin lebih cepat dari tahun 1980 sampai dengan tahun 1995, berkisar antara 0.2 – 0.6 jam (Lokollo, 2002).



Gambar 3. Time Area Diagram di 5 Kawasan DAS Kota Ambon

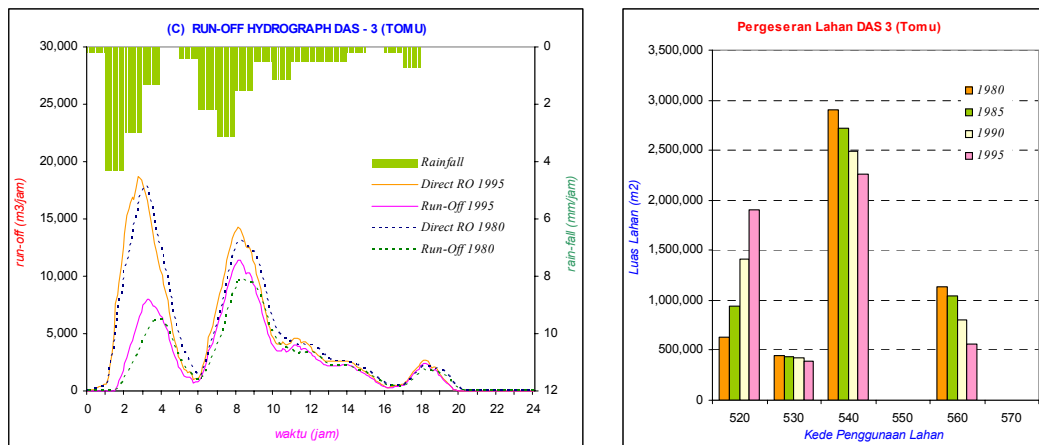
Selanjutnya dengan melakukan pengembangan model fisik arah gerakan air berdasarkan konsep cell based modeling menjadi model matematis didapat persamaan (1) yang merupakan perkiraan besarnya hydrograph (terakumulasinya air limpasan) di muara DAS (titik outlet) sebagai akibat perubahan luas daerah pengaliran per unit waktu dan banyaknya curah hujan per unit waktu (Maidment, 1993).

$$Q_n = \sum_{i=1}^n \frac{P_{ij} A_j}{\Delta t} \quad (1)$$

- dimana
- P_{ij} = Intensitas curah hujan rata-rata pada setiap satuan luasan ke-i selama interval waktu ke-j
 - A_j = Satuan luasan lahan di DAS selama interval waktu ke-j
 - Δt = Satuan interval waktu
 - n = Jumlah total satuan interval waktu

Hasil hydrograph limpasan menunjukkan bahwa debit puncak dari setiap DAS Kota Ambon untuk setiap tahun pengamatan cenderung meningkat. Peningkatan debit puncak ini antara lain disebabkan oleh semakin berkurangnya faktor kehilangan air di setiap DAS seiring dengan bertambah besarnya nilai indeks limpasan (*Curve Number*) dari waktu ke waktu yang diakibatkan oleh proses konversi lahan. Demikian juga halnya dengan waktu yang diperlukan untuk mencapai debit puncak dari setiap DAS. Hasil hydrograph

limpasan salah satu DAS diatas menunjukkan bahwa waktu terjadinya debit puncak cenderung berubah menjadi lebih singkat untuk setiap tahun pengamatan (Gambar 4). Perubahan ini terjadi seiring dengan bertambah cepatnya waktu aliran dari setiap satuan unit lahan di DAS untuk menuju titik outlet (time travel) yang diakibatkan oleh bertambah besarnya kecepatan aliran permukaan sebagai konsekuensi dari perubahan jenis lahan bervegetasi lebat menjadi lahan bervegetasi relatif gundul dalam rangka memenuhi kebutuhan lahan akan pemukiman dari tahun ke tahun (kode 520). Bertambah singkatnya waktu debit puncak ini berakibat terhadap bertambah cepatnya waktu terakumulasinya aliran limpasan yang pada akhirnya berpengaruh terhadap naiknya debit puncak itu sendiri (Lokollo, 2002).



Gambar 4. Hydrograph Limpasan DAS Tomu

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa konversi lahan yang terjadi memiliki dampak terhadap proses percepatan waktu terjadinya debit puncak selain berdampak terhadap bertambah besarnya debit puncak (sebagai akibat dari bertambah besarnya *Curve Number* + akumulasi aliran dalam waktu yang lebih singkat). Dampak percepatan dan bertambah besarnya debit puncak ini selain berakibat terhadap bertambah cepatnya kejadian banjir di wilayah pesisir, peningkatan percepatan limpasan air juga telah menyebabkan bertambah besarnya proses erosi pada lahan atas dan berakhir dalam bentuk sedimentasi di wilayah pesisir kotamadya Ambon.

IMPLIKASI KONSEP CELL BASED MODELLING DALAM PENATAAN RUANG HIDROLOGI

Kondisi Hidrologis Wilayah

Karena penggunaan lahan berpengaruh secara signifikan terhadap besarnya faktor nilai *Curve Number* (CN) dan faktor kecepatan aliran permukaan (V) persatuan unit cell lahan, dimana kedua faktor ini selanjutnya berpengaruh pada kepada besarnya hydrograph (keseimbangan air) di wilayah pesisir yang secara kumulatif dihasilkan melalui interaksi sejumlah luasan lahan persatuan unit waktu menuju titik outlet DAS di pantai, maka berdasarkan persamaan regresi berganda kontribusi kedua faktor ini didalam menentukan kondisi hidrologis wilayah diformulasikan sebagai berikut :

$$Y = 0.736833 * (CN) + 2.6316 * (V) - 19.998 \quad (2)$$

Dengan mengklasifikasikan nilai “Y” kedalam empat kelas tingkat kekritisan yaitu Kritis, Agak Kritis, Normal, dan Baik, maka didapat sebaran tingkat kekritisan wilayah. Sebaran tingkat kekritisan wilayah penelitian tahun 1995 menunjukkan bahwa pada kelima DAS terdapat wilayah dengan kondisi hidrologis baik sebesar 18.33%, kondisi hidrologis normal 50.20%, kondisi hidrologis agak kritis 26.64%, dan kondisi hidrologis yang kritis 4.83%.

Dengan demikian jelaslah bahwa menjaga keseimbangan air pada prinsipnya merupakan upaya mempertahankan nilai koefisien limpasan (C) yang merupakan fungsi dari indeks limpasan serta lamanya waktu yang dibutuhkan air limpasan pada setiap satuan luasan lahan untuk mencapai muara DAS, sesuai dengan daya dukung alamnya. Untuk dapat menjaga nilai (C) dimaksud, maka beberapa alternatif arahan pengelolaan sumberdaya air yang dapat dipergunakan sesuai dengan sifat dan kondisi hidrologis wilayah antara lain adalah ; Penataan Ruang Hidrologi, Konservasi Tanah, Realisasi Imbuhan Buatan, dan Pengendalian Banjir melalui perbaikan alur sungai dan pembendungan terutama untuk mengurangi dampak kekurangan air akibat kekeringan.

PENUTUP

Kesimpulan

- (1) Berdasarkan pendekatan konsep cell based modeling terhadap sistem distribusi hidrologi DAS pada pulau Ambon, terbukti bahwa secara kuantitatif perubahan fungsi lahan atas berpengaruh secara signifikan terhadap lahan dibagian bawahnya yang ditunjukkan melalui berubahnya keseimbangan air di muara DAS pada wilayah bawah (pesisir) sebagai akibat konversi lahan di wilayah atasnya yang bervegetasi lebat menjadi gundul (cenderung kedap air).
- (2) Secara fungsional hubungan antara lahan atas dan bawah mengacu pada tahapan berikut ini :
“ Landuse Conversion ” → “ Travel Time ” → “ Time Area ” → “ Hydrograph ”
- (3) Konsep Cell Based Modeling dapat dipergunakan untuk menentukan besarnya kondisi hidrologis suatu wilayah yang menggambarkan distribusi tingkat kerentanan wilayah lahan atas didalam menghasilkan potensi dampak terhadap wilayah dibawahnya dan dapat dipergunakan sebagai salah satu opsi pembatas dalam pembangunan wilayah khususnya untuk pulau kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- BAPPEDA, 1984. Rencana Induk Kotamadya Ambon, Pemerintah kotamadya Tingkat II Ambon.
- (DPU) Departemen Pekerjaan Umum Propinsi Maluku, 1997. Data Meteorologi dan Hidrologi Kawasan Kotamadya Ambon.
- Asdak, C. 1995, Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

- Bedient, P.B, Huber, W.C. 1992, Hydrology and Floodplain Analysis, second edition, Addison-Wesley Publishing Company, NY
- Dahuri, R, Rais, J, Ginting, S.P, Sitepu, M.J. 1996, Pengelolaan Sumberdaya Wilayah Pesisir dan Lautan Secara Terpadu, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- ESRI, 1997, Cell based modelling with Grid, supplement – hydrologic and distance modelling tools. Environmental System Research Institute, Redlands, CA.
- Julien, P.Y, Saghafian, B. 1995. Time to equilibrium for spatially variable watersheds, Journal of Hydrology
- Keckler D. 1994. Surfer for Windows User's Guide, Countoring and 3D Surface Mapping, Golden Software, Inc. Colorado, USA.
- Lokollo J.A. 2002, Analisis Pengaruh Perubahan Fungsi Ruang Hidrologi Terhadap Keseimbangan Air ; Studi Kasus Kawasan Kotamadya Ambon, Provinsi Maluku (Tesis), Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- Maidment, D.R. 1993. Developing a spatially distributed unit hydrograph by using GIS, Application of Geographic Information Systems in Hydrology and Water Resources Management, IAHS publ. No 211, Netherlands.
- McQueen, R.H, 1982. A guide to hydrologic analysis using SCS methods. Prentice Hall, Englewood-Cliffs, NJ.