

## **Arahan Fungsi Pemanfaatan Lahan Berbasis Daerah Aliran Sungai Sebagai Upaya Pelestarian Lingkungan (Studi kasus di Sub DAS Samin ds)**

**Agus Wuryanta**

Balai Penelitian Teknologi Kehutanan Pengelolaan DAS,  
JL.A.Yani, Pabelan PO.BOX 295 Kartasura-Surakarta Telp.(0271)716709, Fax. (0271)716959  
e\_mail:agus\_july1065@yahoo.com

### **ABSTRAK**

*Akhir – akhir ini telah terjadi penurunan kualitas lingkungan Daerah Aliran Sungai (DAS) di Indonesia sebagai akibat dari pengelolaan Sumber Daya Alam (SDA) yang tidak ramah lingkungan dan meningkatnya potensi ego-sektoral dan ego-kewilayahan. Pengelolaan DAS yang salah satunya adalah penyusunan arahan fungsi pemanfaatan lahan harus dilakukan secara terpadu dan disepakati oleh para pihak (stake holders) sebagai dasar dalam penyusunan rencana pembangunan wilayah. Pemanfaatan lahan yang tidak sesuai dengan peruntukan dan fungsinya dapat menimbulkan kerusakan lingkungan DAS. Tujuan kajian adalah menyusun arahan fungsi pemanfaatan lahan berbasis DAS dan hubungannya dengan penutupan/penggunaan lahan dengan menggunakan perangkat Sistem Informasi Geografis (SIG). Kajian dilaksanakan di Sub DAS Samin ds yang terletak di Kabupaten Karanganyar dan Sukoharjo, Jawa Tengah. Arahan fungsi pemanfaatan lahan disusun berdasarkan kriteria dan tata cara penetapan hutan lindung dan hutan produksi sebagaimana diatur dalam Surat Keputusan Menteri Pertanian Nomor : 837/Kpts/Um/II/1980 dan Nomor : 683/Kpts/Um/8/1981. Berdasarkan hasil analisis arahan fungsi pemanfaatan lahan, wilayah Sub DAS Samin ds dibagi menjadi empat fungsi yaitu fungsi kawasan lindung (6.362,39 ha), fungsi kawasan penyangga (3.488,01 ha), budidaya tanaman tahunan (19.491,94 ha) dan kawasan tanaman semusim/pemukiman (34.159,04 ha). Hasil tumpang susun (overlay) antara arahan fungsi pemanfaatan lahan dengan penutupan/penggunaan lahan (peta Rupa Bumi Indonesia skala 1:25.000) menunjukkan areal fungsi kawasan lindung yang berhutan seluas 693,91 ha (11 % dari luas areal fungsi kawasan lindung), sawah irigasi menempati areal paling luas di sub DAS Samin ds dan tersebar di fungsi kawasan lindung 658,03 ha, fungsi kawasan penyangga 756,81 ha, budidaya tanaman tahunan 8.510,28 ha, dan kawasan tanaman semusim/pemukiman 21.028,82 ha.*

**Kata kunci:** Arahan fungsi kawasan, penutupan/penggunaan lahan, SIG

### **I. PENDAHULUAN**

Pengelolaan sumberdaya lahan dalam konteks pembangunan di Indonesia ke depan menjadi lebih penting karena berbagai tantangan yang dihadapi semakin kompleks antara lain: (1) tekanan penduduk terhadap lahan, (2) konservasi lahan dan alih fungsi lahan, (3) degradasi hutan dan kerusakan lahan, (4) kerusakan lingkungan serta bencana alam yang terus meningkat. (Worosuprojo. 2007). Oleh karena itu, konsep pengelolaan sumber daya lahan berkelanjutan dengan memperhatikan tantangan tersebut perlu dirumuskan pada skala nasional, regional, dan lokal.

Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan suatu unit hidrologi yang dapat digunakan sebagai unit fisik - biologi dan sebagai unit sosial ekonomi dan sosial politik untuk perencanaan dan aktivitas pengelolaan sumber daya alam. DAS merupakan satu kesatuan ekosistem, oleh karena itu dalam kegiatan monev pengelolaan DAS sebaiknya dilakukan secara terpadu dan menyeluruh. DAS dikelola secara

terpadu (*Integrated Watershed Management*) adalah suatu proses formulasi dan implementasi suatu kegiatan yang menyangkut pengelolaan Sumber Daya Alam (SDA) dan manusia dalam suatu DAS dengan mempertimbangkan aspek sosial, politik, ekonomi dan institusi di dalam DAS dan di sekitar DAS untuk mencapai tujuan sosial tertentu. (Easter et al,1986.). DAS telah menjadi fokus pengelolaan lingkungan sebagai akibat dari degradasi lingkungan yang terjadi ditunjukkan oleh erosi tanah dan sedimentasi, terutama akibat deforestasi berupa konversi hutan ke penggunaan lain. (Pawitan. 2011).

Masalah yang dihadapi didalam pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS) saat ini adalah peningkatan jumlah penduduk. Peningkatan jumlah penduduk barakibat pada peningkatan kebutuhan akan lahan, sehingga daya dukung lahan dan daya tampung lingkungan semakin menurun. Daya dukung adalah tingkat kemampuan lahan untuk mendukung segala aktivitas manusia yang ada di

wilayahnya (Riyadi dan Bratakusumah., 2003). Salah satu indikator penurunan daya dukung lingkungan DAS adalah tingginya laju erosi lahan pada DAS.

Salah satu upaya pengelolaan DAS untuk kelestarian lingkungan adalah menyusun Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) berbasis DAS. Arahan fungsi pemanfaatan lahan merupakan salah satu parameter penting dalam penyusunan RTRW. Arahan fungsi pemanfaatan lahan disusun dengan menggunakan parameter intensitas hujan, jenis tanah dan kelerengan. Tujuan kajian adalah menyusun arahan fungsi pemanfaatan lahan berbasis DAS dan hubungannya dengan penutupan/penggunaan lahan dengan menggunakan perangkat Sistem Informasi Geografis (SIG).

## II. METODOLOGI

### A. Lokasi

Sub DAS Samin ds merupakan bagian dari DAS Solo. Sub DAS Samin Ds. terletak antara 110°46'35" BT - 111°10'42" BT dan 7°26'43"LS - 7°43'00" LS. Menurut pembagian administrasi maka wilayah Sub DAS Samin Ds. meliputi 14 Kecamatan dan mencakup 88 Desa. Luas wilayah Sub DAS Samin Ds. adalah 63.512,64 ha. yang terbagi dalam 2 (dua) sub - sub DAS yaitu Sub- sub DAS Samin (37.342,83) dan Sub - sub DAS Grompol (26.169,80 ha). Wilayah Sub DAS Samin Ds. di sebelah Timur dibatasi oleh DAS Kali Madiun (Kabupaten Magetan, Prop. Jawa Timur), sebelah Selatan Sub DAS Jlantah Walikan (Kabupaten Sukoharjo dan Kabupaten Wonogiri), sebelah Barat Sub DAS Brambang dan Sub DAS Pepe (Kabupaten Klaten dan Kabupaten Boyolali) serta sebelah Utara Sub DAS Mungkung dan Sub DAS Kenatan (Kabupaten Sragen).

### B. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan untuk melakukan kajian adalah :

- Peta RBI digital 1:25.000 yang terdiri dari tema (layer) jalan, sungai, garis kontur, dan penutupan/penggunaan lahan
- Peta Arahan pemanfaatan lahan
- Peta administrasi dan peta batas Sub DAS Samin ds

Sedangkan alat yang digunakan untuk mendukung kegiatan kajian antarlain:

- Global Positioning System (GPS)
- Alat Tulis Kantor (ATK)
- Perangkat computer
- Perangkat lunak (software) pengolah citra satelit seperti ErdasImagine 8.4, ENVI 3.0

- Perangkat lunak untuk analisa SIG seperti ArcView 3.3 dan ArcGIS 9.3

### C. Metode Penyiapan peta penutupan/penggunaan lahan

- a. Penggabungan peta penutupan/penggunaan lahan, kontur, jaringan sungai, dan jaringan jalan (peta tematik)
- b. Pemotongan (clip) peta tematik lokasi kajian
- c. Analisis dan penghitungan luas

### D. Penyiapan peta kelas arahan fungsi pemanfaatan lahan

- a. Digitalisasi peta arahan fungsi pemanfaatan lahan
- b. Pemberian label (labeling)
- c. Penentuan kelas arahan
- d. Analisis dan penghitungan luas

### E. Analisis

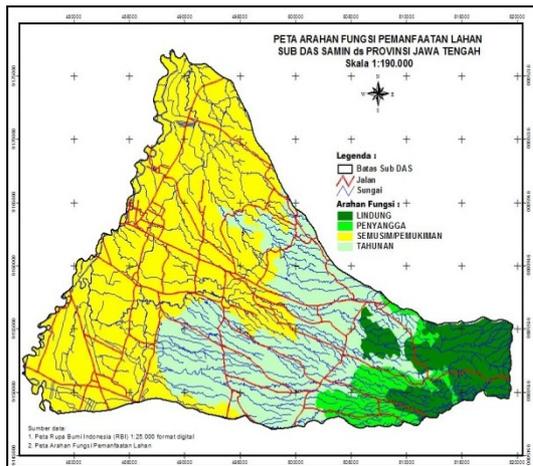
- a. Overlay peta penutupan/penggunaan lahan dengan arahan fungsi pemanfaatan lahan
- b. Scoring peta hasil overlay
- c. Analisis
- d. Penghitungan luas
- e. Pembuatan layout peta

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Arahan Fungsi Pemanfaatan Lahan

Peta arahan fungsi pemanfaatan lahan disusun berdasarkan kriteria dan tata cara penetapan hutan lindung dan hutan produksi sebagaimana diatur dalam Surat Keputusan Menteri Pertanian Nomor : 837/Kpts/Um/II/1980 dan Nomor : 683/Kpts/Um/8/1981. Parameter yang digunakan untuk menyusun peta arahan fungsi pemanfaatan lahan adalah intensitas hujan, jenis tanah dan kelerengan. Arahan fungsi pemanfaatan lahan dikelompokkan menjadi empat yaitu arahan fungsi lindung, arahan fungsi tanaman semusim/pemukiman dan arahan fungsi untuk budidaya tanaman tahunan (Gambar 1.).

Arahan fungsi lindung diperoleh dari hasil scoring parameter jenis tanah, kelerengan dan intensitas hujan dengan total nilai > 175, sedangkan arahan fungsi penyangga memiliki nilai antara 125 – 174, arahan fungsi budidaya tanaman tahunan memiliki nilai < 125 dan kelerengan < 15 %, sedangkan arahan fungsi tanaman semusim dan pemukiman memiliki nilai < 125 dan kelerengan < 8 %.



**Gambar 1.** Arahan fungsi pemanfaatan lahan di Sub DAS Samin ds

Berdasarkan hasil analisis arahan fungsi pemanfaatan lahan di wilayah Sub DAS Samin ds (disajikan pada tabel 1), arahan fungsi tanaman semusim/pemukiman menempati areal paling luas yaitu 34.159,04 ha (53,79 % dari luas sub DAS Samin ds). Sedangkan arahan fungsi lindung, penyangga dan tahunan berturut – turut menempati areal seluas 6.362,31 ha, 3.488,01 ha dan 19.491,94 ha. Arahan fungsi lindung terdapat di wilayah Kecamatan Jatiyoso, Karangpandan, Matesih, Ngargoyoso dan Tawangmangu.

**Tabel 1.** Luas arahan fungsi pemanfaatan lahan

No.	KECAMATAN	Arahan Fungsi Pemanfaatan Lahan (ha)				Total
		Lindung	Penyangga	Semusim/Pmk	Tahunan	
1	Jatiyoso	530,47	1.223,11	0,00	8,92	<b>1.762,49</b>
2	Karangpandan	349,21	122,80	0,00	2.630,62	<b>3.102,63</b>
3	Matesih	498,40	175,03	331,31	1.722,68	<b>2.727,42</b>
4	Ngargoyoso	963,90	201,95	0,00	30,14	<b>1.195,99</b>
5	Tawangmangu	4.020,33	870,34	0,00	436,40	<b>5.327,07</b>
6	Jumantono	0,00	63,67	472,08	5.075,88	<b>5.611,63</b>
7	Jumapolo	0,00	831,12	94,04	1.854,26	<b>2.779,42</b>
8	Bendosari	0,00	0,00	2.636,52	590,86	<b>3.227,38</b>
9	Grogol	0,00	0,00	1.372,89	0,00	<b>1.372,89</b>
10	Jaten	0,00	0,00	2.475,45	0,00	<b>2.475,45</b>
11	Karanganyar	0,00	0,00	3.177,09	1.498,87	<b>4.675,96</b>
12	Kebakkramat	0,00	0,00	4.097,90	17,13	<b>4.115,03</b>
13	Masaran	0,00	0,00	3.931,39	0,00	<b>3.931,39</b>
14	Mojogedang	0,00	0,00	2.340,94	1.850,06	<b>4.191,00</b>
15	Mojolaban	0,00	0,00	3.605,22	0,00	<b>3.605,22</b>
16	Polokarto	0,00	0,00	3.338,56	3.574,07	<b>6.912,63</b>
17	Sukoharjo	0,00	0,00	3.780,63	0,00	<b>3.780,63</b>
18	Tasikmadu	0,00	0,00	2.505,01	202,05	<b>2.707,06</b>
	<b>Total</b>	<b>6.362,31</b>	<b>3.488,01</b>	<b>34.159,04</b>	<b>19.491,94</b>	<b>63.501,30</b>

**B. Penggunaan Lahan**

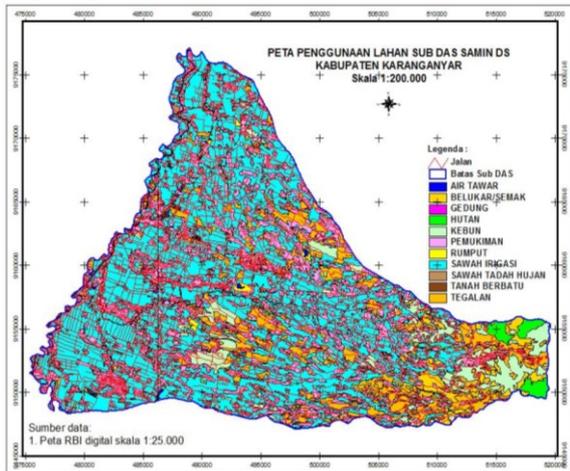
Informasi penggunaan lahan diperoleh dari peta Rupa Bumi Indonesia skala 1:25.000. Berdasarkan peta tersebut, penggunaan lahan dikelaskan menjadi sebelas kelas yaitu air tawar, belukar/semak, gedung, hutan, kebun, pemukiman, rumput, sawah irigasi, tegalan, sawah tadah hujan dan tanah berbatu.

Penggunaan lahan sawah irigasi menempati areal paling luas yaitu 30.953,94 ha (48,74 % dari luas total sub DAS Samin ds). Penggunaan lahan tersebut berada di arahan fungsi lindung 658,03 ha,

arahannya fungsi penyangga 756,81 ha, arahan fungsi semusim/pemukiman 21.028,82 ha dan arahan fungsi tanaman tahunan 8.510,28 ha. Luasan masing – masing penggunaan lahan dan arahan fungsi kawasan disajikan pada tabel 2. Peta penggunaan lahan disajikan pada gambar 2.

Arahan fungsi lindung adalah wilayah yang ditetapkan dengan fungsi utama melindungi kelestarian lingkungan hidup yang mencakup sumberdaya alam dan sumberdaya buatan. Berdasarkan fungsinya tersebut maka penggunaan

lahan yang diperbolehkan adalah pengolahan lahan dengan tanpa pengolahan tanah (*zero tillage*) dan dilarang melakukan penebangan vegetasi hutan. (Nugraha, *et al*, 2006). Penggunaan lahan yang tidak sesuai dengan arahan fungsi pemanfaatan lahan dapat mengakibatkan erosi dan kerusakan lingkungan.



**Gambar 2.** Peta penggunaan lahan sub DAS Samin ds

Dampak dari erosi menyebabkan hilangnya lapisan atas tanah yang subur dan baik untuk pertumbuhan tanaman serta berkurangnya

kemampuan tanah untuk menyerap dan menahan air. Erosi tanah menimbulkan bahaya langsung yang terjadi di lahan bagian atas dan tidak langsung yang terjadi di bagian bawah. Selain itu kerusakan yang ditimbulkan oleh peristiwa erosi juga terjadi di dua tempat yaitu pada tanah tempat erosi terjadi dan pada tempat tujuan akhir tanah yang terangkut (diendapkan). Dampak erosi dapat digolongkan menjadi dua macam, yaitu secara langsung maupun secara tidak langsung. Dampak secara langsung yang terjadi adalah hilangnya lapisan atas tanah, hilangnya unsur hara, rusaknya struktur tanah, kemerosotan produktivitas tanah, kerusakan pada bangunan, sedimen lumpur, pendangkalan air sungai dan waduk, tertimbunnya lahan pertanian, serta hilangnya mata air. Sedangkan dampak tidak langsung meliputi berkurangnya produksi pertanian karena penurunan tingkat kesuburan tanah. Tanah yang tererosi oleh aliran permukaan akan diendapkan di tempat-tempat aliran air yang merambat atau berhenti baik di sungai, saluran irigasi, dan waduk. Endapan tersebut akan menyebabkan sungai, saluran irigasi, dan waduk mengalami pendangkalan. Meningkatnya jumlah aliran air di permukaan dan mendangkalnya sungai mengakibatkan sering terjadi banjir.

**Tabel 2.** Luas Penggunaan lahan

No.	Penggunaan lahan	FUNGSI KAWASAN				Total
		Lindung	Penyangga	Semusim/pmk	Tahunan	
1	Air Tawar	0,00	0,00	453,58	11,25	<b>464,83</b>
2	Belukar/semak	889,66	368,78	30,38	247,38	<b>1.536,21</b>
3	Gedung	0,70	0,20	115,22	5,04	<b>121,16</b>
4	Hutan	693,91	0,00	0,00	0,00	<b>693,91</b>
5	Kebun	1.566,12	497,37	411,51	1.908,12	<b>4.383,12</b>
6	Pemukiman	969,78	797,96	10.135,50	5.706,18	<b>17.609,42</b>
7	Rumput	5,15	2,01	387,59	108,37	<b>503,13</b>
8	Sawah Irigasi	658,03	756,81	21.028,82	8.510,28	<b>30.953,94</b>
9	Tegalan	1.578,31	1.055,33	1.566,50	2.995,31	<b>7.195,46</b>
10	Sawah Tadah Hujan	0,00	9,54	29,95	0,00	<b>39,49</b>
11	Tanah Berbatu	0,72	0,00	0,00	0,00	<b>0,72</b>
	<b>Total</b>	<b>6.362,39</b>	<b>3.488,01</b>	<b>34.159,04</b>	<b>19.491,94</b>	<b>63.501,38</b>

## DAFTAR PUSTAKA

- Worosuprojo, S. (2007). *Pengelolaan Sumberdaya Lahan Berbasis Spasial dalam Pembangunan Berkelanjutan di Indonesia. Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar pada Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada*. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Easter. 1986. *Integrated Watershed Management: An Approach to Resource Management*. In K.W. Easter, J.A.Dixon, and M.M. Hufschmid. *Watershed Resources Management. An Integrated Framework with Studies from Asia and the Pacific*. Studies in Water Policy and management, No.10. Westview Press and London.Honolulu.
- Riyadi dan Bratakusumah.2003. *Perencanaan Pembangunan Daerah. Strategi Menggali Potensi dalam Mewujudkan Otonomi Daerah*. PT. Gramedia Pustaka Utama.Jakarta.
- Pawitan. H. 2011. *Arti Perubahan Iklim Global dan Pengaruhnya dalam Pengelolaan Daerah Aliran Sungai di Indonesia. Prosiding Ekspose Hasil Penelitian dan Pengembangan*.Pusat Penelitian dan Pengembangan Konservasi dan Rehabilitasi (P3KR) Badan Penelitain dan Pengembangan Kehutanan. Bogor.
- Nugraha, S., Sudarwanto, S., Sutirto, T.W., Sulastoro. 2006. *Potensi dan Tingkat Kerusakan Sumberdaya Lahan di Daerah Aliran Sungai Samin Kabupaten Kranganyar dan Sukoharjo Propinsi Jawa Tengah Tahun 2006. Laporan Penelitian*. Surakarta : LPPM UNS.

## **Skenario *Supply Dan Demand* untuk Pencapaian Target Sanitasi Penyediaan Air Minum Kota Semarang Tahun 2015 Hingga 2030**

**Arya Rezagama**

Jurusan Teknik Lingkungan, UNDIP  
Jln. Prof Soedharto No 1 Tembalang Semarang  
aryarezagama@gmail.com

**Arwin Sabar**

Jurusan Teknik Lingkungan, ITB  
Jln Ganesha 10, Bandung

### **ABSTRAK**

*Abstrak: Pertumbuhan penduduk dan peningkatan gaya hidup menyebabkan kebutuhan air di Kota Semarang meningkat pesat sementara hingga kini cakupan Semarang air minum terbatas. Pada tahun 2015 MDG menargetkan 75% daerah terlayani dengan kebutuhan pasokan rata-rata air sekitar 3.442 l / s, dan proyeksi pada tahun 2030 dibutuhkan 4.727 l / s pada tingkat 100% dari layanan. Kondisi kontinuitas sumber air yang ada baik dari Saluran air baku Klambu- Kudu, Sungai Garang, ABT, sungai babon memiliki tantangan masing-masing yang khas. Di sisi lain, suplai air tanah menjadi semakin menurun sehingga perlu sumber pengganti pasokan air. Skenario SPAM Semarang untuk memenuhi peningkatan Pasokan Air, dijelaskan dalam kebijakan Jangka Pendek (75% terlayani) sesuai dengan MDGs pada tahun 2015, 2020 Jangka Menengah (85% terlayani) dan Long Term Semarang pada tahun 2030 (100% terlayani) memerlukan strategi dan prioritas jangka panjang. Pengembangan pasokan air merupakan kunci untuk SPAM berasal dari Semarang Barat Waduk Jatibarang dioperasikan 2015 Tahap I (Q = 500 LPS) dan fase II tahun 2020 (Q = 1000Lps). Selain itu, ada pasokan potensi sungai Blorong pasokan 200 l / s dan pramuka sungai 300 l / detik.*

**Kata kunci : Air Baku, Pelayanan Air Minum, SPAM Semarang**

### **I. PENDAHULUAN**

Kota Semarang sebagai ibukota Pusat Pemerintah Daerah Tingkat I Jateng yang berkembang menuju kota Metropolitan dan Kota Jasa. Maka, untuk mendukung kegiatan perkotaan sangat dibutuhkan infrastruktur Air Minum memadai. Pada goal ke tujuh, target ke sepuluh MDGs menyebutkan bahwa “Menurunkan Separuh Proporsi Penduduk Tanpa Akses terhadap Sumber Air Minum yang Aman dan Berkelanjutan serta Fasilitas Sanitasi Dasar pada 2015”. Hal ini di jabarkan pada Kebijakan Jangka pendek Kota Semarang dengan target aman pelayanan air minum program MDGs 2015 ialah sebesar 75 %. Pada akhir perencanaan pada tahun 2030 mencapai 100%.

Produk-produk peraturan dijiwai oleh semangat otonomi dan desentralisasi menegaskan kembali bahwa penyelenggaraan pelayanan publik kepada masyarakat di daerah termasuk pelayanan air minum merupakan tugas dan tanggung jawab kabupaten dan kota. Namun demikian Pemerintah Pusat dan Pemerintah Daerah Provinsi bertanggung jawab untuk turut menjamin penyelenggaraan pelayanan air minum yang memenuhi sasaran: kuantitas, kualitas dan kontinuitas.

Pasal 69 PP No 42 tahun 2008 tentang pengelolaan sumber daya air: mengutamakan penyediaan air untuk pemenuhan kebutuhan pokok sehari-hari dan irigasi bagi pertanian rakyat pada sistem irigasi yang sudah ada, menjaga kelangsungan penyediaan air untuk pemakaian air lain yang sudah ada dan memperhatikan penyediaan air untuk pemenuhan kebutuhan pokok sehari-hari bagi penduduk yang berdomisili di dekat sumber air dan/atau sekitar jaringan pembawa air.

Cakupan Layanan PDAM Kota Semarang tahun 2011 mencapai 58,68% dari Jumlah penduduk Kota Semarang sebanyak 1.507.826 dengan total produksi air baku sebesar 2.889,87 Lt/det. Semarang sebagai ibukota Jawa Tengah memiliki pertumbuhan penduduk dan ekonomi yang cukup signifikan membutuhkan analisis yang komprehensif mengenai kebutuhan permintaan air dan suplai air baku

Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) sangat terkait dengan ketersediaan air baku. Berbagai sumber alternatif air baku di masa mendatang seperti Waduk Jatibarang dapat menjadi salah satu andalan dalam peningkatan suplai air. Sedangkan pengembangan Sistem Pengolahan eksisting juga masih memiliki permasalahan dalam

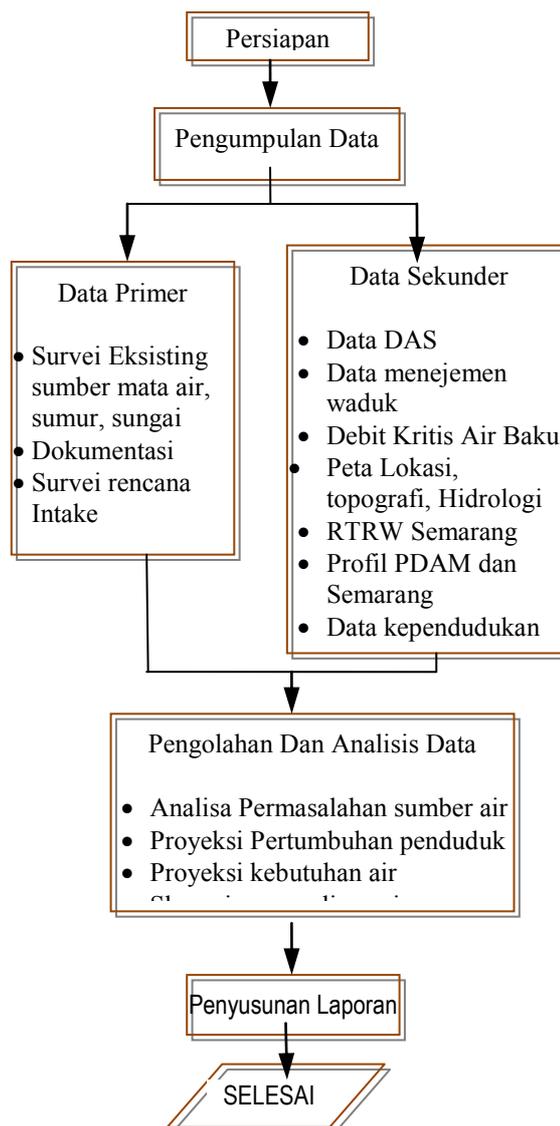
kontinuitas dan kualitas.

Terdapat tiga permasalahan yang dibahas dalam jurnal ini meliputi bagaimana proyeksi pertumbuhan kebutuhan air minum pada tahun 2015 (MDGs) hingga 2030? Bagaimana potensi sumber air baku dalam mensuplai kebutuhan air minum? Bagaimana skenario, dan tantangan akan penyediaan sumber air baku PDAM Kota Semarang terhadap kebutuhan air Kota Semarang?

## II. METODOLOGI

Metodologi penelitian dilakukan dalam beberapa tahapan meliputi persiapan, pengumpulan data, pengolahan dan analisa data, kesimpulan seperti pada gambar 1. Pengumpulan data primer dilakukan dengan observasi langsung di lapangan, perhitungan sumber air baku. Sedangkan data sekunder didapat melalui wawancara, dokumen dari instansi terkait. Data primer dan data sekunder dianalisa sesuai tujuan meliputi:

1. Analisis Permasalahan Sumber air Baku bertujuan untuk mengetahui kondisi eksisting yang kemudian dilakukan identifikasi permasalahan dalam pengembangan SPAM ke depan baik dari aspek teknis maupun manajemen. Identifikasi permasalahan di dapat dari wawancara terhadap operator, kondisi sumber, respon teknologi dan data historis kapasitas produksi sumber.
2. Proyeksi Pertumbuhan Penduduk merupakan kajian perbandingan analisa statistik regresi model linier, ekponensial dan logaritmik. Input data menggunakan jumlah penduduk selama sepuluh tahun terdahulu. Metode proyeksi yang terpilih memiliki nilai standar deviasi yang paling kecil dan nilai koefisien korelasi yang mendekati nilai 1.
3. Proyeksi Permintaan Air yang digunakan untuk menentukan jumlah kebutuhan air selama 20 tahun mendatang (tahun 2015-2030) Aspek-aspek yang perlu diperhatikan adalah :
  - Pertumbuhan jumlah penduduk dan fasilitas-fasilitas umum selama periode perencanaan.
  - Tingkat pemakaian air domestik dan non domestik.
  - Tingkat pelayanan air minum.
  - Jumlah kebocoran, kebutuhan hari maksimum, dan jam puncak.



Gambar 1. Metodologi Penelitian

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Proyeksi kebutuhan air minum Kota Semarang

Perhitungan kebutuhan air diawali dengan penghitungan proyeksi pertumbuhan jumlah penduduk. Wilayah perencanaan meliputi seluruh kecamatan di Kota Semarang yaitu Kecamatan Mijen, Gunungpati, Banyumanik, Gajah Mungkur, Semarang Selatan, Candisari, Tembalang, Pedurungan, Genuk, Gayamsari, Semarang Timur, Semarang Utara, Semarang Tengah, Semarang Barat, Tugu, Ngaliyan.

Metode proyeksi terpilih menggunakan statistik regresi linier. Jika dilihat dari pertumbuhan di setiap kecamatan maka terdapat variasi tingkat

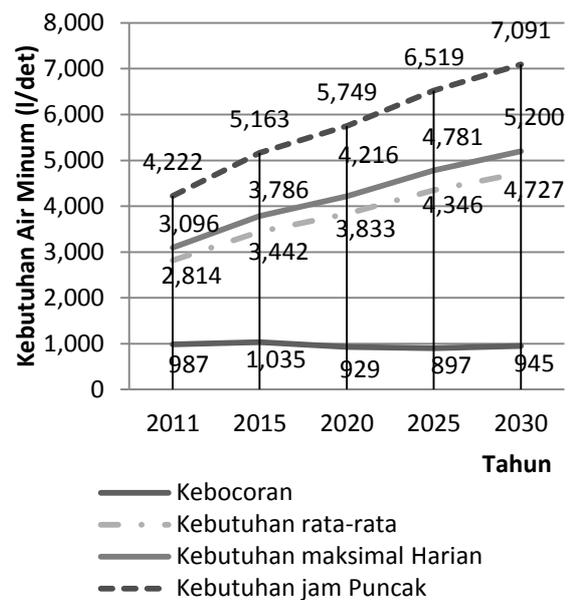
pertumbuhan penduduk. Peningkatan penduduk Kota Semarang disebabkan oleh penduduk yang datang dan lahir dengan proporsi rata-rata 60,04% per tahun lebih besar dibanding penduduk pindah dan penduduk yang mati. (BAPPEDA, 2009)

Pertumbuhan penduduk yang pesat terjadi di beberapa kecamatan seperti Tembalang, Mijen, Gunungpati, Gajahmungkur, Gayamsari, Semarang Barat, Tugu dan Ngaliyan. Pertumbuhan penduduk yang cepat dikarenakan tersedianya lahan pemukiman dengan harga yang lebih murah dari pada di daerah lain. Pengembangan perumahan dengan kepadatan sedang sampai dengan tinggi berada di wilayah di BWK IV, V, VI, VII, dan X. Pada BWK VIII, dan IX direncanakan dengan pembangunan Perumahan pada kepadatan rendah sampai sedang, namun pada analisa pertumbuhan penduduk didapatkan pertumbuhan yang signifikan cepat terutama di daerah Kecamatan Gunungpati dan Mijen. Jika dianalisa proyeksi 25 tahun ke depan dengan regresi linier maka pertumbuhannya mengikuti garis linier  $y = 22066x + 1E+06$  dengan nilai  $R^2 = 0.9964$ .

proyeksi pertumbuhan penduduk di Kota Semarang pada tahun 2015 mencapai 1.639.914 jiwa, tahun 2025 mencapai 1,860,574 jiwa dan tahun 2030 mencapai 2,081,234 jiwa.

Kebutuhan air domestik dipengaruhi oleh jumlah pemakaian air per orang per hari meliputi minum, mandi, mencuci, kebersihan pribadi dan keperluan-keperluan rumah tangga lainnya. Kebutuhan untuk keperluan domestik dipengaruhi oleh dua faktor yaitu jumlah penduduk dan tingkat pemakaian air domestik oleh penduduk.

Kawasan permukiman yang akan dikembangkan di wilayah pengembangan baru Kota Semarang adalah permukiman dengan kepadatan yang cukup tinggi terutama di wilayah barat. Persentase pelayanan selama 20 tahun direncanakan untuk tetap naik hingga tahun 2015 pada target sebesar 75% untuk perkotaan. Pada akhir perencanaan pada tahun 2030 mencapai 100%. Kebutuhan air yang digunakan untuk keperluan non domestik mencakup kebutuhan air untuk fasilitas pendidikan, pusat perbelanjaan, sarana kesehatan, fasilitas perkantoran, komersial, serta rekreasi dan olahraga. Perhitungan kebutuhan air untuk Non Domestik ditetapkan berdasarkan proyeksi pertumbuhan kawasan



**Gambar 2** Proyeksi pertumbuhan kebutuhan air minum 2011-2030

Pada tahun 2015 target MDGs 75% sebesar kebutuhan suplai rata-rata air sekitar 3.442 l/det dan pada tahun 2030 dibutuhkan 4.727 l/det pada tingkat pelayanan 100%. Kebutuhan ini sangat besar dibandingkan dengan suplai air bersih sekarang ini. Maka perlu ada skenario dalam penyediaan sumber air baku.

### B. Sumber Air Baku Kota Semarang

#### i. Sumber Air Baku Esisting

Sumber utama yang kini digunakan ialah Sungai Garang sebesar 1000 l/det. Daerah tangkapan Sungai Garang mencapai 204 km<sup>2</sup>, termasuk daerah tangkapan Sungai Kripik 934 km<sup>2</sup> dan Sungai Kreo 70 km<sup>2</sup>. Pada jalur Sungai Garang terdapat Bendung Simongan yang terletak 5,3 km dari muara sungai. Luas daerah genangan Sungai Garang mencapai sekitar 145 ha dengan kedalaman mencapai 2 m hingga 3 m (BAPPEDA, 2007).

Sumber lain ialah Sungai Babon dengan DAS seluas 77 km<sup>2</sup> berasal dari Gunung Ungaran mengalir ke arah utara menuju Laut Jawa. Bangunan Sungai utama yang ada di Sungai Babon adalah Bendung Pucanggading, yang terletak kurang lebih 13 km di hulu muara. Di hulu bendung sungainya dinamakan Sungai Gede yang dimanfaatkan untuk fasilitas pengambilan air irigasi dan fasilitas pengendalian banjir (BAPPEDA, 2007). Kondisi pemanfaatan Sungai Babon sebesar 50 l/det dimana pada musim kemarau hanya dapat beroperasi 35 l/det. Dengan peningkatan area pemukiman,

ancaman pencemaran limbah domestik sangat besar di bagian hulu.

Sumber air baku Semarang timur disuplai dari saluran klambu-kudu sebesar 900 l/det. Kapasitas desain seharusnya mencapai 1200 l/det tidak optimal karena adanya pencurian air warga untuk pertanian, dan kebocoran saluran pembawa. Sumber air baku klambu-kudu di ambil dari Operasi Waduk Kedung Ombo. Sedangkan Waduk Kedung Ombo disuplai Sungai Serang bagian hulu dengan luas DTA 614 km<sup>2</sup> (Suharyanto, 2006).

Sumur bor Kawasan Selatan terpasang di pegunungan Kab/kota Semarang sebagian besar dipompakan ke reservoir Gunung Pati kemudian didistribusikan secara gravitasi. Sumur bor tidak dapat diandalkan untuk sumber air baku masa depan di mana terjadi penurunan kuantitas tahunnya karena pengambilan air tanah yang lebih cepat dari pengisian air tanah.

Disamping itu, terdapat sumber Mata Air Brongebow yang terpasang sejak zaman Belanda mengalami penurunan produksi air. Penurunan produksi air relatif lebih kecil dibanding ABT yang dipompakan ke permukaan tanah karena mata air keluar ke permukaan tanah karena morfologi akifer terpotong atau tanpa adanya paksaan dalam pengambilannya.

#### ii. Rencana alternatif sumber air baku

Pembangunan Waduk Jatibarang yang dimulai dari tahap Studi kelayakan tahun 1992 oleh JICA. Pada tahun 2006 mendapat persetujuan pinjaman dana pembangunan dan direncanakan pada tahun 2014 sudah dapat beroperasi (JICA, 2010). Waduk membendung Sungai Kreo di Dusun Talun Kacang, Kelurahan Kandri Kecamatan Gunungpati atau tepatnya disebelah utara lokasi wisata Goa Kreo. Waduk Jatibarang direncanakan disamping untuk pengendalian banjir, memenuhi kebutuhan air domestik dan industri kota Semarang, pengembangan pariwisata dan perikanan. (BAPPEDA, 2007)

Kapasitas efektif sebesar 20.400.000 m<sup>3</sup> dialokasikan untuk pemanfaatan air dan pengendalian banjir dari sudut pandang ekonomi. Rencana suplai air baku dari waduk Jatibarang mencapai 1000 l/det yang di ambil dari hilir pembuangan waduk. Pemanfaatan ini akan dibagi menjadi dua tahap pengambilan sebesar 500 l/det terlebih dahulu.

Sumber alternatif lain ialah Sungai Blorong yang terletak di sebelah barat kota dengan daerah

tangkapan seluas 157 km<sup>2</sup>: Pada jalur sungai ini dibangun sebuah bendung (Bendung Pengilon) yang berfungsi sebagai bendung irigasi. Pada pengamatan sesaat didapatkan kesimpulan sementara pemanfaatan sumber air baku sebesar 200 l/det. Sedangkan debit banjir dua puluh lima tahunan sebesar 772 m<sup>3</sup>/det. (BAPPEDA, 2007).

#### C. Skenario, dan tantangan akan penyediaan sumber air baku PDAM Kota Semarang terhadap kebutuhan air Kota Semarang

Strategis Pengembangan SPAM Kota Semarang harus selaras dengan laju Kebutuhan air Minum. Tingkat pelayanan Air Minum yang hanya (59%), memberikan peluang para konsumen untuk mengeksploitasi air tanah berlebihan. Maka terjadi penurunan muka air tanah yang ditandai dari Sumur Bor terpasang di Kota Semarang tahun 1989 sebanyak 24 buah dengan debit 110 Lps dan pada tahun 2011 sumber air tanah tersisa 8 (delapan) Sumur Bor total produksi dengan debit hanya 23 Lps. Berdasarkan kenyataan yang ada pada akhir Abad XX produksi Sumur Bor di berbagai Kota Metropolitan Indonesia (Jakarta, Bandung, Semarang) menempuh kebijakan pengembangan SPAM Substitusi ABT dengan Sumber Air permukaan dalam upaya mencegah terjadinya subsidence dan harga produksi ABT yang tidak kompetitif (Sabar, 2008).

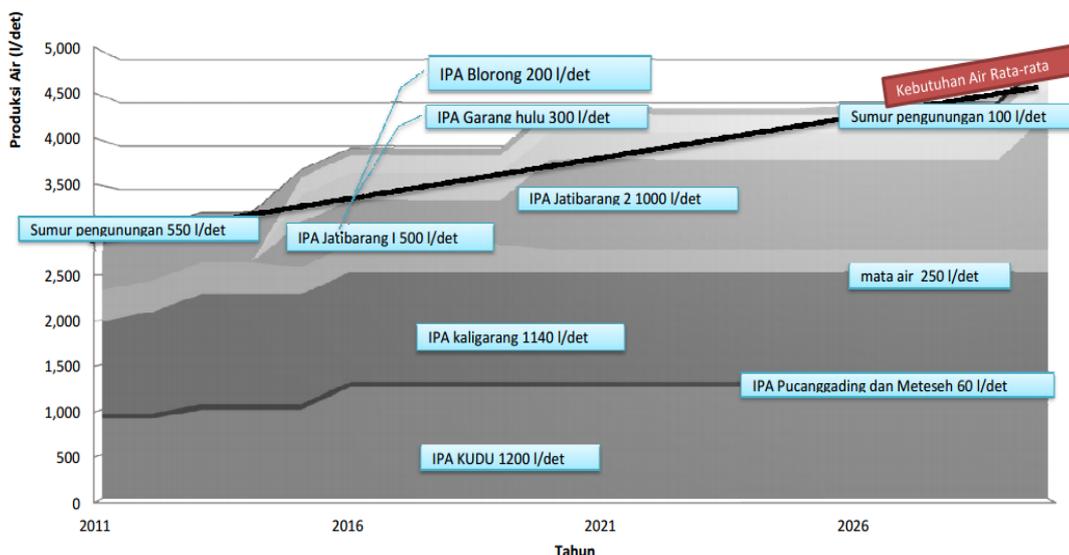
Kebijakan strategis Pengembangan SPAM Kota Semarang antara lain: memenuhi laju kebutuhan Air Minum & menggantikan sumber ABT dengan membangun Waduk Multiguna Jatibarang di DAS Kreo. Rencana Sumur Bor terpasang di Kab. Semarang akan disubstitusi oleh sumber air baku dari DAS Garang Hulu sedangkan Sumur Bor terpasang di Kab. Kendal akan disubstitusi oleh Sumber Air dari DAS Blorong Hulu.

Laju Cakupan pelayanan air meningkat bertahap dari tahun 2011 (59 %) tahun 2015(75%), 2020(85%) dan 2030(100%) sesuai dengan laju kebutuhan air minum Kota Semarang dimana SPAM Semarang Barat mulai dioperasikan tahap I tahun 2015 (500 Lps) dan tahap II tahun 2020(1000 Lps) sedangkan SPAM Garang Hulu dapat di operasi tahap I tahun 2015(300 Lps) sebagai pengganti produksi Sumur Bor Kabupaten Semarang, demikian juga SPAM Blorong menggantikan Sumur Bor Kabupaten Kendal dapat dioperasikan tahap I tahun 2015 (200 Lps), dengan argumen degradasi produksi ABT & Konflik Interest sumber air wilayah administratif Kab/kota dan harga produksi ABT semakin tidak kompetitif.

Sumber air baku yang perlu di kembangkan pada target MDGs 2015 ialah waduk jatibarang 500 l/det, Sungai Blorong 200 l/det, serta optimalisasi saluran klambu-kudu hingga 1250 l/det Penggunaan sumur di pegunungan di pertahankan hanya 80 l/det dari ABT di daerah gunungpati, sedangkan ABT di Kendal sebaiknya di matikan di ganti dengan sumber Sungai Blorong. Perlu upaya yang tinggi untuk mencapai target tersebut yang tentunya melibatkan berbagai pihak baik dari PDAM, Dinas Ciptakarya, PSDA, PEMDA.

Sedangkan pengembangan pasca MDGs 202030

ialah optimalisasi waduk jatibarang menjadi 1500 l/det yang tentunya perlu dilakukan studi yang komprehensif terlebih dahulu. Tidak tertutup kemungkinan adanya sumber air baku baru dari bendung lain yang akan di bangun pada masa mendatang sesuai rencana RPJM Kota Semarang. Pengembangan air baku juga perlu diimbangi dengan upaya konservasi lahan Daerah Aliran Sungai yang berada pada hulu. Sebagian besar hulu sungai semarang berada dalam Kabupaten Ungaran dan Kabupaten Kendal.



**Gambar 3 Skenario Suplai dan Kebutuhan air penduduk Kota Semarang (2011-030)**

#### IV. KESIMPULAN

Laju kebutuhan air Kota Semarang meningkat dengan pesat sedangkan cakupan pelayanan air minum PDAM Kota Semarang terbatas (59 %). Pada tahun 2015 target MDGs 75% sebesar kebutuhan suplai rata-rata air sekitar 3.442 l/det dan pada tahun 2030 dibutuhkan 4.727 l/det pada tingkat pelayanan 100%. Kebutuhan ini sangat besar dibandingkan dengan suplai air bersih sekarang ini.

Kondisi sumber air baku eksisting baik dari Sungai Garang, ABT, Sungai Babon terkendala masalah kontinuitas dan kualitas. Saluran klambu-kudu memiliki masalah kebocoran yang tinggi sehingga debit yang didapatkan tidak sesuai dengan perncanan. Kondisi suplai ABT kian lama semakin menurun sehingga perlu penggantian suplai air.

Skenario SPAM Kota Semarang untuk memenuhi peningkatan Pelayanan Air Minum, dijabarkan dalam kebijakan Jangka Pendek (75%) sesuai MDGs 2015, Jangka Menengah 2020 (85%)

dan Semarang Jangka Panjang 2030 (100%) ..Kunci Pengembangan suplai air berada pada SPAM Semarang Barat yang berasal dari Waduk Jatibarang dioperasikan tahap I tahun 2015 ( Q=500 Lps) dan tahap II tahun 2030 (Q=1500Lps) . Selain itu, terdapat potensi suplai suplai dari Sungai Blorong sebesar 200 l/det dan Sungai pramuka sebesar 300 l/det.

#### DAFTAR PUSTAKA

- BAPPEDA. *Master Plan Drainase Kota Semarang*. Semarang: BAPPEDA, 2007.
- . *Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD) Kota Semarang Tahun 2010-2015* . Semarang: BAPPEDA, 2009.
- Dahlan, Tri Andari. *Pelaksanaan Pengadaan Tanah Guna Proyek Pembangunan Waduk Jatibarang Di Kota Semarang* . Semarang: Universitas Diponegoro, 2007.

- JICA. *Pengelolaan Sumber Daya Air Dan Pengendalian Banjir Secara Terpadu Untuk Kota Semarang*. Semarang, 2010.
- NN, UU no 7 tahun 2004 tentang Sumber Daya Air
- NN, PP no 16 tahun 2005 tentang Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM)
- NN, PP No 42 tahun 2008 tentang pengelolaan sumber daya air
- Suharyanto. *Kajian Khusus Pembangunan Resort de Kraton di Waduk Kedung Ombo di Kabupaten Sragen*. Semarang, 2006.
- Sabar, Arwin. *Dampak Degradasi Rezim Hidrologi Di Kawasan Andalan*. Bandung :ITB, 2008

## **SVLK Mendorong Tata Kelola Lingkungan pada Industri Furnitur di Jepara**

**Helmi Ferdian**

Magister Ilmu Lingkungan Undip, Jl Imam Bardjo No 5 Semarang  
helmi.alzafara@gmail.com

**Purwanto**

Fakultas Pascasarjana Undip, Jl Imam Bardjo No 5 Semarang  
purwanto@undip.ac.id

**Haryo Santoso**

Fakultas Teknik Undip, Jl Prof Sudharto Semarang  
haryokrmt@gmail.com

### **ABSTRAK**

*SVLK merupakan sistem lacak balak produk kayu yang dikembangkan pemerintah Indonesia untuk meyakinkan pasar bahwa bahan baku yang dipergunakan legal. Industri furnitur yang menginginkan sertifikat SVLK harus telah memiliki Dokumen Lingkungan (AMDAL/UKL-UPL/SPPL) dan melakukan pelaporan rutin seperti kewajibannya yang tercantum dalam izin lingkungannya. Jepara merupakan salah daerah yang menjadi pusat industri furnitur di Indonesia. Sejak diberlakukannya SVLK secara wajib, terjadi peningkatan yang signifikan dalam penyusunan UKL UPL/DPLH oleh Industri furnitur di Jepara, Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh SVLK dalam mempengaruhi industri furnitur untuk menyusun UKL UPL/DPLH.*

*Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif analitik dengan metode survey terhadap sampel terpilih. Sumber data meliputi data primer dari kuisisioner perusahaan dan wawancara dengan instansi pemerintah dan SVLK. Analisis data menggunakan statistika distribusi frekuensi. Data yang berupa deskripsi narasi, kualitatif akan dikelompokkan tersendiri sebagai pendukung dalam penyusunan laporan. Populasi dari penelitian adalah Industri furnitur di Jepara yang telah memiliki UKL UPL/ DPLH dan melakukan pelaporan implementasi 6 bulanan secara rutin, Sample terdiri dari 20 Perusahaan furnitur. Hasil penelitian tersebut diketahui 90 % perusahaan furnitur yang ada di Jepara menyusun UKL UPL/DPLH dan/atau melakukan pelaporan implementasinya setelah mengetahui dokumen tersebut dipersyaratkan oleh SVLK.*

**Kata kunci : SVLK, dokumen lingkungan.UKL UPL, DPLH, Industri Furnitur**

### **I. PENDAHULUAN**

Munculnya SVLK dilatar belakangi oleh inisiatif pemerintah untuk mengatasi pembalakan liar dan mempromosikan kayu legal di Indonesia. Mengacu pada Permenhut P.38/Menhut-II/2009 SVLK didefinisikan sebagai persyaratan untuk memenuhi legalitas kayu/produk yang dibuat berdasarkan kesepakatan stakeholder kehutanan yang memuat standard, kriteria, indikator, verifier, metode verifikasi, dan norma penilaian. Adanya SVLK diharapkan mampu menjamin kelestarian pengelolaan hutan dan/atau legalitas kayu serta ketelusuran kayu sehingga tidak akan ada lagi aktivitas asal menebang pohon, asal menjual, ataupun asal membeli kayu dengan demikian kayu yang ada di pasaran dapat dipertanggung jawabkan legalitasnya.

Sistem Verifikasi Legalitas Kayu (SVLK) yang mulai diperkenalkan pada tahun 2009 dengan diundangkannya Permenhut No. P38/Menhut-

II/2009. Dalam peraturan tersebut SVLK belum diwajibkan kepada eksportir yang menggunakan produk kayu, melainkan hanya mewajibkan bagi perusahaan yang belum memiliki sertifikasi CoC. Skema SVLK menjadi bersifat wajib (*full mandatory*) bagi semua pemegang izin usaha kehutanan baik pengelolaan dan pemanfaatan hutan maupun pengolahan hasil hutan kayu, setelah diterbitkannya Peraturan Menteri Kehutanan No. P-68/MenhutII/2011 yang merupakan perubahan pertama atas Permenhut No. P38/Menhut-II/2009

Salah satu persyaratan yang wajib dimiliki perusahaan yang akan mengurus SVLK adalah kepemilikan dokumen lingkungan. Dokumen Lingkungan Hidup merupakan dokumen yang dibuat oleh pemrakarsa usaha dan/atau kegiatan untuk dijadikan pedoman dalam pengelolaan dan pemantauan lingkungan yang dipersyaratkan dalam izin usaha dan/atau kegiatan oleh instansi yang bertanggung jawab. Dokumen lingkungan dapat berupa AMDAL/UKL UPL ataupun SPPL

tergantung skala kegiatannya

Kabupaten Jepara merupakan salah satu daerah yang merasakan dampak langsung dari penerapan SVLK, karena Jepara merupakan salah satu daerah di Indonesia yang menjadi pusat berkembangnya industri furnitur dan menjadi *icon* internasional sebagai daerah penghasil meubel tradisional jati dimana sekitar 71 negara di lima benua tercatat telah mengimpor produk Jepara (Haryatno, 2006). Tercatat ada 561 perusahaan mebel/industri furnitur kategori besar dan sedang yang melakukan kegiatan ekspor (CIFOR, 2007)

Sejak diberlakukannya Peraturan Menteri Kehutanan No. P-68/MenhutII /2011 terjadi fenomena peningkatan penyusunan dokumen lingkungan oleh industri furnitur di Jepara. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui hubungan antara SVLK dengan penyusunan dokumen UKL UPL/ DPLH. Dengan mengetahui motivasi perusahaan mebel dalam menyusun UKL UPL/ DPLH, Pemerintah Daerah khususnya, dapat menerapkan strategi lanjutan untuk mengelola momentum tersebut dan mengarahkannya kepada pengendalian pencemaran di lingkungan industri.

## II. METODE PENELITIAN

Jenis penelitian ini adalah penelitian deskriptif analitik. Penelitian deskriptif dirancang untuk mengumpulkan informasi tentang keadaan-keadaan nyata sekarang yang sementara berlangsung (Cevilla dkk, 1993). Suatu penelitian deskriptif tidak mengadakan manipulasi atau perubahan pada variabel-variabel bebas, tetapi menggambarkan kondisi dengan apa adanya (Sukmadinata, 2006). Pendekatan dalam penelitian ini adalah menggunakan metode kuantitatif, sehingga data yang akan dihasilkan adalah data kuantitatif sebagai data utama sedangkan data kualitatif sebagai data penunjang.

Teknik pengumpulan data dilakukan dengan memberikan kuesioner kepada responden pada sampel perusahaan terpilih, yaitu jenis usaha/kegiatan yang telah menyusun UKL UPL dan melaporkan secara rutin implementasi pengelolaan dan pemantauannya.

Pengambilan sampel penelitian dilakukan menggunakan teknik *convenience sampling* atau sering disebut teknik insidental, yaitu perolehan sampel yang tidak direncanakan terlebih dahulu, melainkan secara kebetulan tersedia bagi peneliti saat pengumpulan data dilakukan.

Analisis data dilakukan dengan memberikan

skor pada pertanyaan-pertanyaan kuisisioner yang disusun mirip skala likert. Untuk melengkapi analisis dilakukan pengambilan data melalui wawancara terhadap Badan Lingkungan Hidup Kabupaten Jepara dan Lembaga Verifikasi Legalitas Kayu (LVLK).

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. SVLK sebagai peraturan yang berbasis lingkungan hidup

Berdasarkan Undang Undang No 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup pada pasal 14 pada huruf i disebutkan bahwa peraturan perundang-undangan berbasis lingkungan hidup merupakan salah satu instrumen pencegahan pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup. Sistem Verifikasi Legalitas Kayu (SVLK) bisa menjadi satu diantaranya.

SVLK muncul dilatarbelakangi oleh ketidakpercayaan konsumen terhadap legalitas hasil hutan di Indonesia. Indonesia telah menjelma menjadi salah satu negara yang memiliki laju kerusakan hutan paling parah yaitu 1,8 juta hektar per tahun akibat penebangan liar (Seneca, 2004 dalam Hidayat & Samekto, 2007). Untuk menaikkan citra terhadap produk hasil hutan, Pemerintah Indonesia merespon dengan memperkenalkan sistem lacak balak kayu yang dikenal dengan SVLK pada tahun 2009 melalui Permenhut No. P38/Menhut-II/2009.

Melalui sertifikasi SVLK tersebut, kayu yang ada di pasaran dapat dipertanggung jawabkan legalitasnya. Sehingga tidak akan ada aktivitas menebang pohon, menjual, dan membeli kayu dengan asal-asalan lagi. Dengan begitu, konsumen di luar negeri tidak perlu lagi meragukan legalitas kayu dari Indonesia. Para petani dan pengusaha furnitur dapat meyakinkan pembeli dari luar negeri akan keabsahan kayu yang digunakan sehingga akan menaikkan nilai jual produk mereka.

Proses pemeriksaan SVLK meliputi pemeriksaan keabsahan asal usul kayu dari pengambilan kayu hingga menjadi produk. Dimulai dari pemeriksaan izin usaha pemanfaatan, tanda-tanda identitas pada kayu dan dokumen yang menyertai kayu dari proses penebangan, pengangkutan dari hutan ke tempat produksi kayu, proses pengolahan hingga proses pengepakan dan pengapalan (LEI, 2013)

### **B. SVLK mampu meningkatkan kepercayaan pasar terhadap produk hutan Indonesia**

Saat ini isu lingkungan menjadi suatu hal yang tak terpisahkan dari suatu produk barang dan jasa. Kesadaran dari konsumen akhir (*end user*) utamanya masyarakat Eropa untuk menggunakan produk yang ramah lingkungan ataupun diproduksi tanpa merusak lingkungan semakin tinggi. Oleh sebab itu untuk merangkul pasar Eropa agar bersedia menerima produk kayu dari hasil hutan Indonesia, Pemerintah Indonesia membutuhkan peraturan berbasis lingkungan hidup yang sejalan dengan FLEGT (Forest Law Enforcement Governance and Trade) yang diadopsi oleh Uni Eropa. FLEGT merupakan skema kerjasama untuk memastikan bahwa hanya kayu yang dipanen secara legal yang boleh diimpor UE dari negara-negara yang turut serta dalam skema ini.

Pada tanggal 30 September 2013 di Brussel (Belgia) terjadi penandatanganan Persetujuan Kerjasama antara Indonesia dan Uni Eropa (UE) dalam Penegakan Hukum, Tata Kelola, serta Perdagangan Bidang Kehutanan atau Voluntary Partnership Agreement on Forest Law Enforcement Governance and Trade (FLEGT-VPA) oleh Menteri Kehutanan Republik Indonesia Zulkifli Hasan, Komisioner Eropa Bidang Lingkungan Janez Potočnik, dan Menteri Lingkungan Hidup Lithuania Valentinas Mazuronis yang merupakan Presidensi Uni (dephut.go.id, 2013)

Dengan demikian SVLK menjadi sistem penjaminan legalitas kayu pertama di dunia yang pelaksanaannya sejalan dengan asas-asas dalam FLEGT. Persetujuan ini mencakup sistem lisensi atas produk kayu yang diekspor dari Indonesia ke negara anggota UE harus berdasarkan SVLK

### **C. SVLK mengikat perusahaan melakukan pengelolaan lingkungan**

Pengelolaan lingkungan merupakan upaya pengelolaan sumber daya alam. Otto Sumarwoto dalam bukunya yang berjudul *Atur Diri Sendiri : Paradigma Baru Pengelolaan Lingkungan Hidup* (2001) mendefinisikan pengelolaan lingkungan sebagai usaha sadar dan berencana untuk mengurangi dampak kegiatan terhadap lingkungan hidup sampai pada tingkat yang minimum dan untuk mendapatkan manfaat yang optimum dari lingkungan hidup untuk mencapai kesejahteraan yang berkelanjutan. Adanya ketimpangan yang terjadi antara kegiatan ekonomi serta pengelolaan lingkungan saat ini menyebabkan kerusakan lingkungan yang parah. Eksternalitas negatif yang

dihasilkan oleh kegiatan ekonomi yang menghasilkan residu atau pencemaran membuat lingkungan hidup menjadi tidak seimbang. Untuk mengatasi hal ini sikap dan kelakuan masyarakat termasuk para birokrat harus dirubah agar lebih ramah lingkungan. Menurut Otto Sumarwoto (2001) usaha tersebut dapat dilakukan dengan tiga cara. Ketiganya ini mendasarkan diri pada sifat manusia yang dominan yaitu egoisme.

Cara pertama ialah dengan instrumen pengaturan dan pengawasan. Tujuannya adalah untuk mengurangi pilihan pelaku dalam usaha pemanfaatan lingkungan hidup. Pemerintah membuat peraturan dan mengawasi kepatuhan pelaksanaannya. Ketidapatuhan dikenakan sanksi denda dan/atau kurungan. Sistem seperti ini dikenal dengan Atur dan Awasi (ADA) atau *Command And Control* (CAC).

Cara kedua adalah dengan instrumen ekonomi. Tujuannya untuk mengubah nilai untung relatif terhadap rugi bagi pelaku dengan memberikan insentif dan disinsentif ekonomi. Instrumen ini diadvokasi oleh para pakar ekonomi. Contohnya adalah pengurangan pajak produksi untuk perusahaan yang telah menggunakan alat yang hemat energi, kemudahan ekspor untuk perusahaan yang ramah lingkungan dan pemberian denda untuk pelanggar peraturan. Pendekatan ini sebenarnya tidak merubah sistem nilai pelaku terhadap lingkungan. Mereka bersikap dan berlaku lebih ramah lingkungan karena mendapatkan keuntungan ekonomi, bukan karena mencintai lingkungan hidup.

Cara ketiga adalah dengan instrumen suasis, yaitu mendorong masyarakat secara persuasif bukan dengan paksaan. Dalam kondisi ini proses pengambilan keputusan pelaku didorong untuk mencegah prioritas pilihan yang lebih menguntungkan lingkungan dan masyarakat. Instrumen ini terdiri atas pendidikan, latihan, penyebaran informasi melalui media. Tujuan jangka panjangnya ialah nilai-nilai yang diajarkan dapat diinternalkan sehingga mengakibatkan perubahan permanen dan akhirnya membudaya.

Dalam Undang-Undang No.32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, ke-3 cara tersebut menjadi dasar dari instrumen pencegahan pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup yang disebutkan dalam pasal 14 yang jumlahnya ada 13 instrumen. Pada dasarnya agar pengelolaan lingkungan dapat berjalan efektif harus ada integrasi dari ke-13 instrumen-instrumen tersebut. SVLK mampu mengintegrasikan beberapa instrumen tersebut menjadi sebuah sistem

yang saling berkaitan. SVLK muncul sebagai aturan yang berbasis lingkungan hidup yang telah mengintegrasikan AMDAL, UKL UPL, Perijinan bahkan juga instrumen ekonomi menjadi satu kesatuan. Untuk memperoleh S-LK, industri furnitur harus memiliki legalitas usaha, menyusun AMDAL/UKL UPL dan laporan implementasinya bahkan kegiatan ekspor tidak dapat berjalan tanpa memiliki S-LK. Karena syarat kepastian terhadap kegiatan produk kehutanan harus memiliki S-LK tersebut.

#### **D. Dokumen Lingkungan sebagai syarat SVLK**

AMDAL dan UKL UPL merupakan jenis dokumen lingkungan hidup seperti yang disebutkan dalam Peraturan Pemerintah Nomor 27 Tahun 2012 tentang Izin Lingkungan maupun Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 16 Tahun 2012 tentang pedoman penyusunan, dokumen lingkungan. Selain AMDAL dan UKL UPL, ada SPPL yang merupakan dokumen lingkungan untuk kegiatan/usaha yang berskala kecil

Dokumen Lingkungan Hidup tersebut disusun oleh pemrakarsa usaha dan/atau kegiatan untuk dijadikan pedoman dalam pengelolaan dan pemantauan lingkungan yang dipersyaratkan dalam izin usaha dan/atau kegiatan oleh instansi yang bertanggung jawab. Dokumen lingkungan yang disusun oleh pemrakarsa tersebut kemudian dinilai atau diperiksa oleh Instansi yang menangani lingkungan hidup. AMDAL yang telah dinilai dan dinyatakan layak lingkungan akan diterbitkan SK Kelayakan Lingkungan dan UKL UPL yang telah diperiksa dan direvisi sesuai arahan akan diberikan rekomendasi UKL UPL. SK Kelayakan Lingkungan dan Rekomendasi UKL UPL inilah yang akan menjadi dasar terbitnya izin lingkungan. Izin lingkungan tidak diberikan kepada kegiatan/usaha berskala kecil yang menyusun SPPL.

Izin lingkungan menjadi syarat yang harus dipenuhi oleh Industri furnitur. Industri Furnitur yang ingin mendapatkan S-LK, sertifikat yang dikeluarkan oleh SVLK, harus wajib memenuhi 4 prinsip yaitu prinsip legalitas usaha, legalitas dan penelusuran kayu, pemasaran dan ketenagakerjaan. Dokumen lingkungan digunakan untuk memenuhi prinsip legalitas usaha.

Berdasarkan hasil wawancara dengan Arief Eko Prastetyo, Verifikator SVLK dari Sucofinco, bahwa untuk lolos verifikasi legalitas usaha, AMDAL/UKL UPL/SPPL dan laporan implementasi 6 bulanan dari dokumen tersebut harus tersedia dan sudah dilegalisasi oleh instansi

lingkungan hidup. Dalam pamflet yang dirilis oleh World Wide Fund for Nature (WWF) Indonesia yaitu sebuah organisasi non-pemerintah internasional yang menangani masalah-masalah tentang konservasi, penelitian dan restorasi lingkungan disebutkan ada 10 dokumen yang wajib dipenuhi untuk memenuhi prinsip legalitas usaha dan yang nomor tujuh adalah AMDAL/ UKL UPL/ SPPL (WWF Indonesia,2014)

#### **E. SVLK mendorong perusahaan untuk menyusun UKL UPL**

Berdasarkan informasi yang diperoleh dari BLH Jepara, belum ada industri furnitur di kabupaten Jepara yang wajib AMDAL. Seluruh industri furnitur yang ada terkategori wajib UKL UPL dan SPPL.

UKL UPL atau Upaya Pengelolaan Lingkungan Hidup dan Upaya Pemantauan Lingkungan Hidup adalah dokumen lingkungan yang berisi komitmen dan acuan upaya-upaya pengelolaan lingkungan hidup maupun pemantauan lingkungan hidup yang wajib dilakukan oleh penanggung jawab usaha dan/atau kegiatan yang tidak wajib AMDAL sesuai Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2012. Dalam UKL UPL ada kewajiban dari perusahaan untuk melaporkan hasil pemantauan secara berkala terhadap kegiatan pengelolaan yang dilakukan.

Sedangkan SPPL singkatan dari Surat Pernyataan Pengelolaan dan Pemantauan Lingkungan yang adalah dokumen pengelolaan lingkungan yang berupa Surat Pernyataan Pengelolaan dan Pemantauan Lingkungan yang dibuat oleh penanggung jawab usaha dan/atau kegiatan. SPPL hanya boleh disusun oleh industri furnitur yang berskala kecil atau dampaknya terhadap lingkungan tidak berpengaruh signifikan. Di Kabupaten Jepara penapisan terhadap kegiatan yang wajib UKL UPL atau SPPL diatur didalam Peraturan Bupati Jepara No. 5 Tahun 2012 tentang Jenis Rencana Usaha dan atau Kegiatan yang Wajib dilengkapi UKL UPL atau SPPL. Kegiatan/Usaha yang menyusun SPPL tetap wajib mengelola dampak yang mungkin ditimbulkan tetapi tidak berkewajiban memantau dan melaporkan hasil dari kegiatan pengelolaannya secara rutin seperti kewajiban yang melekat pada industri yang wajib UKL UPL.

Sebelum diundangkannya Peraturan Menteri Kehutanan No. P-68/MenhutII/2011 yang mewajibkan diberlakukan SVLK terhadap semua pemegang izin usaha kehutanan baik pengelolaan

dan pemanfaatan hutan maupun pengolahan hasil hutan kayu, dari data yang diperoleh di BLH Jepara diketahui bahwa industri furnitur di Jepara yang telah memiliki UKL UPL hanya berjumlah 11 Perusahaan. Semua industri tersebut berstatus PMA. Menurut sumber dari BLH perusahaan tersebut menyusun UKL UPL karena menjadi syarat yang harus dipenuhi perusahaan dalam mengurus ijin SPMA.

Hasil wawancara tersebut sama dengan hasil kuisioner yang didapat dari industri furnitur. Perusahaan yang telah memiliki UKL UPL sebelum diwajibkan SVLK beralasan bahwa perusahaan menyusun UKL UPL saat itu karena untuk memenuhi persyaratan perijinan.

Setelah adanya SVLK yang mana kepemilikan dokumen lingkungan merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi maka hal tersebut dijadikan momentum BLH Jepara untuk melakukan penataan dan penertiban terhadap perusahaan yang menginginkan rekomendasi lingkungan dan atau izin lingkungan. Di Jepara rekomendasi lingkungan (sebelum keluarnya PP Nomor 27 Tahun 2012) atau izin lingkungan juga dijadikan sebagai prasyarat bagi perusahaan untuk dapat memiliki HO atau Ijin Gangguan. Usaha BLH Jepara dalam mensosialisasikan dokumen lingkungan dengan dukungan momentum SVLK tersebut telah berhasil mendapatkan perhatian dari para pelaku industri furnitur untuk taat terhadap aturan perundang-undangan lingkungan hidup. Terutama UKL UPL/DPLH yang pada awalnya dianggap berat dan menjadi beban pekerjaan maupun biaya bagi perusahaan. Perbandingan tersebut dapat dilihat pada tabel 1.

Perusahaan yang telah memiliki UKL UPL/DPLH wajib menyusun dan melaporkan hasil kegiatan pengelolaan yang dilakukan. Didalam pasal 53 PP No. 27 Tahun 2012 disebutkan bahwa kewajiban pemegang izin lingkungan adalah membuat dan menyampaikan laporan pelaksanaan terhadap persyaratan dan kewajiban dalam Izin Lingkungan kepada Menteri, gubernur, atau bupati/walikota. Laporan yang dimaksud adalah laporan implementasi UKL UPL, yaitu laporan pemantauan terhadap upaya pengelolaan yang telah dilakukan oleh perusahaan sesuai dengan komitmennya didalam UKL UPL yang dimiliki perusahaan. Laporan tersebut wajib disampaikan secara berkala setiap 6 (enam) bulan.

Tabel 1. Jumlah Industri furnitur yang telah memiliki UKL UPL/DPLH

	Waktu Penyusunan UKL UPL/DPLH	Jumlah
1	Sebelum diwajibkannya SVLK	11
2	Setelah diwajibkannya SVLK	128

Hasil penelitian terhadap 20 industri furnitur di Jepara yang telah memiliki UKL UPL/ DPLH dan menyusun laporan implementasinya secara rutin diketahui bahwa SVLK memiliki hubungan yang sangat kuat dengan penyusunan UKL UPL oleh industri furnitur. Artinya, perusahaan bersedia menyusun UKL UPL/DPLH hanya karena dipersyaratkan oleh SVLK, belum karena adanya kesadaran lingkungan ataupun sebab-sebab lainnya.

Sebanyak 65 % perusahaan melakukan penyusunan dan melaporkan implementasi pelaksanaan UKL UPL/DPLH tersebut karena dipersyaratkan oleh SVLK, 25 % karena SVLK dan alasan lain dan hanya 10 % yang bukan karena SVLK sama sekali. Hasil penelitian selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hubungan Antara SVLK dan UKL UPL

	Kategori Hubungan	Skor Penilaian	Jumlah perusahaan yang berada di kategori	Prosentase (%)
1.	Tidak Berhubungan	5-11	2	10
2.	Berhubungan	12-18	5	25
3.	Berhubungan Erat	19-25	13	65

Lebih lanjut diketahui bahwa 80 % industri furnitur baru mengetahui tentang UKL UPL/DPLH melalui program SVLK. SVLK menjadi motivasi perusahaan dalam menyusun UKL UPL/DPLH. Tanpa kepemilikan dokumen tersebut, perusahaan tidak dapat memperoleh S-LK dan tidak dapat melakukan kegiatan ekspor sendiri mengingat SVLK telah diintegrasikan dalam syarat kepastian.

Dalam hal ini unsur ekonomi menjadi motivasi yang dominan bagi perusahaan dalam mengikuti SVLK. Artinya Industri furnitur melakukan pemenuhan syarat SVLK termasuk menyusun UKL UPL/ DPLH karena didominasi oleh faktor ekonomi bukan karena adanya unsur denda, sanksi atau bahkan dari kesadaran diri sendiri.

#### IV. KESIMPULAN

##### Kesimpulan

1. SVLK sebagai sebuah aturan yang berbasis lingkungan hidup telah mengintegrasikan beberapa instrumen pencegahan pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup menjadi sebuah sistem yang saling berkaitan. Salah satu instrumen tersebut adalah UKL UPL sebagai dokumen yang wajib dimiliki industri furnitur untuk memenuhi prinsip legalitas usaha dalam SVLK.
2. Aturan-aturan tentang dokumen lingkungan (AMDAL/UKL UPL/SPPL) dapat tersosialisasikan dan direspon dengan baik oleh industri furnitur setelah adanya program SVLK yang diwajibkan. Hal tersebut terjadi karena UKL UPL/DPLH beserta laporan implementasinya menjadi dokumen yang harus tersedia untuk memperoleh S-LK. Efek nyata tersebut dapat dilihat di Kabupaten Jepara yang mana penyusunan UKL UPL/DPLH Industri furnitur meningkat secara signifikan setelah aturan SVLK diwajibkan. Fenomena tersebut tidak terjadi pada industri yang lain di Jepara.
3. Unsur ekonomi dalam SVLK merupakan unsur yang paling dominan yang mampu mendorong industri furnitur dalam penyusunan UKL UPL/DPLH

##### Saran

1. Keberadaan SVLK sebagai sebuah sistem yang mampu merangkum beberapa instrumen pencegahan pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup harus dipertahankan dan disempurnakan. Penambahan instrumen pencegahan pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup seperti baku mutu lingkungan hidup, kriteria baku kerusakan lingkungan hidup ataupun audit lingkungan perlu dilakukan. Penyempurnaan tersebut akan lebih menjamin efektifitas pengelolaan lingkungan yang dilakukan industri furnitur.
2. Meningkatnya kuantitas perusahaan yang menyusun UKL UPL/DPLH beserta laporan implementasinya harus diimbangi dengan kualitas hasil pengelolaan lingkungan. BLH Jepara sebagai institusi yang bertanggung jawab membina dan memantau pelaksanaan pengelolaan lingkungan hidup harus mampu memanfaatkan momentum yang sudah terkondisi

tersebut dengan menyusun program-program yang dapat membantu perusahaan untuk mengatasi kendala-kendala dalam mengimplementasikan pengelolaan lingkungan di industri furnitur.

3. Efektifitas program pengelolaan lingkungan dapat ditingkatkan melalui pengkaitan dengan instrumen ekonomi lingkungan hidup. Pemerintah perlu menambah unsur ekonomi dalam menyusun sebuah kebijakan pelestarian dan pengelolaan lingkungan, sehingga dapat merangsang industri untuk taat dan bersedia mengelola lingkungan dengan lebih baik.

##### DAFTAR PUSTAKA

- Cevilla CG. dkk. 1993, Pengantar Metode Penelitian, Jakarta, Universitas Indonesia.*
- CIFOR (Center for International Forestry Research), 2007. Annual Report 2007, [http://www.cifor.org/publications/pdf\\_files/ARReports/AR2007.pdf](http://www.cifor.org/publications/pdf_files/ARReports/AR2007.pdf)*
- Haryatno D. Prabowo, 2006, Zero-Waste Industri Kayu: Capital Incentive atau Labour Intensive (www.puslitsosekhut. web.id diakses pada 30 November 2014)*
- Hidayat, A dan Samekto A, 2007, Penegakan Hukum Lingkungan Di era Otonomi Daerah, Semarang, Badan penerbit UNDIP.*
- Kementerian Kehutanan Republik Indonesia, Indonesia dan Uni Eropa Tandatangani Persetujuan Bersejarah Perdagangan Kayu dari Sumber Legal Nomor : S. 276/PHM-1/2013. Siaran Pers. (<http://www.dephut.go.id/index.php/news/details/9367>)*
- LEI (Lembaga Ekolabel Indonesia), 2013, Menjamin Kayu Legal Dari Hutan Kita: Sistem Verifikasi Legalitas Kayu (Versi Stakeholder) (www.lei.or. id diakses pada 27 September 2014)*
- Sukmadinata NS, 2006. Metode Penelitian Pendidikan, Bandung, Rosdakarya*
- Sumarwoto, Otto, 2001, Atur Diri Sendiri : Paradigma Baru Pengelolaan Lingkungan Hidup, Yogyakarta, Gajah Mada University Press.*
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 16 Tahun 2012 tentang Pedoman Penyusunan Dokumen Lingkungan*
- Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia Nomor : P.43/Menhut-II/2014 Tentang*

*Standar Dan Pedoman Penilaian Kinerja  
Pengelolaan Hutan Produksi Lestari Dan  
Verifikasi Legalitas Kayu Pada Pemegang  
Izin Atau Pada Hutan Hak*

*Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 32  
Tahun 2009 tentang Perlindungan dan  
Pengelolaan Lingkungan Hidup*

*WWF – Indonesia. Sistem Verifikasi Legalitas Kayu  
(SVLK). [http://awsassets.wwf.or.id  
/downloads/flier\\_svlk\\_gftn.pdf](http://awsassets.wwf.or.id/downloads/flier_svlk_gftn.pdf) diakses  
pada 21 Desember 2014*

## Kajian Daya Dukung Lahan Untuk Pembangunan Pertanian Berkelanjutan Di Kabupaten Merauke

Irba Djaja

Program Doktor Ilmu Lingkungan  
Pasca Sarjana Universitas Diponegoro  
plhdjaja@gmail.com

### ABSTRAK

*Kabupaten Merauke salah satu Kabupaten di Propinsi Papua yang dicanangkan sebagai Lumbung Pangan dan Energi Nasional dan Internasional Kegiatan tersebut diwujudkan dalam bentuk pengembangan MIFEE (Merauke Integrated Food And Energy Estate).*

*Tujuan dari makalah ini adalah untuk menginventarisasi potensi sumber daya lahan di Kabupaten Merauke. Kegunaannya diharapkan dapat memberikan masukan bagi Pemerintah Daerah Kabupaten Merauke guna mengevaluasi lahan, yang hasilnya dapat dijadikan dasar untuk menyusun arahan tata ruang dan pewilayahan komoditas, pertanian serta alih teknologinya.*

*Potensi lahan yang dapat dikembangkan untuk budidaya pertanian seluas 2.491.822 Ha berupa lahan basah sebesar 1.937.291 Ha dan lahan kering 554.531 Ha. Pada lahan basah terdapat tanah yang mengandung bahan sulfidik, dan tanah berkadar garam tinggi. Sedang di lahan kering ada tanah yang bertekstur pasir kuarsa, dan tanah yang berkonkresi besi. Tanah-tanah tersebut kurang atau tidak potensial untuk pertanian. Namun secara keseluruhan lahan di wilayah Kabupaten Merauke cukup berpotensi untuk pertanian, sehingga sangat mendukung untuk menjadikan kabupaten ini sebagai lumbung pangan nasional di Kawasan Timur Indonesia.*

**Kata kunci**–, *Pertanian, Program MIFEE dan Sumber Daya Lahan*

### IV. PENDAHULUAN

#### A. Latar Belakang

Pemerintah Pusat melalui program MP3EI untuk percepatan dan perluasan pembangunan ekonomi menjadikan provinsi Papua dan Kepulauan Maluku sebagai pusat pembangunan Ekonomi koridor 6. Kabupaten Merauke salah satu Kabupaten di Propinsi Papua telah dicanangkan sebagai Lumbung Pangan dan Energi Nasional dan Internasional dengan pertimbangan bahwa kawasan ini memiliki potensi lahan datar dan subur. Kegiatan tersebut diwujudkan dalam bentuk pengembangan MIFEE (*Merauke Integrated Food And Energy Estate*) merupakan kegiatan usaha budidaya tanaman skala luas yang dilakukan dengan konsep pertanian sebagai sistem industrial yang berbasis ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK), modal, serta organisasi dan manajemen modern.

Pengembangan lahan pertanian dan perkebunan untuk Program MIFEE tentunya akan berdampak langsung terhadap kebutuhan Sumber Daya Lahan. Tanaman membutuhkan lahan untuk hidup, oleh karena itu diperlukan rencana pengelolaan Sumber Daya Lahan yang terpadu agar dapat memenuhi kebutuhan seluruh stake holder dengan tetap menjaga ketersediaan lahan untuk masa mendatang.

Wilayah Kabupaten Merauke bagian selatan merupakan dataran rendah terbentuk dari bahan aluvium berupa endapan *fluvial* (sungai) dan endapan *marin* (laut), sedang wilayah bagian utara merupakan daerah *upland* yang topografinya berombak sampai berbukit terbentuk dari batuan sedimen (BBSDL Pertanian 2007). Sebagian besar wilayahnya beriklim kering, hanya sebagian kecil yang beriklim basah yaitu di wilayah bagian utara. Dengan adanya bulan-bulan kering yang nyata dan lama penyinaran matahari yang panjang akan sangat menguntungkan untuk budi daya tanaman pangan khususnya padi, jagung, dan kedelai. Namun, untuk keberhasilannya perlu memperhatikan masa tanam yang tepat agar tidak mengalami kekurangan air pada masa pertumbuhan vegetatif, dan tidak kelebihan air pada masa pertumbuhan generatif sesuai dengan persyaratan tumbuhnya (Djaenudin *et al.* 2003).

#### B. Permasalahan

Laju pertumbuhan penduduk dan perkembangan pembangunan Kabupaten Merauke menyebabkan terjadinya peningkatan kebutuhan akan lahan. Alih fungsi lahan dari lahan produktif dan hutan (sekunder) yang dapat dikonversi menjadi daerah pemukiman, perkantoran fasilitas dan

Perkebunan - HTI dan untuk Program MIFEE dan lainnya tidak dapat dihindari. Oleh karena itu, untuk mencegah terjadinya perubahan fungsi lahan tersebut diperlukan perencanaan program khususnya pemetaan lahan sesuai dengan jenis budidaya atau kegiatan pemanfaatan lahan lainnya yang tepat dan berkelanjutan sesuai dengan fungsinya dan potensinya sumber daya lahan.

### C. Tujuan dan Kegunaan

Tujuan dari makalah ini adalah untuk menginventarisasi potensi sumber daya lahan di Kabupaten Merauke. Kegunaannya diharapkan dapat memberikan masukan bagi Pemerintah Daerah Kabupaten Merauke guna mengevaluasi lahan untuk kegiatan perencanaan pembangunan Pertanian yang berkelanjutan.

## V. METODE

Penelitian potensi sumber daya lahan yang dilakukan melalui pendekatan analisis Deskriptif Analitik kualitatif terhadap potensi sumberdaya lahan di Kabupaten Merauke dan studi literatur. Data kualitas dan karakteristik lahan digunakan untuk evaluasi lahan, yang hasilnya dapat dijadikan dasar untuk menyusun arahan tata ruang dan perencanaan pembangunan Pertanian yang berkelanjutan.

## VI. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Kondisi Lahan Kabupaten Merauke

Secara umum lahan di Kabupaten Merauke dibagian selatan merupakan dataran aluvial yang sebagian berawa terbentuk dari bahan aluvium berupa endapan fluviatil (sungai), dan endapan marin (laut), topografinya datar dan/atau cekung. Wilayah bagian utara merupakan dataran tektonik terbentuk dari batuan sedimen dengan topografi berombak sampai berbukit. Perbedaan bentang alam yang kontras antara wilayah bagian selatan dan wilayah bagian utara sangat berpengaruh terhadap kondisi iklim dan sifat biofisik lingkungan, serta potensi lahannya (Dinas Tanaman Pangan dan Hortikultura, 2009).



Gambar1. Kondisi Penggunaan Lahan Kabupaten Merauke

Sumber. RTRW Kabupaten Merauke 2010-2030

Lahan di Kabupaten Merauke dikelompokkan menjadi daerah bawahan (*lowland*) dan daerah atasan (*upland*). Keadaan tanah kedua lingkungan tersebut sangat berbeda sehingga karakteristiknya tanahnya berbeda pula. Keadaan tanah daerah bawahan (*lowland*) umumnya tergenang/sering tergenang (jenuh air). Bahan induk tanah berasal dari endapan sungai, marin, organik. Tanah yang terbentuk dari bahan marin, tanahnya ada yang mengandung bahan sulfidik (pirit) dan terkena pasang surut air laut. Tanah di daerah bawahan (*lowland*) karakteristiknya banyak dipengaruhi oleh air karena lahannya umumnya sering tergenang.

Tanah-tanah yang terbentuk dari bahan induk aluvium dan marin, ditemukan di daerah cekungan, agak datar dan datar. Dengan demikian flutuasi air tanah sangat mendominasi rejim kelembaban tanahnya, yaitu bersifat aquik dengan drainase agak terhambat sampai sangat terhambat, penampang tanah dicirikan oleh berwarna kelabu dan terdapat karatan (*mottles*). Tanah-tanah tersebut telah mengalami alterasi diantaranya terdapat peningkatan liat dan oksidasi-reduksi, sehingga terbentuk horison kambik dengan ikutan gleiik. Tanah tersebut diklasifikasikan kedalam Endoaquepts (Gleisol Distrik/Eutrik).

Sepanjang pantai terdapat jalur tebing pantai yang berbahan induk dari endapan pasir laut. Endapan tersebut berupa endapan pasir kuarsa, yang belum ada tanda-tanda perkembangan profil. Tanah tersebut diklasifikasikan kedalam Udipsamments (Regosol Eutrik) dan Quartzipsamments (Regosol Kuarsik). Tanah di daerah atasan (*upland*) terjadi proses pencucian (*leaching*) dan pengendapan.

Bahan induk tanah berasal dari endapan batuliat dan batupasir. Landform yang terbentuk dikelompokkan ke dalam teras marin dan tektonik/struktural dengan relief berombak, bergelombang dan berbukit mempunyai drainase baik. Tanah-tanah yang terbentuk antara lain diklasifikasikan kedalam: Dystrudepts (Kambisal Distrik), Hapludults (Podsolik Merah Kuning), dan Plintudults (Podsolik Plintik).

Tabel 1. Jenis dan Luasan Tutupan Lahan Kabupaten Merauke Tahun 2010

No	Tutupan Lahan	Luas (Ha)	Persentase
1	Hutan Lahan Kering Primer	500338.0	10.76%
2	Hutan Lahan Kering Sekunder	544880.5	11.71%
3	Hutan Mangrove Primer	282302.1	6.07%
4	Hutan Mangrove Sekunder	16366.7	0.35%
5	Hutan Rawa Primer	178538.4	3.84%
6	Hutan Rawa Sekunder	256084.6	5.51%
7	Perkebunan	16135.7	0.35%
8	Permukiman	37614.2	0.81%
9	Pertanian Lahan Kering	17302.7	0.37%
10	Pertanian Lahan Kering Bercampur dgn Semak	56941.9	1.22%
11	Rawa	534653.1	11.49%
12	Savana	1103829.5	23.73%
13	Sawah	29190.5	0.63%
14	Semak/Belukar	280822.3	6.04%
15	Semak/Belukar Rawa	699713.6	15.04%
16	Tanah Terbuka	58241.9	1.25%
17	Tidak ada data (awan)	513.2	0.01%
18	Tubuh Air	37710.2	0.81%
	<b>Jumlah</b>	<b>4651336.0</b>	<b>100.00%</b>

Sumber: RTRW Kab Merauke 2010-2030

### B. Iklim dan Hidrologi

Berdasarkan data curah hujan dari stasiun meteorologi Merauke (BMG Merauke 2014) seperti disajikan pada Tabel 1, daerah Merauke dan sekitarnya menurut kriteria Oldeman mempunyai bulan basah (> 200mm) untuk periode tahun 2004 – 2013 berkisar antara 2-5 bulan, dan bulan keringnya (<100mm) antara 5-8 bulan, sehingga zona agroklimatnya bervariasi antara C4, D3, D4, dan E4. Sedangkan menurut kriteria Schmidt dan Ferguson (1951) bulan basah (>100 mm) berkisar antara 4-7 bulan, dan bulan keringnya (< 60 mm) antara 4-6 bulan, oleh karenanya diklasifikasikan ke tipe hujan D dan E, hanya sebagian kecil yang termasuk A. Kelembaban udara relatif antara 73- 87%. Adanya perbedaan zona agroklimat, dan tipe hujan mengindikasikan dalam periode 2004 – 2013 telah terjadi perubahan iklim.

Tabel 2. Rata-rata bulanan Curah Hujan, Temperatur, Kelembaban, Kecepatan dan Arah Angin Selama Periode 2004 – 2013 Kabupaten Merauke

No	Bulan	Parameter						Arah Angin
		Curah Hujan (mm)	Kelembaban (%)	Temperatur (°C)			Kecepatan Angin (m/detik)	
				Maks.	Min.	Rata-rata		
1.	Januari	329,39	71,21	31,61	17,18	27,05	4,42	Barat Laut
2.	Februari	330,75	74,27	31,22	16,69	27,42	5,09	Barat Laut
3.	Maret	429,65	81	30,27	17,05	27,44	4,21	Barat Laut
4.	April	263,64	67,57	31,72	16,43	27,2	3,7	Tenggara
5.	Mei	177,25	75,93	31,26	16,61	27,1	3,24	Tenggara
6.	Juni	96,30	77,37	29,76	16,21	26,45	2,98	Tenggara
7.	Juli	49,57	71,13	28,05	15,28	25,26	3,44	Tenggara
8.	Agustus	35,39	77,42	26,91	15,17	25,7	3,55	Tenggara
9.	September	42,76	76,9	30,77	15,75	26,07	3,96	Tenggara
10.	Oktober	80,74	76,02	31,8	16,83	27,11	3,39	Tenggara
11.	November	84,06	77,17	32,47	16,76	27,92	3,75	Selatan
12.	Desember	238,67	73,13	31,53	16,86	27,61	4,93	Selatan
	<b>Rerata tahunan</b>	<b>2150,35</b>	<b>899,12</b>	<b>367,37</b>	<b>196,82</b>	<b>322,33</b>	<b>46,66</b>	-
	<b>Rerata bulanan</b>	<b>179,85</b>	<b>74,93</b>	<b>30,6</b>	<b>16,4</b>	<b>26,86</b>	<b>3,89</b>	-

Sumber : Stasiun Meteorologi Mopah Merauke, 2014 (olahan Data)

Pembentukan dataran Merauke sangat dipengaruhi oleh aktivitas dan pola aliran sungai-sungai besar, antara lain S. Digul, S. Bian, S. Kumbe, dan S. Maro (DAS Bikuma) serta anak-anak sungainya. Luas daerah aliran sungai (DAS) Bian mencapai 9.493,80 km<sup>2</sup>, dengan lebar 117 – 1.449 m, dengan kecepatan arus 1.25 km/jam. Luas daerah aliran sungai (DAS) Kumbe mencapai 4.698,37 km<sup>2</sup>, yang lebarnya di bagian hulu rata-rata 15m, dan di hilir 300 m, debit air 119 m<sup>3</sup>/dt. DAS Maro luasnya 5.349,01 km<sup>2</sup>. lebarnya di bagian hulu 20 m, dan di hilir 450 m, debit air waktu terjadi pasang 827 m<sup>3</sup>/dt. Kedalaman air tanah di daerah terendah umumnya < 50 cm, sedangkan di daerah yang lebih tinggi mencapai 5 m, bahkan ada yang mencapai sampai melebihi 10 m (Merauke Dalam Angka, 2014).

Tabel 3. Hasil analisa contoh air sungai, di daerah Kabupaten Merauke.

No.	Parameter	Satuan	Hasil Pengujian					Baku Mutu
			Sungai Mandan	Rawa Wamam	Sungai Bian	Kali Kum	S. Maro	
<b>FISIKA</b>								
1	Temperatur	°C	29,0	28,6	24,3	29,6	28,6	± 3
2	TSS	mg/L	76,8	24,67	5,14	12,57	13,33	50
3	TDS	mg/L	48,0	44,0	<1,04	44,0	52,0	1000
<b>KIMIA</b>								
1	pH	mg/L	6,4	6,5	6,54	7,1	7,0	6 - 9
2	BOD	mg/L	<1,03	<1,03	2,11	<1,03	<1,02	3
3	COD	mg/L	10,67	10,67	18,02	16,33	17,69	25
4	DO	mg/L	5,5	4,6	5,51	5,30	4,60	>4
5	Nitrat (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	0,08	0,02	<0,01	0,04	0,11	10
6	Amonia (NH <sub>3</sub> -N)	mg/L	<0,02	0,26	0,31	0,99	0,09	-
7	Kobalt (Co)	mg/L	<0,12	<0,12	<0,05	<0,12	<0,12	0,2
8	Boron (B)	mg/L	0,05	0,03	0,01	0,03	0,06	1
9	Kadmium (Cd)	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,01
10	Krom IVal (Cr <sup>VI</sup> )	mg/L	<0,04	<0,04	<0,01	<0,04	<0,04	0,05
11	Timbaga (Cu)	mg/L	<0,02	<0,02	0,01	0,02	<0,02	0,02
12	Besi (Fe)	mg/L	0,73	0,36	0,70	0,31	0,51	-
13	Timbal (Pb)	mg/L	<0,03	<0,03	<0,02	<0,03	<0,03	0,03
14	Mangan (Mn)	mg/L	0,07	0,07	0,08	0,06	0,06	-
15	Seng (Zn)	mg/L	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,05
16	Klorida (Cl)	mg/L	2,97	1,98	3,52	2,97	2,97	-
17	Fluorida (F)	mg/L	<0,05	<0,05	<0,02	<0,05	0,14	1,5
18	Nitrit (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	0,06
19	Sulfat (SO <sub>4</sub> )	mg/L	8,60	5,18	1,72	5,87	6,65	-
20	Klorin (Cl <sub>2</sub> ) <sup>a</sup>	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	0,02	<0,02	0,03
21	Sulfida (H <sub>2</sub> S)	mg/L	0,01	0,02	<0,003	0,01	0,03	0,002
22	Minyak dan Lemak	mg/L	1,95	1,54	0,75	<1,0	<1,0	1
23	MBAAS	mg/L	<0,02	<0,02	<0,03	<0,02	<0,02	0,2
24	Formal	mg/L	<0,006	<0,006	<0,005	0,01	0,01	0,001
25	Total Fosfat sbg P	mg/L	0,15	0,08	0,02	0,09	0,08	0,2

Sumber: BLH Kabupaten Merauke, 2014

### C. Agroekosistem

Secara umum wilayah Merauke dibedakan atas 3 tipe Agroeko-sistem, yaitu : 1) Dataran rendah lahan basah yang terdiri dari Rawa Pasang Surut, Rawa non Pasang Surut, dan dataran Aluvial; 2)..Dataran rendah lahan kering; 3) Daerah Perbukitan dan pegunungan (upland) (laporan Dinas Tanaman Pangan dan Hortikultura, 2009).

Wilayah Kabupaten Merauke Bagian Selatan yang agroekosistemnya termasuk dataran rendah mempunyai iklim agak kering sampai kering. Sedangkan wilayah bagian utara yang agrosistemnya sebagian besar termasuk perbukitan dan pegunungan mempunyai iklim yang relatif lebih basah. Wilayah Kabupaten Merauke yang sebagian besar merupakan dataran aluvial terbentuk melalui proses pengendapan bahan fluviatil (endapan sungai), dan yang lainnya dari bahan marin (endapan laut). Pada tahap awal bahan yang diendapkan berukuran kasar dan sedang terdiri dari kerikil dan pasir, dan pada tahap berikutnya berukuran halus berupa debu dan liat. Menurut Visser dan Hermes (1962) dalam Djaenudin et al. (2003), dataran Merauke merupakan bagian dari sebuah igir (ridge) yang menghambat aliran sungai Maro, Kumbe, dan Bian, sehingga di bagian hulunya terbentuk cekungan-cekungan berawa dalam.

Endapan permukaan yang membentuk dataran Merauke berupa endapan resen dan subresen. Endapan resen terdiri dari endapan sungai dan rawa muda, sedangkan endapan subresen berupa endapan rawa tua. Endapan sungai muda (Qr1) berumur kuartar tersusun dari endapan klastika berupa pasir, lumpur dan kerikil yang membentuk pola aliran sungai meander. Penyebaran bahan ini terdapat pada dataran banjir S. Kumbe dan S. Bian. Endapan rawa muda (Qs1) berumur kuartar tersusun dari bahan endapan klastika halus berupa lempung, lumpur, lanau, dan pasir halus yang mengandung bahan karbonan.

### D. Jenis Tanah, Topografi, dan Potensinya

Secara umum tanah-tanah di kabupaten Merauke dibedakan antara tanah yang terdapat di lahan basah dan di lahan kering. Tanah pada lahan basah terbentuk dari endapan sungai, marin, dan bahan organik, dengan rejim kelembaban tanahnya akuik.

Sedangkan tanah di lahan kering terbentuk dari batuan sedimen, rejim kelembaban tanahnya sebagian udik, dan yang lainnya ustik. Diwilayah Kabupaten Merauke terdapat lima ordo tanah, yaitu: Histosols, Entisols, Inceptisols, Ultisols, dan Spodosols. Klasifikasi ordo tanah-tanah tersebut sampai tingkat subgrup menurut sistem Soil Taxonomy (Soil Survey Staff 2003) dan padanannya pada tingkat jenis menurut sistem Klasifikasi Tanah Nasional (PP Tanah 1983) disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Tanah-tanah yang terdapat di wilayah Kabupaten Merauke

No.	Distrik	KRIBA (1996)	Jenis Tanah	PPF (1983)
I	MERAUKE	Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik
		Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik
		Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik
		Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik
		Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik
		Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik
		Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik
		Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik
		Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik
		Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik
		Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik
		Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik
II	MERAUKE	Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik
		Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik
		Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik
		Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik
		Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik
		Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik
		Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik
		Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik
		Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik
		Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik
		Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik
		Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik
III	MERAUKE	Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik
		Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik
		Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik
		Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik
		Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik
		Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik
		Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik
		Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik
		Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik
		Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik
		Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik
		Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik
IV	MERAUKE	Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik
		Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik
		Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik
		Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik
		Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik
		Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik
		Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik
		Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik
		Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik
		Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik
		Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik
		Typo-Entisol	Entisol Entik	Entisol Entik

Sumber : Dinas Pertanian Tanaman Pangan Kabupaten Merauke 2014 dan Hasil Olahan Data

Keadaan topografi wilayah Kabupaten Merauke mempunyai ketinggian bervariasi antara 2 – 5 meter di atas permukaan laut. Kondisi wilayah kabupaten yang relatif datar dan berawa-rawa berada pada sepanjang pesisir selatan Merauke dengan kemiringan 0 – 3% dan semakin ke utara kondisinya lebih bergelombang dan berbukit dengan kemiringan 3 – 8% serta memiliki ketinggian wilayah antara 0 – 60 meter di atas permukaan laut (Tabel 5 dan 6).

Tabel 5. Topografi yang meliputi seluruh wilayah Kabupaten Merauke.

Topografi	Lereng (%)	Beda tinggi (m)	Luas	
			ha	%
Datar	<2	< 10	2.235.801	50,08
Agak datar	2-3	< 10	1.347.614	30,17
Berombak	> 3- 8	< 10	468.836	10,50
Bergelombang	> 8- 15	10-50	236.006	5,89
Berbukit	> 15-30	10-50	150.065	3,36
Jumlah			4.464.722	100,00

Sumber: Dinas Pertanian Tanaman Pangan Kabupaten Merauke 2014

Tabel 6. Sebaran topografi dan lereng dari lahan yang berpotensi untuk pertanian di Kabupaten Merauke.

Topografi	Lereng (%)	Luas	
		ha	%
Datar	<1	730.181	37,79
Agak datar	1-3	519.421	26,88
Berombak	3-8	338.473	17,52
Bergelombang	8-15	249.621	12,92
Berbukit kecil	15-25	94.435	4,89
Lain-lain	-	186	0,01
Luas total		1.932.317	100,00

Sumber: Dinas Pertanian Tanaman Pangan Kabupaten Merauke 2014

### E. Sumber daya Lahan Pertanian dan Potensi Pengembangan

Berdasarkan hasil evaluasi sumberdaya lahan Kabupaten Merauke dikelompokkan menjadi: (1) Kawasan Budidaya Tanaman Lahan Basah, (2) Kawasan Budidaya Tanaman Lahan Kering, (3) Kawasan Budidaya Tanaman Tahunan, dan (4) Kawasan Lindung.

#### 1. Kawasan Budidaya Tanaman Lahan Basah

Kawasan budidaya lahan basah di Kabupaten Merauke mencakup tanaman padi sawah dan sagu. Kawasan ini umumnya wilayah menempati wilayah datar sampai agak cekung. Penyebaran kawasan ini cukup luas, yaitu mencakup areal seluas 1.643.635 ha (36,81%)

#### 2. Kawasan Budidaya Tanaman Lahan Kering

Kawasan budidaya tanaman lahan kering yang dapat dikembangkan di Kabupaten Merauke adalah kacang tanah, jagung, padi gogo, kedelai, ubi kayu,

dan tebu. Kawasan ini umumnya menempati wilayah datar sampai berombak dengan lereng <8%. Penyebaran kawasan ini cukup luas, yaitu mencakup areal seluas 1.474.061 ha (33,02%).

#### 3. Kawasan Budidaya Tanaman Tahunan

Kawasan budidaya tanaman tahunan yang dapat dikembangkan di Kabupaten Merauke mencakup tanaman kelapa sawit, jambu mete, karet, mangga, rambutan, dan durian. Kawasan ini umumnya menempati wilayah bergelombang sampai berbukit kecil dengan lereng >8%. Penyebaran kawasan ini mencakup areal seluas 413.071 ha (9,25 %).

#### 4. Kawasan Lindung

Kawasan ini penyebarannya di daerah aliran sungai, sependan pantai, dan lahan dengan kondisi tanah yang sangat rapuh (fragile), dengan pertimbangan sumberdaya lahan dan fungsinya perlu dilakukan usaha konservasi untuk menjaga kelestariannya. Luas kawasan ini 933.955 ha (20,92 %).

Tabel 7. Potensi dan luas lahan basah dan lahan kering di masing-masing Distrik di Kabupaten Merauke.

Kecamatan	Potensi (ha)		Jumlah
	Basah	Kering	
Merauke	39.582	29.721	69.303
Semangga	31.735	-	31.735
Tanah Miring	37.341	13.224	50.565
Jagebog	1.150	62.555	63.705
Sofa	133	53.540	53.673
Kurik	53.753	84.192	137.945
Muting	3.609	45.622	49.231
Uliin	2.926	36.992	39.918
Elkobel	3.219	40.690	43.909
Kimaam	1.100.432	-	1.100.432
Okaba	63.411	187.995	851.406
Jumlah	1.937.291	554.531	2.491.822

Sumber: Pemerintah Kabupaten Merauke 2014

Tabel 8. Potensi pengembangan komoditas tanaman pangan dan hortikultura di wilayah Kabupaten

Lahan	
Tingkat kekritisan Lahan	(Ha)
1. Sangat Kritis	34.64
2. Kritis	7158.72
3. Agak Kritis	5133.23
4. Potensial Kritis	677.37
5. Tidak Kritis	35641.44

Sumber: Olahan Data 2014 dan Dinas Pertanian Tanaman Pangan Kabupaten Merauke 2014

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

##### A. Kesimpulan

1. Potensi lahan Basah yang dapat dikembangkan 486.931,63 Ha dan lahan kering sebesar 346.370,78 Ha dengan lahan Sangat kritis 34.64 Ha, Kritis 7.158,72 Ha, Agak kritis 5133.23 Ha dan potensial kritis 677.37 Ha.
2. Lahan di wilayah Kabupaten Merauke di kelompokkan menjadi dua yaitu wilayah selatan (*lowland*) terbentuk dari bahan aluvium, yang sangat dipengaruhi oleh aktifitas sungai, yang cenderung datar dan berawa dan wilayah utara (*upland*) berbukit-bukit terbentuk dari batuan sedimen (lahan kering).
3. Iklim wilayah Kabupaten Merauke didasarkan atas letak yaitu wilayah selatan (*lowland*) beriklim kering, dan daerah utara (*upland*) beriklim basah, dengan perbedaan antara bulan-bulan basah dan kering yang nyata dan penyinaran matahari yang panjang sangat menguntungkan untuk pertumbuhan dan produktivitas tanaman.
4. Secara umum tanah di wilayah Kabupaten Merauke untuk pertanian tergolong potensial, dimana lahan di *lowland* sangat potensial dikembangkan untuk budidaya lahan basah (padi dan palawija) dan lahan *upland* untuk pengembangan budidaya tanaman tahunan dan tanaman Perkebunan.

##### B. SARAN

1. Perlu dikakukan penelitian lebih lanjut tentang Kemampuan lahan dan Ketersediaan Air untuk pembangunan pertanian yang berkelanjutan.
2. Pembukaan lahan (alih fungsi lahan) untuk program Pengembangan lahan Pertanian dalam konsep MIFEE di kaji dengan baik dan melibatkan masyarakat Adat sebagai pemilik Hak Ulayat (Hak Tanah Adat).

#### DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, S. 2010. *Konservasi Tanah dan Air*. Intitut Pertanian Bogor press. Bogor
- Asdak, C. 2010. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gadjadara University Press. Yogyakarta
- Asdak, C. 1995. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gadjadara University Press. Yogyakarta
- BMG Merauke, 2014. Data Iklim: Curah hujan, kelembaban udara, suhu udara dan penyinaran matahari daerah Merauke. .... Pemda, Kab. Merauke. 2007 Kabupaten Merauke Agropolitan dan Lumbung Pangan Dalam Mendukung Ketahanan Pangan Nasional. Audensi Bupati Merauke dengan Komisi IV DPR, Jakarta 23 Mei 2007.
- Dinas Pertanian Tanaman Pangan, Kabupaten Merauke. 2004. *Pewilayahan Komoditas Pertanian Berdasarkan Zona Agro Ekologi Kabupaten Merauke*, Provinsi Papua.
- Dinas Pertanian Tanaman Pangan dan Hortikultura, Kabupaten Merauke. 2009. *Laporan Tahunan 2009*.
- Djaenudin, D., Marwan H., A. Hidayat, dan H. Subagyo. 2003. *Petunjuk Teknis Evaluasi Lahan untuk Komoditas Pertanian*.
- Balitanah, Puslitbangtanak, Balitbang Pertanian. ISBN 979-9474-27-2.
- Heryanto, R. dan H. Panggabean. 1995. *Peta Geologi Lembar Merauke, Irian Jaya (3407)*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Puslittan. 1986. *Survey dan Pemetaan Tanah Tingkat Tinjau Daerah Merauke S. Digul Pantai Kasuari, Propinsi Irian Jaya*. Lap. Akhir No. 13/1986.
- ....., RTRW Kabupaten Merauke 2010-2030.
- ....., *Soil Taxonomy* (Soil Survey Staff 2003)

## Cara Praktis Mengevaluasi Kebutuhan Mitigasi Jaringan Sanitasi Bangunan Akibat Gempa

Livian Teddy

Dosen Program Studi T. Arsitektur Univ. Sriwijaya Ogan Ilir  
Jl. Palembang-Prabumulih Km 32 Ogan Ilir  
livianteddy@gmail.com

**Gagoek Hardiman**

Guru Besar Program Doktor Teknik Arsitektur dan Perkotaan Univ. Diponegoro Semarang  
Jl. Hayam Wuruk 5 – 7 Semarang

**Nuroji**

Dosen Program Doktor Teknik Sipil Univ. Diponegoro Semarang  
Jl. Hayam Wuruk 5 – 7 Semarang

### ABSTRAK

*Aturan tentang bangunan tahan gempa sudah banyak diterapkan di bangunan-bangunan yang ada di Indonesia. Tetapi ketahanan terhadap gempa dari komponen non struktural seperti jaringan sanitasi didalam bangunan sering terlupakan. Sehingga bisa saja bangunannya bertahan gempa tetapi pipa sanitasinya mengalami kerusakan sehingga bangunan tidak bisa difungsikan atau fungsi bangunan terganggu dan perlu perbaikan.*

*Untuk menghindari hal perlu ini cara-cara praktis yang bisa digunakan secara luas oleh masyarakat untuk mengevaluasi apakah suatu jaringan sanitasi pada khususnya dan komponen non struktural bangunan pada umumnya perlu diperkuat atau tidak karena hal ini bisa menjadi tambahan biaya pada bangunan.*

**Kata kunci :** cara praktis, gempa, sanitasi.

### I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan wilayah rawan gempa yang dilalui banyak dilalui jalur gempa subduksi seperti Eurasia, Indo-Australia, Pasifik dan sesar seperti sesar Sumatra, Jawa, Sulawesi dan Papua Barat. Dengan demikian sudah banyak kejadian gempa yang menimbulkan korban jiwa dan harta. Salah satu penyumbang terbanyak korban jiwa akibat gempa yaitu kerusakan dan keruntuhan bangunan. Untuk mencegah hal tersebut bangunan di Indonesia sudah seharusnya didisain tahan gempa. Tetapi yang sering terlupakan selama ini didisain bangunan tahan gempa lebih terfokus pada struktural bangunan tetapi agak terlupakan bahwasanya bagian non struktural dalam bangunan juga harus disain tahan gempa seperti pipa sanitasi. Karena banyak kejadian dimana gedungnya bertahan terhadap gempa tetapi pipa sanitasinya mengalami kerusakan sehingga walaupun gedung tersebut bisa digunakan sebagai tempat evakuasi tetapi berfungsi kurang sempurna sehingga menambah penderitaan bagi pengguna atau pengungsi bangunan.

SNI 1726:2012 sebenarnya sudah mengatur tentang persyaratan desain seismik pada elemen nonstruktural termasuk peralatan mekanikal elektrik tetapi terlalu teknis sehingga kurang cocok untuk pemanfaatan praktis lapangan dan mitigasi.

Tulisan ini mencoba mengeksplorasi cara yang praktis digunakan dalam mengevaluasi perlindungan terhadap *mechanical equipment* akibat gempa khususnya pipa sanitasi didalam bangunan. Sehingga bisa dimanfaatkan dalam perencanaan, pengawasan dan mitigasi *mechanical equipment* di dalam bangunan.

### II. GEMPA, BANGUNAN DAN MECHANICAL EQUIPMENT (ME)

Peralatan mekanikal atau *mechanical equipment* merupakan bagian dari bangunan. Sehingga respon bangunan terhadap gempa juga berpengaruh terhadap isi bangunan seperti ME. Bangunan yang elemen strukturalnya rusak parah akibat gempa, bisa dipastikan elemen non struktural mengalami hal yang sama.

Di FEMA E-74 (2012) tentang ‘Mengurangi Resiko Kerusakan Gempa Non Struktural’, telah diatur cara-cara menginvestigasi secara kualitatif potensi kerusakan non struktural pada bangunan. Penekanannya hanya pada kerusakan dari komponen non struktural saja tetapi sebagaimana yang dijelaskan diatas potensi respon bangunan terhadap gempa harus lebih dulu diketahui baru bisa diketahui potensi kerusakan dari komponen struktural didalam bangunan dan mitigasinya.

FEMA 154 (2002) tentang ‘Memilih Visual Secara Cepat Bangunan Untuk Bahaya Gempa Potensial’, yang berisi cara yang praktis untuk mengestimasi respon bangunan terhadap bahaya gempa. Dengan menggabungkan FEMA E-74 dan FEMA 154 bisa didapatkan cara praktis, efisien dan murah dalam mengevaluasi perlindungan terhadap komponen non struktural dari bahaya gempa didalam bangunan.

### III. EVALUASI JARINGAN SANITASI BANGUNAN TERHADAP POTENSI KERUSAKAN AKIBAT GEMPA

Di FEMA 154 (2002, appendix B), dalam mengevaluasi respon bangunan terhadap bahaya gempa terdapat *form* pengumpulan data yang harus diisi oleh *surveyor*. Beberapa hal bagian pentingnya yaitu :

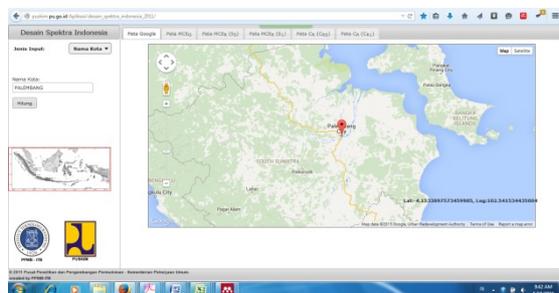
#### A. Intensitas Gempa

Untuk menentukan intensitas gempa suatu wilayah termasuk kategori rendah atau sedang bisa menggunakan tabel dibawah ini :

Tabel 1. Definisi wilayah gempa (sumber : FEMA 310, 1998)

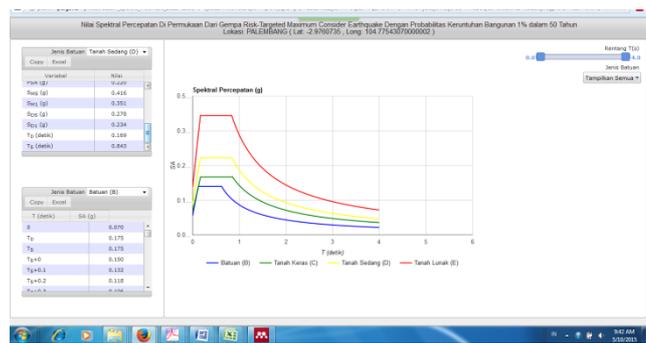
Region of Seismicity <sup>1</sup>	$S_{DS}$	$S_{D1}$
Low	< 0.167g	< 0.067g
Moderate	< 0.500g > 0.167g	< 0.200g > 0.067g

$S_{DS}$  dan  $S_{D1}$  adalah parameter percepatan disain untuk periode pendek dan 1 detik. Untuk mendapatkan nilai koefisien  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$  bisa didapat dengan mengunjungi laman [http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain\\_spektra\\_indonesia\\_2011/](http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/). Caranya dengan memasukkan nama kota seperti gambar 1, kemudian akan tampil nilai koefisien  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$  sesuai jenis batuanannya seperti gambar 2.



Gambar 1. Masukkan Nama Kota / Koordinat Lintang & Bujur Kota (sumber :

[http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain\\_spektra\\_indonesia\\_2011/](http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/))



Gambar 2. Nilai Spektral Percepatan Di Permukaan Dari Gempa *Risk-Targeted Maximum Consider Earthquake* Dengan Probabilitas Keruntuhan Bangunan 1% dalam 50 Tahun (sumber :

[http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain\\_spektra\\_indonesia\\_2011/](http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/))

#### B. Building Type (Tipe Struktur Bangunan)

Bagian ini menentukan tipe struktur bangunan. Ada 15 jenis tipe struktur pada bagian ini. Misalnya S1 : *Steel moment-resisting frame* atau Rangka baja penahan momen, C3 : *Concrete frame with unreinforced masonry infill* atau rangka beton dengan dominasi dinding bata.

#### C. Basic Score (Skor Bahaya Struktural Dasar)

Skor bahaya struktural dasar merefleksikan kemungkinan bangunan runtuh yang akan terjadi jika bangunan kondisi goncangan gempa maksimum. Setiap tipe struktur bangunan memiliki skor dasar seperti untuk wilayah gempa rendah S1 *basic score*-nya = 4,6, untuk wilayah gempa sedang C3 *basic score*-nya = 3,2.

#### D. Score Modifier (Skor Modifikasi)

Pengaruh signifikan kinerja struktural selama terjadinya gempa dinilai dalam skor modifikasi. Setiap tipe struktur memiliki nilai skor modifikasi yang dibagi dalam item-item :

- *Mid-rise* (3 – 7 lantai), misal untuk wilayah gempa rendah S1 skor modifikasinya +0,2, untuk wilayah gempa sedang C3 skor modifikasinya +0,2.
- *High-rise* (> 8 lantai), misal untuk wilayah gempa rendah S1 skor modifikasinya +1,0, untuk wilayah gempa sedang C3 skor modifikasinya +0,4.
- *Vertical Irregularity* (ketidakberaturan vertikal), terdapat 5 jenis kategori bangunan dengan ketidakberaturan vertikal yaitu tipe 1a : ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak, tipe 1b : ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan, tipe 2 : ketidakberaturan berat, tipe 3 : ketidakberaturan geometri vertikal, tipe 4 :

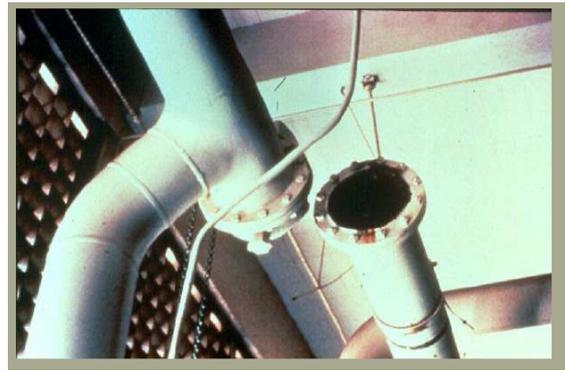
diskontinuitas arah bidang dalam ketidakberaturan elemen penahan gaya lateral vertikal, tipe 5a : diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat dan tipe 5b : diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat yang berlebihan. Misal untuk wilayah gempa rendah S1 skor modifikasinya -2,0, untuk wilayah gempa sedang C3 skor modifikasinya -2,0.

- *Plan Irregularity* (ketidakberaturan rencana), terdapat 5 jenis kategori bangunan dengan ketidakberaturan horisontal yaitu tipe 1a : ketidakberaturan torsi, tipe 1b : ketidakberaturan torsi berlebihan, tipe 2 : ketidakberaturan sudut dalam, tipe 3 : ketidakberaturan diskontinuitas diafragma, tipe 4 : ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang dan tipe 5 : ketidakberaturan sistem non paralel. Untuk memahami lebih lanjut tentang aturan *vertical* dan *plan/horizontal Irregularity* bisa dilihat pada tabel 10 dan 11 buku Himawan I & dkk (2013). Misal untuk wilayah gempa rendah S1 skor modifikasinya -0,8, untuk wilayah gempa sedang C3 skor modifikasinya -0,5.
- *Pre Code* (dibangun sebelum peraturan gempa terbaru). Misalnya untuk wilayah gempa sedang C3 skor modifikasinya -1,0. Sedangkan untuk wilayah gempa rendah skor modifikasinya tidak tersedia.
- *Post-Benchmark* (diperkuat sesuai peraturan gempa terbaru). Misal untuk wilayah gempa rendah S1 skor modifikasinya +0,4, untuk wilayah gempa sedang C3 skor modifikasinya tidak tersedia /NA.

Setelah item-item tersebut dievaluasi dan dilingkari kemudian dijumlahkan seluruhnya. Jika skor totalnya sama atau lebih besar dari nilai *basic score*-nya maka bangunan tersebut potensi bahaya gempanya kecil. Sedangkan jika hasilnya lebih kecil dari nilai *basic score*-nya maka bangunan tersebut memiliki potensi bahaya gempa.

Selanjutnya mengevaluasi potensi kerusakan komponen non struktural seperti pipa sanitasi. Ada beberapa penyebab dari kerusakan pipa sanitasi akibat gempa (FEMA E-74, 2012) yaitu :

- Efek guncangan yang menyebabkan pergeseran, goyangan dan putaran pada pipa.



Gambar 3. Kerusakan sambungan pipa (sumber : FEMA E-74, 2012)

- Deformasi bangunan yang merusak interkoneksi komponen pipa.



Gambar 4. Kerusakan cabang pipa (sumber : FEMA E-74, 2012)

- Pemisahan atau benturan antar struktur terpisah yang merusak komponen pipa yang melintas diantaranya.
- Benturan antara pipa dengan komponen non struktural lainnya seperti dinding, *ducting* dan lainnya.

Dalam FEMA E-74 (2012) tentang evaluasi resiko kerusakan komponen non struktural bangunan akibat gempa terdapat *form* pengumpulan data yang harus diisi oleh *surveyor*. Beberapa hal bagian pentingnya yaitu :

- *Shaking intensity* atau besarnya guncangan rendah atau menengah, bisa menggunakan cara menentukan intensitas gempa di bagian evaluasi respon bangunan terhadap bahaya gempa diatas.
- Potensi kerusakan pada komponen non struktural terbagi dalam tiga tipe kategori resiko
  - *Life safety* (LS) atau keselamatan hidup. Dapatkah seseorang terluka oleh komponen ini pada saat gempa ?

- o *Property loss* (PL) atau kehilangan properti. Dapatkah menyebabkan kehilangan properti yang besar ?
- o *Functional loss* (FL) atau kehilangan fungsi. Dapatkah hilangnya komponen ini menyebabkan gedung tidak berfungsi.

Tabel 2. *Form* evaluasi resiko kerusakan komponen pipa(sumber : FEMA E-74, 2012)

Example No.	Example Name	Shaking Intensity	Life Safety (LS)	Property Loss (PL)	Functional Loss (FL)
6.4.2.2	Flat bottom tanks and vessels	Low	L	L	L
		Mod	M	H	M
		High	M	H	M
6.4.2.3	Compressed gas cylinders (oxygen, CO <sub>2</sub> , ammonia, etc.)	Low	L	L	L
		Mod	M	M	L
		High	H	M	M
6.4.2.4	Gas water heaters	Low	L	L	L
		Mod	M	H	L
		High	H	H	L
6.4.3	<b>Pressure Piping</b>				
6.4.3.1	Suspended pressure piping	Low	L	L	L
		Mod	M	M	M
		High	M	H	M

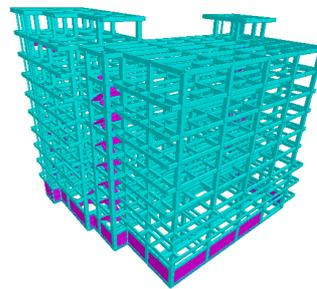
Misalnya pada tabel 2 pada bagian *pressure piping* (pipa bertekanan) terdapat item *suspended pressure piping* (pipa bertekanan yang digantung) pada kolom *shaking intensity* terdapat pilihan *low*, *moderate* dan *high*. Pada pilihan *shaking intensity low* (potensi intensitas gempanya rendah) resiko kerusakan yang dapat menyebabkan LS → L (*low*/rendah), PL→L (*low*/rendah) dan FL→L (*low*/rendah). Pada pilihan *shaking intensity moderate* (potensi intensitas gempanya sedang) resiko kerusakan yang dapat menyebabkan LS →M (*moderate*/sedang), PL→M (*moderate*/sedang) dan FL→M(*moderate*/sedang).

Pada tahap menentukan apakah suatu komponen non struktural memerlukan isolasi, pengaku khusus atau detail khusus lainnya dengan berdasarkan hasil evaluasi respon bangunan terhadap bahaya gempa dan resiko kerusakan komponen non struktural. Misalnya : 1). Suatu bangunan di wilayah gempa rendah memiliki skor total lebih kecil dari skor dasarnya berarti bangunan tersebut beresiko kerusakan bangunan terhadap gempa. Kemudian komponen non struktural yang akan di evaluasi misalnya pipa air bersih dengan intensitas gempa rendah ternyata resiko LS, PL dan FL-nya rendah tetapi karena bangunan tersebut beresiko kerusakan bangunan terhadap gempa maka jaringan pipa air bersih tersebut harus diangkur dengan *bracing seismic* dan detail khusus lainnya. 2). Suatu bangunan di wilayah gempa rendah memiliki skor total lebih sama dengan atau lebih besar dari skor dasarnya berarti bangunan tersebut resiko kerusakan

bangunan terhadap gempa rendah. Kemudian komponen non struktural yang akan di evaluasi misalnya pipa air bersih dengan intensitas gempa rendah ternyata resiko LS, PL dan FL-nya juga rendah. Berarti jaringan pipa air bersih tersebut bisa diangkur dengan *restraint* / pengaku biasa.

#### IV. CONTOH PENGGUNAAN

Terdapat suatu rumah sakit di Palembang terdiri dari 1 lantai semi basemen dan 9 lantai relatif tipikal dengan kondisi tanah sedang. Dimana  $S_{DS} = 0.278$  dan  $S_{D1} = 0.234$ , berarti termasuk zona intensitas gempa sedang. Konfigurasi bangunan berbentuk 'L', tipe struktur rangka penahan momen



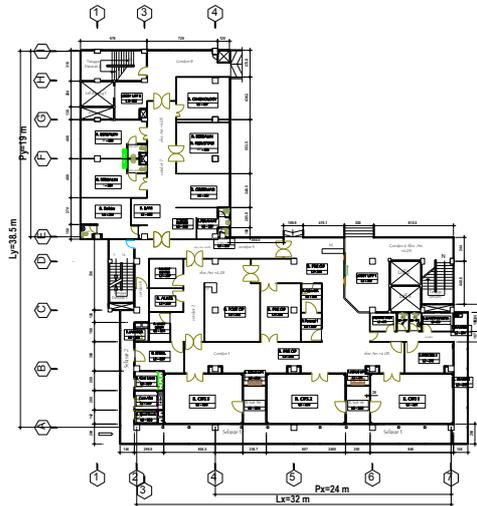
Gambar 5. 3D struktur bangunan rumah sakit Hasil evaluasi respon bangunan terhadap gempa :

- Wilayah intensitas gempa : zona intensitas sedang.
- Tipe Struktur Bangunan : struktur rangka beton penahan momen (C1)→ *basic score* = 4,4.
- Ketinggian bangunan 10 lantai → high-rise (> 7 stories) dengan *modifier score* = +1.0.
- *Vertical irregularity* → denah tipikal berbentuk 'L' dari lantai 1 s/d 10, ketinggian antar lantai relatif sama 3,8 m berarti tidak termasuk dalam *vertical irregularity* dengan *modifier score* tidak usah diisi.

Tabel 3. *Form* evaluasi resiko kerusakan bangunan rumah sakit akibat gempa (sumber : analisa)

BUILDING TYPE	BASIC SCORE, MODIFIERS, AND FINAL SCORE, S									
	W1	W2	S1 (MRF)	S2 (BR)	S3 (LM)	S4 (RC-SW)	S5 (URM INF)	C1 (MRF)	C2 (SW)	C3 (URM INF)
Basic Score	7.4	6.0	4.6	4.8	4.6	4.8	5.0	4.4	4.8	4.4
Mid Rise (4 to 7 stories)	N/A	N/A	+0.2	+0.4	N/A	+0.2	-0.2	+0.4	-0.2	-0.4
High Rise (>7 stories)	N/A	N/A	+1.0	+1.0	N/A	+1.0	+1.2	+1.0	0.0	-0.4
Vertical Irregularity	-4.0	-3.0	-2.0	-2.0	N/A	-2.0	-2.0	-1.5	-2.0	-2.0
Plan Irregularity	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8
Pre-Code	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Post-Benchmark	0.0	+0.2	+0.4	+0.6	N/A	+0.6	N/A	+0.6	+0.4	N/A
Soil Type C	-0.4	-0.4	-0.8	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.6	-0.4	-0.4
Soil Type D	-1.0	-0.8	-1.4	-1.2	-1.0	-1.4	-0.8	-1.4	-0.8	-0.8
Soil Type E	-1.8	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.2	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0
<b>FINAL SCORE, S</b>										3.8

- *Plan irregularity* → denah tipikal berbentuk ‘L’ dari lantai 1 s/d 10 dilihat dari denah gambar 6
- rasionya  $24/32 = 75\%$  dan  $19/38.5 = 49\%$ , tonjolan bangunan lebih dari 15% dapat dikategorikan bangunan dengan *plan irregularity* dengan *modifier score* = -0.8.



Gambar 6. Denah tipikal rumah sakit

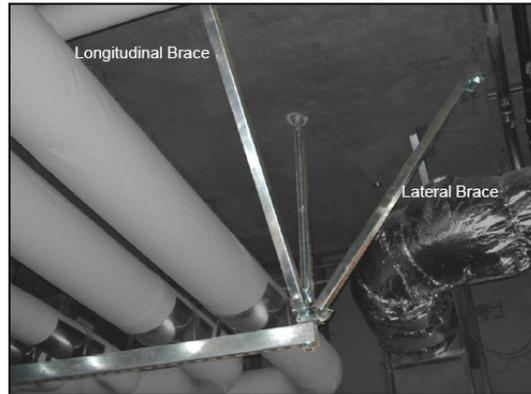
- *Pre-Code* dan *Post-Benchmark* → katakanlah tidak diketahui sehingga tidak usah diisi.
- *Soil type* / tipe tanah → daya dukung sedang berarti soil type D dengan *modifier score* = -1.4. Kemudian ditotal =  $4.4 + 1.0 - 0.8 - 1.4 = 3.8 < 4.4$  → beresiko kerusakan bangunan akibat gempa.

Selanjutnya mengevaluasi resiko kerusakan komponen pipa sanitasi :

Tabel 4. *Form* evaluasi resiko kerusakan komponen pipa sanitasi (sumber : FEMA E-74, 2012)

Example No.	Example Name	Shaking Intensity	Life Safety (LS)	Property Loss (PL)	Functional Loss (FL)
6.4.5	Fluid Piping, not Fire Protection				
6.4.5.1	Hazardous materials	Low	L	L	L
		Mod	H	H	H
		High	H	H	H
N/A	Fuel line	Low	L	L	L
		Mod	H	H	L
		High	H	H	M
6.4.5.2	Nonhazardous materials	Low	L	L	L
		Mod	M	M	M
		High	M	M	M

Katakanlah pipa sanitasi yang akan dievaluasi misalnya pipa air bekas dan air kotor di FEMA E-74 termasuk *fluid piping, not fire protection* yang berisi cairan *nonhazardous materials* dengan *shaking intensity low* ternyata resiko LS, PL dan FL-nya rendah (lihat tabel 4) tetapi karena bangunan tersebut beresiko kerusakan bangunan terhadap gempa maka jaringan pipa air bekas dan air kotor rumah sakit tersebut harus diangkur dengan *bracing seismic* dan detail khusus lainnya.



Gambar 7. Pengaku diagonal kombinasi longitudinal dan lateral : untuk mencegah pergerakan paralel dan tegak lurus pipa (sumber : Shivers, 2015)



Gambar 8. Koneksi pipa fleksibel antar bangunan terpisah (sumber : FEMA E74, 2012)

## V. PENUTUP

Indonesia sebagai wilayah yang rawan gempa sudah seharusnya menerapkan aturan-aturan tentang ketahanan bangunan dan komponen non strukturalnya terhadap gempa sebagaimana cara-cara diatas sehingga bisa mengurangi korban jiwa dan harta.

Cara mengevaluasi perlindungan terhadap jaringan pipa sanitasi diatas bisa digunakan secara luas terhadap komponen non struktural bangunan lainnya seperti dinding, pompa, *chiller*, lemari, plafon dan lain-lainnya. Cara-cara evaluasi diatas butuh pembelajaran khusus tetapi mudah dipelajari sehingga bisa dipakai siapa saja yang berkepentingan terhadap usaha perlindungan bangunan terhadap gempa seperti pemilik bangunan, arsitek, ahli konstruksi, pengawas bangunan, dinas pemerintah dan lainnya.

Selain itu, cara evaluasi diatas disarankan untuk zona gempa rendah dan sedang. Tidak sarankan untuk zona gempa berat karena kemungkinan kerusakan bangunan akibat gempa sangat besar walaupun secara konfigurasi bangunannya baik. Sehingga seluruh jenis bangunan disarankan menggunakan perlindungan terhadap seluruh komponen non struktural bangunan.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- BSN, 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung - SNI 1726 : 2012*, Jakarta: Badan Standar Nasional.
- FEMA, 1998. *Handbook for The Evaluation of Buildings A Prestandard-FEMA 310*, Washington DC: Federal Emergency Management Agency.
- FEMA, 2002. *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook-FEMA 154*, Washington DC: Federal Emergency Management Agency.
- FEMA, 2012. *Reducing the Risk of Nonstructural Earthquake Damage-Practical Guide-FEMA E74*, Washington DC: Federal Emergency Management Agency.
- [http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain\\_spektra\\_indonesia\\_2011/](http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/)
- Shivers, A., 2015. Seismic Bracing of Non-Structural Systems. *ASPE*. Available at: [http://aspenyc.org/newsletters/ASPE\\_2015\\_Seismic\\_Bracing\\_of\\_Plumbing\\_and\\_Fire\\_Protection.pdf](http://aspenyc.org/newsletters/ASPE_2015_Seismic_Bracing_of_Plumbing_and_Fire_Protection.pdf) [Accessed September 5, 2015].

## Kandungan Logam Berat Di Tanah TPA Sampah Jatibarang Semarang

**Maria Ulfah**

Mahasiswa Program Doktor Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro Semarang  
ulfahartono@gmail.com

**Sutrisno Anggoro**

Jurusan Manajemen Sumber Daya Perairan Fakultas Perikanan Ilmu Kelautan Universitas  
Diponegoro Semarang

**Tri Retnaningsih Soeprbowati**

Jurusan Biologi Fakultas Sains dan Matematika Universitas Diponegoro Semarang

**Syafrudin**

Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang

### ABSTRAK

*TPA sampah Jatibarang merupakan salah satu sumber limbah di Semarang yang lokasinya dekat dengan pemukiman penduduk. Komposisi sampah yang masuk ke TPA, terdiri dari sampah organik dan anorganik. Proses dekomposisi anaerobik di dalam lokasi TPA menghasilkan lindi. Tumpukan sampah yang menghasilkan lindi berpotensi menyebabkan pencemaran tanah bahkan merembes pada jarak tertentu. Karakteristik logam berat dikarenakan banyaknya mineral yang dilarutkan oleh lindi. pH lindi yang netral sampai asam dapat melarutkan logam berat yang tercampur sampah di TPA.*

*Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan logam berat (Cd,Cr,Cu, Fe,Hg,Mn,Ni,Se) dalam tanah pada tempat-tempat yang berbeda di TPA.*

*Proses pengujian kandungan logam berat dilakukan dengan metode ICP-MS. Hasil penelitian menunjukkan kandungan logam berat (Cd,Cr,Cu, Fe,Hg,Mn,Ni,Se) dalam tanah pada lokasi 1 (dekat tanggul) Cd 0,037 mg/L, Cr 0,375 mg/L, Cu 1,084 mg/L, Fe 267,4 mg/L, Hg 2,2 mg/L, Mn 14,7 mg/L, Ni 0,214 mg/L, dan Se 0,114 mg/L. Sedangkan kandungan logam berat (Cd,Cr,Cu, Fe,Hg,Mn,Ni,Se) dalam tanah pada lokasi 2 (dekat bak propinsi) Cd 0,032 mg/L, Cr 0,23 mg/L, Cu 1,325 mg/L, Fe 285 mg/L, Hg 2,587 mg/L, Mn 44,7 mg/L, Ni 0,195 mg/L, dan Se 1,11 mg/L.*

*Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa lindi TPA yang mengandung logam berat berpotensi menyebabkan pencemaran tanah dan telah merembes.*

**Kata kunci : ICP-MS, logam berat, tanah, TPA sampah**

### VII. PENDAHULUAN

Tanah adalah suatu benda alam yang bersifat kompleks atau memiliki suatu sistem yang hidup dan dinamis. Tanah merupakan sumber daya alam yang mempunyai peranan penting dalam berbagai segi kehidupan manusia, hewan dan tanaman. Karakteristik unsur-unsur dalam tanah sangat berpengaruh terhadap karakteristik unsur dalam tanaman yang tumbuh di atasnya, sehingga konsentrasi unsur-unsur esensial dan non esensial yang kurang atau berlebihan dalam jaringan tanaman akan mencerminkan konsentrasi unsur-unsur dalam tanah. Interaksi diantara beberapa unsur-unsur itu sendiri dapat menjadi hambatan penyerapan konsentrasi unsur unsur esensial dalam tanaman. (Darmono, 1995)

Tanah merupakan suatu ekosistem yang mendukung kehidupan makhluk hidup baik flora maupun fauna didalamnya. Sebagai suatu ekosistem, keberadaan makhluk tersebut pada umumnya telah membentuk suatu rangkaian aktivitas yang membentuk siklus atau hubungan saling menguntungkan (simbiose) maupun hubungan dalam rantai makanan, sebagai mangsa dan pemangsa. Aktivitas biologis yang terjadi di tanah, berperan penting dalam transformasi zat anorganik dan biodegradasi zat organik melalui rangkaian proses yang panjang dan kompleks.

Tanah sebagai komponen lingkungan yang merupakan sumber daya alam telah mengalami akibat dari limbah yang tak terkelola secara semestinya. Setiap tahun, kurang lebih 1000 sampai dengan 1500 senyawa kimia baru ditemukan, menambah kurang lebih 60.000 senyawa kimia yang telah digunakan oleh manusia pada saat ini (Schnoor, 1996).

Salah satu pencemaran tanah adalah pencemaran yang diakibatkan oleh logam berat tersebut sangat berbahaya apabila mencemari lingkungan, karena bersifat toksik, *karsinogenik, bioakumulatif dan biomagnifikasi* (Kosnett 2007, Plaa 2007, Wardhana 2004). Dampak negatif logam berat terhadap lingkungan adalah adanya akumulasi logam berat di di tanah yang dapat meracuni organisme non target dan meracuni lingkungan bahkan terbawa pada mata rantai makanan sehingga dapat meracuni konsumen, bahkan ke hewan dan manusia.

TPA Sampah Jatibarang merupakan salah satu sumber limbah di Semarang yang lokasinya dekat dengan pemukiman penduduk. TPA Sampah Jatibarang Semarang terletak di Kelurahan Kedungpane Kecamatan Mijen Kota Semarang dengan luas lahan 46,183 Ha, 27.7098 Ha (60% ) untuk lahan buang dan 18.4732 Ha (40%) untuk infrastruktur kolam lindi (*Leachate*) sabuk hijau dan lahan cover. Komposisi sampah yang masuk ke TPA Sampah Jatibarang, terdiri dari sampah organik dan sampah anorganik.

Proses dekomposisi anaerobik di dalam lokasi TPA Sampah Jatibarang menghasilkan lindi (*leachate*). Tumpukan sampah yang menghasilkan lindi berpotensi menyebabkan pencemaran tanah bahkan merembes pada jarak tertentu. Lindi dihasilkan dari infiltrasi air hujan yang masuk dalam tumpukan sampah di TPA serta cairan yang ada dalam sampah itu sendiri. Cairan tersebut menambah volume lindi dan akan disimpan dalam rongga antar komponen sampah, mengalir jika memungkinkan. Lindi yang dihasilkan oleh tumpukan sampah di TPA Sampah Jatibarang disalurkan ke bak-bak penampungan untuk diolah lebih lanjut, namun cara ini juga memiliki beberapa kelemahan, yang paling menonjol adalah potensi pencemaran tanah oleh lindi. Mahal dan sulitnya pengolahan sampah sesuai sistem *sanitary landfill* merupakan salah satu alasan, mengapa dalam pelaksanaannya ada yang *sanitary landfill* dan ada yang *open dumping* sehingga timbul urugan liar. Urugan liar ini merupakan sumber bau, gas buang yang memungkinkan timbulnya peledakan, menambah pencemaran air melalui rembesan lindi ke tanah atau ke air bawah tanah. Lindi yang masuk ke di tanah akan menimbulkan pencemaran. Hal ini berbahaya bagi pemukiman disekitarnya yang berjarak  $\pm$  300 meter dan pemukiman disekitar sungai Cebong, sungai Kreo, dan sungai Kaligarang. Bila hal ini dibiarkan akan timbul masalah yang lebih luas bagi penduduk kota Semarang.

Karakteristik logam berat dikarenakan banyaknya mineral yang dilarutkan oleh lindi. pH lindi yang netral sampai asam dapat melarutkan logam berat yang tercampur sampah di TPA, dan warna yang sulit dihilangkan dari coklat muda sampai berwarna hitam. Komposisi logam berat pada lindi dari TPA secara umum adalah kadmium (Cd) dengan kisaran <0,005-0,01 mg/l, timbal (Pb) dengan kisaran <0,05-0,22 mg/l, dan kromium (Cr) dengan kisaran <0,05-0,14 mg/l (Damanhuri, 2008).

Menurut Undang-Undang No.32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup menyatakan bahwa kualitas lingkungan hidup yang semakin menurun telah mengancam kelangsungan perikehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya sehingga perlu dilakukan perlindungan dan pengelolaan hidup yang sungguh-sungguh dan konsisten oleh semua pemangku kepentingan.

Pengelolaan logam berat di tanah pada lingkungan TPA Sampah Jatibarang memerlukan pemantauan. Penelitian ini memperoleh data pencemaran logam berat yang mempengaruhi kualitas tanah di lingkungan TPA Sampah Jatibarang. Data ini dapat digunakan sebagai landasan pengembangan strategi pengendalian logam berat di tanah pada lingkungan TPA Sampah Jatibarang.

## VIII. TINJAUAN PUSTAKA

Menurut Notodarmojo (2005), zat pencemar (*pollutant*) dapat didefinisikan sebagai zat kimia (cair, padat, maupun gas), baik yang berasal dari alam yang kehadirannya dipicu oleh manusia (tidak langsung) ataupun dari kegiatan manusia (*anthropogenic origin*) yang telah diidentifikasi mengakibatkan efek yang buruk bagi kehidupan manusia atau lingkungannya. Semua itu dipicu oleh aktivitas manusia. Sedangkan kontaminan, sama seperti zat pencemar, hanya saja efek negatif atau dampaknya secara nyata terhadap manusia dan lingkungannya belum teridentifikasi secara jelas (Watts, 1997).

Tanah merupakan bagian dari siklus logam berat. Pembuangan limbah ke tanah apabila melebihi kemampuan tanah dalam mencerna limbah akan mengakibatkan pencemaran tanah. Jenis limbah yang potensial merusak lingkungan hidup adalah limbah yang termasuk dalam Bahan Beracun Berbahaya (B3) yang di dalamnya terdapat logam-

logam berat. Logam berat adalah unsur logam yang mempunyai massa jenis lebih besar dari  $5 \text{ g/cm}^3$ , antara lain Cd, Hg, Pb, Zn, dan Ni. Logam berat Cd, Hg, dan Pb dinamakan sebagai logam non esensial dan pada tingkat tertentu menjadi logam beracun bagi makhluk hidup. Logam berat termasuk zat pencemar karena sifatnya yang stabil dan sulit untuk diuraikan. Logam berat di tanah yang membahayakan pada kehidupan organisme dan lingkungan adalah dalam bentuk terlarut. Di tanah logam tersebut mampu membentuk kompleks dengan bahan organik di tanah sehingga menjadi logam yang tidak larut. Logam yang diikat menjadi kompleks organik ini sukar untuk dicuci serta relatif tidak tersedia bagi tanaman. Dengan demikian senyawa organik tanah mampu mengurangi bahaya potensial yang disebabkan oleh logam berat beracun.

Konsentrasi logam berat di tanah secara alamiah sangat rendah, kecuali tanah tersebut sudah tercemar. Logam berat memasuki lingkungan tanah melalui penggunaan bahan kimia yang berlangsung mengenai tanah, penimbunan debu, hujan atau pengendapan, pengikisan tanah dan limbah buangan. Interaksi logam berat dan lingkungan tanah dipengaruhi oleh tiga faktor, yaitu : a) proses sorpsi atau desorpsi, b) difusi pencucian, dan c) degradasi. Besarnya penyerapan logam berat di tanah dipengaruhi oleh sifat bahan kimia, kepekatan bahan kimia di tanah, konsentrasi air tanah, dan sifat-sifat tanah misalnya bahan organik dan liat.

Logam berat mempunyai potensi sebagai polutan yang berbahaya. Kehadiran logam berat di tanah patut mendapat perhatian yang serius karena sifat racun logam dan potensi karsinogeniknya, mobilitas logam di tanah bisa dengan cepat berubah, dari yang tadinya *immobile* atau dalam bentuk logamnya menjadi bentuk terlarut dalam spesies yang dengan mudah bisa berubah dan logam mempunyai sifat konservatif dan cenderung akumulatif dalam tubuh manusia.

Logam berat merupakan *trace element* yang mempunyai potensi toksin bagi tumbuhan atau makhluk hidup lainnya. *Trace element* didefinisikan sebagai elemen yang keberadaannya di alam sangat sedikit, yang bila terdapat dalam konsentrasi yang cukup memiliki potensi mengganggu atau beracun pada makhluk hidup atau tanaman (Adriano, 1986 dalam Notodarmojo, 2005).

Watts (1997) mendefinisikan logam berat sebagai logam yang mempunyai nomor atom lebih besar dari besi (Fe), dan mempunyai densitas lebih dari  $5 \text{ g/cm}^3$ . Keberadaan logam di tanah dan larutan tanah secara alamiah berasal dari pelapukan batuan

induk (*parents materials*) yang mengandung unsur tersebut. Aktivitas manusia (*anthropogenic*) juga merupakan kontributor yang besar bagi keberadaan logam berat di tanah. Logam berat masuk ke di tanah melalui pupuk, biosides, program reklamasi, buangan pertambangan, industri, dan emisi kendaraan bermotor. Selain itu kontaminasi yang berasal dari pembuangan melalui limbah (*sewage*), dan pembuangan tanah (*land disposal*) serta sedimen. Mobilitas logam berat di tanah, umumnya dalam bentuk ion atau dalam bentuk senyawa kompleks yang terbentuk dengan senyawa organik yang terlarut.

Kontaminan anorganik di tanah yang terjadi akibat aktivitas antropogenik sangat tinggi, seperti misalnya dari industri logam dan kimia, pertambangan, dan penggunaan pupuk. Interaksi antara kontaminan dengan tanah yang melibatkan beberapa reaksi yang kompleks, bila konsentrasi kontaminan dalam larutan berkurang karena bereaksi, seringkali disatukan dalam proses yang disebut sorpsi. Bila kontaminan yang terlarut dalam air tanah kontak dengan tanah, maka kemungkinan konsentrasinya akan berkurang karena kontaminan tersebut akan bereaksi atau terikat pada permukaan tanah melalui mekanisme sorpsi. Tanah permukaan umumnya mempunyai konsentrasi zat organik yang juga dapat bereaksi dengan zat pencemar. Bila tanah tersebut kontak dengan kontaminan atau polutan (dalam bentuk cair atau gas), reaksi yang terjadi yang melibatkan tanah dengan suatu zat dalam medium, akan sangat beraneka tergantung dari sifat zat pencemar dan mineral tanah tersebut.

Logam berat merupakan zat pencemar yang memiliki efek berbahaya karena sifatnya yang tidak dapat diuraikan secara biologis dan stabil. Ada dua hal yang menyatakan logam berat termasuk sebagai pencemar berbahaya, yaitu tidak dihancurkan oleh mikroorganisme yang hidup di lingkungan dan terakumulasi dalam komponen-komponen lingkungan, terutama air dengan membentuk kompleks bersama bahan organik dan anorganik secara adsorpsi dan kombinasi. Logam berat pada konsentrasi rendah umumnya sudah beracun bagi makhluk hidup. Unsur-unsur logam berat tersebar di permukaan bumi. Logam berat tersebut dapat berbentuk senyawa organik, anorganik atau terikat dalam senyawa yang lebih berbahaya daripada keadaan murninya. Logam berat dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui rantai makanan pendek maupun panjang, serta melalui pernafasan.

Logam berat adalah logam dengan massa jenis lima atau lebih, dengan nomor atom 22 sampai

dengan 92. Logam berat dianggap berbahaya bagi kesehatan bila terakumulasi secara berlebihan di dalam tubuh, akumulasi logam berat menyebabkan tingginya konsentrasi di dalam tubuh. Logam berat tersebut berada di lingkungan sekitar kita baik dalam bentuk padat, cair maupun gas yang bisa terdapat di tanah, air dan udara. Logam berat dapat masuk dalam tubuh manusia umumnya melalui makanan baik dari tumbuh-tumbuhan (sayur-sayuran, buah-buahan) yang tumbuh di tanah pertanian yang tercemar banyak logam berat ataupun dari bahan kimia yang digunakan di lahan pertanian. Logam berat juga dapat terakumulasi dalam tubuh manusia karena mengkonsumsi daging ternak ataupun ikan yang tercemar logam berat.

Pada umumnya absorpsi logam berat dapat dibagi dua yakni: Pertama *passive uptake* yaitu proses ini terjadi ketika ion logam berat terikat pada dinding sel biosorben. Mekanisme *passive uptake* dapat dilakukan dengan dua cara, pertama dengan cara pertukaran ion dimana ion pada dinding sel digantikan oleh ion-ion logam berat, dan kedua adalah pembentukan senyawa kompleks antara ion-ion logam berat dengan gugus fungsional seperti karbonil, amino, thiol, hidroksi, fosfat, dan hidroksi-karboksil secara bolak balik dan cepat. Kedua, aktif uptake merupakan mekanisme masuknya logam berat melewati membran sel sama dengan proses masuknya logam esensial melalui sistem transpor membran, hal ini disebabkan adanya kemiripan sifat antara logam berat dengan logam esensial dalam hal sifat fisika-kimia secara keseluruhan. Proses aktif uptake pada mikroorganisme dapat terjadi sejalan dengan konsumsi ion logam untuk pertumbuhan dan akumulasi intraselular ion logam.

Logam berat yang mencemari lingkungan, sebagian besar disebarkan melalui jalur air. Proses ini akan lebih cepat bila memasuki tubuh manusia melalui rantai makanan. Apabila suatu logam terakumulasi pada jaringan hewan dan tumbuhan yang kemudian dikonsumsi manusia tentunya manusia sebagai rantai makanan tertinggi pada piramida makanan, maka dalam tubuhnya akan terakumulasi logam berat tersebut.

Pembersihan lingkungan yang tercemar oleh logam berat tersebut sangatlah sukar dilakukan. Oleh karena itu, salah satu pengendalian pencemaran lingkungan akibat logam berat diperlukan melalui pembatasan konsentrasi maksimum logam berat dalam suatu limbah yang akan dibuang ke badan air. Logam berat dalam limbah biasanya dalam kondisi seperti tidak terlarut, terlarut, anorganik, tereduksi, teroksidasi, logam bebas, terpresipitasi, terserap dan

dalam bentuk kompleks (Ridhowati, 2013).

Sebenarnya alam memiliki kemampuan sendiri untuk mengatasi pencemaran (*self recovery*), namun alam memiliki keterbatasan. Setelah batas itu terlampaui, maka pencemar akan berada di alam secara tetap atau terakumulasi dan kemudian berdampak pada manusia, material, hewan, tumbuhan dan ekosistem.

Tanah secara alami telah mengandung logam berat meskipun hanya sedikit. Berdasarkan analisis Notohadiprawiro dkk (1991) jenis tanah *Vertisol* Sragen, *Ferrassol* Karanganyar (Solo), dan *Regosol* kuningan Yogyakarta mengandung logam berat 20.9-49.8 (Zn), 18.7- 35.4 (Cu), 5.6- 15.1 (Pb), dan 6.4-28.8 ppm (Ni). Kadarnya pun tergantung dari bahan induk pembentuk tanah itu sendiri. Tanah pun memiliki kemampuan dalam menyerap logam berat yang berbeda untuk tiap jenis tanah berdasarkan bahan induk penyusun tanah tersebut. Menurut standar umum kadar Pb dan Cd yang boleh ada pada tanah adalah masing-masing 150 ppm dan 2 ppm namun untuk jenis tanah yang berasal dari batuan beku.

Konsentrasi logam berat di tanah secara alamiah sangat rendah, kecuali tanah tersebut sudah tercemar (Tabel 1). Konsentrasi logam di tanah sangat berpengaruh terhadap konsentrasi logam pada tanaman yang tumbuh di atasnya, kecuali terjadi interaksi diantara logam itu sehingga terjadi hambatan penyerapan logam tersebut oleh tanaman. Akumulasi logam dalam tanaman tidak hanya tergantung pada konsentrasi logam di tanah, tetapi juga tergantung pada unsur kimia tanah, jenis logam, pH tanah, dan spesies tanaman (Darmono, 2001).

Tabel 1. Konsentrasi logam berat di tanah secara alamiah ( $\mu\text{g/g}$ )

Logam	Konsentrasi (Rata-Rata)
As	100
Co	8
Cu	20
Pb	10
Zn	50
Cd	0,06
Hg	0,03

Sumber: Peterson (1979) & Darmono (2001)

Unsur logam berat tanah terkandung dalam bebatuan beku, metamorfik, sedimen dll. Kadar logam berat di tanah dipengaruhi oleh reaksi tanah dan fraksi – fraksi tanah yang bersifat dapat mengikat ion logam

berat. Senyawa – senyawa tertentu seperti bahan ligand dapat mempengaruhi aktivitas ion logam berat, yaitu membentuk kompleks logam-ligand yang stabil, gugus – gugus karboksil dan fenoksil berperan mengikat semua unsur logam mikro (Napitupulu, 2008).

Kadar logam berat di tanah dipengaruhi oleh reaksi tanah dan fraksi – fraksi tanah yang bersifat dapat mengikat ion logam. Dengan peningkatan pH kadar logam berat dalam fase larutan menurun akibat meningkatnya reaksi hidrolisis, kerapatan kompleks adsorpsi dan muatan yang dimiliki koloid tanah. Disimpulkan bahwa pH bersama-sama dengan bahan mineral liat dan konsentrasi oksida-oksida hidrat dapat mengatur adsorpsi spesifik logam berat yang meningkat secara linear dengan pH sampai tingkat maksimum (Napitupulu, 2008).

Menurut Brummer (Verloo, 1993), keseluruhan logam berat yang ada di tanah dapat dipisahkan menjadi berbagai fraksi atau bentuk:

1. Larut air, berada dalam larutan tanah.
2. Tertukarkan, terikat pada tapak-tapak jerapan (*adsorption sites*) pada koloid tanah dan dapat dibebaskan oleh reaksi pertukaran ion.
3. Terikat secara organik, berasosiasi dengan senyawa humus yang tidak terlarutkan.
4. Terjerat (*occluded*) di dalam oksida besi dan mangan.
5. Senyawa-senyawa tertentu, seperti karbonat, fosfat, dan sulfida.
6. Terikat secara struktural di dalam mineral silikat atau mineral primer.

Bagian terbesar segala logam berat yang ada di tanah, yaitu 95 – 99% jumlah total, berada dalam fraksi 2, 3, 4, 5, dan 6. Meskipun fraksi 1 jumlahnya hanya sedikit, namun dilihat dari segi ekologi, fraksi ini paling penting karena penyerapan tanaman dan pengangkutan dalam lingkungan bergantung padanya. Ion logam berat juga terkoordinasikan pada senyawa organik, terutama asam-asam humat dan fulvat, membentuk kelat. Dalam keadaan ini mobilitas logam berat meningkat. Logam berat menjadi lebih mudah terpindahkan ke bagian tubuh tanah yang lebih dalam (terkoluviasi) atau lebih mudah tercuci (*leached*). pH larutan berpengaruh langsung atas kelarutan unsur logam berat. Kenaikan pH menyebabkan logam berat mengendap. Yang lebih penting ialah pengaruh tidak langsung lewat pengaruhnya atas KTK. Sebagian KTK berasal dari muatan tetap dan sebagian lagi berasal dari muatan tidak tetap (*variable charge*). Muatan tidak tetap bergantung pada pH yang meningkat sejalan dengan

peningkatan pH. Maka peningkatan pH membawa peningkatan KTK. Logam berat terjerap lebih banyak atau lebih kuat sehingga mobilitasnya menurun. tanah penjerap, anion yang terjerap dapat membantu penjerapan kation logam berat karena meningkatkan kerapatan muatan negatif pada permukaan komponen penjerap. Dapat pula sebaliknya, anion yang terjerap menghalangi penjerapan kation logam berat karena menutupi tapak jerapan. Potensial redoks tanah yang bersama dengan reaksi tanah menentukan spesies kimiawi logam berat. Misalnya, spesies utama Cd dalam keadaan oksik dan masam ialah  $Cd^{2+}$ ,  $CdSO_4$  dan  $CdCl^+$ , dalam keadaan oksik dan base disamping yang telah disebutkan juga terdapat  $CdHCO_3^+$ , dan dalam keadaan anoksik kompleks sulfat diganti dengan kompleks sulfida.

Ketersediaan hayati logam berat, berarti keterserapannya oleh tumbuhan, dikendalikan oleh berbagai faktor tanah dan biologi (macam, fase pertumbuhan, dan fase perkembangan tumbuhan) secara rumit, bahkan ada faktor yang pengaruhnya saling bertentangan. Menurut Verloo (1993) ada kejadian yang penyerapan suatu logam berat oleh tumbuhan dari tanah yang tercemar berat lebih sedikit daripada penyerapannya dari tanah yang tercemar ringan. Hal ini berkenaan dengan kenaikan pH yang lebih tinggi oleh bahan pencemar yang lebih banyak dan sejalan dengan ini KTK juga meningkat lebih tinggi, sehingga penjerapan oleh tanah menjadi lebih kuat.

Logam berat memasuki lingkungan tanah melalui penggunaan bahan kimia yang berlangsung mengenai tanah, penimbunan debu, hujan atau pengendapan, pengikisan tanah dan limbah buangan. Interaksi logam berat dan lingkungan tanah dipengaruhi oleh tiga faktor, yaitu :

1. proses sorpsi atau desorpsi
2. difusi pencucian, dan
3. degradasi.

Besarnya penyerapan logam berat di tanah dipengaruhi oleh sifat bahan kimia, kepekatan bahan kimia di tanah, konsentrasi air tanah, dan sifat-sifat tanah misalnya bahan organik dan liat (Cliath & Miller, 1995 dalam Charlena, 2004). Adsorpsi secara umum adalah proses penggumpalan substansi terlarut yang ada di dalam larutan oleh permukaan benda atau zat penyerap. Adsorpsi adalah masuknya bahan yang menggumpal dalam suatu zat padat. Sebagian besar adsorben merupakan bahan yang sangat berpori dan adsorpsi terutama terjadi pada dinding berpori atau pada suatu tempat tertentu di dalam partikel. Proses pemisahan dapat terjadi

karena adanya perbedaan berat molekul, bentuk atau kepolaran yang menyebabkan molekul-molekul tertentu melekat pada permukaan yang lebih kuat daripada molekul-molekul yang lain atau karena ukuran porinya terlalu kecil untuk dapat memuat molekul yang lebih besar. Adsorpsi dipengaruhi oleh permukaan suatu zat dan juga luas area. Adsorben memiliki luas permukaan yang besar untuk bereaksi, apabila suatu zat dalam cairan kecil, maka semakin besar potensi untuk dapat terikat atau menempel. Mekanisme sorpsi dapat berupa pertukaran ion (untuk yang terionisasi) dan ikatan hidrofobik (untuk zat organik yang tidak larut).

## IX. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Tempat Pembuangan Akhir Sampah Jatibarang Semarang yang terletak di Kelurahan Kedungpane Kecamatan Mijen Kota Semarang pada bulan-bulan November 2014. Tahapan penelitian meliputi survei lokasi, pengumpulan data dan analisis data.

### Survei lokasi

Tujuan survei adalah untuk menentukan titik *sampling*. Survei lokasi dilakukan dengan cara pengamatan di lokasi penelitian.

### Pengumpulan Data

Data penelitian berupa data yang diolah di laboratorium. Data yang memerlukan pengolahan di laboratorium berupa sampel tanah. Sampel tanah diolah lebih lanjut untuk dianalisis konsentrasi logam berat. Sampel tanah diambil menggunakan cangkul dan penggaruk tanah. Strategi yang diterapkan untuk pengambilan contoh tanah di TPA Sampah Jatibarang Semarang adalah dengan cara acak. Pengambilan contoh pada tanah di TPA Sampah Jatibarang Semarang dilakukan pada kedalaman 20 cm. Berat tiap contoh tanah yang diambil 100 g tanah per contoh.

### Analisis Data

Sebagian sampel tanah yang telah diambil dari lokasi pengambilan sampel dianalisis di Laboratorium Kimia Universitas Negeri Semarang untuk mengetahui konsentrasi logam berat dengan menggunakan metode ICP-MS.

## X. HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsentrasi logam berat dalam tanah di TPA Sampah Jatibarang Semarang bervariasi di tiap lokasi. Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi logam berat (Cd,Cr,Cu, Fe,Hg,Mn,Ni,Se) dalam tanah pada lokasi 1 (dekat tanggul) Cd 0,037 mg/L, Cr 0,375 mg/L, Cu 1,084 mg/L, Fe 267,4 mg/L, Hg 2,2 mg/L, Mn 14,7 mg/L, Ni 0,214 mg/L, dan Se 0,114 mg/L. Sedangkan konsentrasi logam berat (Cd,Cr,Cu, Fe,Hg,Mn,Ni,Se) dalam tanah pada lokasi 2 (dekat bak pengolahan lindi) Cd 0,032 mg/L, Cr 0,23 mg/L, Cu 1,325 mg/L, Fe 285 mg/L, Hg 2,587 mg/L, Mn 44,7 mg/L, Ni 0,195 mg/L, dan Se 1,11 mg/L.

Salah satu faktor yang dapat mempengaruhi konsentrasi logam berat di dalam tanah adalah kontinuitas masukan sampah di TPA Sampah Jatibarang Semarang. Masukan sampah di TPA menyebabkan semakin banyak sampah yang berpotensi mengandung logam berat masuk ke dalam TPA, terjadinya mobilisasi logam berat yang masuk ke dalam air tanah dan mengalir ke lokasi yang lebih rendah sehingga berpotensi meningkatkan konsentrasi logam berat dalam tanah.

Keberadaan logam berat di dalam tanah tidak dapat dipisahkan dari faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhi peresapan logam berat ke dalam tanah antara lain pH tanah dan bahan organik tanah. Konsentrasi logam berat di dalam tanah dengan pH rendah cenderung lebih kecil bila dibanding pada tanah dengan pH tinggi. Pada kondisi tanah dengan pH rendah, unsur logam berat akan larut dalam air tanah sehingga lebih mudah tercuci ke lapisan bawah tanah. Pada kondisi tanah dengan pH tinggi, logam berat akan terikat oleh koloid tanah dan bahan organik atau diendapkan dalam bentuk hidroksida, sehingga terhindar dari proses pencucian dan penyerapan oleh akar tanaman (Atmojo, 2003).

Bahan organik tanah turut mempengaruhi konsentrasi logam berat dalam tanah. Bahan organik akan berikatan dengan logam berat membentuk kelasi/kelat. Kelasi bahan organik dapat mengatur ketersediaan logam di dalam tanah (Alloway dan Ayres, 1997).

Menurut Darmono (1995), konsentrasi logam berat dalam tanah secara alami dengan kisaran non pencemaran antara lain As (5 sampai 3000 ppm, rerata 100 ppm), Co (1 sampai 40 ppm, rerata 8 ppm), Cu (1 sampai 300 ppm, rerata 20 ppm), Pb (2 sampai 200 ppm, rerata 10 ppm), Zn (10 sampai 300 ppm, rerata 50 ppm), Cd (0,05 sampai 0,7 ppm, rerata 0,06 ppm), dan Hg (0,01 sampai 0,3 ppm, rerata 0,03 ppm).

Sedangkan kriteria umum untuk konsentrasi logam berat yang terdapat di dalam tanah telah diteliti oleh Ferguson (1990) mengemukakan batas beberapa konsentrasi logam berat yang tidak tercemar di dalam tanah, yaitu :

1. *Cadmium* (Cd), nilai rerata pada tanah yang tidak terkontaminasi adalah 0,62 µg/g. Batas minimum : 0,1 µg/g dan batas maksimumnya : 1,0 µg/g.
2. *Mercury* (Hg), nilai rerata pada tanah yang tidak terkontaminasi adalah 0,098 µg/g. Batas minimum : 0,01 µg/g dan batas maksimumnya : 0,06 µg/g.
3. *Arsenic* (As), nilai rerata pada tanah yang tidak terkontaminasi adalah 6,03 µg/g. Batas minimum : 5 µg/g dan batas maksimumnya : 10 µg/g.
4. *Lead* (Pb), nilai rerata adalah 29,2 µg/g, tetapi konsentrasi pada tanah yang tidak terkontaminasi adalah 10 – 20 µg/g, bila konsentrasi lebih dari 100 µg/g, maka sudah terkontaminasi. Karena itu batas maksimum Pb adalah 20 µg/g atau 50 µg/g.
5. *Selenium* (Se) mempunyai nilai rerata 0,4 µg/g. Angka ini akan meningkat pada daerah asam dan semi asam, karena itu angka ini sebaiknya dipakai sebagai baku mutu tanah.

## XI. KESIMPULAN

Lindi TPA yang mengandung logam berat berpotensi menyebabkan pencemaran tanah.

### Daftar Pustaka

- Alloway, B.J., dan Ayres, D.C., 1997. *Chemical Principles of Environmental Pollution*. Blackie Academic and Professional. London.
- Atmojo, S.W., 2003. Peranan Bahan Organik Terhadap Kesuburan Tanah dan Upaya Pengelolaannya. *Pidato Pengukuhan Guru Besar Ilmu Kesuburan Tanah*: Fakultas Pertanian. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Damanhuri. 2008. Diklat Lanfiling. FTSL ITB Bandung.
- Darmono. 1995. Logam Dalam Sistem Biologi Mahluk Hidup, Cetakan Pertama, Universitas Indonesia, Jakarta.
- Darmono. 2001. *Lingkungan hidup dan pencemaran: Hubungannya dengan Toksikologi senyawa logam*. UI-Press.

Jakarta

- Ferguson, J.E. 1990. *The Heavy Elements : Chemistry, Environmental Impact and Health Effects*, Pergamon Press, Oxford.
- Napitupulu, Monang. 2008. Analisis Logam Berat Seng, Kadmium dan Tembaga pada Berbagai Tingkat Kemiringan Tanah Hutan Tanaman Industri PT.Toba Pulp Lestari dengan Metode Spektrometri Serapan Atom (SSA). <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/5865/1/08E00483.pdf>
- Notodarmojo, S. 2005. *Pencemaran Tanah Dan Air Tanah*. Penerbit ITB. Bandung.
- Ridhowati S. 2013. *Mengenal Pencemaran Ragam Logam*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Schnoor, J.L and Mc Cutcheon, S. C. 2005. *Phytoremediation Transformation and Control of Contaminants*. Wiley-Interscience Inc, USA.
- Wardhana, W.A. 2004. *Dampak Pencemaran Lingkungan*. Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Watts, R.J. 2000. *Hazardous Wastest: Surces, Pathways, Receptors*. John Wiley and Sons. Inc. New York.

## **Sistem informasi lahan berbasis kepemilikan: pendukung instrumen pengendalian pemanfaatan ruang? (Studi Kasus: Kabupaten Sragen, Provinsi Jawa Tengah)**

**Sariffuddin**

Jurusan Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
sariffuddin@pwk.undip.ac.id

**Agus Sriyono**

Research Group on Urban Development, Jurusan perencanaan wilayah dan kota,  
Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
agus.sriyono@pwk.undip.ac.id

### **Abstrak**

*Artikel ini memberikan alternatif pendukung instrumen pengendalian perubahan guna lahan menggunakan sistem informasi geografis berbasis kepemilikan. Perubahan guna lahan perkotaan menjadi konsekuensi pertumbuhan kota yang tidak terkontrol. Instrumen pengendalian pemanfaatan ruang yang terdiri dari peraturan zonasi, insentif dan disinsentif, sanksi dan perijinan tidak efektif bekerja. Salah satu persoalan dasar yang menyebabkannya adalah pertumbuhan kota ini berjalan secara informal, yaitu masyarakat mengubah peruntukan lahannya tanpa sepengetahuan dan seijin pemerintah. Sehingga, perencanaan dan pembangunan kota formal tidak selaras dengan pertumbuhan kota yang terjadi di lapangan. Persoalan ini disinyalir sebagai konsekuensi dari perencanaan dan pengendalian tata ruang yang masih mengesampingkan kepemilikan lahan. Di sisi lain, masyarakat melakukan proses pembangunan mengikuti mekanisme pasar untuk memenuhi kebutuhan dan kesejahteraan mereka. Untuk itu studi ini berusaha memberikan alternatif instrumen pengendalian perubahan guna lahan sehingga dapat disinergikan dengan kebijakan pengendalian pemanfaatan ruang formal.*

**Kata kunci :** sistem informasi lahan, instrumen pengendalian alih fungsi lahan

### **I. PENDAHULUAN**

Konversi lahan yang dianggap bagian normal dari pertumbuhan dan perkembangan kota (Firman, 2000) terkadang justru menjadi persoalan baru jika menyimpang dari perencanaan yang telah ditetapkan sebelumnya. Perubahan fungsi lahan ini dapat terjadi secara langsung maupun tidak langsung. Perubahan fungsi lahan langsung terjadi karena hasil pembangunan dari perencanaan kota dan wilayah, sedangkan perubahan fungsi tidak langsung merupakan konsekuensi atau imbas dari pembangunan itu. Perubahan fungsi secara langsung dapat berupa konversi lahan pertanian menjadi perkotaan (Firman, 2000), perubahan fungsi lahan di daerah pinggiran (Dutta, 2012) sedangkan imbas tidak langsung yang dihadapi adalah permasalahan sosial seperti gentrifikasi yang terjadi di Tembalang (lihat: Prayoga, dkk., 2013) dan di Bandung (lihat: Hudalah, dkk., 2014). Faktor utama yang berpengaruh terhadap perubahan fungsi lahan adalah dokumen perencanaan yang dibuat oleh pemerintah maupun karena mekanisme pasar. Pertumbuhan ekonomi wilayah (Xiangzheng Deng, dkk., 2010, He, dkk., 2014), situasi politik (Goldblum dan Wong,

2000) dan dinamika sosial ekonomi (Murakami, dkk., 2005), masyarakat juga menjadi faktor pendorong utama terjadinya perubahan fungsi lahan.

Meskipun dokumen tata ruang menjadi rujukan perubahan fungsi lahan, akan tetapi kenyataan di lapangan menunjukkan bahwa tidak seluruh konversi lahan merupakan hasil perencanaan formal yang tertuang di dalam dokumen perencanaan (Zhu dan Simarmata, 2015). Fenomena perkembangan kota secara informal menjadi salah satu hasil mekanisme pasar dan dinamika sosial masyarakat yang juga berperan dan terkadang justru lebih besar pengaruhnya. Kondisi ini terutama pada perkembangan permukiman informal, dimana 70–85% penduduk Indonesia masih bergantung di dalamnya (Kementerian Perumahan Rakyat, 2009 dalam Setiawan, 2010).

Penelitian yang dilakukan oleh Wiweka (2002) di Denpasar Bali merupakan salah satu contoh bagaimana proses pelanggaran ketentuan pemanfaatan lahan berlangsung secara informal. Masyarakat dengan berbagai dinamika sosial dan ekonomi melanggar ijin mendirikan bangunan (IMB) tanpa adanya kontrol yang baik dari pemerintah.

Lemahnya kontrol dari pemerintah tidak lepas dari kemampuan pemerintah dalam mengawasi begitu banyak bentuk pelanggaran dan luasnya areal wilayah. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Husna dan Buchori (2008) di Surakarta, dimana kedisiplinan pengawasan pemerintah menjadi salah satu faktor utama tidak berjalan efektifnya instrumen aturan bangunan dalam pengendalian pembangunan perkotaan.

Akhirnya, para perencana kota perlu memperhatikan instrumen pengendalian pemanfaatan ruang yang mampu mengakomodasi fenomena lapangan berupa instrumen yang dinamis dan sesuai dengan dinamika sosial ekonomi masyarakat. Undang-Undang Republik Indonesia No. 26 Tahun 2007 tentang penataan ruang menyebutkan bahwa ada 4 instrumen pengendalian pemanfaatan ruang yaitu: sanksi, perijinan, insentif dan disinsentif serta peraturan zonasi (zoning regulation). Dari keempat instrumen yang sering digunakan, belum ada instrumen yang mengintegrasikan pada kepemilikan lahan (land ownership) di dalam perencanaan hingga pengendalian pemanfaatan ruang. Padahal, domain perencanaan di Indonesia pada dasarnya adalah perencanaan publik yaitu merencanakan bidang lahan yang sebenarnya dimiliki oleh publik/masyarakat.

Berdasarkan fenomena di atas, artikel ini menyajikan satu konsep pendukung pengendalian pemanfaatan ruang menggunakan sistem informasi lahan berbasis kepemilikan. Pengintegrasian dua elemen data base dan sistem informasi ini dilakukan sebagai salah satu upaya menjawab tantangan pengembangan instrumen pengendalian pemanfaatan ruang terutama pada tahap antisipasi dengan melibatkan masyarakat secara aktif. Untuk memenuhi tujuan tersebut, penelitian ini dilakukan melalui studi kasus di Kabupaten Sragen dengan memanfaatkan teknologi informasi berupa ArcGIS dan basis data berdasarkan citra satelit Spot-6 tahun 2013 skala 1:1.000.

## II. METODE PENELITIAN

Artikel ini disusun berdasarkan metode penelitian sintesis mengikuti pola Exemplary Synthesis. Pola ini menyajikan kritik eksplisit berdasarkan contoh kasus berupa lesson learned (Suri dan Clarke, 2009). Terdapat tiga sumber informasi utama dalam penelitian ini seperti disajikan dalam tabel 1 berikut:

**Tabel 1** Sumber informasi utama penelitian

Aspek	Sumber Informasi
Kebijakan pemerintah	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ PP No. 15 Tahun 2010 tentang penyelenggaraan penataan ruang.</li> <li>▪ UU No. 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang</li> </ul>
Hasil penelitian terdahulu	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kasus pelanggaran IBM di Denpasar Bali, penelitian dilakukan oleh Wiweka (2002),</li> <li>▪ Kasus instrumen pengendalian pemanfaatan ruang di Surakarta, penelitian dilakukan oleh Husna dan Buchori (2008), dan</li> <li>▪ Kasus kegagalan pengendalian alih fungsi tanah dilakukan oleh Listyawati (2010).</li> </ul>
Studi kasus	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Penyusunan database persil kepemilikan lahan se- Kabupaten Sragen.</li> </ul>

Sumber: Penyusun, 2015

Meskipun kedua penelitian ini dilakukan bukan di Kabupaten Sragen, akan tetapi acuan utama instrumen pengendalian pemanfaatan ruang yang digunakan adalah sama yaitu berasal dari peraturan pemerintah (PP No. 15 Tahun 2010 dan UU No. 26 Tahun 2007), sehingga kasus ini bisa diangkat menjadi salah satu kasus di Kabupaten Sragen yang menerapkan instrumen sama.

Proses analisis kolaboratif dilakukan dengan cara membandingkan setiap informasi dari ketiga sumber untuk menghasilkan rekomendasi perbaikan instrumen pengendalian pemanfaatan ruang. Proses ini menjadi bagian dari upaya evaluasi kapasitas literatur atau sering di kenal dengan istilah evaluation capacity building (ECB) literature (Labin, dkk., 2012).

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tidak bisa dipungkiri bahwa pengendalian pemanfaatan ruang di Indonesia masih jauh dari sempurna. Dalam perspektif ilmu hukum, Listyawati (2010) menyimpulkan bahwa kegagalan pengendalian pemanfaatan ruang di Indonesia terutama dari pertanian menjadi non pertanian disebabkan oleh: pertama, faktor internal berupa meningkatnya kebutuhan rumah tinggal dan usaha, kurang mencukupinya penghasilan pertanian, tidak terjangkau biaya operasional pertanian dan sempingnya bidang tanah.

Kedua, faktor eksternal berupa tingginya

investasi, pertumbuhan penduduk dan perkembangan kota, pembangunan fasilitas umum, longgarnya perijinan dan kurang tegasnya sanksi. Ketiga, disebabkan oleh kendala operasional berupa kurangnya koordinasi antar instansi, kebijakan teknis yang sulit diterapkan dan kurang diperhatikannya pertimbangan dan saran dari tim izin peruntukan penggunaan tanah.

Selain 3 persoalan di atas, Listyawati (2010) juga menggarisbawahi bahwa sering terjadi benturan kepentingan antara pemerintah dan masyarakat. Pemerintah memiliki hak yang diatur oleh undang-undang No. 5 Tahun 1960 tentang Peraturan Dasar Pokok-Pokok Agraris, bahwa pemerintah sebagai penguasa memiliki tugas untuk mengatur dan mengurus tanah. Sedangkan disisi lain masyarakat memiliki hak atas tanah untuk mengelola, menggunakan dan memanfaatkannya. Persoalan ini berlangsung hampir di seluruh daerah baik perkotaan maupun pedesaan.

Padahal, penggunaan lahan yang tidak sesuai dengan aturan perencanaan memiliki kecenderungan menjadi informal dan menjadi kampung (Setiawan, 2010). Persoalan ini menjadi lebih pelik di saat diketahui bahwa 70-85% penduduk Indonesia masih bergantung pada permukiman informal yang minim intervensi pemerintah (Kementerian Perumahan Rakyat, 2009 dalam Setiawan, 2010). Diperkirakan pelanggaran ketentuan pemanfaatan ruang lebih banyak bersumber dari masyarakat atau dari rumah tinggal dibandingkan dari dunia usaha.

#### *a. Instrumen pengendalian pemanfaatan ruang di Indonesia*

Instrumen pengendalian pemanfaatan ruang di Indonesia diatur oleh Undang-Undang No. 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang. Di dalamnya, instrumen pengendalian pemanfaatan ruang yang berlaku di Indonesia meliputi 4 instrumen, yaitu: (1) perijinan, (2) sanksi, (3) peraturan zonasi, dan (4) insentif dan disinsentif. Keempat instrumen ini berjalan setelah proses perencanaan tata ruang dilakukan dan disyahkan.

Perijinan dan sanksi dalam instrumen pemanfaatan lahan digunakan agar tertib administrasi. Pemerintah/ penguasa mewajibkan kepada setiap orang untuk memiliki izin pemanfaatan ruang dan wajib melaksanakan setiap ketentuan perizinan di dalam pelaksanaan pemanfaatan ruang. Kenyataan empiris di lapangan, tidak sepenuhnya seperti amanat undang-undang tersebut. Seperti yang terjadi di Denpasar Bali, dimana pelanggaran hampir terjadi di seluruh ketentuan pemanfaatan lahan yaitu

dari pelanggaran rencana guna lahan hingga pelanggaran ketentuan pemanfaatan lahan (GSB, KDB, KLB, dan sebagainya). Akan tetapi, seluruh penggar tersebut tidak mendapatkan sanksi tegas dari pemerintah (Wiweka, 2002).

Ketentuan teknis non administratif diatur melalui peraturan zonasi dan insentif-disinsentif. Peraturan zonasi merupakan ketentuan tentang persyaratan pemanfaatan ruang sektoral dan ketentuan persyaratan pemanfaatan ruang untuk setiap blok/ zona peruntukan yang penetapan zonanya dalam rencana rinci tata ruang. Ketentuan peraturan zonasi ini tidak terlepas dari rencana detail tata ruang yang sebelumnya telah tersusun. Perubahan guna lahan yang diijinkan ditentukan berdasarkan 4 kategori yaitu (1) diijinkan, (2) ijin terbatas, (3) ijin bersyarat, dan (4) tidak diijinkan. Ketentuan ini lebih mengatur pada perubahan fungsi lahan yang ditetapkan dalam klasifikasi ruang.

Berbeda dengan peraturan zonasi, insentif dirancang sebagai upaya stimulasi terhadap daerah yang diprioritaskan perkembangannya atau mempertahankan fungsi yang sudah ada. Adapun disinsentif diberikan pada daerah atau lokasi yang tidak mendapatkan prioritas pengembangan. Insentif dan disinsentif ini dapat diberikan oleh pemerintah pusat ke pemerintah daerah, pemerintah daerah ke pemerintah daerah lainnya dan dari pemerintah ke masyarakat.

#### *b. Database persil Kabupaten Sragen*

Database persil, sebenarnya bukan menjadi database baru di Indonesia. Di Kabupaten Sragen, sistem ini telah ada sejak pemerintah Belanda (lihat gambar 1). Versi digital juga disediakan oleh dinas pajak bumi dan bangunan serta badan pertanahan nasional. Hanya saja, tidak ada standarisasi sistem koordinat yang baik. Masih ditemukan dua peta yang bersebelahan tetapi tidak bisa disatukan.

Ini terjadi karena perbedaan titik ikat setiap peta yang berbeda dan tidak ada single base map. Persoalan ini menjadikan tidak akuratnya informasi yang diberikan oleh peta. Karena tidak adanya kesamaan titik ikat antar peta menjadikan beberapa peta kosong.

Persoalan ini menjadi salah satu kendala di dalam perencanaan dan pengendalian ruang perkotaan berbasis kepemilikan lahan (land ownership). Melihat persoalan ini menjadikan masalah agraria Indonesia, dimana sering terjadinya benturan antara hak penguasaan tanah oleh masyarakat dan hak pengaturan dan perencanaan

oleh pemerintah semakin besar. Persoalan ini juga disadari oleh Listyawati (2010) bahwa belum ada sistem pemetaan yang terintegrasi dan berlaku nasional. Bahkan Listyawati (2010) menemukan lebih dari dua belas instansi di Indonesia memiliki peta kawasan untuk kepentingan mereka sendiri dan bersifat sektoral. Akibatnya terjadi overlapping antara satu peta dengan peta lainnya.

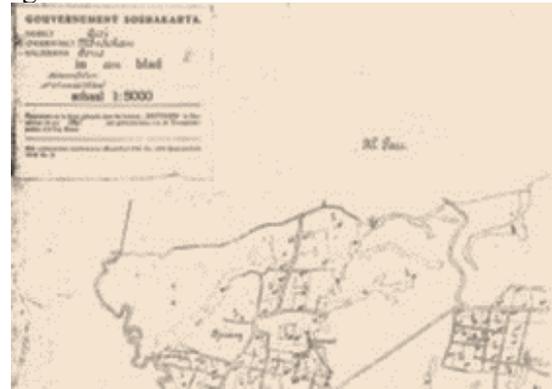


**Gambar 1:** Contoh peta persil tanah Desa Pare, Kabupaten Sragen yang dikeluarkan oleh Pemerintah Belanda Tahun 1941 (Sumber: DPKAD, 2014)

Kondisi serupa juga terjadi di Kabupaten Sragen. Setidaknya ada 3 instansi daerah dan 1 instansi nasional yang memiliki peta dasar untuk kepentingan mereka. Instansi pemerintah pusat dan daerah yang dimaksud adalah Bappeda, Dinas Pekerjaan Umum, Dinas Pengelolaan Keuangan dan Aset Daerah (DPKAD), dan Badan Pertanahan Nasional. Bukan hanya titik ikat peta yang berbeda, sistem koordinat masing-masing instansi juga berbeda. Peta yang dikeluarkan oleh Bappeda dan PU memiliki sistem koordinat Universal Transvers Mercator (UTM) sedangkan BPN dan DPKAD menggunakan sistem koordinat TM3. Peta kepemilikan tanah yang dikeluarkan oleh DPKAD berupa peta PBB sebagai dasar penarikan pajak bumi dan bangunan juga memiliki banyak kesalahan. Persoalan paling mendasar adalah overlapping dan tidak terintegrasi antara satu peta dengan peta yang lain. Bahkan jika ditampilkan dengan citra satelit terkoreksi juga bergeser lebih dari 5 km. Padahal peta-peta ini bersumber dari satu instansi yang sama.

Persoalan peta dasar di atas menjadi masalah besar disaat banyak permintaan ijin mendirikan perumahan baru di Kabupaten Sragen. Para pengembang lokal banyak mengajukan ijin untuk mengubah fungsi sawah menjadi perumahan. Para pengembang ini membangun perumahan dalam unit yang sedikit yaitu 10 – 25 unit rumah, sehingga tidak

jarang berbenturan dengan rencana tata ruang. Dalam membebaskan tanah, para pengembang melihat kemilikan tanah, sedangkan di rencana tata ruang mengabaikan kepemilikan tanah di dalam rencana tata guna lahan dan peraturan zonasinya. Dari persoalan di atas, Dinas Pekerjaan Umum memiliki inisiatif membuat peta persil kepemilikan lahan berdasarkan citra satelit IKONOS tahun 2013 seperti pada gambar 2.



**Gambar 2:** Persil Desa Kaloran Kabupaten Sragen yang ditampilkan dengan citra satelit (Sumber: Analisis, 2014)

*c. Sistem informasi lahan: pendukung instrumen pengendalian pemanfaatan ruang?*

Persoalan fundamental diatas menjadi salah satu persoalan tidak efektifnya instrumen pengendalian pemanfaatan ruang. Rencana detail tata ruang berupa peta skala 1 : 5.000, dimana di dalam peraturan zonasi harusnya mengatur perubahan fungsi lahan perkapling, sulit terealisasi. Ini menunjukkan aturan perencanaan tata ruang tidak efektif menyentuh hingga level masyarakat, dimana mereka memiliki hak memiliki, mengelola dan menggunakan tanah.

Merujuk pada hasil penelitian yang dilakukan oleh Listyawati (2010), Wiweka (2002) serta Husna dan Buchori (2008) bahwa dalam praktek pengendalian alih fungsi lahan sering tidak efektif karena: (1) terjadi benturan antara masyarakat dengan pemerintah, (2) kurangnya kesadaran masyarakat, (3) rendahnya kedisiplinan dan ketegasan pemerintah maka perlu adanya instrumen yang bisa menyatukan pemerintah dan masyarakat.

Sistem informasi lahan dapat menjadi instrumen pendukung efektivitas pengendalian pemanfaatan ruang melalui pengintegrasian mekanisme pengendalian. Selama ini sistem informasi lahan hanya menyajikan informasi kadaster lahan, maka selanjutnya dapat diperluas dengan mengintegrasikan pengendalian pemanfaatan ruang ke dalamnya. Tentu dengan beberapa prasyarat yang harus dipenuhi,

seperti: (1) perlu adanya single base map nasional, (2) kerjasama antar instansi, (3) pelibatan aktif masyarakat dalam proses sosialisasi hingga perencanaan, dan (4) perlu adanya pendekatan collaborative planning & development agar sistem ini berjalan lebih efektif.

Bagaimana sistem ini berjalan? Sistem pengendalian pemanfaatan ruang perlu ditransformasi dari dokumen yang tidak memperhatikan kepemilikan lahan ke dokumen yang memperhatikan kepemilikan lahan. Salah satu contoh yang bisa diterapkan adalah adanya dokumen tambahan di sertifikat kepemilikan tanah yaitu sertifikat peruntukan lahan. Sertifikat peruntukan lahan ini dilengkapi dengan instrumen peraturan zonasi hingga insentif dan disinsentif.

#### IV. SIMPULAN

Persoalan mendasar pengendalian pemanfaatan lahan di Indonesia adalah (1) tumpang tindihnya pengelolaan lahan, (2) tidak adanya koordinasi dalam pengendalian pemanfaatan, dan (3) belum adanya single base map nasional yang terintegrasi. Dari penelitian ini ada indikasi perlu adanya pendalaman mengenai collaborative planning and development di dalam pengendalian pemanfaatan lahan. Disamping itu, dari studi ini juga membuka adanya tema penelitian sistem informasi lahan yang kemungkinan besar dikolaborasi dengan sistem informasi dan teknologi untuk membentuk smart city terutama dalam pengelolaan lahan.

#### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada DPU dan Bappeda Kabupaten Sragen yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk mendampingi penyusunan peta persil tanah tahun 2014.

#### Daftar Pustaka

DUTTA, V. 2012. *Land Use Dynamics and Peri-urban Growth Characteristics: Reflections on Master Plan and Urban Suitability from a Sprawling North Indian City*. *Environment and Urbanization Asia*, 3, 277-301.  
<http://dx.doi.org/10.1177/0975425312473226>

FIRMAN, T. 2000. *Rural to urban land conversion in Indonesia during boom and bust periods*.

*Land Use Policy*, 17, 13-20.  
[http://dx.doi.org/10.1016/S0264-8377\(99\)00037-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0264-8377(99)00037-X)

GOLDBLUM, C. & WONG, T.-C. 2000. *Growth, crisis and spatial change: a study of haphazard urbanisation in Jakarta, Indonesia*. *Land Use Policy*, 17, 29-37.  
[http://dx.doi.org/10.1016/S0264-8377\(99\)00043-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0264-8377(99)00043-5)

HE, C., HUANG, Z. & WANG, R. 2014. *Land use change and economic growth in urban China: A structural equation analysis*. *Urban Studies*, 51, 2880-2898.  
<http://dx.doi.org/10.1177/0042098013513649>

HUDALAH, D., WINARSO, H. & WOLTJER, J. 2014. *Gentrifying the peri-urban: Land use conflicts and institutional dynamics at the frontier of an Indonesian metropolis*. *Urban Studies*.  
<http://dx.doi.org/10.1177/0042098014557208>

HUSNA, D. & BUCHORI, I. 2008. *Instrumen aturan-aturan bangunan dalam pengendalian pembangunan di Kota Surakarta*. *Teknik*, 29, 28-35.  
<http://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik/article/view/1899>

LABIN, S. N., DUFFY, J. L., MEYERS, D. C., WANDERSMAN, A. & LESESNE, C. A. 2012. *A Research Synthesis of the Evaluation Capacity Building Literature*. *American Journal of Evaluation*, 33, 307-338.  
<http://dx.doi.org/10.1177/1098214011434608>

LISTYAWATI, H. 2010. *Kegagalan Pengendalian Alih Fungsi Tanah dalam Perspektif Penatagunaan Tanah di Indonesia*. *Mimbar Hukum*, 22, 37-57.  
<http://mimbar.hukum.ugm.ac.id/index.php/mh/article/view/299>

MURAKAMI, A., MEDRIAL ZAIN, A., TAKEUCHI, K., TSUNEKAWA, A. & YOKOTA, S. 2005. *Trends in urbanization and patterns of land use in the Asian mega cities Jakarta, Bangkok, and Metro Manila*. *Landscape and Urban Planning*, 70, 251-259.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2003.10.021>

PRAYOGA, I. N. T., ESARITI, L. & DEWI, D. I. K. 2013. *The Identification of Early Gentrification in Tembalang Area*,

Semarang, Indonesia. *Environment and Urbanization Asia*, 4, 57-71.  
<http://dx.doi.org/10.1177/1103308813478606>

SETIAWAN, B. *Kampung Kota dan Kota Kampung: Tantangan Perencanaan Kota di Indonesia. Pidato Pengukuran Jabatan Guru Besar Dalam Ilmu Perencanaan Kota Universitas Diponegoro, 2010 Yogyakarta. Universitas Gadjah Mada.*  
[http://lib.ugm.ac.id/digitasi/upload/1512\\_pp101100002.pdf](http://lib.ugm.ac.id/digitasi/upload/1512_pp101100002.pdf)

SURI, H. & CLARKE, D. 2009. *Advancements in Research Synthesis Methods: From a Methodologically Inclusive Perspective. Review of Educational Research*, 79, 395-430.  
<http://dx.doi.org/10.3102/0034654308326349>

WIWEKA, K. 2002. *Faktor-faktor penyebab pelanggaran ijin mendirikan bangunan (IMB) di Kota Denpasar. MT, Universitas Diponegoro.*  
<http://eprints.undip.ac.id/14737/1/2002MTPK1497.pdf>

XIANGZHENG DENG, JIKUN HUANG, ROZELLE, S. & UCHIDA, E. 2010. *Economic Growth and the Expansion of Urban Land in China. Urban Studies*, 47, 813-843.  
<http://dx.doi.org/10.1177/0042098009349770>

ZHU, J. & SIMARMATA, H. A. 2015. *Formal land rights versus informal land rights: Governance for sustainable urbanization in the Jakarta metropolitan region, Indonesia. Land Use Policy*, 43, 63-73.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.10.016>

## **Spatial Response Surface Methods for the Evaluation of Waterborne Disease Risk Potential**

**Shen Liu**

Mathematical Sciences School, Queensland University of Technology  
2 George Street, Brisbane QLD 4000  
[s21.liu@qut.edu.au](mailto:s21.liu@qut.edu.au)

**James McGree**

Mathematical Sciences School, Queensland University of Technology  
2 George Street, Brisbane QLD 4000  
[james.mcgree@qut.edu.au](mailto:james.mcgree@qut.edu.au)

**John Hayes**

Earth, Environmental and Biological Sciences School, Queensland University of Technology  
2 George Street, Brisbane QLD 4000  
[jf.hayes@qut.edu.au](mailto:jf.hayes@qut.edu.au)

**Ashantha Goonetilleke**

Civil Engineering and Built Environment School, Queensland University of Technology  
2 George Street, Brisbane QLD 4000  
[a.goonetilleke@qut.edu.au](mailto:a.goonetilleke@qut.edu.au)

### **ABSTRACT**

*Disease potential is driven by numerous factors such as landscape, water quality, drainage and sanitation infrastructure, which are often described by random variables that are spatially distributed. The aim of this paper is to present a methodological framework that can be applied to spatial data, in order to evaluate disease potential at given locations. Given a set of explanatory variables, variable selection methods and expert knowledge are used to determine which variables influence the response of interest. Interpolation methods are then used to derive a spatially smoothed surface of the response variable which takes into account the uncertainty due to spatial variation. Upper and lower limits of the response surface can be estimated, at any pre-determined level of significance.*

**Keywords :** *GIS, Interpolation, Response surface, Spatial statistics, Urbanisation, Waterborne disease*

### **I. INTRODUCTION**

Efficient management of domestic wastewater is a primary requirement for human well-being. Failure to adequately address issues of wastewater collection, treatment and disposal can lead to adverse public health and environmental consequences. However, the cost of providing conventional wastewater collection and treatment systems can be prohibitive. Consequently, the provision of sewerage facilities has not kept pace with this expansion in urbanisation. Under these circumstances, on-site treatment of wastewater such as the use of septic tanks is seen as an attractive alternative considering its simplicity, relative low cost and the application of the principle that waste should be treated at the point of its generation.

The increasing spread of urbanisation has led to the conversion of previously rural land into housing developments and the more intensive development of urban areas. This has also resulted in housing

development in areas, which are unsuitable for on-site wastewater treatment due to various factors such as soil conditions, groundwater table elevation and topography. Furthermore, the high density of on-site sewage treatment facilities can result in the contamination of surface and groundwater resources. This can exacerbate the threats to human health and well-being particularly in regions where reticulated water supply is not available and groundwater is used for potable purposes.

Therefore, it is essential that in areas where there is a high density of on-site sewage treatment facilities, regular monitoring of water quality parameters are undertaken. Additionally, the planning of new human settlements and proposals to increase the housing density of existing urban areas should also be cognizant of future adverse impacts and develop strategies to mitigate these impacts. However, the monitoring of water quality can be resource intensive and financially cost prohibitive.

Therefore, it is essential that innovative approaches which are resource efficient are adopted to assess potential adverse impacts. These initial approaches can help to identify future vulnerable areas where more intensive investigations are needed. This paper presents an innovative approach where geospatial statistics were employed to assess such vulnerable areas.

To evaluate the potential of human health risk over an area of study, the use of geospatial statistics has rapidly increased due to the increase in the availability of spatial data. In spatial studies, information is often collected at a discrete set of points. These discrete data must be converted into useful map representations. To achieve this, the data must be interpolated or modelled in such a way that the occurrence of similar outcomes can be predicted in areas that were not sampled. These studies make use of known information to interpolate/extrapolate to unsampled areas.

## II. MATERIALS AND METHODS

### A. Overview of geospatial statistical methods employed

Let  $Z$  be a real-valued stationary and ergodic random field in  $\mathbb{R}^d$ . Let  $Z_Y(\cdot)$  be a random variable defined on  $Z$ , where the dot in parentheses denotes spatial locations represented by latitude, longitude and elevation. A spatial response surface of  $Z_Y(\cdot)$  is of the following form:

$$Z_Y(\cdot) = f(\text{Lat}, \text{Lon}, \text{Elev}|\Omega) + \epsilon, \quad (1)$$

where  $Z_Y(\cdot)$  is the response variable,  $\Omega$  represents the set of spatial data that has been collected, and  $\epsilon$  is the error observed in  $Z_Y(\cdot)$ . The function  $f$  corresponds to an approximation or statistical emulation of the response function for the measured response, as the exact nature of this functional relationship is generally unknown.

Note that Eq. (1) implies that the function  $f$  assumes that a change in  $Z_Y(\cdot)$  values can be explained by the change in its spatial coordinates, while such a functional relationship can be learnt from spatial data. To achieve this, one needs to model the structure of spatial dependence of  $Z_Y(\cdot)$ . Tobler(1970) states that “everything is related to everything else, but near things are more related than distant things”, known as Tobler’s First Law of Geography. In statistical terms, Tobler’s Law refers to positive spatial autocorrelation in which pairs of observations that are taken nearby are more alike than those taken further apart. The variogram, which

is an important function in spatial statistics that describes the structure of spatial dependence, is defined as the variance of the difference between values at two locations across realizations of  $Z_Y(\cdot)$  (Cressie, 1993):

$$2\gamma_Y(s, v) = \text{Var}(Z_Y(s) - Z_Y(v)),$$

given that  $Z$  is stationary. The term  $\gamma_Y(s, v)$  is known as the semi-variogram. Define that  $h = \|s - v\|$  is the distance between locations  $s$  and  $v$ , the semi-variogram can be expressed as:

$$\gamma_Y(s, v) = \gamma_Y(h).$$

Assume  $\mathbf{Z}_Y = (Z_Y(s_1), \dots, Z_Y(s_n))$  is a vector of observations of  $Z_Y(\cdot)$  at locations  $s_1, \dots, s_n$ , respectively, where  $s_i \neq s_j$  for  $i \neq j$ . Note that each location can be represented by its latitude, longitude and elevation. The empirical version of  $\gamma_Y(h)$ , given spatial data  $\mathbf{Z}_Y$ , is of the following form:

$$\hat{\gamma}_Y(h) = \frac{1}{|N(h)|} \sum_{(i,j) \in N(h)} |Z_Y(s_i) - Z_Y(s_j)|^2, \quad (2)$$

where  $N(h)$  is the set of pairs of observations satisfying  $\|s_i - s_j\| = h$ , and  $|N(h)|$  denotes the number of such pairs.

A spatial interpolation method is then employed to predict values of random variables at user-specified points within a region, given a discrete set of observed values (Liu et al., 2014, Dimitrakopoulos et al., 2010). That is, a continuous surface can be produced from spatial data that have been collected. Most spatial interpolation methods can be viewed as weighted average techniques, i.e., the estimate at an unsampled location is the weighted average of observed data values within the study area. That is, given a sample of observations  $\mathbf{Z}_Y = (Z_Y(s_1), \dots, Z_Y(s_n))$ , the estimated value of  $Z_Y(\cdot)$  at an unsampled location  $s_0$  is computed as:

$$\hat{Z}_Y(s_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z_Y(s_i), \quad (3)$$

where  $\lambda_i$  denotes the weight assigned to the  $i^{\text{th}}$  sample value. It is obvious from Eq. (3) that the primary task of interpolation is to determine the weights ( $\lambda$ 's) properly so that the interpolation error is minimized. While there are numerous techniques that have been developed to estimate  $\lambda$ 's, in this study the kriging method is employed, as it achieved desirable performance in a large portion of case studies in the literature (Li and Heap, 2008).

The core equation of the kriging method is of the following form, as stated by Li and Heap (2008):

$$\hat{Z}_Y(s_0) = \mu_Y + \sum_{i=1}^n \lambda_i (Z_Y(s_i) - \mu_Y(s_0)), \quad (4)$$

where  $\mu_Y = E[Z_Y(\cdot)]$  is mean of  $Z_Y(\cdot)$ , which is assumed to be known and calculated as the average of observed data.  $\mu_Y(s_0)$  denotes the mean of sample values within the surrounding region of  $s_0$ .  $\lambda$ 's are determined by minimizing the kriging variance. Refer to Li and Heap (2008) for details of computing  $\lambda$ 's.

Once  $\hat{\lambda}_i$ 's are determined,  $\hat{Z}_Y(s_0)$  is then obtained by Eq. (4). The uncertainty associated to  $\hat{Z}_Y(s_0)$  can be quantified by  $\sigma_K^2$ , which is represented by a prediction interval at the  $\alpha$  level of significance:

$$\hat{Z}_Y(s_0) \pm z_{\alpha/2} \sigma_K,$$

where  $z_{\alpha/2}$  is the upper  $\alpha/2$  percentile of the standard normal distribution.

In the context of disease potential evaluation, taking into account secondary variables can contribute to the prediction of primary variable. For example, the information about land use of a region may improve the prediction of water quality. In practice, the selection of secondary variables is both data- and expert-opinion-driven. That is, these variables may be either suggested by experts, or determined by a statistical selection algorithm (e.g. backward elimination).

Recall Eq.(4) that  $\hat{Z}_Y(s_0)$  consists of two parts, namely, the mean value  $\mu_Y$  and the deviation from  $\mu_Y$  due to spatial variation. Consequently, a secondary variable, denoted  $Z_X(\cdot)$ , may contribute to predicting  $Z_Y(\cdot)$  in two ways. For one thing, instead of an average of data values,  $\mu_Y$  can be determined as a function of the observations of  $Z_X(\cdot)$ , and such a function can be approximated by regression analysis. For another, taking into account the spatial cross-correlation between  $Z_X(\cdot)$  and  $Z_Y(\cdot)$  may enhance the performance of kriging (Goovaerts, 1997). In such cases the co-kriging method can be applied, which explicitly accounts for cross-dependence structure of spatial random variables.

### **B. Field data collection**

Evaluation of potential human health risk due to on-site wastewater treatment requires the quantitative and qualitative assessment of landscape, surface water and groundwater and urban form

characteristics and understanding their linkages and relationships. Projection of contaminant generation and transport are governed by population dynamics, urban form and climate factors and allow greater detail for public health risk analyses.

Accordingly, eleven locations within Semarang region, Central Java, Indonesia providing a cross section of urban settings were selected as the case study sites for the in-depth investigations. Figure 1 below provides an aerial view of Semarang region.

According to the agreed protocol, water samples were collected from the study sites in three different sampling episodes. Figure 2 below provides a snapshot of the sample collection. From each study site, samples were collected from a number of locations. In addition to other locations, samples were invariably collected from drinking water wells and open surface water sources. The samples were tested for pH, electrical conductivity (EC), total suspended solids (TSS), chemical oxygen demand (COD), oils and fats and E.Coli. The groundwater samples were collected from existing wells used for drinking water purposes. Standard QA/QC procedures were adopted for sample collection, handling and transport. Standard methods applicable in Indonesia were adopted for sample testing. The data formed the baseline for the sophisticated analysis and modelling to be undertaken. The outcomes derived from the analysis of these study sites were extrapolated over the urban footprint using statistical methods discussed above.



**FIGURE 1: SEMARANG STUDY AREA (THE BOUNDARY IS SHOWN IN RED)**



**FIGURE 2: FIELD SAMPLING**

### III. RESULTS AND DISCUSSION

#### A. Selection of indicators and secondary variables

Based on past research literature, total nitrogen, fat/oil, and amount of bacteria were selected as indicators of potential sewage contamination, while dissolved oxygen and turbidity were selected as indicators of potential water pollution. Secondary variables, which are assumed to have explanatory power over the primary variables (the indicators), were suggested by experts. Table 1 exhibits the selected indicators and the corresponding secondary variables.

**Table 1** Selected indicators and the corresponding secondary variables

Indicator type	Primary Variables	Secondary Variables
Indicators of potential sewage contamination	Total Nitrogen	ammonium, nitrite, nitrate, dissolved oxygen, population density
	Fat/Oil	
	Amount of Bacteria	
Indicators of potential water pollution	Dissolved Oxygen	total suspended solids, total dissolved solids, conductivity, oxidation reduction potential, population density
	Turbidity	

The empirical design consisted of two stages. In the first stage, regression techniques were used to determine which secondary variables are potentially useful in modelling the variability in the primary variables. All possible regression models were considered, and the one with the lowest Bayesian Information Criterion (BIC) value was selected. In

the second stage, a response surface for each primary variable was constructed to evaluate the potential of waterborne disease over the Semarang area. Spatial interpolation needed to be carried out at a regularly spaced grid so that information is available at any given locations. Due to the paucity of data, kriging methods were considered. If at least one secondary variable was found to have significant explanatory power, cokriging was carried out to perform spatial interpolation; otherwise, ordinary kriging was implemented.

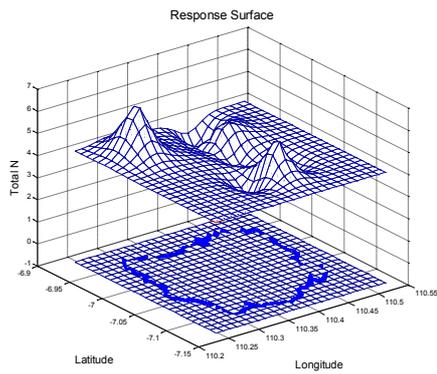
Table 2 reports the estimated regression coefficients which indicate the relationship between primary and secondary variables. It is observed from the table that at the 5% nominal level, total nitrogen and turbidity are significantly related to ammonium and TSS, respectively, while fat/oil, amount of bacteria and dissolved oxygen are not related to any explanatory variables. As a consequence, cokriging was conducted for total nitrogen and turbidity, and the other three indicators were subject to ordinary kriging.

**Table 2** Estimated regression coefficients and significance

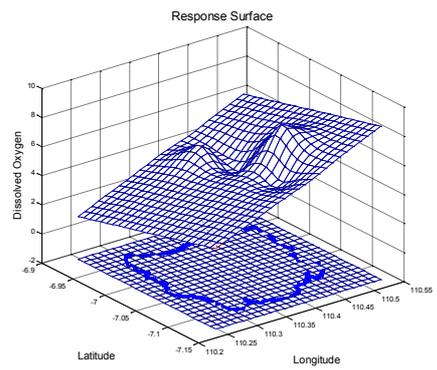
Parameter	Total Nitrogen	Fat/Oil	Amount of Bacteria	Dissolved Oxygen	Turbidity
Ammonium	0.346**	Not Selected	Not Selected	N.A.	N.A.
Nitrite	Not Selected	Not Selected	Not Selected	N.A.	N.A.
Nitrate	Not Selected	Not Selected	1.019	N.A.	N.A.
Dissolved Oxygen	-0.469	-0.516	Not Selected	N.A.	N.A.
Population Density	Not Selected	Not Selected	Not Selected	Not Selected	Not Selected
TSS	N.A.	N.A.	N.A.	Not Selected	0.074**
Total Dissolved Solids	N.A.	N.A.	N.A.	Not Selected	Not Selected
Conductivity	N.A.	N.A.	N.A.	-1.495	Not Selected
Oxidation Reduction Potential	N.A.	N.A.	N.A.	Not Selected	Not Selected

Note: \*\* indicates statistical significance at the 5% nominal level.

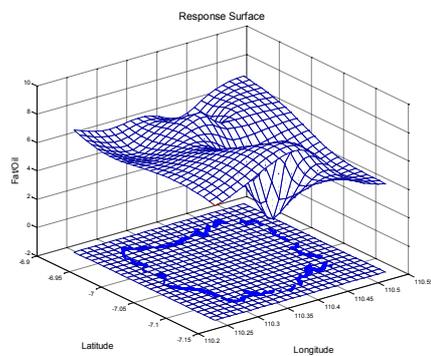
Fig. 3 to 7 display the estimated response surfaces of total nitrogen, fat/oil, amount of bacteria, dissolved oxygen and turbidity, respectively.



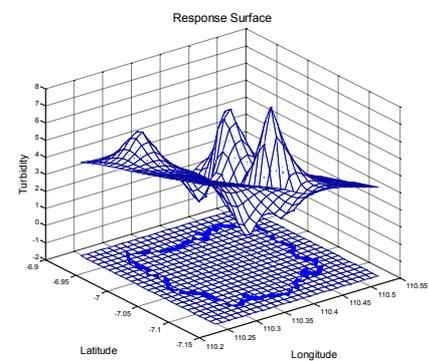
**Figure 3: Estimated response surface of Total Nitrogen**



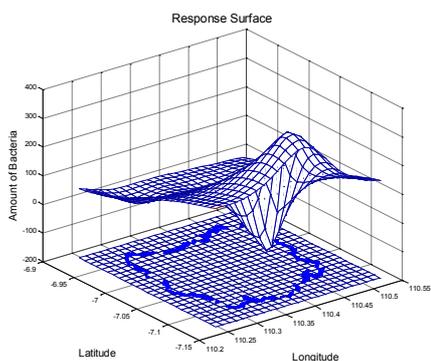
**Figure 6: Estimated response surface of dissolved oxygen**



**Figure 4: Estimated response surface of fat/oil**



**Figure 7: Estimated response surface of turbidity**



**Figure 5: Estimated response surface of amount of bacteria**

#### IV. CONCLUSIONS

The response surfaces allow overcoming the severe constraints which are otherwise imposed on human health risk and water pollution analysis to be undertaken, arising from the paucity of water quality data. As evident from the figures given above, the water quality parameters at any location can be deduced from the surfaces derived. Due to the fact that these surfaces were created taking into consideration the secondary variables listed in Table 1 above, they can be considered to be adequately reliable for the purposes of initial investigation of potentially vulnerable areas. It is important to keep in mind the degree of reliability and the practical application of these response surfaces. It is expected that the initial investigations undertaken using these surfaces will enable the identification of potentially vulnerable areas, which can then be investigated in greater detail at much reduced cost and resource requirements. The reliability can be further improved, when more data becomes available.

## REFERENCES

Cressie, N. A. C. (1993). *Statistics for Spatial Data*: Wiley.

Dimitrakopoulos, R., Mustapha, H., & Gloaguen, E. (2010). High-order statistics of spatial random fields: exploring spatial cumulants for modelling complex, non-Gaussian and non-linear phenomena. *Mathematical Geosciences*, 42, 65–99.

Goovaerts, P. (1997). *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. New York: Oxford University Press.

Li, J., & Heap, A. D. (2008). *A Review of Spatial Interpolation Methods for Environmental Scientists*: Geoscience Australia, Commonwealth of Australia.

Liu, S., Anh, V., McGree, J., Kozan, E., & Wolff, R. C. (2014). A new approach to spatial data interpolation using higher-order statistics. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 1-12. doi: 10.1007/s00477-014-0985-1.

Tobler, W. R. (1970). A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Economic Geography*, 46, 234–240.

## Model Sebaran SO<sub>2</sub> di Udara Kota Semarang

**S. Sudalma**

Program Doktor Ilmu Lingkungan Pascasarjana Universitas, Diponegoro  
Balai Pelatihan dan Pengujian Keselamatan Kerja dan Hiperkes Provinsi Jawa Tengah  
Ngesrep Barat III No. 44 Semarang

**P. Purwanto**

Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Semarang  
Program Doktor Ilmu Lingkungan Pascasarjana Universitas Diponegoro, Semarang  
Jl. Imam Barjo No. 5 Semarang

p.purwanto@gmail.com

**Langgeng Wahyu Santoso**

Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta  
Sekip Utara Yogyakarta  
wahyus\_72@yahoo.co.id

### ABSTRAK

*Kota Semarang merupakan ibukota dan pusat pertumbuhan ekonomi di Provinsi Jawa Tengah berkembang sebagai kota industri, perdagangan, jasa dan pendidikan. Perkembangan Kota Semarang menyebabkan peningkatan emisi SO<sub>2</sub> dari kegiatan industri dan transportasi. Penelitian ini bertujuan membuat pola sebaran SO<sub>2</sub> di udara Kota Semarang dengan metode IDW dari perangkat ArcGIS 10,2 berdasarkan data konsentrasi SO<sub>2</sub> pada 45 titik pantau yang tersebar di Kota Semarang. Penentuan titik lokasi mempertimbangkan keterwakilan daerah industri, jalan raya padat kendaraan, permukiman dan daerah yang jauh dari sumber emisi. Sumber tidak bergerak lebih terkonsentrasi di Semarang bagian utara. Jumlah SO<sub>2</sub> dari 99 sumber emisi tidak bergerak sebesar 9.999,50 ton/tahun dan emisi sumber bergerak pada ke-47 ruas jalan utama di Semarang 366.095 ton/tahun Sumber emisi tidak bergerak terkonsentrasi pada kawasan industri di Semarang bagian utara dari sebelah timur hingga sebelah barat. Sebaran SO<sub>2</sub> lebih terkonsentrasi di Semarang bagian utara sebelah timur. Hal ini disebabkan sumber emisi SO<sub>2</sub> dominan berasal dari aktifitas industri yang terkumpul di daerah utara dan terbawa angin dari utara ke selatan membentuk perbukitan di Semarang bagian selatan menyebabkan berbelok arah sehingga SO<sub>2</sub> terkumpul di Semarang bagian utara sebelah timur. Dengan berkembang Kota Semarang sebagai kota industri memungkinkan terjadinya penambahan sumber emisi yang menyebabkan penumpukan polutan di daerah dekat sumber. Hal ini perlu dilakukan pengaturan beban emisi untuk mencegah terjadinya pencemaran udara di dekat kawasan industri.*

**Kata kunci : emisi SO<sub>2</sub>, Sebaran polutan, sumber bergerak,**

## I. PENDAHULUAN

### A. Pencemaran Udara

Pencemaran lingkungan hidup adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu lingkungan hidup yang telah ditetapkan (UU Nomor 32 th 2009). Fenomena pencemaran udara terjadi melalui beberapa tahapan, mulai dari emisi polutan, penyebarannya di udara dan keterpaan pada penerima/*reseptor* (Atkinson 1988).

Polutan penyebab pencemaran udara berasal dari sumber alami maupun dari hasil aktifitas manusia (Manahan, 2000; Huang, 2008; Feichter *et. al.*, 1995). Sumber alami sulit diketahui jumlahnya. Sumber alami adalah aktifitas alam yang

mengeluarkan polutan ke udara. Aktifitas alam berupa letusan gunung berapi baik pada saat terjadi letusan maupun tidak, aroma / bau yang dikeluarkan oleh tumbuhan maupun binatang, kebakaran hutan, pembusukan hewan dan tumbuh-tumbuhan serta radioaktifitas alam. Sumber antropogenik adalah sumber polutan berasal dari kegiatan manusia. Dewasa ini emisi dari kegiatan manusia berkembang seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk dan meningkatnya ragam kebutuhan (Miller, 2007), menyebabkan bertambahnya mobilitas penduduk dan industrialisasi. Industri membutuhkan energi penggerak berupa bahan bakar fosil (Lotfalipour *et. al.*, 2010). Penggunaan bahan bakar fosil menghasilkan beberapa polutan utama seperti debu, karbon monoksida, hidrokarbon, nitrogen oksida, sulfur oksida dan debu (Manahan, 2000; Miller,

2007). Pertumbuhan industri sebesar 1% mengakibatkan peningkatan emisi polutan total sebesar 11,8% (Cherniwchan, 2012). Semakin banyaknya jumlah penduduk bumi serta semakin berkembangnya ragam kebutuhan yang harus dipenuhi menyebabkan konsumsi energi dari bahan bakar fosil semakin bertambah (Lottfalipour *et. al.*, 2010). Emisi polutan di Asia bertambah dengan cepat seiring dengan pertumbuhan ekonomi di kawasan Asia. (Chantara, 2012).

Pemakaian bahan bakar fosil sebagai sumber energi selain menghasilkan energi juga mengemisikan polutan ke udara. Pertumbuhan industri sebesar 1% mengakibatkan peningkatan emisi polutan total sebesar 11,8% (Cherniwchan, 2012). Emisi polutan di Asia bertambah dengan cepat seiring dengan pertumbuhan ekonomi di kawasan ini. Konsumsi energi dari bahan bakar fosil di Asia diperkirakan meningkat dua kali lipat dalam dua dekade terakhir. Emisi polutan di Asia bertambah dengan cepat seiring dengan pertumbuhan ekonomi di kawasan Asia (Chantara, 2012).

### **B. Model Sebaran Polutan**

Monitoring kualitas udara dengan cara melakukan pengukuran konsentrasi polutan di udara memberi informasi kuantitatif, namun hanya memberi informasi pada lokasi dan waktu tertentu dan tidak dapat menjelaskan sumber masalah pencemaran udara (Daly and Zannetti 2007). Model pencemaran udara dapat menjelaskan masalah pencemaran udara lebih rinci termasuk analisis faktor dan penyebab, hubungan sebab akibat antara emisi polutan, meteorology, konsentrasi polutan di atmosfer, deposisi, sebaran maupun fenomena lain yang terjadi dan dapat digunakan sebagai petunjuk bagi upaya mitigasi. Konsentrasi polutan di udara dipengaruhi oleh transport, difusi, transformasi kimia dan deposisi (Daly and Zannetti 2007). Model lingkungan merupakan penyederhanaan fenomena kejadian di lingkungan. Penyederhanaan dari fenomena lingkungan bermanfaat untuk mempelajari fenomena lingkungan dengan seksama dan dapat berfungsi sebagai konsep dalam mengembangkan teori dan rekomendasi bagi kebijakan (Purwanto, 2005; Moussiopoulos *et.al.*, 1996).

Kota Semarang merupakan ibukota dan pusat pertumbuhan ekonomi di Jawa tengah. Kebijakan Kota Semarang dalam RPJMD tahun 2010 – 2015 menetapkan arah perkembangan kota sebagai kota industri, perdagangan, jasa dan pendidikan. Kebijakan tersebut memungkinkan berkembangnya

industri, terbukanya lapangan kerja dan urbanisasi. Industri di Kota Semarang berkembang di kawasan-kawasan industri. Sebelah timur: Kawasan Industri Terboyo, Muktiharjo, Banjardowo dan Plamongan sari. Sebelah barat: kawasan Industri Tugu, Candi, Tambakaji dan Jatibarang. Pemusatan industri pada satu kawasan dapat mempermudah pengelolaannya namun juga menyebabkan penumpukan polutan di suatu kawasan dan pencemaran lingkungan.

Berdasarkan perkembangan Kota Semarang, perlu penelitian pola sebaran SO<sub>2</sub> di udara. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan identifikasi dan evaluasi pola sebaran SO<sub>2</sub> di udara.

## **II. METODE PENELITIAN**

Data konsentrasi SO<sub>2</sub> di udara ambien dan emisi tidak bergerak berasal dari laporan RKL-RPL perusahaan-perusahaan di Kota Semarang kepada BLH Kota Semarang dan BLH provinsi Jawa Tengah. Konsentrasi SO<sub>2</sub> di udara ambien diukur menggunakan Standar Nasional Indonesia (SNI) 19-7119.7-2005: Pararosanilin. Konsentrasi SO<sub>2</sub> dari emisi sumber tidak bergerak diukur menggunakan Standar Nasional Indonesia (SNI) 19-7117.3.1-2005: Turbidimetri. Pengujian SO<sub>2</sub> di udara ambien dan sumber emisi dilakukan oleh laboratorium terakreditasi ISO/IEC 17025:2008. Emisi dari sumber bergerak dihitung berdasarkan faktor emisi dari masing-masing jenis kendaraan menurut kepadatan lalu lintas pada ruas jalan utama di Kota Semarang. Pemetaan sebaran SO<sub>2</sub> menggunakan metode interpolasi dari perangkat ArcGIS pada peta rupa bumi Kota Semarang.

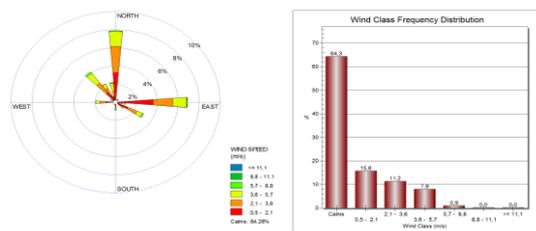
## **III. HASIL dan PEMBAHASAN**

### **A. Wilayah Studi**

Kota Semarang terletak antara garis 6°50<sup>1</sup>-7°10<sup>1</sup> Lintang Selatan dan garis 109°35<sup>1</sup>- 110°50<sup>1</sup> Bujur Timur. Dibatasi sebelah Barat dengan Kabupaten Kendal, sebelah Timur dengan kabupaten Demak, sebelah Selatan dengan kabupaten Semarang dan sebelah Utara dibatasi oleh Laut Jawa dengan panjang garis pantai meliputi 13,6 km. Ketinggian Kota Semarang terletak antara 0,75 m sampai dengan 348,00 m di atas permukaan laut.

Pada bulan Januari – Juni, angin bergerak dengan kecepatan kurang dari 0,5 m/dt berkisar antara 60,7 – 70,2% dan kurang dari 2 m/dt berkisar antara 78,4 – 83,3%. Angin bergerak dengan kecepatan kurang dari 2 m/dt dan stabilitas atmosfer di Kota Semarang cenderung sangat tidak stabil (A) hingga tidak stabil

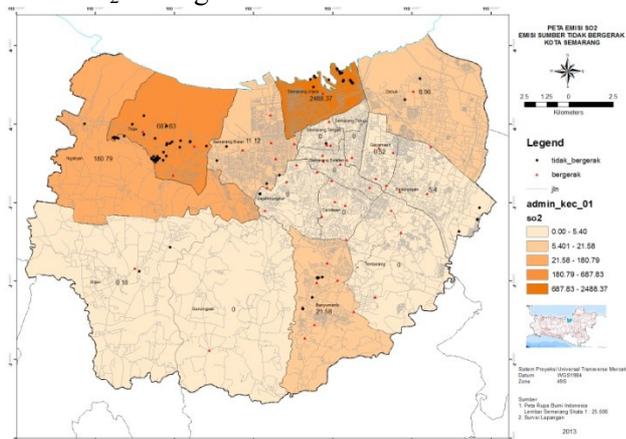
(B). Keadaan ini menyebabkan sebaran polutan dekat dengan sumber emisi (Manohar, 1985).



Gambar 1. Mawar angin di Semarang tahun 2013, diolah dari data angin BMKG Semarang.

### B. Sumber Emisi

Emisi SO<sub>2</sub> dari sumber tidak bergerak sebesar 27,40 ton/hari atau sebesar 9.999,50 ton/tahun. Emisi SO<sub>2</sub> dari sumber tidak bergerak sebagian besar emisi SO<sub>2</sub> berada di wilayah utara Kota Semarang. Kecamatan Semarang Utara merupakan penyumbang emisi SO<sub>2</sub> terbesar yaitu 9.541,70 ton/tahun, kemudian Kecamatan Tugu sebesar 302,29 ton/tahun, Kecamatan Ngaliyan sebesar 95,10 ton/tahun, Kecamatan Banyumanik sebesar 35,33 ton/tahun dan kecamatan-kecamatan lainnya total emisi SO<sub>2</sub> kurang dari 20 ton/tahun



Gambar 2. Emisi SO<sub>2</sub> Sumber Tidak Bergerak

Emisi SO<sub>2</sub> dari 47 ruas jalan utama meliputi jalan TOL, arteri primer, arteri sekunder dan kolektor primer sebesar 1,003 ton per hari atau 366,095 ton per tahun (Sudalma et. al., 2015). Total emisi SO<sub>2</sub> dari sumber tidak bergerak disajikan dalam Gambar 2.

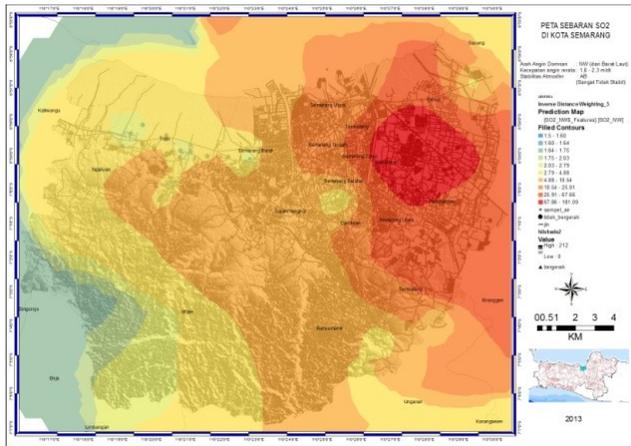
### C. Pola Sebaran SO<sub>2</sub>

Sebaran SO<sub>2</sub> dari sumber emisi di udara dipengaruhi oleh keadaan gas buang dan keadaan meteorologi. Keadaan gas buang berupa laju alir, debit dan temperatur gas. Keadaan permukaan bumi berupa tingkat ketinggian (topografi). Perbedaan

ketinggian berpengaruh terhadap jarak sebaran polutan dari sumber emisi. Keadaan meteorologi berupa stabilitas atmosfer, arah angin dan kecepatan angin. Stabilitas atmosfer merupakan gabungan dari suhu udara dan kecepatan angin. Suhu udara dipengaruhi oleh intensitas sinar matahari. Perbedaan suhu udara pada lapisan atmosfer menyebabkan adanya pencampuran udara secara vertikal. Kecepatan dan arah angin berpengaruh terhadap arah sebaran dan jarak jangkauan sebaran polutan dari sumber emisi. Karakteristik sumber emisi berupa sumber titik atau sumber garis, serta tinggi rendahnya sumber emisi sangat berpengaruh terhadap sebaran polutan (Manohar, 1995, Zannetti, 1989).

Sebaran polutan dari sumber emisi sangat dipengaruhi oleh gerakan angin. Arah angin dominan yang bertiup di Kota Semarang berasal dari barat - barat laut hingga utara, sedangkan sumber emisi SO<sub>2</sub> dari sumber tidak bergerak banyak terdapat di bagian utara Kota Semarang yaitu di Kecamatan Ngaliyan, Kecamatan Tugu, Kecamatan Semarang Barat, Kecamatan Semarang Utara dan Kecamatan Genuk. Sumber emisi dari sumber bergerak menyebar di seluruh kota. Sumber emisi dominan dari sumber bergerak banyak terdapat di bagian utara Kota Semarang mulai dari Jalan Semarang-Kendal, Jalan Siliwangi, Jalan Arteri Yos Sudarso hingga Jalan Kaligawe merupakan jalan padat kendaraan dan dilalui kendaraan besar seperti bus, truk, trailer dan lainnya. Kendaraan berat merupakan sumber utama emisi SO<sub>2</sub> pada sumber bergerak. Sebaran SO<sub>2</sub> di Kota Semarang disajikan dalam Gambar 3.

Pola sebaran SO<sub>2</sub> cenderung dekat dengan sumber emisi tidak bergerak. Konsentrasi di Semarang bagian utara cenderung lebih tinggi disebabkan oleh sumber emisi terletak di bagian utara dan sebaran SO<sub>2</sub> dari sumber emisi yang terbawa angin terhalang oleh dinding perbukitan di bagian selatan sehingga SO<sub>2</sub> terkonsentrasi di bagian utara.



Gambar 3. Peta Sebaran SO<sub>2</sub>.

Pola sebaran SO<sub>2</sub> cenderung terkonsentrasi pada daerah utara. Hal ini disebabkan sumber dominan SO<sub>2</sub> berasal dari sumber tidak bergerak dan lebih banyak di Semarang bagian utara.

#### IV. Ucapan terima kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Menteri Pendidikan Nasional yang telah memberi beasiswa dalam program beasiswa unggulan kepada peneliti untuk mengikuti Program Doktor Ilmu Lingkungan di Universitas Diponegoro Semarang.

#### V. Daftar Pustaka

Atkinson R, 1988, Atmospheric transformations of automotive emissions, *Air Pollution the Automobile and Public Health*, Washington D.C: National Academy Press.

Chantara S., S. Sillapapiromsuk and W. Wiriya, 2012, Atmospheric pollutants in Chiang Mai (Thailand) over a five-year period (2005-2009), their possible sources and relation to air movement, *Atmospheric Environment*; 60: 88-98.

Cherniwchan J., 2012, Economic growth, industrialization and the environment, *Resource and Energy Economics*; 34: 442-467.

Daly A. and Zannetti P., 2007, *Air Pollution Modeling*, The Arab School for Science and Technology and The EnviroComp Institute (<http://www.envirocomp.org> downloaded 28 August 2012).

Feichter J., Kjellstöm E., Rodhe H., Detener F.,

Lelieveld J., and Roelofs G., 1995, Simulation of Tropospheric Sulfur Cycle in A Global Climate Model, *Atmospheric Environmental*; Vol. 30, No.10/11: 1693-1707.

Huang K., Zhuang G., Xu C., Wang Y. and Tang A., 2008, The chemistry of the severe precipitation in Shanghai, China, *Atmospheric Research*; 89: 149-160.

Lotfalipour M.R., Falahi M.A. and Ashena M., 2010, Economic growth, CO<sub>2</sub> emissions, and fossil fuels consumption in Iran, *Energy*; 35: 5115-5120.

Manahan S.E, 2000, *Environmental Chemistry*, 7 th edition, CRC Press LLC, Boca Raton Florida.

Manohar SN, 1985, *Tall Chimneys: Design and Construction*, Tata McGraw-Hill, New Delhi.

Miller G.T.Jr., 2007, *Living in the Environment*, edisi ke 15, Thomson Learning Inc.

Moussiopoulos N., Berge E., Böhler T., de Leeuw F., Grønskei K-E., Mylona S., and Tombrou M., 1996, *Ambient air quality, pollutant dispersion and transport models*, European Environment Agency, Copenhagen K Denmark.

Purwanto, 2005, *Permodelan Rekayasa Proses and Lingkungan*, Badan Penerbit Universitas Diponegoro, Semarang

Standar Nasional Indonesia (SNI) 19-7117.3.1-2005: Standar Nasional Indonesi (SNI) 19-7119.7-2005

Sudalma S., Purwanto P., Santoso L.W., 2015, The effect of SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> from Transportation and Stationary Emissions sources to SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> and NO<sub>3</sub><sup>-</sup> in Rain Fall in Semarang, *Procedia Environmental Science*; 23: 247-252

Undang-Undang Nomor 32 tahun 2009 tentang *Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*.

Zannetti P., 1989, *Simulating Short-Term, Short-Range Air Quality Dispersion Phenomena*. In Cheremisinoff P.N. (ed): *Encyclopedia of Environmental Control Technology*, Volume 2: *Air Pollution Control*, Houston: Gulf Publishing Company. p. 159-191

## **Analisis Sedimen Suspensi pada Daerah Aliran Sungai dengan Pendekatan Model Tangki**

**Tedjo Mulyono**

Mahasiswa Program Doktor Teknik Sipil, Universitas Diponegoro  
Jln. Hayam Wuruk 5-7, Semarang  
[tedjomulyono@yahoo.com](mailto:tedjomulyono@yahoo.com)

**Djoko Legono**

Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada  
Jl. Grafika No. 2 kampus UGM, Yogyakarta  
[djokolegono@yahoo.com](mailto:djokolegono@yahoo.com)

**Suharyanto**

Program Doktor Teknik Sipil, Universitas Diponegoro  
Jln. Hayam Wuruk 5-7, Semarang  
[suharyanto20@yahoo.co.id](mailto:suharyanto20@yahoo.co.id)

### **ABSTRAK**

*Erosi dan sedimentasi tidak terkendali menimbulkan kerugian yang cukup besar, baik berupa menurunnya produktivitas tanah serta rusaknya bangunan-bangunan air dan sedimentasi waduk. Oleh karena itu perkiraan atau prediksi erosi, angkutan sedimen pada skala daerah aliran sungai sangat diperlukan untuk perencanaan bendungan dan reservoir, desain konservasi tanah, dan strategi pengendalian yang efektif mengurangi resiko aliran air, dan melindungi terhadap erosi. Upaya yang sering dilakukan adalah dengan menghubungkan antara erosi lahan dengan angkutan sedimen, dimana diawali dengan terjadi pelepasan butir-butir tanah oleh curah hujan (detachment by rainfall) dan pelepasan butir-butir tanah oleh aliran permukaan (detachment by runoff). Proses terjadinya erosi sampai angkutan sedimen mekanismenya cukup kompleks. Sejumlah model atau pendekatan untuk prediksi erosi dan angkutan sedimen sudah banyak dikembangkan, namun penerapan model atau pendekatan persamaan tersebut membutuhkan ketersediaan data input cukup banyak, beragam dan ekstensif, baik untuk kalibrasi maupun verifikasi, dan pada kenyataan dan umumnya ketersediaan data cukup minim.*

*Dengan mengasumsikan bahwa erosi lahan dan angkutan sedimen berdasar kejadian hujan hanya dipengaruhi oleh aliran permukaan, dan mempertimbangkan konsep tipe tampungan, dalam paper ini disajikan salah satu pendekatan "Black Box" yang menghubungkan antara faktor-faktor penyebab erosi, proses transport hasil erosi dengan angkutan sedimen dengan menggunakan Model Tangki.*

*Tujuannya mengembangkan model tangki untuk analisis sedimen suspensi pada Daerah Aliran Sungai. Model Tangki adalah model sederhana dengan input data yang cukup minimum dan merepresentasikan proses dalam Daerah Aliran sungai (DAS) dan hanya dengan menelaah masukan dan keluaran utama. Parameter model ditentukan menggunakan pendekatan optimasi metode Genetika Algoritma (GA) dengan bantuan program MatLab. Hasil yang diharapkan adalah pemodelan model tangki untuk prediksi aliran sedimen pada Daerah Aliran Sungai.*

**Kata kunci:** *Angkutan sedimen suspensi, aliran permukaan, curah hujan, model tangki.*

### **I. PENDAHULUAN**

Degradasi lingkungan sebagai akibat pembabatan hutan yang dilakukan di Daerah Aliran Sungai (DAS) mengakibatkan DAS hilangnya kemampuannya untuk menyimpan air. Salah satu indikasinya bahwa sistem lingkungan yang mendukung proses daur hidrologi sedang dan telah mengalami kerusakan, antara lain berkurangnya areal hutan pada kawasan tangkapan air, tingkat sedimentasi yang tak terkendali, sehingga berakibat banjir, tanah longsor.

Erosi dan sedimentasi tidak terkendali menimbulkan kerugian yang cukup besar, baik berupa menurunnya produktivitas tanah serta rusaknya bangunan-bangunan air dan sedimentasi waduk (Suripin, 2002). Oleh karena itu perkiraan atau prediksi erosi, angkutan sedimen pada skala daerah aliran sungai sangat diperlukan untuk perencanaan bendungan dan reservoir, desain konservasi tanah, perencanaan tata guna lahan, manajemen kualitas air dan strategi pengendalian

yang efektif mengurangi resiko aliran air, dan melindungi terhadap erosi.

Proses perkiraan data angkutan sedimen sangat susah, biasanya datanya sangat terbatas, karena proses terjadinya erosi sampai angkutan sedimen mekanismenya cukup kompleks. Analisis angkutan sedimen biasanya dilakukan dengan pembuatan lengkung sedimen (*Sediment Rating Curve*) yang memerlukan data pengukuran yang cukup dan jika dilakukan pengukuran memerlukan waktu, dana dan tenaga.

Sejumlah model atau pendekatan untuk prediksi angkutan sedimen sudah banyak dikembangkan, dari model yang sederhana sampai model yang kompleks. Model aliran sedimen pada lahan daerah aliran sungai, seperti model WEPP, (Flanagan, et al., 1997 dalam Suripin, 2002), model KINEROS (Smith, et al., 1995 dalam Borah dan Bera, 2003), model ANSWERS, ( Beasley et al., 1980 dalam Borah dan Bera, 2003), model AGNPS, ( Young et al., 1987 dalam Borah dan Bera, 2003) dan model SWAT (Arnold et al., 1998 dalam Borah dan Bera, 2003). Penerapan model atau pendekatan persamaan tersebut membutuhkan ketersediaan data input cukup banyak, beragam dan ekstensif, baik untuk kalibrasi maupun verifikasi dan pada kenyataan dan umumnya ketersediaan data cukup minim.

Erosi dan angkutan sedimen adalah termasuk dalam proses yang ada dalam Daerah Aliran sungai (DAS). Proses erosi tersebut bersumber dari daerah hulu yang besar pengaruhnya diakibatkan oleh curah hujan dan terbawa aliran permukaan menuju ke sungai menjadi angkutan sedimen. Menurut Hudson (1971), aliran sedimen dalam sungai terutama disebabkan oleh erosi yang terjadi dalam daerah aliran sungai tersebut.

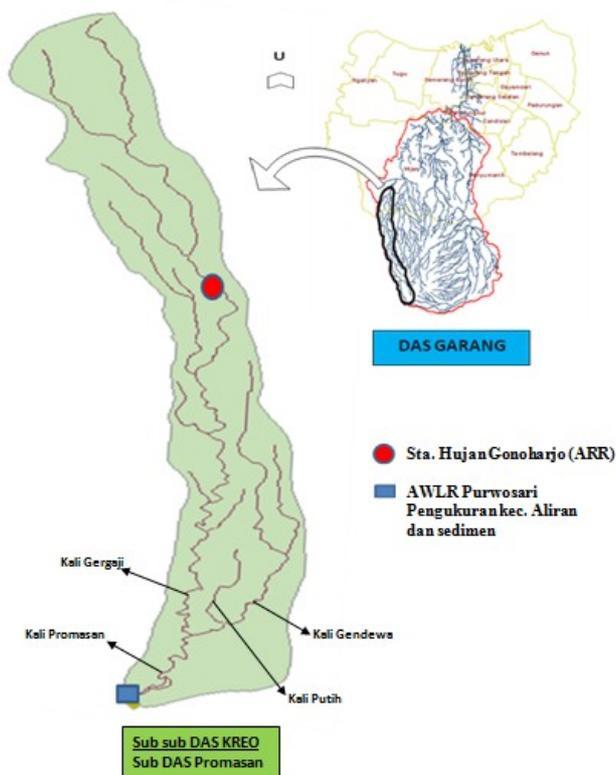
Dengan mengasumsikan bahwa erosi lahan dan angkutan sedimen berdasar kejadian hujan hanya dipengaruhi oleh aliran permukaan, dan mempertimbangkan konsep tipe tampungan, dalam paper ini disajikan salah satu pendekatan "Black Box" yang menghubungkan antara faktor-faktor penyebab erosi, proses transport hasil erosi dengan angkutan sedimen dengan menggunakan Model Tangki.

Tujuan penelitian ini mengembangkan model tangki untuk analisis sedimen suspensi pada Daerah Aliran Sungai. Model Tangki adalah model sederhana dengan input data yang cukup minimum dan merepresentasikan proses dalam Daerah Aliran sungai (DAS) dan hanya dengan menelaah masukan dan keluaran utama.

Lee and Singh ( 2005, 2007), menerapkan model tangki untuk prediksi hasil sedimen (data curah hujan, aliran dan konsentrasi sedimen), dengan analisis seperti model tangki untuk model hujan-aliran (Sugawara, et al., 1979, 1984, 1991), (Phien, 1983), yang hasilnya berupa debit dikalikan dengan konsentrasi sedimen. Penerapan Model tangki untuk prediksi hasil sedimen ini menggunakan asumsi konsentrasi sedimen mengalami infiltrasi, perkolasi, dan dalam kenyataan tidak terjadi proses demikian, hal ini merupakan kelemahan dalam model tersebut. APIP et al., (2008) menyatakan bahwa model aliran sedimen dengan metode lumped parameter berdasar distribusi pada skala daerah aliran sungai meliputi model aliran sedimen di lahan berlereng dan model aliran sedimen di saluran sungai. Dengan kejadian hujan, proses aliran sedimen di lahan berlereng asumsi yang digunakan hanya dipengaruhi oleh aliran permukaan sebagai tampungan sedimen di lahan berlereng, tanpa mempertimbangkan pengaruh beban sedimen oleh aliran lapisan bawah permukaan sebagai tampungan air bawah permukaan. Demikian pula tampungan di saluran atau sungai adalah dipasok dengan bahan sedimen dari lahan berlereng, erosi dasar sungai dan hanya sedimen suspensi. Dengan mempertimbangkan konsep tipe tampungan, model aliran sedimen tersebut terdiri dari tiga tampungan, yaitu satu tampungan model hujan aliran (aliran bawah permukaan) dan dua tampungan model aliran sedimen yaitu aliran sedimen pada lahan berlereng dan angkutan sedimen pada saluran atau sungai.

## II. METODOLOGI

Penelitian ini berlokasi di Sub sub DAS Kreo atau Sub sub DAS Promasan mempunyai luas 1692,812 ha, (Gambar 1) masuk dalam wilayah Kabupaten Kendal dan Kota Semarang, dengan diskripsi daerah penelitian bahwa Sub sub DAS Kreo mempunyai iklim tropis yang dipengaruhi oleh angin musim. Musim hujan terjadi pada bulan Nopember hingga Mei dan musim kemarau dari bulan Juni hingga Oktober. Jenis tanahnya adalah tanah regosol dan latosol. Kemiringan lereng mulai datar sampai sangat curam (8% - > 45%). Kemudian tata guna lahan meliputi kebun (38,41%), sawah tadah hujan (30,05%), hutan (22,09%), pemukiman (7,81%), sawah irigasi (0,82%), tegalan (0,64%), sisanya gedung dan air tawar (0,17%)



Gambar 1. Lokasi Penelitian Sub sub DAS Kreo

Dalam penelitian ini data yang digunakan data sekunder seperti peta Daerah Aliran Sungai (DAS), peta tata guna lahan, peta stasiun curah hujan, data curah hujan, data sedimen layang, dan data debit. Kemudian data primer meliputi pengamatan dan pengukuran data hujan, data angkutan sedimen layang, data debit dengan periode waktu harus sama dan dilakukan di pos duga atau stasiun pengamatan arus sungai (SPAS) di Purwosari. Selanjutnya dilakukan pengolahan data meliputi pencatatan data, analisis dan interpretasi hasil. Setelah itu melakukan pemahaman proses terjadinya erosi dan aliran sedimen pada lahan berlereng dan aliran sedimen di saluran atau sungai. Dalam hal ini menghubungkan antara faktor-faktor penyebab erosi (hujan, kelerengan lahan, jenis tanah, pengelolaan lahan dan vegetasi), proses transport hasil erosi (aliran sedimen) oleh aliran permukaan, kemudian digunakan sebagai dasar merumuskan konfigurasi atau susunan tangki berdasar perlakuan atau skenario. Selanjutnya menentukan parameter-parameter pada model tangki dengan menggunakan metode optimasi.

Langkah – langkah yang dilakukan dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. analisis curah hujan rerata daerah sebagai data input model. Karena luas DAS 16,92812 km<sup>2</sup>

digunakan 1 (satu) stasiun hujan(WMO,1981 cit Asdak C, 1995), sehingga analisisnya berdasar hujan titik. Pada penelitian ini data hujan yang digunakan adalah 6 (enam) kejadian hujan pada 6 (enam) hari, yaitu tanggal 6, 8, 10, 26, 28 Januari 2014 dan 3 Pebruari 2014.

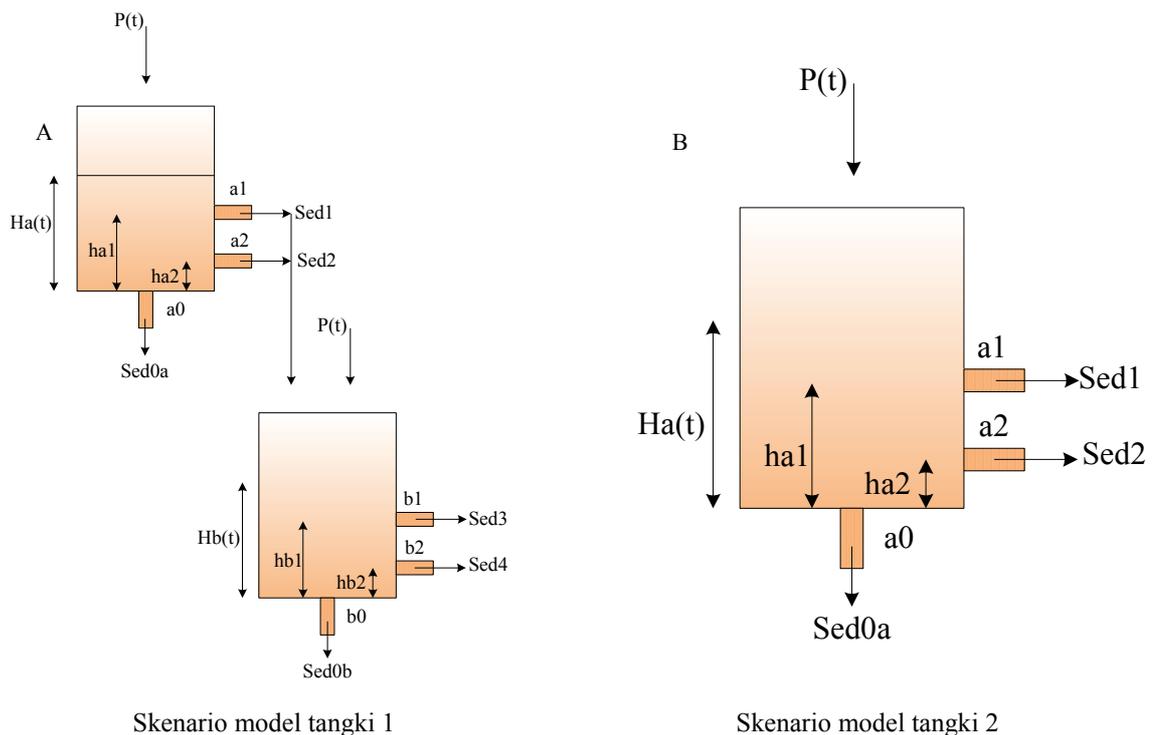
2. Membuat Struktur Model Tangki untuk angkutan sedimen suspensi berdasar Perlakuan atau skenario, Dalam Penelitian ini ada 2 perlakuan atau skenario model tangki seperti pada gambar 2

### Perlakuan/skenario model tangki 1

Hujan dalam waktu tertentu masukan bagi tangki A, dan B. Hujan menghasilkan partikel tanah tererosi (*detachment by raindrop impact*) di lahan berlereng, selanjutnya terjadi aliran permukaan mengakibatkan tanah tergerus dan terangkut (*detachment by flow*) sebagai aliran sedimen pada tangki A yang digambarkan pada lubang sisi kanan (Sed1 dan Sed2) dan terdapat pula tanah yang tertahan misal dalam cekungan (Sed0a). Aliran sedimen pada tangki A (Sed1 dan Sed2) masuk ke sungai bergabung dengan aliran sungai (tangki B) dan menggerakkan partikel tanah (suspensi) berupa aliran sedimen pada lubang sisi kanan (Sed3 dan Sed4). Saluran lubang bawah tangki (Sed0b) menggambarkan partikel tanah yang tidak atau belum bergerak dimana tegangan geser dasar jauh dibawah tegangan geser dasar kritis, partikel tanah akan mengendap di sungai. Total limpasan aliran sedimen adalah *outlet-outlet* di sisi kanan tangki B (Sed3 dan Sed4)

### Perlakuan/scenario model tangki 2

Hujan dalam waktu tertentu masukan bagi tangki. Hujan menghasilkan partikel tanah tererosi (*detachment by raindrop impact*) di lahan berlereng, selanjutnya terjadi aliran permukaan mengakibatkan tanah tergerus dan terangkut (*detachment by flow*) sebagai aliran sedimen (Sed1 dan Sed2) dan terdapat pula tanah yang tertahan misal dalam cekungan (Sed0a). Total limpasan aliran sedimen adalah *outlet-outlet* di sisi kanan tangki (Sed1 dan Sed2),



Gambar 2. Dua skenario model tangki untuk angkutan sedimen suspensi pada Daerah Aliran Sungai

Neraca keseimbangan untuk aliran sedimen di lahan berlereng (APIP, 2008), adalah sebagai berikut :

$$\frac{dS_{sh}}{dt} = D_r + DF_h - Q_h \times C_h \quad (1)$$

$$= k \times 56,48 \times r_h + \frac{(\alpha \times (S_{sh}^{max} - S_{sh}) - Q_h \times C_h)}{A_h}$$

dengan :

$dS_{sh}$  :Tampungan sedimen di lahan berlereng (mm)

$D_r$  : kehilangan tanah oleh curah hujan (t/d)

$DF_h$ :kehilangan tanah oleh aliran permukaan (t/d)

$Q_h$ :aliran permukaan dilahan berlereng (m<sup>3</sup>/det)

$C_h$ :konsentrasi sedimen dilahan berlereng (kg/m<sup>3</sup>)

$k$  : kehilangan tanah (kg/J)

$r_h$  : intensitas hujan efektif dilahan berlereng (mm)

$\alpha$  : faktor efisiensi erosi/deposition

$S_{sh}$  : tampungan jumlah konsentrasi sedimen pada lahan berlereng (mm)

$S_{sh}^{max}$  : tampungan maksimum jumlah konsentrasi sedimen di alur sungai (mm)

$A_s$  : total luas di lahan (m<sup>2</sup>)

Dengan berdasar neraca keseimbangan tersebut, persamaan kontinuitas model tangki adalah sebagai berikut :

Model Tangki 1 :

$$\frac{dH_a}{dt} = P - Sed_1 - Sed_2 - Sed_{0a} \quad (2)$$

$$\frac{dH_b}{dt} = P + Sed_1 + Sed_2 - Sed_3 - Sed_4 - Sed_{0b} \quad (3)$$

Model Tangki 2 :

$$\frac{dH_a}{dt} = P - Sed_1 - Sed_2 - Sed_{0a} \quad (4)$$

Kemudian rumusan model tangki untuk analisis aliran sedimen atau sedimen suspensi berdasar perlakuan atau skenario Gambar 2 adalah sebagai berikut :

1). Perlakuan atau skenario model tangki 1

$$Sed_1(t) = [((Ha(t)+P(t)) \times C_h) - ha_1] \times a_1 \quad (5)$$

$$Sed_2(t) = [((Ha(t)+P(t)) \times C_h) - ha_2] \times a_2 \quad (6)$$

$$Sed_3(t) = [(Sed_1(t)+Sed_2(t)+ ((Hb(t)+P(t)) \times C_N)) - hb_1] \times b_1 \quad (7)$$

$$Sed_4(t) = [(Sed_1(t)+Sed_2(t)+ ((Hb(t)+P(t)) \times C_N)) - hb_2] \times b_2 \quad (8)$$

$$Sed_{0a}(t) = [(Ha(t)+P(t)) \times C_h] \times a_0 \quad (9)$$

$$Sed_{0b}(t) = [(Hb(t)+P(t)) \times C_N] \times b_0 \quad (10)$$

$$\text{Total aliran sedimen di sisi kanan tangki} = Sed_{total} = Sed_3(t) + Sed_4(t) \quad (11)$$

2). Perlakuan atau skenario model tangki 2

$$Sed_1(t) = \frac{[(Ha(t)+P(t)) \times C_h] - ha_1}{a_1} \quad (12)$$

$$Sed_2(t) = \frac{[(Ha(t)+P(t)) \times C_h] - ha_2}{a_2} \quad (13)$$

$$Sed_{0a}(t) = [(Ha(t)+P(t)) \times C_h] \times a_0 \quad (14)$$

$$\text{Total aliran sedimen di sisi kanan tangki} = Sed_{total} = Sed_1(t) + Sed_2(t) \quad (15)$$

dimana : P(t) adalah curah hujan (mm); Sed<sub>1</sub>(t), Sed<sub>2</sub>(t), Sed<sub>3</sub>(t), Sed<sub>4</sub>(t) adalah aliran sedimen (ton/hr); Sed<sub>0a</sub>, Sed<sub>0b</sub> adalah aliran sedimen mengendap (ton/hr); C<sub>h</sub> adalah konsentrasi sedimen di lahan (mg/l); C<sub>N</sub> adalah konsentrasi sedimen di saluran/sungai (mg/l); Ha(t), Hb(t) adalah tinggi tampungan sedimen (mm); a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>, b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub> adalah koefisien lobang aliran sedimen; a<sub>0</sub>, b<sub>0</sub> adalah koefisien lobang endapan sedimen; ha<sub>1</sub>, hb<sub>1</sub> adalah tinggi lobang aliran sedimen atas (mm); ha<sub>2</sub>, hb<sub>2</sub> adalah tinggi lobang bawah (mm)

- Sesuai dengan tujuan penelitian untuk mendapatkan nilai parameter model tangki untuk angkutan sedimen suspensi pada DAS yang ditinjau, dilakukan optimasi, didefinisikan sebagai suatu proses untuk mendapatkan suatu kondisi yang memberikan hasil minimum atau hasil maksimum fungsi tersebut (Rao, 1977). Ada beberapa metode optimasi seperti Cooper et al. (1997) menerapkan metode Shuffle Complex Evolution (SCE), simulated annealing (SA) dan genetika Algoritma (GA), Kuok et al., (2010) optimasi global (GOMs), Setiawan et al., (2003), dengan algoritma Marquardt. Dari metode-metode tersebut diatas, tidak ada kesepakatan umum di antara peneliti metode mana yang paling sesuai untuk kalibrasi model tangki. Pada penelitian ini pendekatan optimasi parameter model menggunakan metode Genetika Algorithm dengan bantuan MatLab, hal ini dengan mempertimbangkan jumlah parameter. Penelusuran nilai optimal ditentukan oleh rumusan fungsi tujuan dengan beberapa pembatas atau rumusan kendala. Adapun rumusan fungsi tujuan untuk mencari nilai optimum parameter model tangki dengan pembatas nilai fungsi tujuan terkecil dan hasil ketelitian yang diharapkan yaitu

$$F_{(x)} = \text{Min} \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |sed_{obs}^i - sed_{sim}^i| \right] \quad (16)$$

dengan :

F<sub>(x)</sub> : fungsi tujuan

sed<sub>obs</sub><sup>i</sup> : aliran sedimen suspensi terukur

sed<sub>sim</sub><sup>i</sup> : aliran sedimen suspensi model tangki

X : [X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, ..., X<sub>n</sub>]<sup>T</sup>, dengan n adalah jumlah parameter model

N : jumlah data

Pada penelitian ini, pengujian ketelitian model dapat dilakukan dengan melakukan tes terhadap data terukur dan data hasil simulasi. Model dikatakan teliti jika terdapat korelasi yang tinggi antara data terukur dan data hasil simulasi serta mempunyai penyimpangan nilai sekecil mungkin. Pada penelitian ini digunakan koefisien korelasi (R), kesalahan volume (VE), dan rerata kesalahan relatif (RE) sebagai kriteria uji model.

$$VE = \frac{\sum_{i=1}^N Sed_{obs}^i - \sum_{i=1}^N Sed_{sim}^i}{\sum_{i=1}^N Sed_{obs}^i} \times 100 \quad (17)$$

dimana :

VE = selisih volume konsentrasi sedimen

Sed<sub>sim</sub><sup>i</sup> = aliran sedimen simulasi periode ke-i (ton/hari)

Sed<sub>obs</sub><sup>i</sup> = aliran sedimen terukur periode ke-i (ton/hari)

N = Jumlah data

$$RE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|Sed_{sim}^i - Sed_{obs}^i|}{Sed_{obs}^i} \quad (18)$$

dimana :

RE = kesalahan relatif

Sed<sub>sim</sub><sup>i</sup> = aliran simulasi periode ke-i (ton/hari)

Sed<sub>obs</sub><sup>i</sup> = aliran sedimen terukur periode ke-i (ton/hari)

N = Jumlah data

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Model tangki untuk analisis angkutan sedimen pada Daerah Aliran Sungai

Hasil penelitian berdasar 2 (dua) skenario atau perilaku model yang diusulkan (model tangki 1 dan model tangki 2), untuk analisis angkutan sedimen pada Daerah Aliran Sungai, menunjukkan bahwa model tangki 2 cukup baik untuk diaplikasikan dibandingkan dengan model tangki 1, hal ini berdasarkan hasil kriteria penelitian atau indikasi kesalahan yaitu kesalahan relatif (RE), kesalahan volume (VE) dan koefisien korelasi (R) Tabel 1, bahwa model tangki 2 mempunyai nilai VE, RE lebih kecil dibanding dengan model tangki 1,

demikian juga hasil simulasi lihat Gambar 3. Nilai-nilai simulasi hasil sedimen model tangki 2 lebih mendekati dengan nilai ukur hasil sedimen, dibanding dengan simulasi nilai hasil sedimen model tangki 1.

Model tangki 2 cukup baik diterapkan untuk

Penyimpangan nilai-nilai angkutan sedimen simulasi terhadap angkutan sedimen observasi kemungkinan disebabkan oleh beberapa hal antara lain :

- 1). Faktor sinkronisasi waktu pengukuran awal terjadinya hujan dan pengukuran angkutan sedimen (konsentrasi sedimen), setidaknya harus

**Tabel 1. Kriteria Penelitian Model Tangki untuk Analisis Angkutan Sedimen pada DAS**

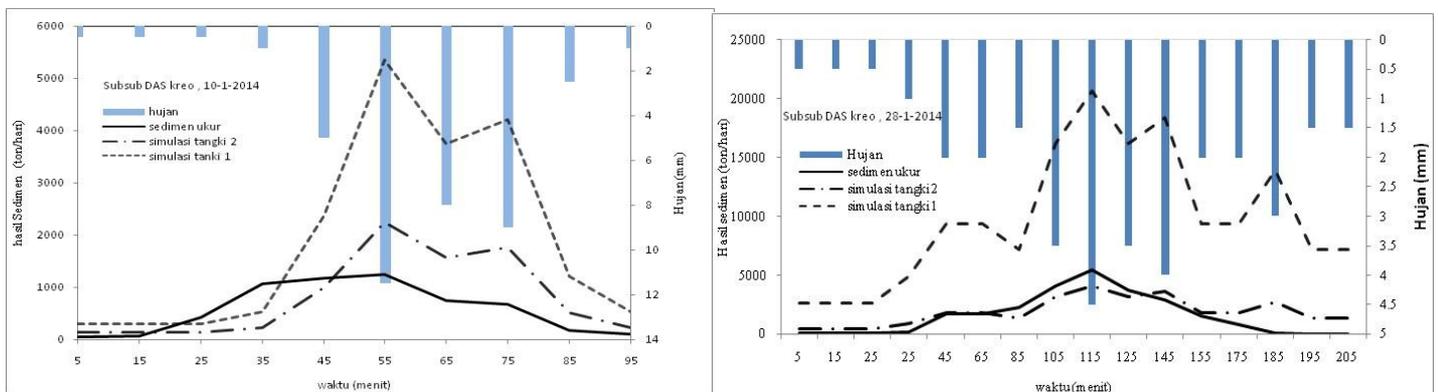
Hujan	RE		VE		R		RMSE	
	Model Tangki 1	Model Tangki 2						
06-01-2014	815,92	224,09	286,42	21,84	0,52	0,52	555,3	143,12
08-01-2014	1669,72	321,51	392,18	38,64	0,77	0,77	2560,9	426,83
10-01-2014	342,08	119,34	229,44	40,42	0,65	0,65	2029,6	619,74
26-01-2014	2547,22	187,77	1096,62	37,97	0,89	0,89	523,3	24,79
28-01-2014	3715,63	641,02	529,10	22,86	0,83	0,83	9315,1	1016,3
03-02-2014	5676,20	675,84	788,79	27,93	0,87	0,87	6244,8	457,1

analisis angkutan sedimen, hal ini menggambarkan proses erosi, angkutan sedimen dan pengendapan hingga menuju ke saluran/ sungai terjadi di permukaan lahan di DAS, sehingga tertampung dalam satu susunan tampungan, yang dalam model tangki tersusun 1 (satu) buah tangki. Sedangkan model tangki 1 yang terdiri dari 2 (dua) buah tangki, tangki A untuk analisis sedimen di lahan dan tangki B untuk analisis di sungai ternyata hasil simulasi menunjukkan kecenderungan nilai hasil sedimen lebih tinggi dari nilai hasil sedimen terukur, kemungkinan adanya akumulasi dari 2 tangki tersebut.

Namun demikian model tangki tersebut mempunyai nilai rentang selisih atau nilai penyimpangan yang besarnya bervariasi.

tepat, yang biasanya menggunakan waktu konsentrasi.

- 2). Adanya aktivitas manusia dilahan atau di sungai, menimbulkan sedimen cukup tinggi walaupun hujan tidak begitu lebat (hujan normal) atau hewan ternak.
- 3). Kemungkinan asumsi parameter model, yaitu parameter mengenai mekanisme proses dimulainya erosi di hulu DAS akibat pengaruh curah hujan sampai terjadinya angkutan sedimen melayang di alur sungai kemungkinan masih ada yang belum terwakili dalam struktur model tangki.



Gambar 3. Perbandingan hasil sedimen ukur, simulasi model tangki 1 dan model tangki 2

4) Proses pengukuran dan panjang data yaitu proses pengukuran angkutan sedimen dan pengambilan contoh sedimen yang teliti dan benar sangat sulit sehingga kemungkinan besar mengandung unsur kesalahan dan juga mengenai panjang data, apabila data yang digunakan untuk kalibrasi terlalu pendek atau sedikit kemungkinan besar mempengaruhi hasil keluaran model. Disamping itu kesesuaian pengukuran dan pencatatan data hujan dan data sedimen menjadi pertimbangan yang penting dicermati.

Namun, rangkaian nilai angkutan sedimen observasi dan angkutan sedimen simulasi mempunyai kemiripan yang cukup baik terutama model tangki 2

Dengan model tangki 2 yang dipilih atau cukup baik diterapkan untuk analisis hasil sedimen, parameter model tangki 2 dapat dilihat pada Tabel 2

Tabel 2. Parameter Hasil Optimasi Model Tangki 2

Hujan	ha1	ha2	a0	a1	a2	Ha
06-01-2014	0,94	0,79	0,19	0,38	0,13	0,16
08-01-2014	0,99	0,96	0,03	0,06	0,06	0,02
10-01-2014	0,99	0,001	0,32	0,49	0,12	0,43
26-01-2014	0,99	0,97	0,08	0,27	0,02	0,001
28-01-2014	0,99	0,56	0,06	0,93	0,001	0,001
03-02-2014	0,99	0,97	0,04	0,29	0,23	0,002
Mean	0,96	0,71	0,12	0,40	0,09	0,102

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

##### A. Kesimpulan

1. Dalam pengembangan model tangki, model tangki 2 cukup baik diterapkan untuk analisis angkutan sedimen pada Daerah Aliran Sungai
2. Model tangki 2 memberikan unjuk kerja cukup baik, dibandingkan dengan model tangki 1 dilihat dari nilai-nilai ketelitian.. Namun demikian masih terdapat nilai rentang selisih atau nilai penyimpangan yang besarnya bervariasi, dimungkinkan penyebabnya adalah faktor pola penyebaran hujan dalam proses hidrologi, proses pengukuran dan panjang data serta kemungkinan asumsi parameter model.
3. Berdasarkan hasil program pemodelan model tangki untuk prediksi angkutan sedimen suspensi pada Daerah Aliran Sungai dan kriteria penelitian model tangki dari keempat skenario, model tangki yang cukup baik adalah model tangki 1

##### B. Saran

Perlu diperhatikan mengenai distribusi hujan menurut waktu dan sebaran hujan (fungsi ruang) sebenarnya, yang berkaitan dengan analisis hujan

rerata daerah sebagai input data pada program pemodelan model tangki untuk prediksi angkutan sedimen pada Daerah Aliran Sungai. Kemudian juga kesesuaian waktu untuk pengukuran dan pengambilan data harus sama, terutama data hujan, dan data angkutan sedimen suspensi serta data debit

#### DAFTAR PUSTAKA

- APIP, Yasuto Tachikawa, Takahiro Sayama, and Kaoru Takara, 2008. "Lumping a Physically-based Distributed Sediment Runoff Model with Embedding River Channel Sediment Transport Mechanism". *Annuals of Disas. Prev. Res. Inst.*, Kyoto Univ., No. 51 B, pp. 103-117.
- Asdak, C., 1995. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta, xiii+571p.
- Borah D.K., Bera M., 2003. "Watershed-Scale Hydrologic and Nonpoint-Source Pollution Models : Review of Mathematical Bases". *American Society of Agricultural Engineering Vol. 46(6): 1553-1566*
- Cooper, V.A., V.T.V., Nguyen, and Nicell, J.A., 1997. "Evaluation of Global Optimization Methods for Conceptual Rainfall-Runoff Model Calibration". *Water Sci. Technol.* 36(5):53-60
- Hudson, N., 1971. *Soil Conservation*. BT Bats ford Limited, London, xiii+320p.
- Phien H.N., Pradhan P.S.S., 1983. "The tank model in rainfall-runoff modelling". *Water S.A. Vol.9. No.3. July*, pp 93-102
- Kuok, K.K., Harun S., dan Shamsudin S.M., 2010. "Global Optimization Methods for Calibration and Optimization of the Hydrologic Tank Model's Parameter", *Canadian Journal on Civil Engineering, Vol.1, No.1, hal. 1-14*.
- Lee, Y.H. and Singh V.P., 2005. "Tank Model for Sediment Yield". *Water Resources Management (2005) 19: 349-362*.
- Lee, Y.H., 2007. "Tank Model Using Kalman Filter for Sediment Yield". *Journal of the Environmental Sciences, 1319-1324*.
- Rao, S.S., 1977. *Optimization Theory and Application*. Wiley Eastern Limited, New Delhi, hal.1-5, 274-283
- Setiawan, B.I., Fukuda T., dan Nakano,Y., 2003. "Developing Procedures for Optimization of Tank Model's Parameter". *CIGR Journal of Scientific Research and Development*, 1+13p.

- Sugawara, M., 1979. "Automatic calibration of the tank model". *Hydrology. Sci. Bull.* 24, 375–388.
- Sugawara, M., Watanabe, Ozaki,E., dan Katsuyama,Y., 1984. *Tank Model with Snow Component*. National Research Center for Disaster Prevention, Japan, 6+293p.
- Sugawara, M., Ozaki,E., 1991. "Runoff analysis of the Chang Jiang (the Yangtze River)". *Hydrological Sciences Journal*, 36:2, pp 135-152.
- Suripin, 2002. *Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air*. Penerbit Andi, Yogyakarta, xiv+208p.

## Penerapan dan Pendekatan Teori Sistem Pada Permasalahan Sanitasi di Kota Semarang

**Wiwik Budiawan**

Fakultas Teknik Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. H. Soedarto, SH., Tembalang-Semarang  
wiwikbudiawan@undip.ac.id

**M. Agung Wibowo**

Fakultas Teknik Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. H. Soedarto, SH., Tembalang-Semarang  
agungwibowo360@gmail.com

### ABSTRAK

*Masih buruknya sistem sanitasi di kota Semarang berdampak pada masalah kesehatan masyarakat. Rendahnya kualitas sanitasi pada umumnya akan berakibat munculnya penyakit-penyakit, seperti diare dan tipus. Akan tetapi, permasalahan sanitasi tidak berhenti pada jumlah dan kualitas saja. Banyak faktor yang mempengaruhi munculnya potensi penyakit (diare dan tipus) di masyarakat. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor yang mempengaruhi melalui pendekatan teori sistem. Melalui pendekatan sistem permasalahan sanitasi akan dilihat sebagai kumpulan komponen yang saling terintegrasi menjadi satu kesatuan yang saling berhubungan. Kondisi sistem akan digambarkan dalam bentuk model yang bersumber dari data lapangan dan pendapat dari pemerintah. Hasil dari studi ini pada level pertama menggambarkan bahwa penerapan jenis sanitasi akan dipengaruhi oleh tingkat genangan air, landscape (kemiringan lereng), tata guna lahan dan kepadatan penduduk. Sedangkan pada level kedua, penyakit yang mungkin muncul akan dipengaruhi oleh kualitas air, sanitasi dan aspek sosial (pendidikan, ekonomi, dan kebiasaan) masyarakat.*

**Kata kunci** sanitasi, penyakit, teori sistem, dan model

### I. PENDAHULUAN

Penyediaan air dan sanitasi yang berkualitas merupakan hal yang utama dalam menjamin kebersihan dan kesehatan, meskipun bukan merupakan jaminan kehidupan sehat dan produktif. Kondisi penyediaan air dan sanitasi di Indonesia masih banyak kekurangan, Cahyani (2013) menjelaskan hanya 45% penduduk Indonesia yang memiliki akses terhadap fasilitas sanitasi (100 juta penduduk)

Penelitian yang sama oleh Chayani (2013), mengungkapkan bahwa sanitasi menjadi salah satu potret pemerintah dalam memberikan perhatian kepada warga miskin. Dengan tidak tersedianya air dan sanitasi yang berkualitas, membuat warga miskin paling menderita. Hal ini disebabkan karena kurang memadainya sarana air dan sanitasi dan juga kurang adanya pemahaman tentang bagaimana cara untuk mengurangi pengaruh negatif dari kondisi tempat tinggal yang kurang berkualitas.

Sarana air dan sanitasi di Kota Semarang sendiri perlu dilakukan perbaikan, karena masih banyaknya penerapan sanitasi yang tidak disesuaikan dengan kondisi yang ada di daerah tersebut. Salah satu aspek

yang menjadi pertimbangan penting adalah kepadatan penduduk, menurut Budiharjo dalam Juliany (2010) padatnya penduduk di kota akan mengakibatkan semakin kurang memadainya sarana dan prasarana pemukiman.

Selain tidak mempertimbangkannya jenis tanah, kedalaman muka air tanah, kemiringan lahan, kondisi drainase, dan desain sanitasi dapat memperburuk kondisi yang sudah ada. Sebagai contoh kasus yang ada di kelurahan rowosari dalam penelitian Cahyani (2013)

Salah satu stakeholder yang ikut bertanggung jawab adalah pemerintah karena pemerintah memegang peranan penting dalam pengambilan kebijakan pemberian sarana air dan sanitasi untuk masyarakat. Selain itu, kondisi ekonomi dan pendidikan masyarakat juga ikut berpengaruh terhadap pembuatan, pengelolaan, dan pemeliharaan infrastruktur sanitasi. Lebih rinci Ainur (2009) menjelaskan bahwa tingkat partisipasi seseorang atau kelompok dalam suatu program dipengaruhi oleh: tingkat pendidikan, pengetahuan, kesadaran, jenis pekerjaan, agama, keadaan sosial budaya, penghasilan, dan lain sebagainya.

Berdasarkan hal-hal tersebut di atas bahwa

permasalahan sanitasi bukanlah hal yang sederhana, perlu dilakukan pengkajian lebih mendalam. Salah satu pendekatan yang bisa dilakukan adalah dengan menggunakan teori sistem. Pendekatan sistem dilakukan karena pemecahan masalah sanitasi memerlukan pandangan luas dan tidak mengabaikan permasalahan khusus. Dengan kata lain, kita perlu memandang permasalahan sanitasi dari perspektif yang luas dari pandangan sistem dan pandangan holistik. Berpikir sistem adalah menyadari bahwa segala sesuatu berinteraksi dengan hal lain yang berada di sekelilingnya baik secara langsung maupun tidak langsung.

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisa variabel yang terkait dengan kondisi sanitasi di Kota Semarang melalui pendekatan teori sistem, serta menggambarkan secara visual hubungan antar variabel tersebut dengan jelas.

## II. METODE PENELITIAN

Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan deskriptif, dimana data bersumber dari kondisi di lapangan (Arikunto dalam Wahyuni dkk, 2012). Data yang dikumpulkan kemudian dikaitkan dengan isu yang ada secara sistemik (menyeluruh dan sistematis).

Sistem diartikan sebagai kumpulan dari komponen subsistem atau entitas yang memiliki karakteristik atau atribut yang spesifik yang saling berhubungan untuk mencapai suatu tujuan tertentu (Murthy et al, 1990).

Sedangkan sumber lain Daellenbach (1994), mendeskripsikan konsep sistem sebagai berikut :

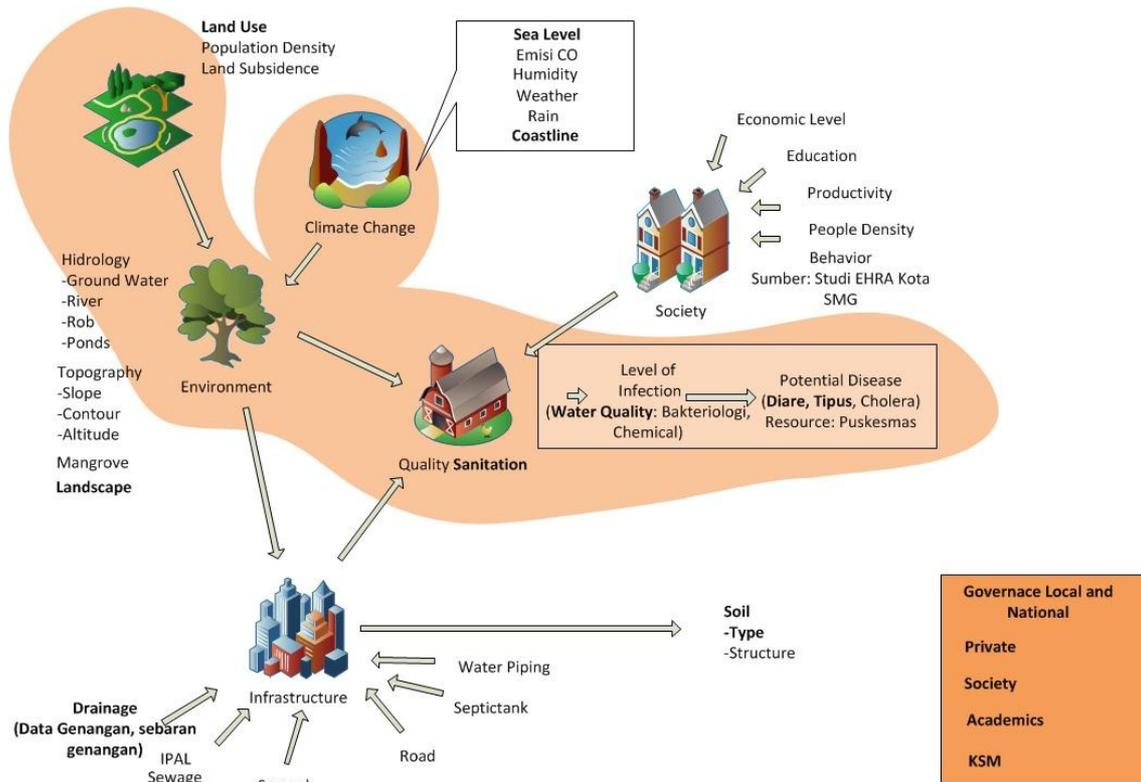
1. Sistem merupakan pengaturan pemasangan suatu komponen atau hubungan khusus yang terjadi antara komponen-komponen tersebut.
2. Sistem memiliki peran atau karakter yang unik dari suatu sistem
3. Setiap sifat komponen memberikan kontribusi kepada sistem dan mempengaruhinya, artinya tidak ada komponen yang memerikan sifat tersendiri dalam sistem. Sifat sistem dapat berubah bila ada komponen yang dilepas atau dipisahkan.
4. Kelompok entitas dari sistem dapat mempunyai sifat tersendiri, yang dapat membentuk sub sistem sendiri.
5. Sistem memiliki area lingkungan yang menyediakan input kepada sistem dan menerima output dari sistem.
6. Sistem diidentifikasi oleh seseorang, yang dimulai dari suatu kepentingan yang spesifik.

Sehingga dapat diartikan bahwa sistem memiliki komponen antara lain entitas, relasi antar entitas, aktivitas, lingkungan, input, dan output, serta tujuan dari sistem. Checkland dalam Khisty (1995) lebih lanjut menjelaskan bahwa dalam sistem terdapat tiga jenis topologi, antara lain: *natural system*, *physical system*, dan *human activity system*. *Natural system* dan *Physical system* dikenal dengan istilah *hard system*, dimana metodologi sistemnya terus dikembangkan secara berkelanjutan hingga sukses dalam aplikasinya. Sedangkan *human activity system* biasanya sangat kacau, sulit terdefiniskan dan tidak dapat digambarkan dengan jelas. Sehingga analisis dilaksanakan berdasarkan aktivitas yang ditetapkan, penilaian manusia, dan hubungan non fisik.

Secara umum metodologi pendekatan sistem terdiri dari dua kategori yaitu *Soft System Methodology* (SSM) dan *Hard System Methodology* (HSM) (Daellenbach, 1994). Khisty dalam Nina & Lawalata (2010) menambahkan SSM difokuskan pada proses pembelajaran dan penyelidikan, dan memuat elemen-elemen dari struktur situasi, proses, dan hubungan keduanya, serta menguji peran penting dari setiap aktor, norma, dan nilai (*value*) yang menilai kinerja sistem. Sedangkan HSM lebih difokuskan pada masalah-masalah yang terdefiniskan guna mencari solusi optimal. Penelitian ini merupakan rangkaian penelitian yang besar dalam mencari nilai optimal dari masing-masing variabel yang berhubungan dengan masalah sanitasi di Kota Semarang. Pada penelitian ini akan memanfaatkan metodologi SSM dalam mengidentifikasi sistem sanitasi yang ada di Kota Semarang berdasarkan 10 titik lokasi sample.

Tabel 1. Titik Lokasi Sample

No.	Lokasi Titik Survey
1	Mangkang Kulon
2	Tambak Lorok
3	Terboyo Kulon
4	Panggung Kidul
5	Bandarharjo
6	Bustaman
7	Tegalsari
8	Jurang Blimbing
9	Kalisegoro
10	Banyumanik



Gambar 1. Rich Picture Diagram Masalah Sanitasi

### III. PEMBAHASAN

Analisis kondisi sistem pada penelitian ini dilakukan melalui pemodelan sistem. Model diartikan sebagai sebuah deskripsi atau analogi yang digunakan untuk menggambarkan sistem yang tidak dapat diamati langsung (Daellenbach, 1994). Simatupang dalam Nina & Lawalata (2010) menjelaskan bahwa pemodelan sistem harus memenuhi beberapa kriteria, antara lain:

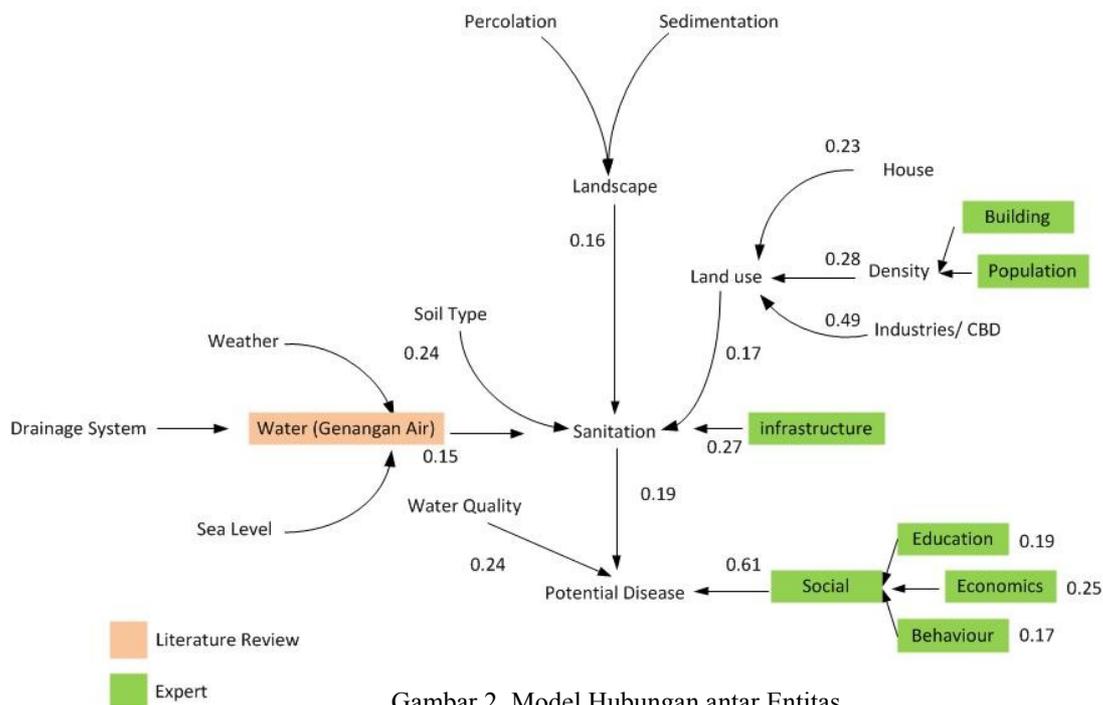
1. Mewakili atau merepresentasikan sistem nyata
2. Gambaran sederhana dari sistem yang kompleks.

Adapun tahap pemodelan sistem yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penyederhanaan situasi masalah melalui *Rich Picture Diagram* (RPD)
2. Identifikasi masalah untuk analisis
3. Penjabaran hubungan komponen sistem yang relevan.

Pada tahap pertama dapat dilihat bawah masalah sanitasi digambarkan dalam bentuk RPD. RPD merupakan alat yang sangat ideal untuk mengkomunikasikan situasi yang rumit dan bermasalah, dimana di dalamnya terangkum mengenai sesuatu yang teliti sebelumnya dan fenomena yang ada di lapangan. Dari RPD Permasalahan akan difokuskan kepada kebijakan sanitasi yang optimal untuk menekan persebaran penyakit di masyarakat.

Pada tahap kedua identifikasi masalah yang terjadi pada sistem sanitasi di Kota Semarang. Tahap identifikasi masalah ini akan menggunakan bantuan pemerintah setempat (*local government*) dalam mengidentifikasi baik dari segi implementasi sanitasi maupun kebijakan sanitasi yang sudah berlangsung selama ini di Kota Semarang. Pendapat pemerintah akan difasilitasi dengan menggunakan kuesioner berbasis perbandingan berpasangan yang biasa digunakan dalam metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP). AHP diartikan sebagai suatu representasi dari sebuah permasalahan yang kompleks dalam suatu struktur multi level dimana level level tersebut antara lain berisi: tujuan, faktor, kriteria, sub kriteria, hingga sampai alternatif pada level terakhir (Saaty, 1993).



Gambar 2. Model Hubungan antar Entitas

Pada tahap kedua dapat diperoleh terdapat dua subsistem yang diperoleh, dimana masing-masing pada tujuan “Tingkat Penyakit Yang Muncul” dan “Jenis/ Desain Sanitasi Yang Sesuai”. Hubungan dua subsistem dapat dilihat pada gambar berikut:

Tabel 2. Sub Sistem Sanitasi Kota Semarang

Sub Sistem 1	Sub Sistem 2
Penyakit	Sanitasi
Kepadatan	Jenis Tanah
Kualitas Air	Kemiringan Tanah
Sosial	Tata Guna Lahan
	Tinggi Genangan Air

Pada tahap ketiga merupakan penjabaran hubungan dengan membandingkan antara data lapangan dan pendapat dari pemerintah. Dimana dari RPD yang sudah disusun kemudian disederhanakan dalam bentuk entitas-entitas yang mempunyai bobot pada masing-masing hubungannya.

Pembobotan memanfaatkan fungsi perbandingan berpasangan AHP dari data yang diperoleh dari kuesioner yang sudah diisi oleh pemerintah Kota Semarang. Adapun gambar penjabaran hubungan dari masing-masing entitas yang berhubungan dengan sistem sanitasi di Kota Semarang, adalah sebagai berikut:

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan tahapan pendekatan sistem dalam permasalahan Sanitasi di Kota Semarang, dapat disimpulkan bahwa terdapat dua sub sistem yang berujung pada dua fungsi tujuan “Tingkat Penyakit Yang Muncul” dan “Jenis/ Desain Sanitasi Yang Sesuai”. Model hubungan yang muncul merupakan tahap awal dalam melihat entitas yang paling berpengaruh. Pada tahap lanjutan akan dilihat berdasarkan data lapangan dan kombinasi dari pendapat pemerintah dan berdasarkan data lapangan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ainur, R. 2009. Politik, Partisipasi dan Demokrasi dalam Pembangunan. Averroes Press. Indonesia
- Cahyani, N.L. 2012. *Partisipasi Kepala Keluarga Dalam Perbaikan Sanitasi Lingkungan Permukiman di Kelurahan Rowosari Kecamatan Tembalang Kota Semarang*. Jurusan Geografi Fakultas Ilmu Sosial UNNES. Indonesia
- Daellenbach, H. G. 1994. *System and decision making: management science approach*. John Wiley & Sons. England.
- Juliani, T. 2010. Kepedulian Masyarakat dalam Program Sanitasi Permukiman Kumuh di Kota Tanjung Balai. UNDIP. Indonesia
- Khisty, C. J. 1995. *Soft-systems methodology as learning and management tool*, Journal of

Urban and Planning and Development,  
Indonesia

- Murthy, D. N. P., Page, N. W. dan Rodin, E. Y.  
1990. *Mathematical modeling: a tool for  
problem solving in engineering physical,  
biological and social science*. Pergamon Press.  
UK
- Nina, E. & Lawalata, V.2010. *Aplikasi Metodologi  
OR/MS Dalam Pemodelan Sistem Transportasi  
Publik TMB di Kota Bandung*. Jurnal Arika.  
Indonesia
- Saaty, T.L. 1993. *The Hierarchon: A Dictionary of  
Hierarchies*. RWS Publisher. Amerika
- Wahyuni, dkk. 2012. *Implementasi Kebijakan  
Pembangunan dan Penataan Sanitasi Perkotaan  
Melalui Program Sanitasi Lingkungan Berbasis  
Masyarakat di Kabupaten Tulungagung*.  
Program Studi Ilmu Lingkungan UNDIP. Indonesia

## Kajian Daya Dukung Lahan Untuk Pembangunan Pertanian Berkelanjutan Di Kabupaten Merauke

Irba Djaja

Program Doktor Ilmu Lingkungan  
Pasca Sarjana Universitas Diponegoro  
plhdjaja@gmail.com

### ABSTRAK

*Kabupaten Merauke salah satu Kabupaten di Propinsi Papua yang dicanangkan sebagai Lumbung Pangan dan Energi Nasional dan Internasional Kegiatan tersebut diwujudkan dalam bentuk pengembangan MIFEE (Merauke Integrated Food And Energy Estate).*

*Tujuan dari makalah ini adalah untuk menginventarisasi potensi sumber daya lahan di Kabupaten Merauke. Kegunaannya diharapkan dapat memberikan masukan bagi Pemerintah Daerah Kabupaten Merauke guna mengevaluasi lahan, yang hasilnya dapat dijadikan dasar untuk menyusun arahan tata ruang dan pewilayahan komoditas, pertanian serta alih teknologinya.*

*Potensi lahan yang dapat dikembangkan untuk budidaya pertanian seluas 2.491.822 Ha berupa lahan basah sebesar 1.937.291 Ha dan lahan kering 554.531 Ha. Pada lahan basah terdapat tanah yang mengandung bahan sulfidik, dan tanah berkadar garam tinggi. Sedang di lahan kering ada tanah yang bertekstur pasir kuarsa, dan tanah yang berkonkresi besi. Tanah-tanah tersebut kurang atau tidak potensial untuk pertanian. Namun secara keseluruhan lahan di wilayah Kabupaten Merauke cukup berpotensi untuk pertanian, sehingga sangat mendukung untuk menjadikan kabupaten ini sebagai lumbung pangan nasional di Kawasan Timur Indonesia.*

**Kata kunci-**, Pertanian, Program MIFEE dan Sumber Daya Lahan

### I. PENDAHULUAN

#### A. Latar Belakang

Pemerintah Pusat melalui program MP3EI untuk percepatan dan perluasan pembangunan ekonomi menjadikan provinsi Papua dan Kepulauan Maluku sebagai pusat pembangunan Ekonomi koridor 6. Kabupaten Merauke salah satu Kabupaten di Propinsi Papua telah dicanangkan sebagai Lumbung Pangan dan Energi Nasional dan Internasional dengan pertimbangan bahwa kawasan ini memiliki potensi lahan datar dan subur. Kegiatan tersebut diwujudkan dalam bentuk pengembangan MIFEE (*Merauke Integrated Food And Energy Estate*) merupakan kegiatan usaha budidaya tanaman skala luas yang dilakukan dengan konsep pertanian sebagai sistem industrial yang berbasis ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK), modal, serta organisasi dan manajemen modern.

Pengembangan lahan pertanian dan perkebunan untuk Program MIFEE tentunya akan berdampak langsung terhadap kebutuhan Sumber Daya Lahan. Tanaman membutuhkan lahan untuk hidup, oleh karena itu diperlukan rencana pengelolaan Sumber Daya Lahan yang terpadu agar dapat memenuhi kebutuhan seluruh stake holder dengan tetap menjaga ketersediaan lahan untuk masa mendatang.

Wilayah Kabupaten Merauke bagian selatan merupakan dataran rendah terbentuk dari bahan aluvium berupa endapan *fluvial* (sungai) dan endapan *marin* (laut), sedang wilayah bagian utara merupakan daerah *upland* yang topografinya berombak sampai berbukit terbentuk dari batuan sedimen (BBSDL Pertanian 2007). Sebagian besar wilayahnya beriklim kering, hanya sebagian kecil yang beriklim basah yaitu di wilayah bagian utara. Dengan adanya bulan-bulan kering yang nyata dan lama penyinaran matahari yang panjang akan sangat menguntungkan untuk budi daya tanaman pangan khususnya padi, jagung, dan kedelai. Namun, untuk keberhasilannya perlu memperhatikan masa tanam yang tepat agar tidak mengalami kekurangan air pada masa pertumbuhan vegetatif, dan tidak kelebihan air pada masa pertumbuhan generatif sesuai dengan persyaratan tumbuhnya (Djaenudin *et al.* 2003).

#### B. Permasalahan

Laju pertumbuhan penduduk dan perkembangan pembangunan Kabupaten Merauke menyebabkan terjadinya peningkatan kebutuhan lahan. Alih fungsi lahan dari lahan produktif dan hutan (sekunder) yang dapat dikonversi menjadi daerah pemukiman, perkantoran fasilitas dan Perkebunan - HTI dan untuk Program MIFEE dan

lainnya tidak dapat dihindari. Oleh karena itu, untuk mencegah terjadinya perubahan fungsi lahan tersebut diperlukan perencanaan program khususnya pemetaan lahan sesuai dengan jenis budidaya atau kegiatan pemanfaatan lahan lainnya yang tepat dan berkelanjutan sesuai dengan fungsinya dan potensinya sumber daya lahan.

### C. Tujuan dan Kegunaan

Tujuan dari makalah ini adalah untuk menginventarisasi potensi sumber daya lahan di Kabupaten Merauke. Kegunaannya diharapkan dapat memberikan masukan bagi Pemerintah Daerah Kabupaten Merauke guna mengevaluasi lahan untuk kegiatan perencanaan pembangunan Pertanian yang berkelanjutan.

## II. METODE

Penelitian potensi sumber daya lahan yang dilakukan melalui pendekatan analisis Deskriptif Analitik kualitatif terhadap potensi sumberdaya lahan di Kabupaten Merauke dan studi literatur. Data kualitas dan karakteristik lahan digunakan untuk evaluasi lahan, yang hasilnya dapat dijadikan dasar untuk menyusun arahan tata ruang dan perencanaan pembangunan Pertanian yang berkelanjutan.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kondisi Lahan Kabupaten Merauke

Secara umum lahan di Kabupaten Merauke dibagian selatan merupakan dataran aluvial yang sebagian berawa terbentuk dari bahan aluvium berupa endapan fluviatil (sungai), dan endapan marin (laut), topografinya datar dan/atau cekung. Wilayah bagian utara merupakan dataran tektonik terbentuk dari batuan sedimen dengan topografi berombak sampai berbukit. Perbedaan bentang alam yang kontras antara wilayah bagian selatan dan wilayah bagian utara sangat berpengaruh terhadap kondisi iklim dan sifat biofisik lingkungan, serta potensi lahannya (Dinas Tanaman Pangan dan Hortikultura, 2009).



Gambar1. Kondisi Penggunaan Lahan Kabupaten Merauke

Sumber. RTRW Kabupaten Merauke 2010-2030

Lahan di Kabupaten Merauke dikelompokkan menjadi daerah bawahan (*lowland*) dan daerah atasan (*upland*). Keadaan tanah kedua lingkungan tersebut sangat berbeda sehingga karakteristiknya tanahnya berbeda pula. Keadaan tanah daerah bawahan (*lowland*) umumnya tergenang/sering tergenang (jenuh air). Bahan induk tanah berasal dari endapan sungai, marin, organik. Tanah yang terbentuk dari bahan marin, tanahnya ada yang mengandung bahan sulfidik (pirit) dan terkena pasang surut air laut. Tanah di daerah bawahan (*lowland*) karakteristiknya banyak dipengaruhi oleh air karena lahannya umumnya sering tergenang.

Tanah-tanah yang terbentuk dari bahan induk aluvium dan marin, ditemukan di daerah cekungan, agak datar dan datar. Dengan demikian flutuasi air tanah sangat mendominasi rejim kelembaban tanahnya, yaitu bersifat aquik dengan drainase agak terhambat sampai sangat terhambat, penampang tanah dicirikan oleh berwarna kelabu dan terdapat karatan (*mottles*). Tanah-tanah tersebut telah mengalami alterasi diantaranya terdapat peningkatan liat dan oksidasi-reduksi, sehingga terbentuk horison kambik dengan ikutan gleiik. Tanah tersebut diklasifikasikan kedalam Endoaquepts (Gleisol Distrik/Eutrik).

Sepanjang pantai terdapat jalur tebing pantai yang berbahan induk dari endapan pasir laut. Endapan tersebut berupa endapan pasir kuarsa, yang belum ada tanda-tanda perkembangan profil. Tanah tersebut diklasifikasikan kedalam Udipsamments (Regosol Eutrik) dan Quartzipsamments (Regosol Kuarsik). Tanah di daerah atasan (*upland*) terjadi proses pencucian (*leaching*) dan pengendapan. Bahan induk tanah berasal dari endapan batuliat dan batupasir. Landform yang terbentuk dikelompokkan

ke dalam teras marin dan tektonik/struktural dengan relief berombak, bergelombang dan berbukit mempunyai drainase baik. Tanah-tanah yang terbentuk antara lain diklasifikasikan kedalam: Dystrudepts (Kambisal Distrik), Hapludults (Podsolik Merah Kuning), dan Plintudults (Podsolik Plintik).

Tabel 1. Jenis dan Luasan Tutupan Lahan Kabupaten Merauke Tahun 2010

No	Tutupan Lahan	Luas (Ha)	Persentase
1	Hutan Lahan Kering Primer	500338.0	10.76%
2	Hutan Lahan Kering Sekunder	544880.5	11.71%
3	Hutan Mangrove Primer	282302.1	6.07%
4	Hutan Mangrove Sekunder	16366.7	0.35%
5	Hutan Rawa Primer	178538.4	3.84%
6	Hutan Rawa Sekunder	256084.6	5.51%
7	Perkebunan	16135.7	0.35%
8	Permukiman	37614.2	0.81%
9	Pertanian Lahan Kering	17302.7	0.37%
10	Pertanian Lahan Kering Bercampur dgn Semak	56941.9	1.22%
11	Rawa	534653.1	11.49%
12	Savana	1103829.5	23.73%
13	Sawah	29190.5	0.63%
14	Semak/Belukar	280822.3	6.04%
15	Semak/Belukar Rawa	699713.6	15.04%
16	Tanah Terbuka	58241.9	1.25%
17	Tidak ada data (awan)	513.2	0.01%
18	Tubuh Air	37710.2	0.81%
	<b>Jumlah</b>	<b>4651336.0</b>	<b>100.00%</b>

Sumber: RTRW Kab Merauke 2010-2030

### Iklim dan Hidrologi

Berdasarkan data curah hujan dari stasiun meteorologi Merauke (BMG Merauke 2014) seperti disajikan pada Tabel 1, daerah Merauke dan sekitarnya menurut kriteria Oldeman mempunyai bulan basah (> 200mm) untuk periode tahun 2004 – 2013 berkisar antara 2-5 bulan, dan bulan keringnya (<100mm) antara 5-8 bulan, sehingga zona agroklimatnya bervariasi antara C4, D3, D4, dan E4. Sedangkan menurut kriteria Schmidt dan Ferguson (1951) bulan basah (>100 mm) berkisar antara 4-7 bulan, dan bulan keringnya (< 60 mm) antara 4-6 bulan, oleh karenanya diklasifikasikan ke tipe hujan D dan E, hanya sebagian kecil yang termasuk A. Kelembaban udara relatif antara 73- 87%. Adanya perbedaan zona agroklimat, dan tipe hujan mengindikasikan dalam periode 2004 – 2013 telah terjadi perubahan iklim.

Tabel 2. Rata-rata bulanan Curah Hujan, Temperatur, Kelembaban, Kecepatan dan Arah Angin Selama Periode 2004 – 2013 Kabupaten Merauke

No	Bulan	Parameter						Arah Angin
		Curah Hujan (mm)	Kelembaban (%)	Temperatur (°C)			Kecepatan Angin (m/detik)	
				Maks.	Min.	Rata-rata		
1.	Januari	329,39	71,21	31,61	17,18	27,05	4,42	Barat Laut
2.	Februari	330,75	74,27	31,22	16,69	27,42	5,09	Barat Laut
3.	Maret	429,65	81	30,27	17,05	27,44	4,21	Barat Laut
4.	April	263,64	67,57	31,72	16,43	27,2	3,7	Tenggara
5.	Mei	177,25	75,93	31,26	16,61	27,1	3,24	Tenggara
6.	Juni	96,30	77,37	29,76	16,21	26,45	2,98	Tenggara
7.	Juli	49,57	71,13	28,05	15,28	25,26	3,44	Tenggara
8.	Agustus	35,39	77,42	26,91	15,17	25,7	3,55	Tenggara
9.	September	42,76	76,9	30,77	15,75	26,07	3,96	Tenggara
10.	Oktober	80,74	76,02	31,8	16,83	27,11	3,39	Tenggara
11.	November	84,06	77,17	32,47	16,76	27,92	3,75	Selatan
12.	Desember	238,67	73,13	31,53	16,86	27,61	4,93	Selatan
	<b>Rerata tahunan</b>	<b>2150,35</b>	<b>899,12</b>	<b>367,37</b>	<b>196,82</b>	<b>322,33</b>	<b>46,66</b>	-
	<b>Rerata bulanan</b>	<b>179,85</b>	<b>74,93</b>	<b>30,6</b>	<b>16,4</b>	<b>26,86</b>	<b>3,89</b>	-

Sumber : Stasiun Meteorologi Mopah Merauke, 2014 (olahan Data)

Pembentukan dataran Merauke sangat dipengaruhi oleh aktivitas dan pola aliran sungai-sungai besar, antara lain S. Digul, S. Bian, S. Kumbe, dan S. Maro (DAS Bikuma) serta anak-anak sungainya. Luas daerah aliran sungai (DAS) Bian mencapai 9.493,80 km<sup>2</sup>, dengan lebar 117 – 1.449 m, dengan kecepatan arus 1.25 km/jam. Luas daerah aliran sungai (DAS) Kumbe mencapai 4.698,37 km<sup>2</sup>, yang lebarnya di bagian hulu rata-rata 15m, dan di hilir 300 m, debit air 119 m<sup>3</sup>/dt. DAS Maro luasnya 5.349,01 km<sup>2</sup>. lebarnya di bagian hulu 20 m, dan di hilir 450 m, debit air waktu terjadi pasang 827 m<sup>3</sup>/dt. Kedalaman air tanah di daerah terendah umumnya < 50 cm, sedangkan di daerah yang lebih tinggi mencapai 5 m, bahkan ada yang mencapai sampai melebihi 10 m (Merauke Dalam Angka, 2014).



Keadaan topografi wilayah Kabupaten Merauke mempunyai ketinggian bervariasi antara 2 – 5 meter di atas permukaan laut. Kondisi wilayah kabupaten yang relatif datar dan berawa-rawa berada pada sepanjang pesisir selatan Merauke dengan kemiringan 0 – 3% dan semakin ke utara kondisinya lebih bergelombang dan berbukit dengan kemiringan 3 – 8% serta memiliki ketinggian wilayah antara 0 – 60 meter di atas permukaan laut (Tabel 5 dan 6).

Tabel 5. Topografi yang meliputi seluruh wilayah Kabupaten Merauke.

Topografi	Lereng (%)	Beda tinggi (m)	Luas	
			ha	%
Datar	<2	< 10	2.235.801	50,08
Agak datar	2-3	< 10	1.347.614	30,17
Berombak	> 3- 8	< 10	468.836	10,50
Bergelombang	> 8- 15	10-50	236.006	5,89
Berbukit	> 15-30	10-50	150.065	3,36
Jumlah			4.464.722	100,00

Sumber: Dinas Pertanian Tanaman Pangan Kabupaten Merauke 2014

Tabel 6. Sebaran topografi dan lereng dari lahan yang berpotensi untuk pertanian di Kabupaten Merauke.

Topografi	Lereng (%)	Luas	
		ha	%
Datar	<1	730.181	37,79
Agak datar	1-3	519.421	26,88
Berombak	3-8	338.473	17,52
Bergelombang	8-15	249.621	12,92
Berbukit kecil	15-25	94.435	4,89
Lain-lain	-	186	0,01
Luas total		1.932.317	100,00

Sumber: Dinas Pertanian Tanaman Pangan Kabupaten Merauke 2014

### Sumber daya Lahan Pertanian dan Potensi Pengembangan

Berdasarkan hasil evaluasi sumberdaya lahan Kabupaten Merauke dikelompokkan menjadi: (1) Kawasan Budidaya Tanaman Lahan Basah, (2) Kawasan Budidaya Tanaman Lahan Kering, (3) Kawasan Budidaya Tanaman Tahunan, dan (4) Kawasan Lindung.

#### Kawasan Budidaya Tanaman Lahan Basah

Kawasan budidaya lahan basah di Kabupaten Merauke mencakup tanaman padi sawah dan sagu. Kawasan ini umumnya wilayah menempati wilayah datar sampai agak cekung. Penyebaran kawasan ini cukup luas, yaitu mencakup areal seluas 1.643.635 ha (36,81%)

#### Kawasan Budidaya Tanaman Lahan Kering

Kawasan budidaya tanaman lahan kering yang dapat dikembangkan di Kabupaten Merauke adalah kacang tanah, jagung, padi gogo, kedelai, ubi kayu, dan tebu. Kawasan ini umumnya menempati wilayah datar sampai berombak dengan lereng <8%.

Penyebaran kawasan ini cukup luas, yaitu mencakup areal seluas 1.474.061 ha (33,02%).

#### Kawasan Budidaya Tanaman Tahunan

Kawasan budidaya tanaman tahunan yang dapat dikembangkan di Kabupaten Merauke mencakup tanaman kelapa sawit, jambu mete, karet, mangga, rambutan, dan durian. Kawasan ini umumnya menempati wilayah bergelombang sampai berbukit kecil dengan lereng >8%. Penyebaran kawasan ini mencakup areal seluas 413.071 ha (9,25 %).

#### Kawasan Lindung

Kawasan ini penyebarannya di daerah aliran sungai, sependan pantai, dan lahan dengan kondisi tanah yang sangat rapuh (fragile), dengan pertimbangan sumberdaya lahan dan fungsinya perlu dilakukan usaha konservasi untuk menjaga kelestariannya. Luas kawasan ini 933.955 ha (20,92 %).

Tabel 7. Potensi dan luas lahan basah dan lahan kering di masing-masing Distrik di Kabupaten Merauke.

Kecamatan	Potensi (ha)		Jumlah
	Basah	Kering	
Merauke	39.582	29.721	69.303
Semangga	31.735	-	31.735
Tanah Miring	37.341	13.224	50.565
Jagebog	1.150	62.555	63.705
Sota	133	53.540	53.673
Kurik	53.753	84.192	137.945
Muting	3.609	45.622	49.231
Ullilin	2.926	36.992	39.918
Elikobel	3.219	40.690	43.909
Kimaam	1.100.432	-	1.100.432
Okaba	63.411	187.995	851.406
Jumlah	1.937.291	554.531	2.491.822

Sumber: Pemerintah Kabupaten Merauke 2014

Tabel 8. Potensi pengembangan komoditas tanaman pangan dan hortikultura di wilayah Kabupaten

Lahan	
Tingkat kekritisian Lahan	(Ha)
1. Sangat Kritis	34.64
2. Kritis	7158.72
3. Agak Kritis	5133.23
4. Potensial Kritis	677.37
5. Tidak Kritis	35641.44

Sumber: Olahan Data 2014 dan Dinas Pertanian Tanaman Pangan Kabupaten Merauke 2014

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Potensi lahan Basah yang dapat di kembangkan 486.931,63 Ha dan lahan kering sebesar 346.370,78 Ha dengan lahan Sangat kritis 34.64 Ha, Kritis 7.158,72 Ha, Agak kritis 5133.23 Ha dan potensial kritis 677.37 Ha.
2. Lahan di wilayah Kabupaten Merauke di kelompokan menjadi dua yaitu wilayah selatan (*lowland*) terbentuk dari bahan aluvium, yang sangat dipengaruhi oleh aktifitas sungai, yang cenderung datar dan berawa dan wilayah utara (*upland*) berbukit-bukit terbentuk dari batuan sedimen (lahan kering).
3. Iklim wilayah Kabupaten Merauke didasarkan atas letak yaitu wilayah selatan (*lowland*) beriklim kering, dan daerah utara (*upland*) beriklim basah, dengan perbedaan antara bulan-bulan basah dan kering yang nyata dan penyinaran matahari yang panjang sangat menguntungkan untuk pertumbuhan dan produktivitas tanaman.
4. Secara umum tanah di wilayah Kabupaten Merauke untuk pertanian tergolong potensial, dimana lahan di *lowland* sangat potensial di kembangkan untuk budidaya lahan basah (padi dan palawija) dan lahan *upland* untuk pengembangan budidaya tanaman tahunan dan tanaman Perkebunan.

#### C. SARAN

3. Perlu dikakukan penelitian lebih lanjut tentang Kemampuan lahan dan Ketersediaan Air untuk pembangunan pertanian yang berkelanjutan.
4. Pembukaan lahan (alih fungsi lahan) untuk program Pengembangan lahan Pertanian dalam konsep MIFEE di kaji dengan baik dan melibatkan masyarakat Adat sebagai pemilik Hak Ulayat (Hak Tanah Adat).

#### DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, S. 2010. *Konservasi Tanah dan Air*. Intitut Pertanian Bogor press. Bogor
- Asdak, C. 2010. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gadjra Mada University Press. Yogyakarta
- Asdak, C. 1995. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gadjra Mada University Press. Yogyakarta
- BMG Merauke, 2014. Data Iklim: Curah hujan, kelembaban udara, suhu udara dan penyinaran matahari daerah Merauke.
- .....Pemda, Kab. Merauke. 2007 Kabupaten Merauke Agropolitan dan Lumbung Pangan Dalam Mendukung Ketahanan Pangan Nasional. Audensi Bupati Merauke dengan Komisi IV DPR, Jakarta 23 Mei 2007.
- Dinas Pertanian Tanaman Pangan, Kabupaten Merauke. 2004. Pewilayahan Komoditas Pertanian Berdasarkan Zona Agro Ekologi Kabupaten Merauke, Provinsi Papua.
- Dinas Pertanian Tanaman Pangan dan Hortikultura, Kabupaten Merauke. 2009. Laporan Tahunan 2009.
- Djaenudin, D., Marwan H., A. Hidayat, dan H. Subagyo. 2003. Petunjuk Teknis Evaluasi Lahan untuk Komoditas Pertanian.
- Balitanah, Puslitbangtanak, Balitbang Pertanian. ISBN 979-9474-27-2.
- Heryanto, R. Dan H. Panggabean. 1995. Peta Geologi Lembar Merauke, Irian Jaya (3407). Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Puslittan. 1986. Survey dan Pemetaan Tanah Tingkat Tinjau Daerah Merauke S. Digul Pantai Kasuari, Propinsi Irian Jaya. Lap. Akhir No. 13/1986.
- ....., RTRW Kabupaten Merauke 2010-2030.
- ....., *Soil Taxonomy* (Soil Survey Staff 2003)

## Contents

Arahan Fungsi Pemanfaatan Lahan Berbasis Daerah Aliran Sungai Sebagai Upaya Pelestarian Lingkungan (Studi kasus di Sub DAS Samin ds) Agus Wuryanta.....	1
Skenario <i>Supply</i> Dan <i>Demand</i> untuk Pencapaian Target Sanitasi Penyediaan Air Minum Kota Semarang Tahun 2015 Hingga 2030 Arya Rezagama.....	6
SVLK Mendorong Tata Kelola Lingkungan pada Industri Furnitur di Jepara Helmi Ferdian.....	12
Kajian Daya Dukung Lahan Untuk Pembangunan Pertanian Berkelanjutan Di Kabupaten Merauke Irba Djaja .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Cara Praktis Mengevaluasi Kebutuhan Mitigasi Jaringan Sanitasi Bangunan Akibat Gempa Livian Teddy	25
Kandungan Logam Berat Di Tanah T Sampah Jatibarang Semarang Maria Ulfah.....	31
Sistem informasi lahan berbasis kepemilikan: pendukung instrumen pengendalian pemanfaatan ruang? (Studi Kasus: Kabupaten Sragen, Provinsi Jawa Tengah) Sariffuddin .....	38
Spatial Response Surface Methods for the Evaluation of Waterborne Disease Risk Potential Shen Liu .....	44
Model Sebaran SO <sub>2</sub> di Udara Kota Semarang S. Sudalma.....	50
Analisis Sedimen Suspensi pada Daerah Aliran Sungai dengan Pendekatan Model Tangki Tedjo Mulyono .....	54
Penerapan dan Pendekatan Teori Sistem Pada Permasalahan Sanitasi di Kota Semarang Wiwik Budiawan	62
<b>Kajian Daya Dukung Lahan Untuk Pembangunan Pertanian Berkelanjutan Di Kabupaten Merauke</b> .....	<b>67</b>

# Penilaian Status Kualitas Air Sebagai Dampak Kegiatan Budidaya Udang Vanamei (*Litopenaeus vannamei*) Intensif dengan Menggunakan Indek Kualitas Air

**Anggoro Prihutomo**

Mahasiswa Program Magister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro  
marhaendra.utama@gmail.com

Jl. Imam Bardjo, SH no.3-5, Semarang, Jawa Tengah, Indonesia

**Sutrisno Anggoro**

Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Diponegoro  
Jalan Prof. H. Soedarto, S.H. - Tembalang Semarang, Indonesia 50275

**Nur Kusuma Dewi**

Fakultas MIPA Universitas Negeri Semarang  
Kampus Unnes Sekaran, Gunungpati Semarang 50229

**Nurul Ikhwan**

Balai Layanan Usaha Produksi Perikanan Budidaya Karawang  
Desa Pusakajaya Utara, Kecamatan Cilebar, Kabupaten Karawang, Provinsi Jawa Barat

## ABSTRAK

*Udang vanamei saat ini menjadi komoditas utama budidaya air payau yang sangat menguntungkan dari aspek ekonomi. Akan tetapi sebagaimana semua kegiatan manusia dalam memenuhi kebutuhan ekonomi pasti memberikan dampak terhadap lingkungan. Salah satu isu lingkungan yang ditimbulkan dari kegiatan budidaya udang udang adalah penurunan kualitas air, terutama pada media budidaya. Disisi lain kualitas air yang baik menjadi penentu keberhasilan usaha ini. Indek kualitas air atau water quality index (WQI) merupakan salah satu alat ukur yang dapat digunakan untuk menilai status kualitas air. Makalah ini bertujuan untuk menggambarkan status kualitas air selama pemeliharaan udang vanamei di tambak dengan suatu indek kualitas air.*

*Enam petak tambak dengan dasar tanah digunakan dalam kajian ini dengan luasan masing masing 4000 m<sup>2</sup>. Padat tebar udang sebanyak 80 ekor/m<sup>2</sup>. Pakan komersial dengan protein 35-42 %. Sepuluh Paddle wheel aerator 1 Pk digunakan untuk menjaga tingkat kelarutan oksigen tambak. Pemeliharaan dilakukan selama 90 hari. Data yang diperoleh dianalisis secara deksriptif.*

*Data beberapa parameter kualitas air selama pemeliharaan terus mengalami penurunan hingga melebihi kondisi optimal untuk budidaya udang. Terutama untuk parameter muatan padatan tersuspensi (TSS) yang mencapai 500 mg/L, kecerahan hanya 10 cm dan nitrit yang mencapai 46 mg/L. Tingkat keragaman plankton pada tengah hingga akhir periode pemeliharaan dapat dikatakan sedang dengan  $H' > 1$ . Sedangkan, berdasarkan nilai indeks kualitas air menunjukkan kualitas yang baik hanya pada awal pemeliharaan dengan WQI mencapai nilai 0,75. Pada usia pemeliharaan selebihnya hingga panen nilai indek kualitas air menunjukkan nilai yang sedang (0,44 – 0,49).*

**Kata kunci:** Kualitas air, udang vanamei, tambak, indek kualitas air

## I. Pendahuluan

*Litopenaeus vannamei* merupakan salah satu komoditas akuakultur yang sangat penting di Indonesia bahkan di dunia dewasa ini. Produksi akuakultur dunia untuk udang udangan pada tahun 2010 sebagian besar (70,6%) dihasilkan dari komoditas udang

vanamei (FAO, 2012). Komoditas udang hasil kegiatan akuakultur di Indonesia produksinya terus mengalami kenaikan dari 409.6 ribu ton pada tahun 2008 menjadi 415.7 ribu ton pada tahun 2012, dengan rata rata kenaikan hanya sebesar 1,04 % (KKP, 2013)

Namun demikian, setiap kegiatan manusia termasuk akuakultur, akan mempengaruhi maupun dipengaruhi oleh sistem lingkungan (Pillay, 2004). Salah satu pengaruh dari kegiatan akuakultur terhadap lingkungan adalah terjadinya polusi air (C. Boyd, Lim, Queiroz, & Salie, 2005; Funge-Smith & Briggs, 1998). Dampak lingkungan yang diakibatkan dari kegiatan akuakultur menjadi bumerang bagi akuakultur itu sendiri. Berbagai macam fenomena kegagalan dalam akuakultur payau dewasa ini merupakan imbas dari dari dampak lingkungan yang ditimbulkan. Dampak kegiatan akuakultur telah mengakibatkan terjadinya penurunan kualitas lingkungan itu sendiri. Imbas dari penurunan kualitas lingkungan adalah turunnya produktifitas lahan. Kematian massal karena vibriosis dan serangan virus pada budidaya udang bisa disebabkan oleh efek sekunder dari penurunan kualitas lingkungan budidaya (Anggoro & Subandiyono, 2012; Michael & Phillips, 1995).

Oleh karena variasi yang tak terhitung jumlahnya dan rumit dalam penentuan status kualitas air, maka program monitoring dan pendugaan yang handal akan kualitas air memainkan peran penting dalam manajemen akuakultur agar mengerti sejauh mana tingkat kontaminasi dan memperkirakan dampaknya terhadap sistem akuakultur (Ma, Song, Wan, & Gao, 2013). Penentuan kualitas air dapat didefinisikan sebagai analisis sifat fisiko, kimia dan biologi air (Effendi, 2003).

Indek kualitas air (*Water Quality Index/WQI*) merupakan salah satu alat untuk menentukan kondisi kualitas air dan seperti halnya alat alat yang lain, WQI membutuhkan pengetahuan mengenai prinsip dan konsep dasar mengenai air dan isu yang terkait. Indek kualitas air bertujuan untuk memberikan satu nilai tunggal atas kualitas air dari sejumlah parameter parameter menjadi suatu tampilan yang sederhana sehingga data yang diperoleh mudah untuk diinterpretasikan. WQI menyimpulkan data kualitas air yang besar menjadi suatu istilah yang sangat sederhana (sangat baik, baik, buruk,...dll) (Bharti & Katyal, 2011). Modifikasi indek kualitas air (WQI) untuk kegiatan akuakultur telah dilaporkan dilaporkan oleh (Ma et al., 2013; Simões, Moreira, Bisinoti, Gimenez, & Yabe, 2008).

Makalah ini bertujuan untuk mendeskripsikan status kualitas air pada setiap periode pemeliharaan udang vanamei intensif dalam suatu nilai indek kualitas air (WQI). Mengingat status kualitas air dalam suatu nilai indek akan mempermudah dalam menilai status kualitas air selama periode pemeliharaan dalam kegiatan akuakultur. Manfaat yang akan didapatkan dengan kajian mengenai penentuan status mutu air dalam suatu nilai indek kualitas air selama pemeliharaan udang vanamei ini adalah untuk mewaspadai kemungkinan akibat yang akan terjadi terhadap komoditas yang dibudidayakan dan dapat dijadikan dasar manajemen pengelolaan lingkungan akuakultur terutama kualitas air secara efektif dan efisien selama siklus pemeliharaan.

## II. Metodologi

Kajian ini dilakukan di kawasan akuakultur BLUPPB Karawang, Desa Pusakajaya Utara, Kec. Cilebar Kabupaten Karawang Jawa Barat pada siklus pemeliharaan udang vanamei bulan Mei – Agustus 2014. Enam petak tambak dengan dasar tanah di lokasi Blok B2 digunakan dalam kajian ini. Masing masing petak mempunyai luasan tambak 4000 m<sup>2</sup>, dengan ketinggian pematang 1,5 – 2 m. Sekitar 50 % dari total luasan petak tambak dilapisi dengan plastik mulsa. Hanya daerah tengah petakan yang masih menggunakan dasar tanah. Ketinggian air selama pemeliharaan diatur pada ketinggian 100 – 120 cm. Delapan hingga sepuluh *paddle wheel* dengan daya 1 PK digunakan pada masing – masing petak untuk mempertahankan tingkat kelarutan oksigen air tambak. Padat tebar udang untuk masing – masing petak adalah 80 ekor/m<sup>2</sup>. Pakan komersil dengan kandungan protein 35 – 40% diberikan secara penuh selama pemeliharaan. Pemberian pakan hingga mencapai 80 Kg/hari pada akhir periode pemeliharaan.

Dalam menentukan status kualitas air, dilakukan dengan menganalisis data kualitas air hasil pengukuran menjadi suatu nilai kuantitatif dalam suatu nilai tunggal dalam bentuk Indek Kualitas Air (WQI). Perhitungan untuk menentukan *Water Quality Index* (WQI) mengacu dari metode yang dilakukan oleh Lee, Wu, Asio, & Chen (2006) dan

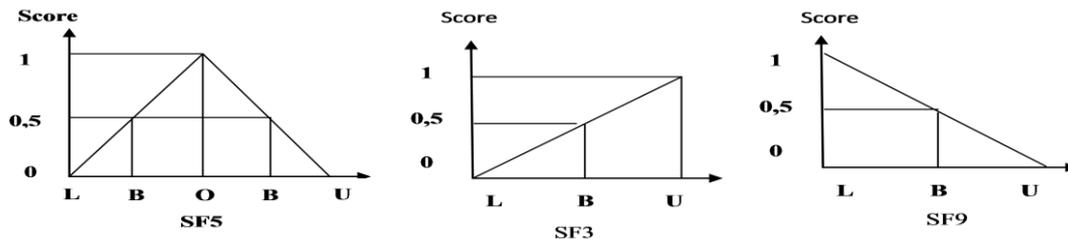
Partoyo (2005) dengan modifikasi dari penulis untuk disesuaikan dengan kegiatan akuakultur. Metode ini memperhitungkan keterwakilan peran aspek fisik, kimia dan biologi parameter dalam menentukan status kualitas air.

Tabel 1, berikut adalah indikator indikator kualitas tanah/air, dengan nilai SF yang spesifik dan parameter yang akan dipilih sebagai penentu perhitungan indeks kualitas air (WQI).

**Tabel 1.** Indikator kualitas air yang dipilih, SF dan parameter parameterinya

Indikator	Sat.	S F	Lower threshold	Base -line	Upper threshold	Lower baseline	Optimu m level	Upper baseline
Parameter fisika air								
Suhu	°C	5	<12		>35	18	30	32
TSS	ppm	5	<25		>200	50	80	100
Kecerahan	cm	5	<20		>60	25	37,5	50
Salinitas	ppt	5	<5		>40	10	20	35
Parameter kimia air								
DO	ppm	3	<1	3	>5			
pH	ppm	5	4		11	6	7,5	9
Tot. alk	ppm	5	<20		>300	50	125	200
TOM	ppm	5	0		100	25	50	75
Tot amonia	ppm	9	0	2	4			
Nitrit	ppm	9	0	0,1	1			
Parameter Biologi air								
Kelimpahan fitoplankton	Indv/L	5	0		>15.000	2250	4500	9750
Keragaman fitoplankton	-	3	<1	2	>3			
Tot. vibrio	CFU	9	<10 <sup>1</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>4</sup>			

Sumber: Abrahão *et al.* (2007); Astuti (2008); Bhatnagar & Devi (2013); Boyd (1998); Effendi (2003); Ekubo & Abowei (2011); Gupta *et al.* (2004); Makmur *et al.* (2011); Suryanto (2011); Wurts & Durborow (1992)



Gambar 1. Bentuk umum SF untuk evaluasi kualitas tanah. SF3: mengindikasikan nilai semakin tinggi/besar akan lebih baik, SF5 mengindikasikan nilai optimum akan lebih baik, dan SF9 mengindikasikan nilai yang semakin kecil akan semakin baik. (1) Skor SF3: L (*lower threshold*) = 0, B (*baseline*) = 0,5; dan U (*upper threshold*) = 1; (2) Skor SF5: L (*lower threshold*) = 0, B1 (*lower baseline*) = 0,5, O (*optimum*) = 1, B2 (*upper baseline*) = 0,5; dan U (*upper threshold*) = 0; dan (3) Skor SF9 = L (*lower threshold*) = 1, B (*baseline*) = 0,5; dan U (*upper threshold*) = 0.

Persamaan yang digunakan untuk menentukan nilai Indeks Kualitas Air (WQI) adalah sebagai berikut:

$$WQI = \sum (S_i \times W_i)$$

$S_i$  merupakan skor nilai indikator kualitas air dan  $W_i$  adalah indeks bobot (*weighted index*) dari masing masing indikator kualitas

tanah/air yang nilainya sama dengan bobot 1 x bobot 2 atau *weight 1 x weight 2*. Nilai  $S_i$  dan  $W_i$  distandarkan dari 0 hingga 1, dan oleh karena itu nilai SQI/WQI juga dihitung dengan kisaran nilai 0 hingga 1. Metode *scoring* atau pembobotan masing masing parameter disesuaikan dengan pentingnya fungsi dari masing masing parameter dalam mendukung kehidupan organisme akuakultur.

Metode yang digunakan dalam *scoring* bobot ( $w_i$ ) merupakan modifikasi dari tulisan Abrahão *et al.* (2007) yang disesuaikan untuk lingkungan akuakultur. Nilai total bobot dari semua indikator adalah 1. Oleh karenanya nilai WQI berada pada kisaran 0 dan 1.

*Scoring* ( $S_i$ ) masing indikator kualitas tanah/air dilakukan dengan membagi menjadi tiga sistem penilaian dengan menggunakan istilah fungsi skoring atau *scoring function* (SF). Ketiganya SF adalah SF3, SF5 dan SF9. SF 3 untuk menilai indikator kualitas tanah/air yang apabila nilainya semakin tinggi kualitasnya akan semakin baik. SF 5 untuk menilai indikator kualitas tanah/air yang mempunyai kisaran nilai optimum. SF9 untuk menilai indikator kualitas tanah/air yang nilainya semakin rendah maka kualitas tanahnya akan semakin baik. Model *scoring function* secara lebih jelas dapat dilihat pada gambar 1.

Pengambilan sampel kualitas air dilakukan setiap seminggu sekali selama

siklus pemeliharaan pada pagi hari. Parameter suhu, salinitas, kecerahan, DO, pH diukur secara insitu, sedangkan parameter kualitas air lainnya dianalisis di laboratorium kualitas air BLUPPB Karawang. Selanjutnya data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif dalam suatu nilai indeks kualitas air (WQI).

### III. Hasil dan Pembahasan

Budidaya udang dikhawatirkan memberikan dampak terhadap permasalahan lingkungan, terutama akibat dari pemanfaatan sumberdaya air (Ronback, 2002), oleh karena itu penilaian status kualitas air pada budidaya udang menjadi sangat perlu untuk dilakukan.

Pada perhitungan indeks kualitas air pada kajian ini, model bobot yang digunakan dalam kajian ini dapat dilihat pada tabel 2 berikut. Peran parameter fisik, kimia dan biologi dalam kajian ini diperhitungkan secara proporsional dalam penentuan nilai indeks kualitas air

Tabel 2. Model WQI yang digunakan selama kajian

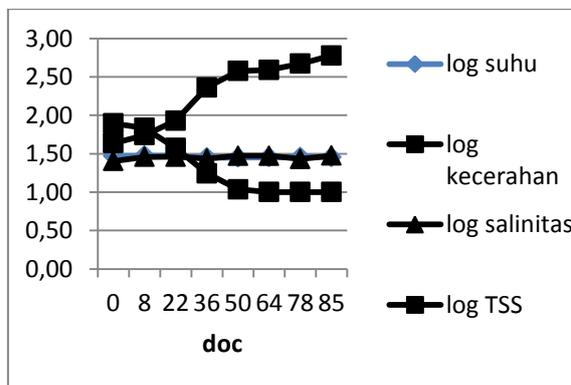
Parameter	Bobot1 (w1)	Indikator	Unit	Bobot 2 (w2)	Indek bobot (wi)
Fisika	0,33	Suhu	°C	0,182	0,060
		TSS	ppm	0,273	0,090
		Kecerahan	cm	0,273	0,090
		Salinitas	ppt	0,273	0,090
Kimia	0,34	DO	ppm	0,211	0,072
		pH	ppm	0,158	0,054
		Tot. alk	ppm	0,158	0,054
		TOM	ppm	0,158	0,054
		Tot amonia	ppm	0,158	0,054
		Nitrit	ppm	0,158	0,054
Biologi	0,33	Kelimpahan fitoplankton	Indv/L	0,375	0,124
		Keragaman fitoplankton	-	0,250	0,083
		Tot. vibrio	CFU/mL	0,375	0,124
<b>Total</b>	<b>1</b>				<b>1,000</b>

Data yang diperoleh dari parameter fisik selama pemeliharaan terlihat parameter kecerahan dan padatan tersuspensi paling

mengalami perubahan selama siklus pemeliharaan. Parameter total padatan tersuspensi (TSS) dan kecerahan mengalami

perubahan baik komposisi penyusun dan maupun perubahan dalam hal kualitas selama siklus pemeliharaan. Sebelum usia pemeliharaan 30 hari komposisi penyusun parameter TSS dan kecerahan adalah dari jenis mikroalga atau plankton yang memang diharapkan tumbuh selama siklus pemeliharaan. Akan tetapi sejak umur pemeliharaan lebih dari 30 hari seiring dengan peningkatan nilai TSS dan penurunan tingkat kecerahan, komposisi penyusun dari parameter tersebut didominasi dengan partikel koloid tanah yang berwarna coklat. Nilai TSS selama pemeliharaan mencapai hampir 600 mg/L dengan kecerahan di bawah 10 cm. Sedangkan TSS yang dianjurkan tidak lebih dari 100 mg/L dengan kecerahan antara 30 – 40 cm (Gupta et al., 2004).

Adanya peningkatan aktifitas udang yang cukup padat di dasar tambak dan pengadukan oleh putaran kincir (*paddle wheel*) diduga menjadi faktor penyebab utama dari peningkatan koloid tambak setelah usia satu bulan pemeliharaan. Prawitwilaiikul, Limsuwan, Taparhudee, & Chuchird (2006) menyatakan tingginya total padatan tersuspensi pada tambak dasar tanah karena tingginya erosi yang diakibatkan oleh adukan kincir dan hujan.



Gambar 2. Dinamika parameter fisik air selama pemeliharaan

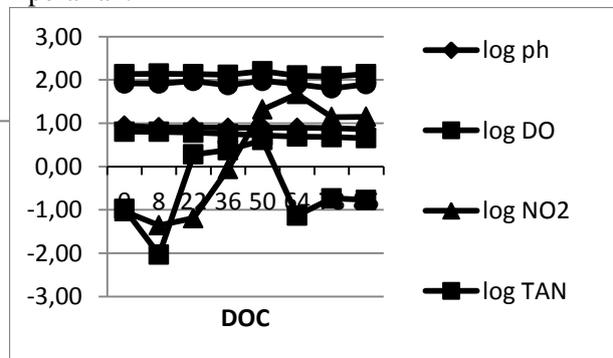
Selama kajian parameter pH atau tingkat keasaman air media cenderung mengalami peningkatan meskipun masih pada kisaran optimal untuk budidaya udang. Peningkatan keasaman yang bergerak pada kondisi netral pada air payau yang biasanya cenderung bersifat basa biasanya disebabkan oleh semakin meningkatnya bahan organik atau terjadinya mekanisme dekomposisi sehingga

menghasilkan senyawa karbondioksida yang bersifat relatif asam.

Kandungan oksigen terlarut cenderung relatif stabil selama siklus pemeliharaan, dengan kisaran nilai DO 4,5 – 6,4 mg/L sehingga masih pada kisaran optimal pada budidaya udang vanamei. Penggunaan *paddle wheel* yang berjumlah 10 buah merupakan faktor penyebab relatif stabilnya tingkat kelarutan oksigen tambak selama pemeliharaan.

Kandungan nitrit mengalami peningkatan yang sangat drastis terutama setelah munculnya koloid tambak. Konsentrasi nitrit selama kajian mencapai nilai 46,9 mg/L pada umur pemeliharaan dua bulan atau 60 hari. Nilai ini jauh diatas ambang batas konsentrasi yang dianjurkan bagi budidaya udang (< 1mg/L). Tingginya kandungan nitrit diduga sebagai akibat dari terganggunya proses denitrifikasi sebagai akibat terlalu tingginya kandungan koloid tanah. Sedangkan nilai parameter TAN cenderung mengalami fluktuatif selama pemeliharaan. Akan tetapi secara umum kandungan nitrit dan TAN menjadi relatif stabil setelah usia pemeliharaan diatas 50 hari dengan konsentrasi tertinggi mencapai 4 mg/L.

Boyd & Tucker (1998) menjelaskan bahwa tingkat oksidasi ammonia dan oksidasi nitrit sering tidak sama tergantung dari kondisi lingkungan (suhu, pengadukan, dan tingkat oksigen terlarut) yang berasosiasi dengan cuaca yang mengambat ketersediaan populasi bakteri yang cukup untuk mengoksidasi nitrit. Konsekuensinya, konsentrasi nitrit menjadi relatif tinggi di perairan.

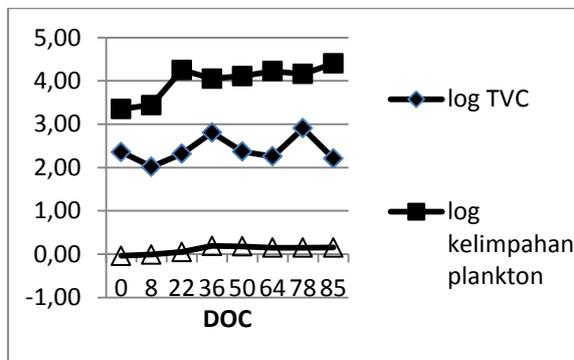


Gambar 3. Dinamika parameter kimia air selama pemeliharaan

Parameter alkalinitas media pemeliharaan udang vanamei cenderung stabil (119 – 150

mg/L) pada konsentrasi ideal untuk budidaya udang. Stabilitasnya nilai alkalinitas tidak lepas dari pengaruh pengapuran rutin untuk penyediaan unsur karbonat yang menjadi penentu nilai alkalinitas. Sedangkan untuk kandungan bahan organik air terjadi peningkatan pada awal awal pemeliharaan. Selanjutnya nilai TOM cenderung stabil pada kisaran 63,954 - 94,803 mg/L. Nilai tersebut sudah melebihi ambang batas yang dianjurkan untuk budidaya udang (< 55 mg/L).

Relatif stabilnya nilai bahan organik total ini kemungkinan sebagai bentuk sistem ekologis di tambak untuk melakukan dekomposisi bahan organik telah berjalan optimal ketika usia pemeliharaan mencapai diatas 60 hari.



Gambar 4. Dinamika parameter biologi air selama pemeliharaan

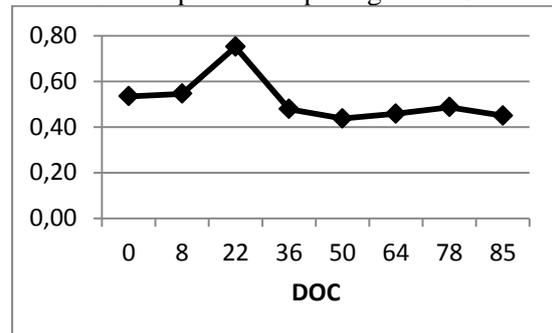
Pada parameter biologi, dapat dilihat bahwa kelimpahan total vibrio kurang dari  $10^3$  CFU. Nilai ini masih berada pada kondisi ideal untuk budidaya udang (Astuti, 2008). Kelimpahan plankton terus mengalami peningkatan. Kelimpahan plankton berkisar dari 2.250 sel/L pada awal pemeliharaan hingga mencapai kelimpahan 25.250 sel/L pada akhir pemeliharaan. Peningkatan tercepat terjadi pada umur pemeliharaan diatas 3 minggu. Pada usia pemeliharaan tersebut kemungkinan konsentrasi nutrien hasil proses dekomposisi bahan organik telah mencukupi bagi pertumbuhan plankton. Sedangkan diatas usia pemeliharaan satu bulan kelimpahan plankton relatif stabil yang kemungkinan disebabkan terhambatnya pertumbuhan plankton oleh karena munculnya atau tingginya nilai TSS.

Indeks keragaman plankton ( $H'$ ) pada awal pemeliharaan hanya 0,92 dan terus meningkat hingga mencapai puncaknya pada

usia pemeliharaan 36 hari dengan nilai indeks 1,5. Keragaman plankton juga lebih tinggi pada usia pemeliharaan diatas satu bulan dibandingkan pada awal pemeliharaan. Kondisi sistem ekologis yang mulai berjalan pada usia pemeliharaan diatas 30 hari dibandingkan dengan awal penebaran (lag fase), kemungkinan menjadi pemicu tingkat keragaman plankton yang relatif lebih baik dibandingkan pada awal pemeliharaan.

Menurut kriteria Shanon-Winner (1996) dalam Makmur & Fahrur (2010) menyatakan jika nilai indeks keragaman plankton  $H' < 1$ , maka diduga komunitas biota dalam kondisi tidak stabil. Jika nilai indeks  $H'$  antara range 1-3, maka dapat diartikan komunitas biota sedang dan jika nilai indeks  $H' > 3$ , maka komunitas biota perairan dalam kondisi stabil.

Dari masing – masing parameter kualitas air yang telah terdeskripsikan diatas baik fisik, kimia dan biologi, secara terintegrasi status kualitas air selama pemeliharaan udang vanamei yang dinyatakan dalam nilai indeks kualitas air dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. WQI versus usia pemeliharaan udang

Nilai indeks kualitas air terlihat terjadi peningkatan hingga puncaknya pada sampling kualitas air ke tiga atau pada usia pemeliharaan 3 minggu dengan nilai wqi sebesar 0,75. Selanjutnya mengalami penurunan dan relatif stabil pada kisaran nilai 0,45 hingga akhir pemeliharaan. Arifin (2011), membagi nilai kelas indeks 0,80 – 1,00 masuk kriteria sangat baik; 0,60 – 0,79 masuk kriteria baik; 0,40 – 0,59 masuk kriteria sedang; 0,20 – 0,39 masuk kriteria rendah dan nilai indeks 0,00 – 0,19 dinyatakan mempunyai kualitas sangat rendah. Munculnya koloid dan peningkatan konsentrasi nitrit pada sampling usia pemeliharaan 36 hari kemungkinan menjadi penyebab utama kembalinya nilai indeks kualitas air.

#### IV. Kesimpulan

Penentuan status kualitas air dari banyaknya nilai parameter kualitas air memerlukan suatu alat yang mampu menggambarkan secara lebih sederhana. Indeks kualitas air (WQI) merupakan salah satu alat yang dapat digunakan untuk menggambarkan berbagai macam nilai parameter kualitas air menjadi suatu nilai tunggal. Berdasarkan kajian ini, terlihat indeks kualitas air dapat digunakan menjadi alat yang mampu menggambarkan status kualitas air pada setiap tahap pemeliharaan dalam budidaya udang vanamei. Setelah sebelumnya perlu adanya modifikasi nilai skor (si) yang disesuaikan untuk kelayakan dalam budidaya udang.

#### V. Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih sebesar besarnya diucapkan kepada Ir. Supriyadi, M.Si. selaku kepala BLUPPB Karawang atas ijin dalam penggunaan fasilitas balai, Ir. Warih Hardanu, M.Sc. selaku koordinator budidaya udang di BLUPPB Karawang dan Ibu Atri Triana K. S.Pi selaku kepala laboratorium lingkungan di BLUPPB Karawang beserta staff atas hasil analisis datanya. Juga semua staff dan karyawan BLUPPB Karawang yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

#### VI. Daftar Pustaka

- Abrahão, R., Carvalho, M., Raimundo, W., Viana, T. T., Lúcia, C., Gadelha, M., ... Hernandez, M. (2007). *Use of Index Analysis to Evaluate the Water Quality of a Stream Receiving Industrial Effluents*. *WaterSA African Journal Online*, 33(4), 459–466. Retrieved from <http://www.wrc.org.za>
- Anggoro, S., & Subandiyono. (2012). *Osmotic Responses of Segara Anakan Fine Shrimp (*Metapenaeus elegans*) Adults in Various Salinity and Molting Stages*. *Journal of Coastal Development*, 15(3), 310–314. Retrieved from <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/coastdev/article/view/4020/3695>
- Arifin, Z. (2011). *Analisis Nilai Indeks Kualitas Tanah Entisol Pada Penggunaan Lahan yang Berbeda*. *Agroteksos*, 21(1), 47–54.
- Astuti, S. M. (2008). *Fluktuasi, Kemelimpahan dan Dominansi Bakteri Vibrio di Tambak Sebagai Indikator Biologis Terhadap serangan penyakit bintik putih (white spot) di tambak udang Balai Besar Pengembangan Budidaya Air Payau Jepara*. *Jepara: Balai Besar Pengembangan Budidaya Air Payau*. Retrieved from <http://isjd.pdii.lipi.go.id>
- Bharti, N., & Katyal, D. (2011). *Water Quality Indices Used for Surface Water Vulnerability Assessment*. *Journal of Environmental Sciences*, 2(1), 154–173.
- Bhatnagar, A., & Devi, P. (2013). *Water Quality Guidelines for The Management of Pond Fish Culture*. *International Journal of Environmental Sciences*, 3(6), 1980–2009. <http://doi.org/10.6088/ijes.2013030600019>
- Boyd, C. E. (1998). *Water Quality for Pond Aquaculture*. Auburn, Alabama: International Center for Aquaculture and Aquatic Environment, Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University. <http://doi.org/10.1007/978-1-4615-5407-3>
- Boyd, C. E., & Tucker, C. S. (1998). *Pond Aquaculture Water Quality Management* (1st ed.). New York: Springer Science+Business Media. Retrieved from [www.springer.com](http://www.springer.com)
- Boyd, C., Lim, C., Queiroz, J., & Salie, K. (2005). *Best Management Practices for Responsible Aquaculture*. *Aquaculture Collaborative Research Support Program (ACESP)*. Retrieved from [http://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/pnadm906.pdf](http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/pnadm906.pdf)
- Effendi, H. (2003). *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan Perairan* (Vol. 32). Yogyakarta: Kanisius. Retrieved from [www.kanisisusmedia.com](http://www.kanisisusmedia.com)
- Ekubo, A. A., & Abowei, J. F. N. (2011). *Review of Some Water Quality Management Principles in Culture Fisheries*. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering Technology*, 3(12), 1342–1357. Retrieved from <http://maxwellsci.com/>

- FAO. (2012). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2012*. Sofia. <http://doi.org/10.5860/CHOICE.50-5350>
- Funge-Smith, S. J., & Briggs, M. R. P. (1998). *Nutrient Budgets in Intensive Shrimp Ponds: Implications for Sustainability*. *Aquaculture*, 164(1-4), 117–133. [http://doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00181-1](http://doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00181-1)
- Gupta, B. ., Muralidhar, M., Krishnani, K. K., Jayanthi, M., Nilarekha, P., & Saraswathy, R. (2004). *Soil and Water Quality Management in Brackishwater Aquaculture*. *Scientist*. Puram, Chennai: Central Institute of Brackishwater Aquaculture (Indian Council of Agricultural Research).
- KKP. (2013). *Kelautan dan Perikanan dalam Angka 2013*. Jakarta: Pusat Data, Statistik dan Informasi, Kementerian Kelautan dan Perikanan. Retrieved from [www.kkp.go.id](http://www.kkp.go.id)
- Lee, C.-H., Wu, M.-Y., Asio, V. B., & Chen, Z.-S. (2006). *Using a Soil Quality Index To Assess the Effects of Applying Swine Manure Compost on Soil Quality Under a Crop Rotation System in Taiwan*. *Soil Science*, 171(3), 210–222. <http://doi.org/10.1097/01.ss.0000199700.78956.8c>
- Ma, Z., Song, X., Wan, R., & Gao, L. (2013). *A Modified Water Quality Index for Intensive Shrimp Ponds of *Litopenaeus vannamei**. *Ecological Indicators*, 24, 287–293. <http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.06.024>
- Makmur, M., Rachmansyah, R., & Fahrur, M. (2011). *Hubungan Antara Kualitas Air dan Plankton di Tambak Kabupaten Tanjung Jabung Barat Provinsi Jambi*. In *Forum Inovasi Teknologi Akuakultur* (pp. 961–968). Jakarta: Badan Riset Kelautan dan Perikanan, KKP.
- Michael, J., & Phillips, M. J. (1995). *Shrimp Culture and The Environment*. In T. U. Bagarinao & E. E. . Flores (Eds.), *Towards Sustainable Aquaculture in Southeast Asia and Japan: Proceedings of The Seminar-Workshop on Aquaculture Development in Southeast Asia, Iloilo City, Philippines, 26-28 July 1994*. SEAFDEC Aquaculture Department.
- Partoyo. (2005). *Analisis Indeks Kualitas Tanah Pertanian di Lahan Pasir Pantai Samas Yogyakarta*. *Ilmu Pertanian*, 12(2), 140–151.
- Pillay, T. V. . (2004). *Aquaculture and the Environment* (2nd ed.). Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd.
- Prawitwilaikul, O., Limsuwan, C., Taparhudee, W., & Chuchird, N. (2006). *A comparison of Rearing Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931) in Earthen Ponds and in Ponds Lined With Polyethylene*. *Kasetsart Journal - Natural Science*, 40(1), 167–171.
- Ronnback, P. (2002). *Environmentally Sustainable Shrimp Aquaculture*. Sweden: Swedish Society for Nature Conservation.
- Simões, F. D. S., Moreira, A. B., Bisinoti, M. C., Gimenez, S. M. N., & Yabe, M. J. S. (2008). *Water Quality Index as a Simple Indicator of Aquaculture Effects on Aquatic Bodies*. *Ecological Indicators*, 8(5), 476–484. <http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2007.05.002>
- Suryanto, A. M. (2011). *Kelimpahan dan Komposisi Fitoplankton di Waduk Selorejo Kecamatan Ngantang Kabupaten Malang*. *Jurnal Kelautan*, 4(2).
- Wurts, W. a, & Durborow, R. M. (1992). *Interactions of pH , Carbon Dioxide , Alkalinity and Hardness in Fish Ponds*. Southern Regional Aquaculture Center, 0(464), 1–4.

## NOTULENSI TANYA JAWAB

### Panel 5 : Environmental Modelling

1.	NAMA PENANYA	:	Connie
	ASAL INSTITUSI	:	QUT
	DIALAMATKAN KEPADA	:	Maria Ulfah
	URAIAN PERTANYAAN	:	Apakah penelitian anda perlu diadakan penelitian untuk lebih lanjut?
	TANGGAPAN	:	Penelitian ini memang belum selesai, masih butuh penelitian untuk lebih lanjut.
2.	NAMA PENANYA	:	Connie
	ASAL INSTITUSI	:	QUT
	DIALAMATKAN KEPADA	:	Livian Teddy
	URAIAN PERTANYAAN	:	Apakah tidak merugikan apabila sudah dibangun sistem mitigasi yg baik namun sumber daya manusia yang ada tidak memenuhi?
	TANGGAPAN	:	Memang akan merugi jika sudah dibangun sistem mitigasi yang baik namun pengetahuan manusianya kurang. Dari penelitian ini kami juga mensosialisasikan tentang fungsi mitigasi dan penggunaannya yang baik.
3.	NAMA PENANYA	:	Connie
	ASAL INSTITUSI	:	QUT
	DIALAMATKAN KEPADA	:	Maria Ulfah
	URAIAN PERTANYAAN	:	(Saran) Untuk masalah seperti ini, sebaiknya dilakukan pencegahan sebelum sampah masuk ke are TPA.
	TANGGAPAN	:	Terima kasih atas sarannya.