

# PENGAJIAN RELASIONAL RISIKO BANJIR DENGAN BENTUK LAHAN BERDASARKAN CITRA SATELIT PENGINDERAAN JAUH DI DAERAH ALIRAN SUNGAI BENGAWAN SOLO BAGIAN HILIR

Wiweka <sup>1)</sup>, Suwarsono<sup>2)</sup>

Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh  
Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN)  
E-mail: wiweka@yahoo.com

Diterima: 23 Mei 2011; Disetujui: 20 September 2011

## ABSTRAK

*Daerah Aliran Bengawan Solo adalah daerah aliran sungai paling besar di Pulau Jawa dengan luas seluruh wilayah DAS, mulai dari hulu, tengah, hingga hilir mencapai 15.848,56 km<sup>2</sup>. Permasalahan banjir yang terjadi di Daerah Aliran Bengawan Solo, secara fisik, pada dasarnya terkait erat dengan kombinasi proses-proses geomorfologi yang bekerja pada seluruh wilayah DAS dan interaksinya dengan kondisi penggunaan lahan yang ada. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode interpretasi dan analisis bentuk lahan serta penutup lahan menggunakan data satelit penginderaan jauh. Data utama yang dipakai adalah Data Landsat-7/ETM+ tahun perekaman 2001-2002 dan DEM SRTM. Hasil penelitian menunjukkan di wilayah Daerah Aliran Bengawan Solo telah terbentuk lima bentuk lahan utama, yaitu bentuk lahan denudasional (D), Fluvial (F), Marin (M), Karst atau solusional (K), struktural (S), bentuk lahan hasil kombinasi proses Fluvial dan Marin (FM) dan bentuk lahan buatan manusia (O). Bentuk lahan yang memiliki risiko paling tinggi terhadap banjir adalah dataran banjir, gosong sungai lengkung dalam, teras sungai erosional, meander terpenggal, saluran sungai, dataran aluvial pantai, delta, serta dataran lumpur. Daerah-daerah yang memiliki risiko banjir sangat tinggi sebagian besar merupakan daerah persawahan dan tambak.*

**Kata kunci:** *Relasional, resiko banjir, bentuk lahan denudasional, fluvial, marin, karst, struktural*

## ABSTRACT

*Solo River Basin is the largest watershed on the island of Java with area of 15.848,56 km<sup>2</sup>. Flooding problems that occurred in the Solo Basin, are physically in effect closely related to a combination of geomorphological processes acting on the entire watershed area and its interaction with land use existing conditions. The method used in this research is a method of interpretation and analysis of landforms and landcover using satellite remote sensing data. The main data used involved Landsat-7/ETM data + acquisition year 2001-2002, and SRTM - DEM (Shuttle Radar Topography Mission Digital Elevation Model). Results showed the formation of 5 (five) major landforms in the Solo River Basin, i.e denudational (D), fluvial (F), Marin (M), Karst or solutional (K), structural (S), combination of fluvial processes and Marin (FM), and man-made (O). Landforms of high flooding risk are the flood plain, point bar, erosional river terrace, river meanders and river channels, alluvial coastal plain, delta, and mudflats. Areas of very high flooding risk consist mostly of paddy fields and fishponds.*

**Key Words:** *Relational, flood risk, denudasional, fluvial, marin, karst, and structural landforms*

## PENDAHULUAN

Daerah Aliran Sungai Bengawan Solo adalah daerah aliran sungai paling besar di Pulau Jawa dengan luas seluruh wilayah DAS, mulai dari hulu, tengah, hingga hilir mencapai 15.848,56 km<sup>2</sup>. Sedemikian panjang dan luasnya sungai yang mengalir, sehingga diberi nama Bengawan. "Bengawan" dalam Bahasa Jawa berarti sungai yang besar. Seiring dengan perjalanan waktu, pada beberapa dasawarsa terakhir ini telah muncul

permasalahan terkait dengan kondisi wilayah daerah aliran sungai tersebut. Menurut catatan dari Balai Besar Sungai Bengawan Solo, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum, permasalahan utama dalam pengelolaan Daerah Aliran Bengawan Solo adalah banjir, kekeringan, erosi dan sedimentasi, intrusi air laut, dan kualitas air. Permasalahan tersebut yang disebabkan oleh beberapa faktor utama, yaitu: terus menurunnya kondisi hutan, kerusakan DAS

(penebangan liar dan konversi lahan yang menimbulkan kerusakan ekosistem dalam tatanan DAS), lemahnya penegakan hukum terhadap pembalakan liar (*illegal logging*), dan masih rendahnya kesadaran masyarakat dalam pemeliharaan lingkungan. Wilayah Daerah Aliran Bengawan Solo telah mengalami penurunan daya dukung lingkungan. Kondisi tersebut antara lain disebabkan oleh penebangan liar dan konversi lahan, sehingga terjadi penurunan luas hutan yang ada yaitu 23 % pada tahun 1998 menjadi 18 % pada tahun 2005. Total lahan kritis di Daerah Aliran Bengawan Solo mulai kategori potensial kritis sampai sangat kritis pada saat ini mencapai luas  $\pm 11,39$  km<sup>2</sup>, akibat proses erosi yang berkelanjutan dan kerusakan vegetasi. Salah satu dampak nyata akibat kondisi tersebut adalah seperti terjadinya banjir di seluruh DAS Bengawan Solo di akhir tahun 2007, yang menimbulkan kerusakan besar seperti tergenangnya perumahan, fasilitas umum, kantor, tempat ibadah, sawah dan tegalan, dan jalan (nasional, provinsi, kabupaten) di kota dan daerah di sekitar sungai Bengawan Solo. Kondisi tersebut sangat mempengaruhi aktivitas masyarakat dan perekonomian.

Permasalahan banjir yang terjadi di Daerah Aliran Bengawan Solo, secara fisik, pada dasarnya terkait erat dengan kombinasi proses-proses geomorfologi yang bekerja pada seluruh wilayah DAS dan interaksinya dengan kondisi penggunaan lahan yang ada, baik pada bagian hulu, tengah, maupun bagian hilir. Proses-proses geomorfologi yang telah dan sedang bekerja tersebut akan ditampakkan pada bentuk lahan (*landforms*) yang terbentuk. Selain itu, penggunaan lahan yang ada saat ini pada dasarnya merupakan cerminan dari interaksi antara manusia dengan lingkungan. Dengan demikian, banjir yang terjadi pada suatu wilayah dapat dijelaskan dari sudut pandang geomorfologi dan penggunaan lahan. Oleh sebab itu, salah satu langkah awal dalam mengidentifikasi permasalahan banjir yang terjadi di Daerah Aliran Sungai tersebut adalah dengan terlebih dahulu mengkaji dan memetakan kondisi geomorfologi DAS tersebut serta kondisi penggunaan lahannya secara menyeluruh.

Seiring dengan perkembangan teknologi di bidang penginderaan jauh, telah banyak ditawarkan berbagai jenis data dan teknik-teknik pengolahannya untuk berbagai aplikasi, salah satunya adalah pemanfaatannya dalam pengurangan risiko bencana. Di dalam penelitian ini dilakukan kajian pemanfaatan data penginderaan jauh untuk mendukung upaya mitigasi bencana banjir yang terjadi di Daerah Aliran Sungai Bengawan Solo. Selanjutnya, tujuan spesifik dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik geomorfologi untuk

kajian risiko banjir di Sub-DAS Bengawan Solo Hilir berdasarkan citra satelit penginderaan jauh.

## KAJIAN PUSTAKA

Banjir adalah peristiwa terbenamnya daratan (yang biasanya kering) karena volume air yang meningkat. Banjir dapat terjadi karena peluapan air yang berlebihan di suatu tempat akibat hujan besar, peluapan air sungai atau pecahnya bendungan sungai.

Di banyak daerah yang gersang di dunia, tanahnya mempunyai daya serapan air yang buruk, atau jumlah curah hujan melebihi kemampuan tanah untuk menyerap air. Ketika hujan turun, yang kadang terjadi adalah banjir secara tiba-tiba yang diakibatkan terisinya saluran air kering dengan air. Banjir semacam ini disebut banjir bandang. (Wikipedia, 2008)

Citra adalah gambaran kenampakan permukaan bumi hasil penginderaan pada spektrum elektromagnetik tertentu yang ditayangkan pada layar atau disimpan pada media rekam/cetak. Citra satelit adalah citra hasil penginderaan suatu jenis satelit tertentu. (DepHut, 2008)

Geomorfologi merupakan ilmu yang mendeskripsikan secara genetis bentuk lahan dan proses-proses yang mengakibatkan terbentuknya bentuk lahan tersebut serta mencari antarmubungan antara bentuk lahan dengan proses-proses dalam susunan keruangan. (Van Zuidam, 1982)

Bentukan pada permukaan bumi sebagai hasil perubahan bentuk permukaan bumi oleh proses-proses geomorfologi yang bekerja (baik proses dari dalam bumi/endogen maupun yang berasal dari luar permukaan bumi/eksogen), yang menyangkut semua perubahan baik fisik maupun kimia yang terjadi di permukaan bumi oleh tenaga endogen. (Van Zuidam, 1982)

Penginderaan jauh (*remote sensing*) adalah ilmu dan seni untuk memperoleh informasi tentang objek, daerah atau gejala dengan jalan menganalisis data yang diperoleh dengan menggunakan alat perekam (*sensor*) tanpa kontak langsung terhadap objek, atau gejala yang dikaji tersebut (Lillesand dan Kiefer, 1979). Prinsip-prinsip penginderaan jauh secara umum didasarkan pada sifat dan karakteristik dari spektrum elektromagnetik dan posisi geometri dari wahana perekaman baik oleh pesawat udara ataupun satelit relatif terhadap target obyek yang direkam. Penginderaan jauh sebagai suatu sistem tidak bisa terlepas dari beberapa bagian yang saling terkait antara komponen yang satu dengan komponen lainnya. Komponen-komponen tersebut

meliputi: 1) sumber energi, 2) interaksi energi dengan partikel-partikel di atmosfer, 3) interaksi energi dengan target objek di bumi, 4) perekaman energi oleh sensor yang menghasilkan data, dan 5) interpretasi data baik secara visual maupun digital untuk berbagai tujuan.

Geomorfologi merupakan ilmu yang mendeskripsikan secara genetis bentuk lahan dan proses-proses yang mengakibatkan terbentuknya bentuk lahan tersebut serta mencari antarhubungan antara bentuk lahan dengan proses-proses dalam susunan keruangan. Lebih lanjut, dapat dijelaskan beberapa utama dalam geomorfologi, yaitu: morfologi (morfografi dan morfometri), morfogenesis (morfostruktur aktif, morfostruktur pasif, dan morfo-dinamik), morfokronologi, dan morfo-aransemen (Van Zuidam, 1982). Morfologi (morfografi) berkaitan dengan penampilan dan bentuk bentang lahan, morfometri berkaitan dengan ukuran, dimensi dan nilai-nilai kemiringan bentang alam, morfogenesis berkaitan dengan asal-usul masing bentuk lahan, morfokronologi berkaitan dengan umur setiap bentuk lahan, dan morfodinamik adalah proses saat ini pembentukan tanah di bentang alam atau kemungkinan aktif di masa depan (Klimaszewski, 1982).

Purwadhi (2000) menjelaskan bahwa kenampakan atau identifikasi geomorfologis pada citra penginderaan jauh dilakukan dengan metode interpretasi citra, yang dimulai dari perumusan masalah berdasarkan tujuan yang akan dicapai. Tujuan analisis geomorfologi dari citra penginderaan jauh tidak hanya untuk identifikasi saja, namun juga menyajikan informasi dalam bentuk peta, sehingga jelas bahwa metode yang diperlukan adalah gabungan antara metode interpretasi dan metode pemetaan. Penggabungan kedua metode tersebut selain dilakukan secara digital dengan memanfaatkan teknik dalam sistem informasi geografi, juga dapat dilakukan secara manual dengan menggabungkan metode interpretasi manual dan pemetaan manual sesuai kaidah kartografis.

Peta dan citra satelit adalah alat dan instrumen utama bagi seorang ahli geomorfologis dalam melakukan upaya melakukan studi pengembangan, penyelidikan tentang bentuk lahan, struktur serta karakter bentang lahan, dan untuk menunjukkan ciri permukaan bumi. Proses penerapan lima aspek dalam geomorfologi merupakan sesuatu yang kompleks, cukup sulit dilihat dari sisi analitis dan prosedur kartografi. Umumnya untuk melakukan pembuatan peta bentuk lahan, menurut (Klimaszewski, 1982), yaitu: pertama, melakukan kerja lapangan dengan membawa citra satelit sebagai tahap awal

menganal regional untuk pemetaan bentuk lahan. Kedua, menentukan skala pemetaan antara 10.000 dan 100.000 yang digunakan agar dapat menyajikan relief dan kekhasan bentuk lahan. Ketiga, melakukan pemetaan dengan menggunakan semua aspek morfografi, morfometri, morfogenesis, morfokronologi, sehingga hasilnya dapat dipelajari untuk masa mendatang. Keempat, menggunakan dan memanfaatkan warna serta simbol dalam menyampaikan informasi bentuk lahan. Kelima, menjelaskan secara kronologis pembentukan dan pengembangan bentang alam. Keenam, memasukkan tambahan informasi litologi di dalam kelas bentuk lahan. Ketujuh, menyusun legenda bentuk lahan di peta berdasarkan urutan genetik-kronologis. Serta kedelapan, pembuatan peta bentuk lahan yang dibuat secara rinci dan detail untuk pengembangan masa depan.

Pemetaan geomorfologi detail akan membawa sejumlah aplikasi untuk penentuan ilmiah dasar yang penting untuk identifikasi pertumbuhan dan perkembangan bentuk lahan, sehingga pemetaan detail akan memberikan gambaran yang tepat tentang dinamika batuan. Ini akan mengaktifkan rekonstruksi perkembangan relief dan sebagai cara untuk mengevaluasi faktor-faktor, serta proses awal dan transformasinya, memfasilitasi pencarian untuk koneksi antara bentang alam, mengaktifkan regionalisasi, memfasilitasi pengembangan studi perbandingan, sebagai alat perbandingan antara bentang alam maju dan berkembang di daerah yang berbeda dan struktur geologi yang sama dan dalam berbagai kondisi iklim. Pemetaan geomorfik diawali melalui unit dasar bentang lahan yang akan dikenal sifat dan karakternya, sehingga akan dapat dihasilkan suatu unit geomorfik. Unit geomorfik adalah bentuk lahan yang telah genetik homogen melalui proses kontruksi atau destruksi dan merupakan produk akhir dari hasil evolusi dari gabungan bahan induk geologi, proses geomorfologi, iklim masa lalu dan sekarang, serta waktu. Unit geomorfik terbagi menjadi 2 yaitu model unsur bentuk lahan dan model unsur pertanahan, keduanya saling melengkapi. Model unsur bentuk lahan adalah permukaan geometris yang melengkung berisi informasi tentang pengukuran dan kemiringan lereng, sedang model unsur pertanahan merupakan fenomena siklik atau berulang yang seolah-olah memiliki interval dalam polanya. Perbedaan dalam identifikasi unit geomorfik secara signifikan berkaitan dengan masalah regionalisasi dan skala. Pada skala yang berbeda, yang meliputi wilayah ukuran yang berbeda, ciri yang berbeda dapat diidentifikasi sebagai unit homogen dasar.

## METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode interpretasi dan analisis bentuk lahan serta penutup lahan menggunakan data satelit penginderaan jauh. Data utama yang digunakan adalah Data Landsat-7/ETM+ tahun perekaman 2001-2002 dan DEM SRTM. Informasi bentuk lahan berguna untuk mengetahui karakteristik kondisi fisik daerah bersangkutan, sedangkan informasi penutup lahan berguna untuk mengetahui kondisi pola pemanfaatan lahan yang ada. Proses pengolahan data citra dilakukan untuk dapat menampilkan detail permukaan bumi secara optimal (Wikanti, 2002). Proses-proses tersebut meliputi fusi data multispektral serta penajaman spektral dan spasial. Alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

Secara lebih lengkap, tahapan-tahapan dalam analisis meliputi: 1) pengolahan data awal (fusi kanal dan pembuatan citra warna komposit), penajaman spektral dan spasial, 2) interpretasi bentuk lahan beserta karakteristik fisik bentuk lahan secara visual, yang didasarkan pada analisis bentuk, pola, warna, tekstur, letak, asosiasi, dan ukuran. 3) interpretasi penutup lahan, dan 4) analisis relasional, hubungan antara jenis dan karakteristik bentuk lahan dengan risiko terhadap banjir. Gambar 1 menyajikan secara ringkas skema alur penelitian ini.

Analisis risiko banjir dilakukan dengan mengkaitkan pada karakteristik fisik bentuk lahan, yaitu meliputi relief atau topografi, kemiringan lereng (*slope*), bentuk lereng, litologi penyusun bentuk lahan, dan proses-proses yang dominan terjadi. Setiap karakter dinyatakan secara kuantitatif dengan metode skoring. Semakin tinggi skor, maka risiko banjir pada bentuk lahan tersebut semakin tinggi. Keterkaitan antara karakteristik bentuk lahan dan skor untuk penentuan risiko banjir disajikan pada Tabel 1 - 4.

**Tabel 1** Skor risiko banjir untuk Relief dan Kemiringan Lereng

Relief	Lereng (%)	Skor
Datar	0 - 3	10
Landai	1 - 3>	8
Berombak	3 - 8>	6
Bergelombang	8 - 15>	4
Berbukit/Bergunung	> 15	0

**Tabel 2** Skor risiko banjir untuk Bentuk Lereng

Bentuk Lereng	Keterangan	Skor
Concave	Cekung	5
Semi concave	Semi cekung	4
Plain	Datar	3
Semi convex	Semi Cembung	1
Convex	Cembung	0

**Tabel 3** Skor risiko banjir untuk Litologi

Litologi	Skor
Sedimen lakustrin / marin	5
Sedimen aluvial (lepas)	4
Sedimen masif	2
Sedimen limestone	1
Vulkanik	0

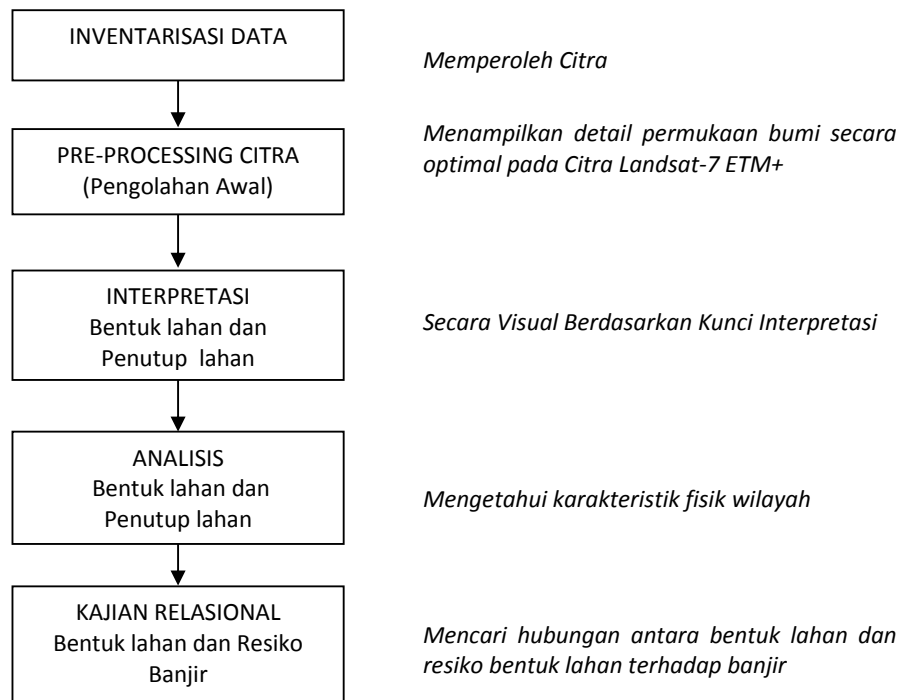
**Tabel 4** Tingkat Risiko Banjir

Tingkat	Total Skor
Tinggi	16 - 20
Sedang	11 - 15
Rendah	0 - 10

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1 Interpretasi Bentuk lahan

Luas total wilayah Daerah Aliran Bengawan Solo bagian hilir adalah 6.543,94 km<sup>2</sup>. Berdasarkan hasil interpretasi citra Landsat-7 ETM+, di Daerah Aliran Bengawan Solo bagian hilir terbentuk lima bentuk lahan utama, yaitu bentuk lahan denudasional (D), Fluvial (F), Marin (M), Karst atau solusional (K), dan struktural (S). Selain itu juga terdapat bentuk lahan hasil kombinasi proses Fluvial dan Marin (FM) dan bentuk lahan buatan manusia (O). Tiap-tiap bentuk lahan utama tersebut diperinci lagi menjadi unit-unit bentuk lahan seperti disajikan pada Tabel 5. Secara umum, unit bentuk lahan yang dominan terdapat di Daerah Aliran Bengawan Solo bagian hilir adalah berupa bentukan denudasional berupa perbukitan denudasional dengan berbagai tingkat pengikisan (terkikis kuat, sedang dan ringan) dan lereng kaki dengan proses erosi-denudasi yang dominan.



**Gambar 1** Skema alur penelitian

Selain itu, bentuk lahan fluvial juga mendominasi wilayah Daerah Aliran Bengawan Solo bagian hilir, terutama berupa bentuk lahan dataran aluvial dan dataran banjir. Gambar 3 menunjukkan Peta Bentuk lahan Daerah Aliran Sungai Bengawan Solo bagian hilir hasil interpretasi data citra Landsat-7 ETM+.

## 2 Interpretasi Penutup Lahan

Penggunaan lahan mempunyai kaitan yang erat dengan bencana sedimen. Menurut Moore (1969) perubahan vegetasi penutup suatu daerah pengaliran sungai akan besar pengaruhnya terhadap perubahan banyak material yang terangkut aliran sungai, yaitu suatu daerah pengaliran sungai dengan sedikit vegetasi penutup akan menghasilkan *sediment yield* sebesar 25 kali lebih besar bila dibandingkan dengan daerah pengaliran sungai yang sama luasnya tetapi mempunyai vegetasi penutup yang baik. Agar suatu daerah pengaliran sungai memenuhi fungsi sebagai pelindung terhadap suatu daerah dari ancaman banjir dan erosi maka luas hutan minimum yang ideal diperkirakan sebesar 30% dari luas daerah pengaliran sungai yang bersangkutan.

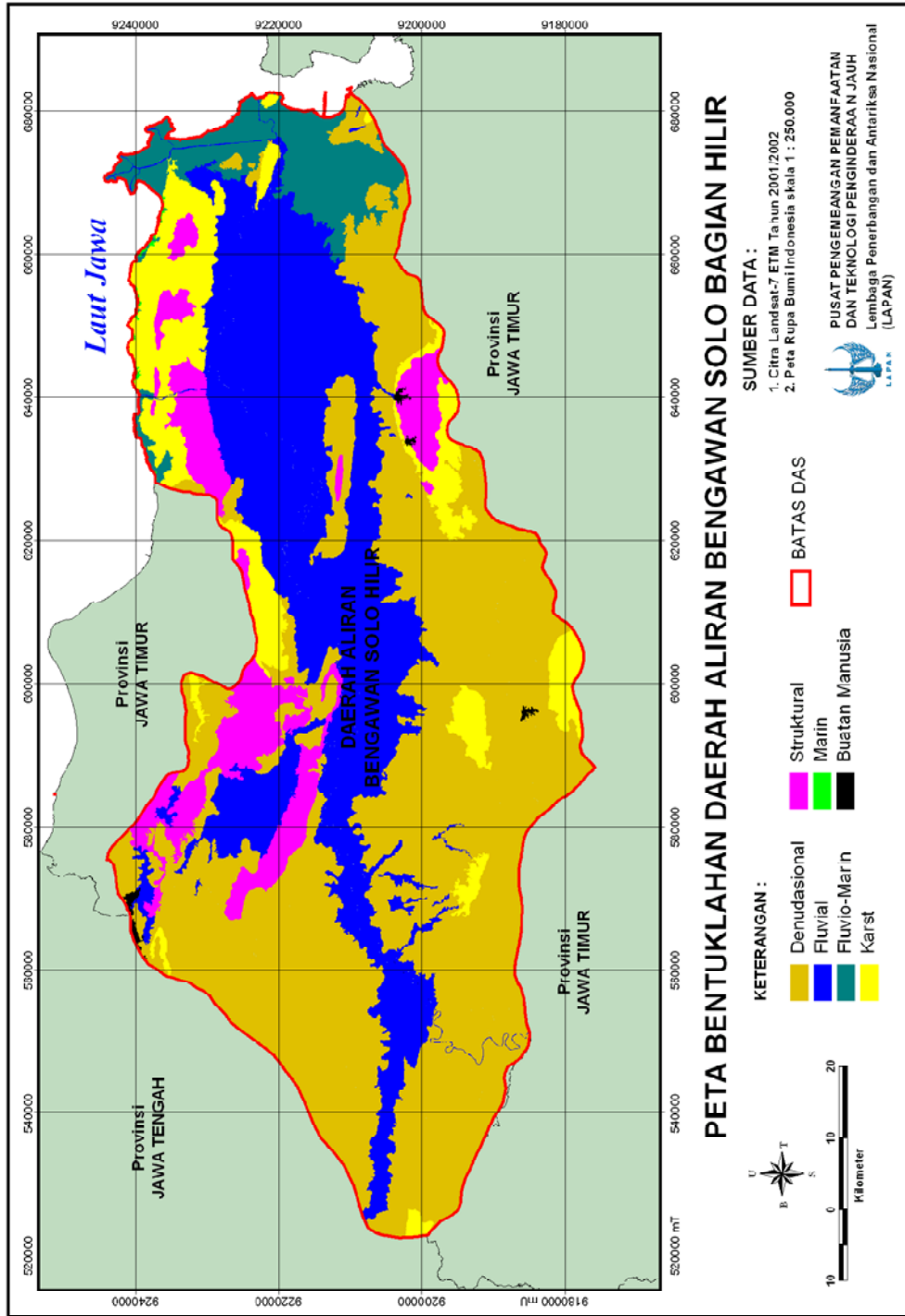
Berdasarkan interpretasi citra Landsat-7 ETM+ tahun 2001-2002, diketahui bahwa penutup

lahan yang dominan di Daerah Aliran Bengawan Solo Hilir adalah berupa sawah (286.682,70 hektar atau 43,81%) dan perkebunan (201.711,60 hektar atau 30,82%). Selain itu, pemukiman desa/kampung dan ladang/tegalan mempunyai menempati wilayah yang relatif luas, yaitu masing-masing sekitar 9,01% dan 8,15% dari total wilayah DAS. Jenis-jenis penutup lahan lainnya yang dijumpai dengan luasan relatif lebih kecil (luasan total kurang dari 10%) adalah tambak, semak atau belukar, pemukiman kota, tubuh air (rawa, danau, waduk, sungai), lahan terbuka, areal industri, hutan mangrove, dan pelabuhan. Selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 6. Gambar 4 menunjukkan peta penutup lahan Daerah Aliran Bengawan Solo.

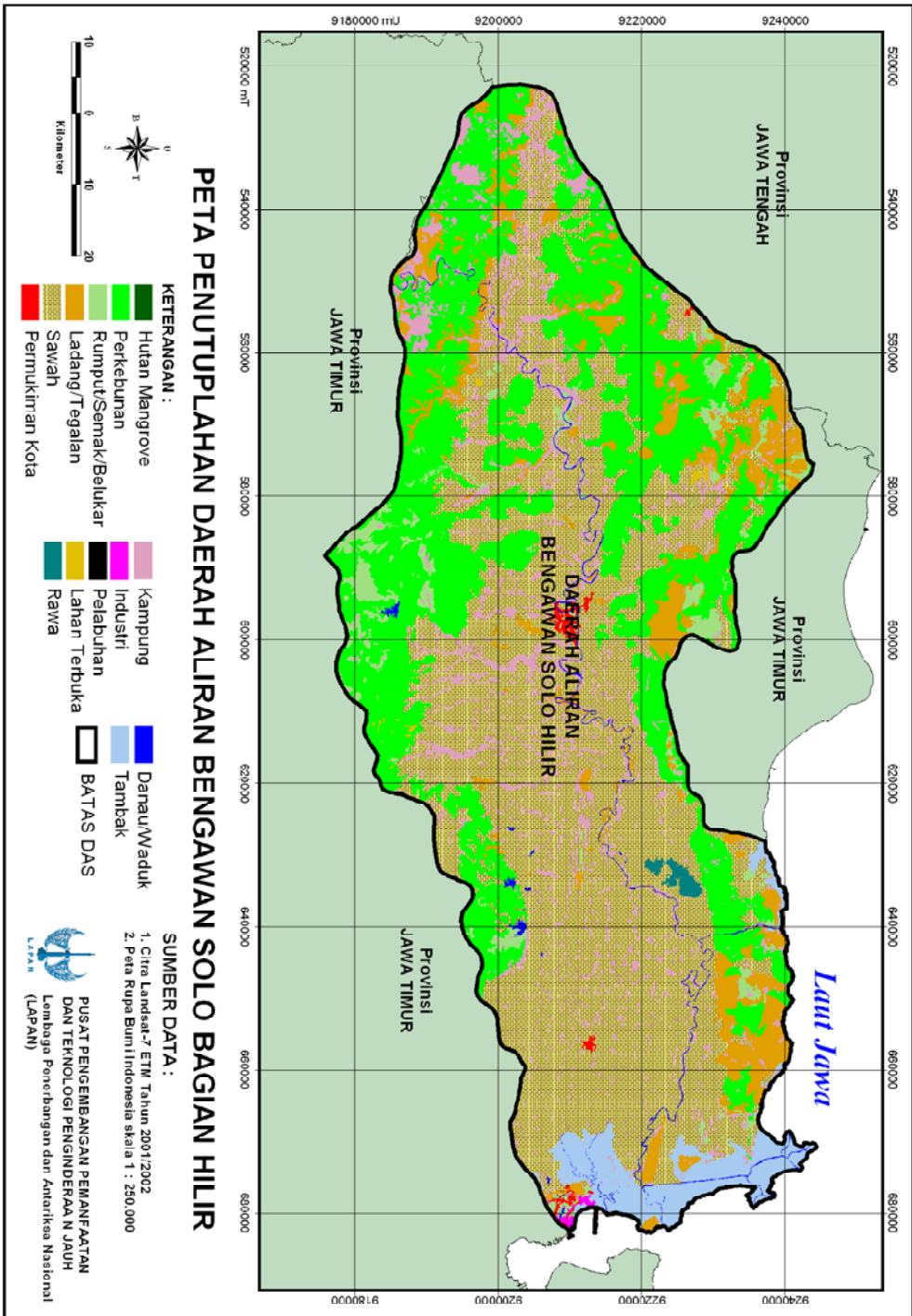
Daerah Aliran Bengawan Solo Hilir pada Tabel 6 dengan dasar interpretasi citra satelit Landsat-7 ETM+ tahun 2001-2002 belum memiliki luas hutan minimum yang disyaratkan sebesar 30%, akan tetapi sebenarnya dapat dimanfaatkan dengan membangun kemitraan dengan masyarakat dalam mengelola perkebunan yang ada. Perkebunan memiliki persentase sebesar 30,82% dan kalau dapat dikelola dengan baik dapat menutupi luas hutan yang diperlukan. Salah satu cara mengelola kemitraan dengan masyarakat dalam hal perkebunan mungkin dapat dilakukan dengan cara meregulasikan hutan kemasyarakatan.







**Gambar 3** Peta Daerah Bentuk lahan Wilayah Daerah Aliran Bengawan Solo Bagian Hilir



Gambar 4 Peta Daerah Penutup Lahan Wilayah Daerah Aliran Bengawan Solo Bagian Hilir



**Tabel 5** Luas Bentuk lahan Pada Daerah Aliran Bengawan Solo Hilir

No.	Bentuk lahan	Asal Proses	Luas (Ha)	Persentase (%)
1	Waduk	Buatan Manusia	1.375,04	0,21
2	Perbukitan Denudasional Terkikis Sedang	Denudasional	109.635,9	16,7
3	Perbukitan Denudasional Terkikis Kuat	Denudasional	59.421,83	9,05
4	Lereng Kaki Erosi	Denudasional	70.603,48	10,75
5	Kipas Koluvial	Denudasional	34.669,08	5,28
6	Dataran Nyaris	Denudasional	19.603,18	2,99
7	Perbukitan Denudasional Terkikis Ringan	Denudasional	10.379,93	1,58
8	Permukaan Planasi	Denudasional	8.575,95	1,31
9	Lereng Kaki Rombakan	Denudasional	8.485,43	1,29
10	Lahan Rusak	Denudasional	995,15	0,15
11	Bukit Sisa	Denudasional	499,56	0,08
12	Dinding Terjal	Denudasional	444,21	0,07
13	Dataran Koluvial	Denudasional	287,88	0,04
14	Dataran Aluvial	Fluvial	87.326,89	13,3
15	Dataran Banjir	Fluvial	48.980,65	7,46
16	Kipas Aluvial	Fluvial	16.592,61	2,53
17	Tanggul Alam	Fluvial	1.4622,8	2,23
18	Dataran Lembah Isian	Fluvial	10.182,46	1,55
19	Saluran Sungai	Fluvial	3.629,63	0,55
20	Teras Sungai Erosional	Fluvial	2570,6	0,39
21	Rawa Air Tawar	Fluvial	831,93	0,13
22	Gosong Sungai Lengkung Dalam	Fluvial	567,26	0,09
23	Meander Terpenggal	Fluvial	463,55	0,07
24	Dataran Aluvial Pantai	Fluvio-Marin	18.634,67	2,84
25	Dataran Delta	Fluvio-Marin	17.051,76	2,60
26	Perbukitan Karst Tidak Berkembang	Karst/Solusional	36.524,62	5,56
27	Karst Bergelombang Tidak Berkembang	Karst/Solusional	19.711,09	3,00
28	Dataran Aluvial Karst	Karst/Solusional	2.671,81	0,41
29	Uvala	Karst/Solusional	100,09	0,02
30	Gisik	Marin	729,24	0,11
31	Rataan Lumpur	Marin	89,60	0,01
32	Perbukitan Lipatan	Struktural	38.467,73	5,86
33	Perbukitan Blok Sesar	Struktural	10.143,03	1,55
34	Perbukitan Dike	Struktural	1.586,05	0,24
	<b>Total</b>		<b>654.394,04</b>	<b>100,00</b>

Sumber : Interpretasi Citra Landsat-7 ETM+

**Tabel 6** Luas Penutup Lahan pada Daerah Aliran Bengawan Solo Hilir

No.	Penutup lahan	Luas (Ha)	Persentase (%)
1	Sawah	286.682,70	43,81
2	Perkebunan	201.711,60	30,82
3	Permukiman/Kampung	58.938,99	9,01
4	Ladang/Tegalan	53.336,58	8,15
5	Tambak	27.649,83	4,23
6	Semak/Belukar	19.209,48	2,94
7	Permukiman/Kota	2.115,59	0,32
8	Rawa	1.854,17	0,28
9	Danau/Waduk/Sungai	1.257,71	0,19
10	Lahan Terbuka	851,87	0,13
11	Industri	635,07	0,10
12	Mangrove	66,25	0,01
13	Sungai	45,78	0,01
14	Pelabuhan	33,01	0,01
15	Awan	5,46	0
<b>Total</b>		<b>654.394,04</b>	<b>100,00</b>

Sumber: Interpretasi Citra Landsat-7 ETM+

### 3 Analisis Relasional Bentuk lahan dan Risiko Banjir

Setiap unit bentuk lahan memiliki karakteristik fisik spesifik yang merupakan ekspresi dari proses-proses geomorfologi yang memengaruhi pembentukannya. Banjir, dikaji dari sudut pandang geomorfologi, merupakan suatu bagian dari proses geomorfologi, yaitu proses meluapnya aliran air dari sungai karena volume air yang melebihi kapasitas saluran dari sungai tersebut. Disini muncul istilah banjir sungai. Selain itu, banjir juga dapat diakibatkan oleh melimpahnya aliran permukaan yang juga menggerus lapisan tanah dan batuan induk sehingga menyebabkan banjir yang dikenal dengan istilah banjir bandang. Jadi, pada dasarnya, lokasi-lokasi yang memiliki risiko terhadap banjir dapat dikenali dari jenis bentuk lahannya.

Analisis bentuk lahan yang dilakukan meliputi analisis relief atau topografi, kemiringan lereng (slope), bentuk lereng, litologi penyusun bentuk lahan, dan proses-proses yang dominan terjadi. Analisis bentuk lahan ini dilakukan untuk mengetahui tingkat risiko tiap-tiap satuan bentuk lahan terhadap banjir.

Relief atau topografi dibedakan menjadi 5 kategori, yaitu datar, landai, berombak, bergelombang, berbukit, dan bergunung. Kategori datar memiliki kemiringan < 1%, landai 1 – 3%, berombak 3 – 8%, bergelombang 8 – 15%, berbukit 15 – 30%, dan bergunung > 30%. S

Bentuk lereng dapat dibedakan menjadi datar (*plain*), cembung (*convex*), semicembung (*semi convex*), cekung (*concave*) dan semicekung

(*semiconcave*). Litologi (batuan penyusun bentuk lahan) di DAS Bengawan Solo Hilir dibedakan menjadi sedimen masif, sedimen aluvial (lepas), sedimen lakustrin, sedimen marin, sedimen limestone (batu gamping), dan batuan vulkanik. Selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 7.

Proses-proses geomorfologi yang bekerja di DAS Bengawan Solo Hilir meliputi: pelapukan, erosi, sedimentasi, pasang surut, abrasi, akresi, flooding, gerakan massa batuan (*mass wasting*), dan proses struktural (tektonisme) seperti pengangkatan, sesar, dan pelipatan.

Hasil perhitungan risiko banjir menunjukkan bahwa banjir terkait erat terutama dengan bentuk lahan Fluvial dan Marin. Bentuk lahan-bentuk lahan asal Fluvial dan Marin tertentu akan mencerminkan adanya proses banjir dan akibat dari proses-proses tersebut. Sedangkan Peta wilayah risiko banjir yang terkait erat dengan bentuk lahan ditunjukkan pada Gambar 5. Berdasarkan analisis geomorfologi dari data Citra Landsat-7 ETM+ di Daerah Aliran Bengawan Solo hilir, bentuk lahan yang memiliki risiko paling tinggi terhadap banjir dengan jelas dapat ditunjukkan oleh adanya dataran banjir. Bentuk lahan ini melingkupi wilayah seluas 48.980,65 hektar atau sekitar 7,46%. Bentuk lahan lainnya yang memiliki risiko paling tinggi terhadap banjir yaitu: gosong sungai lengkung dalam, teras sungai erosional, meander terpenggal, rawa air tawar, dan saluran sungai. Selain itu, juga terdapat bentuk lahan yang memiliki risiko banjir sangat tinggi baik dari sungai maupun dari laut (banjir rob), yaitu dataran aluvial pantai, delta, dan rata-rata lumpur. Bentuk lahan dataran aluvial, tanggul alam

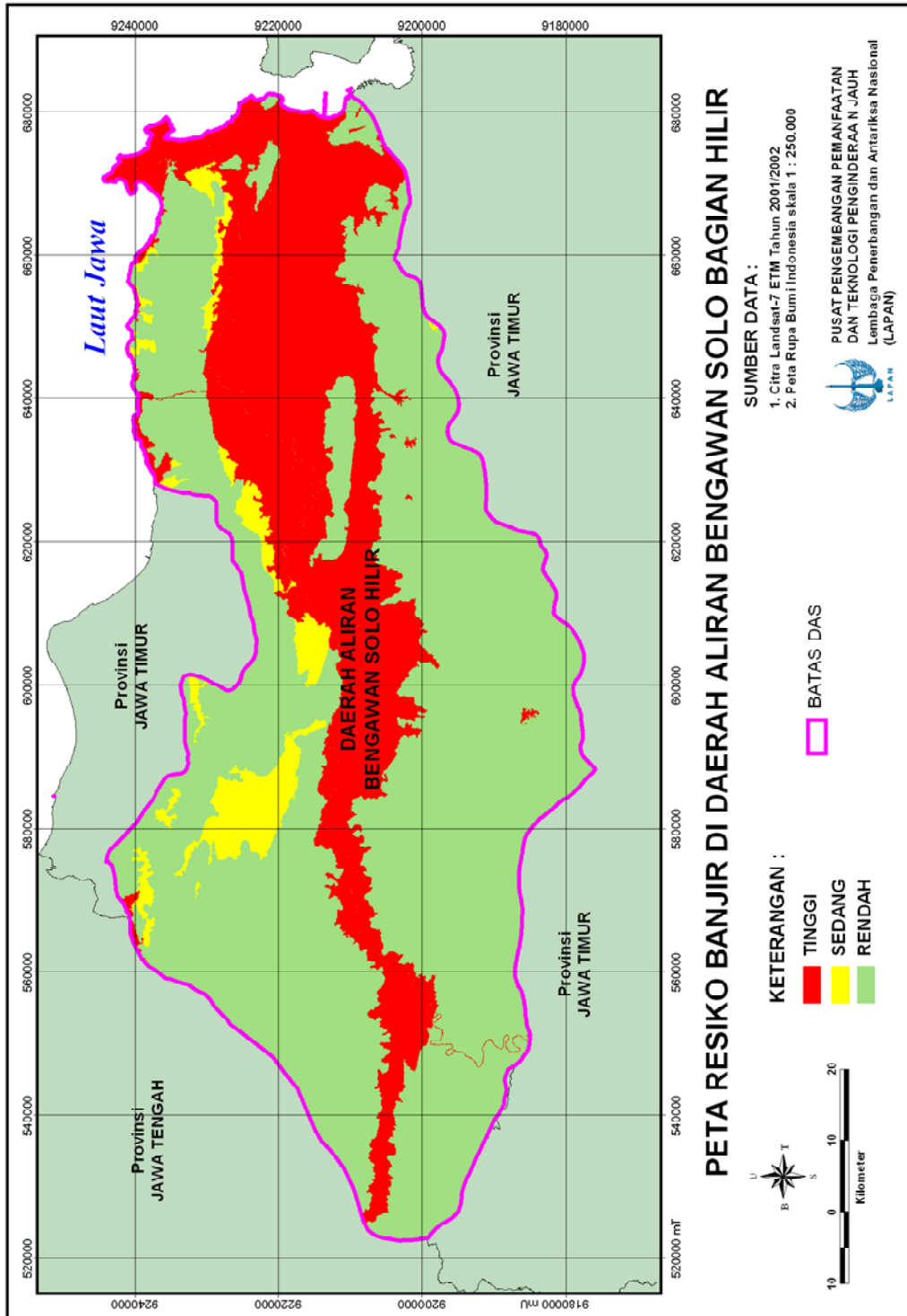
Tabel 7 Karakteristik Fisik dan Tingkat Risiko Banjir pada Tiap-Tiap Bentuk lahan di Daerah Aliran Bengawan Solo Hilir

No.	Bentuk Lahan	Relief	Kemiringan Lereng (%)	Bentuk Lereng	Litologi	Proses Dominan	Tingkat Risiko Banjir
1	Waduk	Datar	< 1	<i>Concave</i>	Sedimen Lakustrin	Akumulasi air permukaan	Sangat Tinggi
2	Perbukitan Denudasional Terkikis Sedang	Berbukit/Bergunung	> 15	<i>Convex</i>	Sedimen Masif	Erosi, Pelapukan, <i>Mass Wasting</i>	Tidak Berisiko
3	Perbukitan Denudasional Terkikis Kuat	Berbukit/Bergunung	> 15	<i>Convex</i>	Sedimen Masif	Erosi, Pelapukan, <i>Mass Wasting</i>	Tidak Berisiko
4	Lereng Kaki Erosi	Berombak	3 – 8	<i>Semi Convex</i>	Sedimen Masif	Erosi	Tidak Berisiko
5	Kipas Koluviial	Berombak	3 – 8	<i>Semi Convex</i>	Sedimen Lepas	Sedimentasi	Tidak Berisiko
6	Dataran Nyaris	Landai	1 – 3	<i>Plain</i>	Sedimen Masif	Erosi, Pelapukan	Tidak Berisiko
7	Perbukitan Denudasional Terkikis Ringan	Berbukit/Bergunung	> 15	<i>Convex</i>	Sedimen Masif	Erosi, Pelapukan, <i>Mass Wasting</i>	Tidak Berisiko
8	Permukaan Planasi	Landai	1 – 3	<i>Plain</i>	Sedimen Masif	Erosi, Pelapukan	Tidak Berisiko
9	Lereng Kaki Rombakan	Berombak	3 – 8	<i>Semi Convex</i>	Sedimen Lepas	Sedimentasi	Tidak Berisiko
10	Lahan Rusak	Berombak	3 – 8	<i>Semi Convex</i>	Sedimen Masif	Erosi, Pelapukan, <i>Mass Wasting</i>	Tidak Berisiko
11	Bukit Sisa	Berbukit/Bergunung	> 15	<i>Convex</i>	Sedimen Masif	Erosi, Pelapukan, <i>Mass Wasting</i>	Tidak Berisiko
12	Dinding Terjal	Berbukit/Bergunung	> 15	<i>Plain</i>	Sedimen Masif	<i>Mass Wasting</i>	Tidak Berisiko
13	Dataran Koluviial	Landai	1 – 3	<i>Semi Plain</i>	Sedimen Lepas	Sedimentasi	Tidak Berisiko

No.	Bentuk Lahan	Relief	Kemiringan Lereng (%)	Bentuk Lereng	Litologi	Proses Dominan	Tingkat Risiko Banjir
14	Dataran Aluvial	Datar	< 1	<i>Plain</i>	Sedimen Lepas	Sedimentasi, <i>Flooding</i>	Tinggi
15	Dataran Banjir	Datar	< 1	<i>Semi Concave</i>	Sedimen Lepas	Sedimentasi, <i>Flooding</i>	Sangat Tinggi
16	Kipas Aluvial	Berombak	3 – 8	<i>Semi Plain</i>	Sedimen Lepas	Sedimentasi	Agak Tinggi
17	Tanggul Alam	Berombak	3 – 8	<i>Convex</i>	Sedimen Lepas	Sedimentasi, <i>Flooding</i>	Tinggi
18	Dataran Lembah Isian	Landai	1 – 3	<i>Concave</i>	Sedimen Lepas	Sedimentasi	Agak Tinggi
19	Saluran Sungai	Datar	< 1	<i>Concave</i>	Sedimen Lepas	Sedimentasi, <i>Flooding</i>	Sangat Tinggi
20	Teras Sungai Erosional	Berombak	3 – 8	<i>Concave</i>	Sedimen Lepas	Erosi	Agak Tinggi
21	Rawa Air Tawar	Datar	< 1	<i>Concave</i>	Sedimen Lakustrin	Sedimentasi, <i>Flooding</i>	Sangat Tinggi
22	Gosong Sungai Lengkung Dalam	Datar	< 1	<i>Semi Convex</i>	Sedimen Lepas	Sedimentasi, <i>Flooding</i>	Sangat Tinggi
23	Meander Terpenggal	Datar	< 1	<i>Semi Concave</i>	Sedimen Lepas	Sedimentasi, <i>Flooding</i>	Sangat Tinggi
24	Dataran Aluvial Pantai	Datar	< 1	<i>Semi Concave</i>	Sedimen Lepas	Sedimentasi, Akresi, Pasang Surut	Sangat Tinggi
25	Dataran Delta	Datar	< 1	<i>Plain</i>	Sedimen Lepas	Sedimentasi, Akresi, Pasang Surut	Sangat Tinggi
26	Perbukitan Karst Tidak Berkembang	Berbukit/Bergunung	> 15	<i>Convex</i>	Sedimen <i>Limestone</i>	Pelarutan	Tidak Berisiko

No.	Bentuk Lahan	Relief	Kemiringan Lereng (%)	Bentuk Lereng	Litologi	Proses Dominan	Tingkat Risiko Banjir
27	Karst Bergelombang Tidak Berkembang	Bergelombang	8 – 15	<i>Semi Convex</i>	Sedimen Limestone	Pelarutan	Tidak Berisiko
28	Dataran Aluvial Karst	Landai	1 – 3	<i>Semi Concave</i>	Sedimen Limestone	Pelarutan, Sedimentasi	Agak Tinggi
29	Uvala	Landai	1 – 3	<i>Concave</i>	Sedimen Limestone	Pelarutan, Sedimentasi	Agak Tinggi
30	Gisik	Landai	1 – 3	<i>Semi Convex</i>	Sedimen Lepas	Abrasi/Akresi, Pasang Surut	Tinggi
31	Rataan Lumpur	Datar	< 1	<i>Plain</i>	Sedimen Lepas	Sedimentasi, Akresi, Pasang Surut	Sangat Tinggi
32	Perbukitan Lipatan	Berbukit/Bergunung	> 15	<i>Convex</i>	Sedimen Masif	Struktural (Tektonisme)	Tidak Berisiko
33	Perbukitan Blok Sesar	Berbukit/Bergunung	> 15	<i>Convex</i>	Sedimen Masif	Struktural (Tektonisme)	Tidak Berisiko
34	Perbukitan Dike (Proses Intrusi Vulkanik)	Berbukit/Bergunung	> 15	<i>Convex</i>	Vulkanik	Struktural (Tektonisme)	Tidak Berisiko

Sumber : Interpretasi Citra Landsat-7 ETM+



**Gambar 5** Peta Risiko Banjir Bengawan Solo Bagian Hilir



dan gisik meskipun juga memiliki risiko tinggi terhadap banjir, namun relatif lebih rendah bila dibandingkan dengan bentuk lahan-bentuk lahan yang disebutkan sebelumnya. Secara lebih lengkap pada tabel dan disajikan karakteristik fisik dan tingkat risiko banjir pada tiap-tiap bentuk lahan di Daerah Aliran Bengawan Solo. Tingkatan risiko banjir dikelompokkan menjadi empat, yaitu sangat tinggi, tinggi, agak tinggi, dan tidak berisiko.

Wilayah Daerah Bengawan Solo Bagian Hilir belum memenuhi syarat 30% sebagai kawasan hutan yang diminimalkan (PP No.26 Tahun 2008), oleh karena itu salah satu cara yang dilakukan untuk penyediaan area reboisasi adalah dengan interpretasi bentuk lahan pada citra satelit Landsat-7/ETM+ tahun 2001-2002. Dari interpretasi tersebut didapatkan tujuh macam bentuk lahan yang dianggap sesuai untuk dilakukan reboisasi yaitu pada bentuk lahan perbukitan denudasional terkikis kuat, perbukitan denudasional terkikis sedang, perbukitan denudasional terkikis lemah, perbukitan dike, perbukitan blok sesar, perbukitan lipatan, perbukitan karst tidak berkembang dengan luas total 266.159,03 Ha atau 40,54% dari keseluruhan luas wilayah. Ketujuh bentuk lahan tersebut secara alami sebagai *recharge area*, maka dalam jangka panjang area tersebut sebaiknya dijadikan sebagai area lindung atau area cagar alam untuk mengurangi dan meminimalisir bentuk bencana yang mungkin terjadi.

## KESIMPULAN

Unit bentuk lahan yang dominan terdapat di Daerah Aliran Bengawan Solo bagian hilir adalah bentuk denudasional berupa perbukitan denudasional dengan berbagai tingkat pengikisan (terkikis kuat, sedang dan ringan) dan lereng kaki dengan proses erosi-denudasi yang dominan. Selain itu, bentuk lahan fluvial juga mendominasi wilayah Daerah Aliran Bengawan Solo bagian hilir, terutama berupa bentuk lahan dataran aluvial dan dataran banjir.

Di daerah Aliran Bengawan Solo, banjir terkait erat terutama dengan bentuk lahan Fluvial dan Marin. Bentuk lahan yang memiliki risiko paling tinggi terhadap banjir adalah dataran banjir, gosong sungai lengkung dalam, teras sungai erosional, meander terpenggal dan saluran sungai. Selain itu, terdapat juga bentuk lahan yang memiliki risiko banjir sangat tinggi baik banjir dari sungai maupun dari laut (banjir rob), yaitu dataran aluvial pantai, delta, serta rata-rata lumpur. Daerah-daerah yang memiliki risiko banjir sangat tinggi sebagian besar merupakan daerah persawahan dan tambak.

## DAFTAR PUSTAKA

- Asriningrum, W.2002. Studi Kemampuan Landsat ETM+ Untuk Identifikasi Bentuk lahan (Landform) Daerah Jakarta-Bogor. Tesis S-2, Jurusan Ilmu Tanah, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Antara. 2008. 87 Persen DAS Bengawan Solo Rawan Bencana . Diakses tanggal 26 November 2008 dari <http://www.antara.co.id/arc/2008/2/4/men-hut-87-persen-wilayah-das-bengawan-solo-rawan-bencana/>
- Britannica Concise Encyclopedia. 2008. Geomorphology. Diakses tanggal 26 November 2008 dari <http://www.answers.com/topic/geomorphology>
- Klimaszewski, M., 1982. Detailed geomorphological maps. ITC Journal 1982-3: 265-271
- Kompas. 2008. Tutupan Lahan di DAS Bengawan Solo Berkurang 99 Persen. Diakses tanggal 26 November 2008 dari <http://64.203.71.11/ver1/Nasional/0801/04/143131.htm>
- Lillesand Thomas M. dan Kiefer Ralph W. (1979). Remote Sensing and Image Interpretation, New York, John Wiley & Sons.
- Moore, W.L., & Morgan, C.W. 1969. *Sediment Yield Transport&Channel Studies; In Effect Of Watershed Changes on Stream Flow*. University of Texas Press. Austin&London.
- Purwadi, F.S. dan Sanjoto, TB. 2010. Pengantar Interpretasi Citra Penginderaan Jauh, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional dan Universitas Negeri Semarang, Jakarta.
- Robert S. Hayden, Mapping, National Aeronautics and Space Administration
- Sudarmadji dkk. 2000. Pembakuan Spek Metodologi Kontrol Kualitas Pemetaan Tematik Dasar Dalam Mendukung Perencanaan Tata Ruang. Fakultas Geografi UGM dan Bakosurtanal. Yogyakarta.
- Sutanto. 1995. Penginderaan Jauh Dasar. Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Tim Penyusun Kamus. 1997. Kamus Pertanian Umum. Penebar Swadaya, Jakarta.
- [http://www.kimpraswil.go.id/satminkal/dit\\_sda/profil%20balai/BBWS/New/ProfileBalaiBengawanSolo.pdf](http://www.kimpraswil.go.id/satminkal/dit_sda/profil%20balai/BBWS/New/ProfileBalaiBengawanSolo.pdf)

- Van Zuidam, R.A. & F.I. Van Zuidam-Cancelado. 1979. Terrain Analysis and Classification using Aerial Photographs. ITC Textbook of Photo Interpretation Vol VII. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), Enschede, The Netherlands.
- Van Zuidam, R.A. 1982. Consideration On Systematic Medium-Scale Geomorphological Mapping. Z.Geomorph. N.E., Berlin-Stuttgart.
- Verstappen, H.Th. 1977. An atlas illustrating the use of aerial photographs in geomorphological mapping. ITC Textbook of Photo Interpretation Vol VII. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), Enschede, The Netherlands.