



BAB II LANDASAN TEORI

2.1. Gambut

Berdasarkan kandungan bahan organik, dikenal dua kelompok tanah, yaitu tanah mineral dan tanah organik. Tanah mineral mengandung maksimum 20% bahan organik, apabila kandungan liatnya 60%. Kelompok tanah yang mengandung bahan organik lebih tinggi dari batasan tersebut, dinamakan tanah organik (Wahyunto *et al*, 2005).

Driessen (1978) mengadopsi definisi gambut oleh Polak (1941) yaitu “kandungan bahan organik lebih dari 65% dan ketebalan gambut lebih dari 0,5 m”. Batasan gambut seperti ini bermanfaat bagi petani lahan gambut, oleh karena padi sawah umumnya selalu berhasil bila ditanam pada tanah bergambut yang ketebalannya kurang dari 0,5 m.

Meskipun Standar Nasional Indonesia (SNI) mendefinisikan lahan gambut sebagai area dengan akumulasi bahan organik terurai tidak sempurna dengan kadar abu sama dengan atau kurang dari 35%, kedalaman gambut sama dengan atau lebih dari 50cm, dan organik kandungan karbon (berat) minimal 12% (ICCC, 2012).

Menurut lingkungan pembentukan lahan gambut dibedakan menjadi 4 tipe, yaitu:

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.



- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.

Gambut cekungan (*basin peat*), gambut yang terbentuk di daerah cekungan, lembah sungai atau rawa belakang (*backswamp*).

Gambut sungai (*river peat*), gambut yang terbentuk di sepanjang sungai yang masuk ke daerah lembah yang kurang dari 1 km.

Gambut dataran tinggi (*highland peat*), gambut yang terbentuk di punggung-punggung bukit/pegunungan.

Gambut pesisir/pantai (*coastal peat*), gambut yang terbentuk di sepanjang garis pantai. Tanah di bawah lapisan gambut merupakan endapan dasar yang terbentuk dalam lingkungan laut, sehingga merupakan endapan marin yang mengandung bahan sulfidik, khususnya pirit (FeS_2). Kelompok tanah gambut seperti ini disebut gambut pantai (*coastal peats*).

Sebagian gambut dapat terbentuk cekung-cekungan, danau-danau, di daerah lembah, dan di dataran banjir sungai besar. Letaknya cukup jauh di pedalaman, biasanya pada daerah aliran sungai bagian tengah. Karena lokasi yang jauh dari muara/laut, pengaruh air tawar sangat dominan. Gambut seperti ini dikelompokkan sebagai gambut pedalaman (*inland peats*).

Pada proses pembentukannya, dua tipe utama gambut yaitu, (1) gambut topogen yang terbentuk pada wilayah depresi di belakang tanggul di mana gambut ini bersifat eutropik dan biasanya kaya unsur hara dan (2) gambut ombrogen yang terbentuk pada wilayah penggenangan dengan sumber air yang hanya berasal dari air hujan, gambut ini miskin hara.



- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.

Istilah gambut mengacu pada tumpukan bahan yang terbentuk dari seresah organik tumbuhan yang terurai pada kondisi jenuh air, dimana laju penambahan material organik lebih cepat daripada laju penguraiannya (Brady 1997). Keadaan ini menyebabkan secara alami, lahan gambut adalah gudang penyimpanan bahan organik, khususnya tumbuhan. Secara alami, ekosistem hutan rawa gambut mempunyai kapasitas menampung bahan organik tanpa batas karena dapat terus terakumulasi di lantai hutan.

Hal inilah yang membedakan hutan rawa gambut dari hutan di lahan mineral lainnya yang kapasitas menampung bahan organiknya cenderung hanya terbatas pada biomassa dalam bentuk vegetasi hidup, sedangkan bahan organik mati berupa guguran bagian tumbuhan yang jatuh di lantai hutan tidak sempat terakumulasi, melainkan terdekomposisi secara relatif lebih cepat.

Akumulasi gambut terjadi terus-menerus dalam periode yang panjang hingga ketebalan gambut dapat mencapai 12 m (WIIP 2006). Hasil analisis usia karbon lahan gambut Kalimantan Tengah menunjukkan bahwa gambut sudah mulai terbentuk sejak kira-kira 9740 tahun yang lalu, dengan laju pertumbuhan ketebalan gambut berkisar antara 0.2 - 1.13 mm/tahun di daerah pedalaman, dan sekitar 1.67 mm/tahun di daerah pantai (Dommain *et al.* 2009).

Neuzil (1997) menyebutkan bahwa gambut di Kabupaten Bengkalis berumur 4.740-5.730 tahun SM, gambut di Sungai Siak berumur 3.620-5.220 tahun SM. Subagyo (2002) menyatakan bahwa gambut yang terbentuk di wilayah rawa pantai Indonesia diperkirakan dimulai sekitar 5.000-4.000 tahun yang lalu.



- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.

Hasil analisis umur karbon (*carbon dating*) contoh - contoh tanah gambut di sekitar sungai Batanghari, Jambi yang menunjukkan umur 4.300 tahun sebelum masehi (SM) (Cameron *et al.* 1987).

Gambut di Indonesia sebagian besarnya gambut ombrogen, terutama gambut pedalaman yang digolongkan ke dalam tingkat *oligotrofik* atau miskin unsur hara (Barchia, 2006). Gambut pantai tergolong ke dalam gambut *eutrofik* atau gambut subur karena adanya pengaruh air pasang surut. Air pasang surut mengandung bahan-bahan halus dan bahan terlarut lain yang berasal dari daratan karena terbawa oleh aliran air sungai pada waktu banjir atau berasal dari lautan karena naiknya air laut pada saat terjadinya pasang (Andriessse, 1974).

Gambut yang memiliki ketebalan >3 meter umumnya tidak subur, karena vegetasi pembentuknya terdiri atas vegetasi dengan kadar abu tinggi yang memiliki sifat sulit terdekomposisi (Rismunandar, 2001). Tanah gambut memiliki kadar hara yang relatif rendah, baik unsur hara makro maupun mikro, jika dibandingkan dengan tanah mineral (Driessen, 1978).

Menurut Hardjowigeno (1996), tingkat kesuburan gambut dipengaruhi oleh tingkat kematangan gambut yang ditentukan oleh sifat, bahan penyusun, dan tingkat dekomposisinya. Semakin tinggi tingkat kematangan gambut maka akan semakin baik sifat fisik kimia tanahnya.

Beberapa istilah lahan yang terdapat akumulasi bahan organik antara lain:

1. Bog; lahan rawa yang ditutupi gambut yang tidak memiliki aliran air masuk maupun keluar secara nyata.



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

2. Fen: lahan rawa yang ditutupi gambut yang menerima limpasan air drainase dari tanah mineral disekitarnya.
3. Peatland: istilah umum untuk lahan rawa yang ditutupi oleh sisa tumbuhan yang terdekomposisi tidak sempurna.
4. Mire: istilah umum untuk lahan rawa yang tertutup oleh gambut.
5. Moor: sama dengan lahan gambut dapat berbentuk seperti kubah dan cekungan atau bagian depresi yang permukannya tidak melebihi tepinya.

2.1.1. Penyebaran Rawa Gambut di Indonesia

Hutan rawa gambut di daerah tropis mencakup areal seluas 32 juta ha dari total seluas 200 juta ha yang terdapat di seluruh dunia. Penyebaran hutan rawa gambut di Indonesia terdapat di daerah Riau, Jambi, Sumatera Selatan, Kalimantan, Sulawesi Tenggara, dan Maluku (Soerianegara 1982; Istomo 1992). Luasnya sekitar 17 juta ha, terbentang dari pantai timur Sumatera seluas 9,6 juta ha yang meliputi Provinsi Riau, Jambi, dan Sumatera Selatan. Kalimantan seluas 6,3 juta ha yang meliputi Kalimantan Barat dan Kalimantan Tengah serta di Irian Jaya seluas 70.000 ha (Driessen 1976).

Pendapat yang lain menyebutkan luasnya 16.973.000 ha yang meliputi Sumatera 4.613.000 ha, Kalimantan 3.531.000 ha, Sulawesi 34.000 ha, Maluku 42.000 ha, dan Irian Jaya 8.753.000 ha (Wetland International 1996).

Hutan rawa gambut adalah salah satu tipe hutan rawa dengan ekosistem yang spesifik dan rapuh (*fragile*), apabila terjadi penurunan air yang drastis maka gambut menjadi kering tidak



- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.

balik (*irreversible drying*) sehingga terjadi penurunan permukaan gambut (*subsidence*) (Driessen 1976). Hutan rawa gambut mempunyai nilai konservasi yang sangat tinggi dan fungsi-fungsi lainnya seperti fungsi hidrologi, cadangan karbon, dan biodiversitas yang penting untuk kenyamanan lingkungan dan kehidupan satwa (Bellamy 1995).

Lahan gambut memainkan peran penting dalam menyimpan siklus karbon global diperkirakan 469-486 Gt karbon. Selain itu lahan gambut juga berperan penting bagi kesejahteraan manusia seperti sebagai penghasil/habitat ikan, hasil hutan non kayu, sebagai penahan banjir, pemasok air, berbagai proses biokimia yang berhubungan dengan air, mengandung plasma nutfah yang bermanfaat (sumber karbohidrat, protein, minyak dan antibiotik) (Page *et al.* 2011).

Hutan rawa gambut memiliki fungsi ekologis yang sangat berperan dalam menjaga keseimbangan ekosistem. Salah satu diantaranya adalah fungsi hutan dalam menjaga iklim. Hal ini terkait dengan kemampuan tegakan hutan untuk menyerap karbondioksida (CO₂) dan melepaskan oksigen (O₂) dalam proses fotosintesis. Semakin banyak CO₂ yang diserap oleh tumbuhan dan disimpan dalam bentuk biomassa karbon maka semakin besar pengaruh buruk efek rumah kaca dapat dikendalikan (Samsodin *et al.* 2009).

2.1.2. Karakteristik gambut

Gambut terbentuk dari serasah organik yang terdekomposisi secara anaerobik atau tidak terdegradasi secara sempurna dimana laju penambahan bahan organiknya lebih tinggi



- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.

dibanding laju dekomposisinya. Laju degradasi yang sangat lambat ini menyebabkan kesuburan tanah di gambut menjadi rendah. Tanah gambut merupakan tanah yang sangat lunak (*very soft soil*) dengan daya dukung yang sangat rendah dan mempunyai sifat mudah mampat jika terdapat beban yang bekerja di atasnya. Polak (1975) mengemukakan bahwa gambut yang ada di Sumatera dan Kalimantan umumnya didominasi oleh bahan kayu-kayuan.

Tanah gambut adalah tanah-tanah yang jenuh air, tersusun dari bahan tanah organik berupa sisa-sisa tanaman dan jaringan tanaman yang telah melapuk dengan ketebalan lebih dari 50 cm. Tanah gambut umumnya mempunyai tingkat kemasaman yang relatif tinggi dengan kisaran pH 3 - 4. Gambut oligotropik yang memiliki substratum pasir kuarsa di Berengbengkel, Kalimantan Tengah memiliki kisaran pH 3,25-3,75 (Halim 1987). Sementara itu gambut di sekitar Air Sugihan Kiri, Sumatera Selatan memiliki kisaran pH yang lebih tinggi yaitu 4,1-4,3 (Hartatik *et al.* 2004). Dalam sistem klasifikasi taksonomi tanah, tanah gambut disebut sebagai *Histosol* yang berarti Jaringan.

Berdasarkan penyusunnya tanah gambut dikelompokkan menjadi a) gambut lumutan (campuran tanaman air, plankton, dan sejenisnya), b) gambut seratan (campuran sphagnum dan rumput-rumputan), dan c) gambut kayu (campuran pohon dan semak). Sebagian besar lahan gambut di Indonesia dikelompokkan ke dalam jenis gambut kayu (Radjagukguk *et al.* 1989).

Tanah gambut selalu terbentuk pada tempat yang kondisinya jenuh air atau tergenang, seperti pada cekungan-cekungan daerah pelebahan, rawa bekas danau, atau daerah depresi/basin pada dataran pantai di antara dua sungai besar,



- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.

dengan bahan organik dalam jumlah banyak yang dihasilkan tumbuhan alami yang telah beradaptasi dengan lingkungan jenuh air.

Penumpukan bahan organik secara terus-menerus menyebabkan lahan gambut membentuk kubah (*peat dome*). Tanah gambut memiliki kemampuan menampung air dalam jumlah besar dikarenakan bahwa jenis tanah ini memiliki serat yang membagi ruang pori menjadi makropori dan mikropori yaitu bagian terkecil yang terdapat di antara pori gambut itu sendiri, jadi dengan kata lain gambut memiliki dua kali kemampuan untuk menampung air. Selain itu lahan gambut yang masih alami merupakan penyerap karbon yang baik dalam jangka panjang, namun ekstraksi gambut mengubah sistem ini menjadi sumber gas rumah kaca yang besar dan terjadi terus-menerus (Wibisono *et al.* 2005).

1.3. Kondisi Gambut di Riau

Di Sumatera lahan gambut terutama menyebar di Provinsi Riau dengan luas 4.04 Juta Ha yang direkomendasikan dalam kategori ekoregion hutan rawa gambut Sumatera (WWF 2008). Pada kondisi alami, hutan rawa gambut menyimpan karbon di atas permukaan 100-250 ton C ha (Page *et al.* 2011). Sedangkan rata-rata cadangan karbon bawah permukaan yaitu 2772 Mg C ha⁻¹ dengan rata-rata kedalaman gambut 5.50 m (Page *et al.* 2011). Cadangan karbon di hutan-hutan rawa gambut di atas dan bawah permukaan di Cagar Biosfer Giam Siak, berkisar antara 26.75 to 94.25 Mg C ha⁻¹ dan 4410 to 5775 Mg C ha⁻¹ (Gunawan *et al.* 2012).



- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penerbitan, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.



Gambar 2.1 Kondisi tanah gambut (Dokumentasi Haris, 2012)

Saat ini ekosistem hutan rawa gambut di Provinsi Riau berada dalam kondisi terancam dan terus menurun luasannya dari tahun 1982-2007 daratan Riau kehilangan 57% dari luas total yang dimiliki atau tersisa sekitar 1,8 juta Ha (Gunawan *et al.* 2012).

Penurunan luasan lahan gambut yang ada di Provinsi Riau disebabkan oleh adanya konversi hutan alam rawa gambut yang berlangsung hingga saat ini sehingga dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan lahan dan berdampak terhadap hilangnya berbagai potensi keanekaragaman hayati yang ada pada daerah tersebut.

Perubahan ekosistem rawa gambut alami untuk perluasan pembangunan sektor kehutanan dan perkebunan telah memicu kebakaran setiap tahunnya dan menjadi penyebab kerusakan lahan gambut di Provinsi ini, terutama wilayah yang berbatasan dengan Selat Malaka (Jarvie *et al.* 2003; WWF 2008).

Salah satu ancaman penting dalam mencapai keberlanjutan pengelolaan lahan gambut di Cagar Biosfer adalah terjadinya



- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.

kebakaran setiap tahunnya, terutama pada musim kemarau panjang. Kebakaran selain dapat menyumbang peningkatan emisi karbon, juga diduga telah merusak karakteristik alami ekosistem hutan rawa gambut.

Sebagai contoh adalah kemampuan komunitas vegetasi pulih secara alami maupun yang direstorasi. Menjadi menarik untuk diketahui potensi biomassa dan karbon tersimpan di atas permukaan setelah terjadinya kebakaran. Kerusakan ekosistem hutan rawa gambut membutuhkan upaya-upaya konservasi dan restorasi.

Jika pada suatu ekosistem hutan rawa gambut yang telah rusak tidak ada upaya-upaya konservasi dan restorasi, maka dikhawatirkan lahan akan menjadi terdegradasi sangat berat dan bahkan akan hilang atau punah. Restorasi bertujuan mengembalikan ekosistem yang telah rusak. Sehingga suatu ekosistem dapat menyediakan kembali fungsi-fungsi utamanya (Gunawan *et al.* 2012).

2.1.4. Vegetasi Hutan Rawa Gambut dan Karakteristiknya

Pertumbuhan adalah penambahan biomassa yang bersifat irreversibel atau tidak dapat kembali lagi. Ciri-ciri pertumbuhan antara lain adanya penambahan berat, volume, panjang/tinggi dan luas. Pada tumbuhan, proses pertumbuhan dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah suhu, cahaya dan kelembaban. Vegetasi merupakan kumpulan berbagai tumbuhan yang menutup bentang lahan pada suatu wilayah.

Vegetasi membentuk suatu kesatuan dimana individu-individu tersebut saling ketergantungan satu sama lain. Vegetasi



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

hutan rawa gambut pada umumnya mempunyai sistem perakaran yang khas serta tumbuh pada tanah yang bersifat asam. Secara umum jenis vegetasi pada lahan gambut dapat digolongkan sebagai rumput, semak dan pepohonan. Jenis dan struktur vegetasi hutan rawa gambut berpengaruh terhadap biomassa yang ada pada daerah tersebut.

Komunitas vegetasi pioner diduga selain dapat menurunkan laju karbon emisi setelah terjadi kebakaran di lahan gambut juga berfungsi sebagai penyerap karbon melalui akumulasi biomassa dari awal proses suksesinya. Selain itu juga dibutuhkan upaya restorasi untuk mengurangi laju karbon emisi serta meningkatkan daya serap karbon oleh jenis-jenis pohon yang berpotensi menyerap lebih banyak karbon (Sujarwo 2011).

Karbon yang tersimpan merupakan bagian terpenting dari siklus kehidupan di bumi. Bagian terbesar dari karbon yang berada di atmosfer adalah gas karbon dioksida (CO_2), metan (CH_4) dan kloroflorokarbon (CFC merupakan gas artifisial atau buatan).

Karbon tersimpan pada ekosistem teresterial terbagi menjadi karbon diatas permukaan dan karbon di bawah permukaan atau dalam tanah. Karbon diatas permukaan tanah meliputi biomassa pohon, biomassa tumbuhan bawah (semak belukar berdiameter < 5 cm, tumbuhan menjalar dan gulma), nekromassa (bagian pohon atau tanaman yang sudah mati) dan serasah (bagian tanaman yang gugur berupa daun dan ranting).

Karbon bawah permukaan meliputi biomassa akar dan bahan organik tanah (sisa tanaman, hewan dan manusia yang mengalami dekomposisi) serta hamparan lahan gambut (Hairiah 2007).



- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.

1.1.5. Area Transisi Cagar Biosfer Giam Siak Kecil-Bukit Batu

Cagar biosfer adalah suatu kawasan ekosistem asli, unik atau telah mengalami degradasi yang keseluruhan unsur alamnya dilestarikan bagi kepentingan penelitian dan pendidikan. Cagar biosfer merupakan salah satu cara melestarikan ekosistem dunia, melestarikan kekayaan keanekaragaman hayati dan budaya didalamnya serta mengantisipasi dampak negatif pemanasan global. (Hamzirwan 2009). Cagar biosfer GSK-BB adalah satu dari 53 cagar biosfer yang tergabung dalam UNESCO's world Network of Biosphere Reserves (WNBR).

Secara geografis Cagar Biosfer merupakan hutan gambut daratan rendah dengan beberapa danau alam. Kawasan ini menggabungkan Suaka Margasatwa Giam Siak Kecil seluas 84.967 ha dan Bukit Batu seluas 21.500 hektar (LIPI 2009). Cagar Biosfer GSK-BB terletak di tiga kabupaten masing-masing Bengkalis, Siak, dan Kota Dumai. Total areanya mencapai 701.984 hektar

Lahan gambut dunia diperkirakan sekitar 400 juta ha lahan gambut yang tersebar di berbagai negara. Urutan pertama adalah Kanada dengan luas lahan gambut sekitar 170 juta ha, kemudian disusul Uni Soviet (150 juta ha) dan Amerika Serikat (40 juta ha).

Lahan gambut di Asia Tenggara merupakan lahan gambut dengan luas 69% dari lahan gambut tropis dunia dengan luas lebih dari 25 juta hektar. Menurut Drajat 2006, Indonesia yang merupakan negara yang mempunyai lahan gambut terluas ke-4 dari total keseluruhan lahan gambut yang ada didunia dan Riau memiliki lahan gambut terluas di Sumatera yaitu 4.043.600 hektar atau sekitar 45% dari luas Provinsi Riau (Agus dan Subiksa 2008).



- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.

Indonesia saat ini sedang berkembang isu tentang maraknya pembukaan lahan gambut dan dijadikan lahan perkebunan untuk industri ataupun perkebunan kelapa sawit. Hal seperti ini menyebabkan lahan-lahan gambut yang ada mengalami fragmentasi lahan akibat adanya pembuatan drainase-drainase yang bertujuan mengeringkan air yang tersimpan dalam lahan gambut (Najiyati dkk. 2005).

Ketika lahan gambut yang telah terdegradasi dan kemudian membentuk vegetasi yang baru maka vegetasi yang baru atau yang di kenal dengan vegetasi pionir. Vegetasi ini berperan dalam mengurangi laju emisi karbon ke udara yang terbentuk akibat lahan gambut yang terbakar. Desa tanjung leban merupakan daerah yang memiliki lahan gambut yang sangat luas yaitu hampir 60% dari luas total wilayahnya.

Luas gambut ini hampir setengah nya telah terdegradasi akibat adanya alih fungsi lahan menjadi hutan HTI seperti sawit dan akasia. Lahan yang terdegradasi ini ditinggalkan dari aktivitas pertanian, sehingga vegetasi yang banyak tumbuh yaitu berupa rumput menyebabkan *water table* lapisan gambut menjadi turun dan lapisan gambut menjadi kering, hal ini menyebabkan mudahnya terjadi kebakaran yang luas pada lahan gambut di musim kemarau.

Hutan rawa gambut tropis merupakan ekosistem yang begitu unik, didalamnya terdapat komponen abiotik dan komponen biotik yang saling ketergantungan (Slamet 2008).

Menurut penelitian Windusari dkk (2012), pada tumbuhan bawah vegetasi pionir jumlah kandungan karbon dan biomasnya



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

dipengaruhi oleh komposisi vegetasi tumbuhan bawah penyusunnya.

Area suksesi alami dengan vegetasi peralihan dengan vegetasi penutup tingkatan semai dan tumbuhan bawah (tumbuhan pionir) yang memiliki perakaran dangkal. Diduga kondisi ini menyebabkan nilai biomassa dan stok karbon yang tinggi pada lahan tersebut (Windusari dkk. 2012).

1.6. Akibat kebakaran hutan dan lahan

Faktor-faktor utama yang mempercepat terjadinya degradasi dan deforestasi di Indonesia adalah eksploitasi hutan secara legal maupun ilegal, konversi hutan alam dan gambut untuk dijadikan perkebunan sawit dan pertambangan, pemberian izin pemanfaatan kayu, serta kebakaran hutan (FWI, 2001).

Penurunan kualitas hutan dan kehilangan tutupan hutan untuk kurun waktu 1989-2003 tutupan hutan Indonesia mengalami perubahan diperkirakan 4,6 juta ha/tahun, sementara tutupan hutan yang hilang diperkirakan 1,99 juta ha/tahun (FWI, 2006). Kebakaran hutan dan lahan di wilayah Sumatera pada provinsi Lampung, Jambi, Sumatera Selatan dan Riau terjadi karena:

1. Penggunaan api untuk pembukaan lahan.
2. Penggunaan api sebagai senjata dalam penyelesaian konflik tanah.
3. Penyebaran api tidak sengaja.
4. Ekstraksi sumberdaya alam dan degradasi hutan.



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Umumnya kebakaran hutan dan lahan yang terjadi mempunyai banyak dampak terhadap biodiversitas biologi (flora dan fauna). Kebakaran hutan merupakan sumber emisi karbon serta berkontribusi terhadap pemanasan global yang berakibat terhadap menurunnya biodiversitas biologi (Suyanto dan Applegate 2001).

Selain itu, pada konteks lokal atau regional kebakaran hutan berpengaruh terhadap stok biomassa hutan, siklus hidrologi, aktivitas fisiologis tumbuhan (kematian dan penurunan aktivitas fotosintesis tumbuhan) dan hewan serta kesehatan manusia dan hewan (Nasi *et al.*, 2002).

Kehilangan tutupan hutan (Deforestasi) diperkirakan menyumbang sekitar 20% emisi gas rumah kaca di atmosfer menjadi penyebab terbesar kedua setelah emisi dari penggunaan bahan bakar fosil perubahan iklim. Bahkan, di negara-negara berkembang deforestasi menjadi penyebab terbesar perubahan iklim termasuk Indonesia.

Negara-negara peserta UNFCCC telah bersepakat untuk menyertakan *avoided deforestation and forest degradation* sebagai salah satu upaya mengatasi perubahan iklim yang kemudian dikenal sebagai *Reduced Emissions from Deforestation and Degradation* (REDD).

Kegiatan konversi hutan menjadi peruntukan lain memicu terjadinya pelepasan karbon dalam jumlah besar ke atmosfer. Dampak langsung konversi hutan tersebut adalah terlepasnya cadangan karbon dalam biomassa tumbuhan dan memicu terjadinya degradasi tanah yang menyebabkan terlepasnya karbon dari bahan organik tanah.



- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.

Perubahan vegetasi penutup lahan juga menyebabkan tidak terjadinya proses penyerapan karbon sehingga yang terjadi bukan hanya pelepasan cadangan karbon di hutan namun juga hilangnya fungsi penyerapan karbon oleh hutan. Hal yang sama terjadi dalam proses degradasi hutan (Forest Watch. 2009).

2.1.7 Lahan Gambut Bekas Terbakar

Tanah digolongkan sebagai tanah gambut bila kedalaman tanah tersebut lebih dari 50 cm dan memiliki kandungan bahan organik sebesar 65% (Schlesinger 1997). Gambut memiliki ciri khusus, yaitu memiliki kemampuan menyimpan air 15-20 kali berat gambut.

Hutan gambut memiliki nilai konservasi yang sangat tinggi disamping fungsi hidrologi, cadangan karbon, dan biodiversitas yang sangat penting untuk kelestarian lingkungan dan satwa. Kandungan karbon pada gambut bisa dilihat pada kedalaman gambut itu sendiri, semakin dalam lapisan tanah gambut yang terbentuk maka semakin banyak cadangan karbon yang tersimpan.

Lahan gambut Riau yang memiliki luas sebesar 45% dari luas total Provinsi Riau itu sendiri telah banyak dipergunakan untuk areal pertanian dan perkebunan. Manajemen lahan untuk pertanian dengan cara pengeringan dapat menyebabkan tingginya tingkat dekomposisi dan berdampak pada siklus karbon (Maljanen *et al.* 2009).

Kebakaran hutan dan lahan gambut adalah salah satu dampak dari manajemen lahan dengan cara pengairan yang kurang tepat, lahan gambut yang terganggu dapat menjadi sumber emisi karbon (CO₂), terbentuknya gas rumah kaca seperti metana



- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.

(CH₄) dan nitrooksida (N₂O) (Langeveld *et al.* 2009). Emisi akan semakin tinggi dengan kondisi *water table* yang semakin rendah setelah pengeringan (Huttunen *et al.* 2002).

2.1.8 Kebakaran Gambut dan Dampaknya

Sifat hutan rawa gambut yang sangat penting adalah kemampuannya untuk “menahan air”. Diperkirakan kemampuan gambut menahan air adalah sebesar 15-20 kali berat kering gambut itu sendiri (Ngtian Peng & Ibrahim, 2001).

Dengan sifat ini maka hutan rawa gambut dapat dianggap sebagai penyimpan air, yakni akan menyerap air selama musim hujan dan akan melepaskannya saat musim kemarau. Namun sifat ini akan hilang jika kondisi gambut benar-benar kering misalnya akibat tidak ada vegetasi yang tumbuh diatasnya atau karena turunnya permukaan air (*water table*).

Penyebab terjadinya kebakaran hutan dan lahan gambut adalah adanya sumber api yang didukung oleh kondisi lingkungan (cuaca, angin dan akumulasi bahan bakar). Proses pembakaran terjadi karena adanya sumber panas (api) sebagai penyulut bahan bakar (misal reruntuhan daun dan gambut kering) yang tersedia atau disengaja dan adanya oksigen.

Ketika terjadi kebakaran berdampak terhadap kerusakan secara nyata terhadap keanekaragaman dan struktur dari hutan, besarnya dampak yang bervariasi tergantung pada tipe hutan dan sejarah kerusakan. Hutan rawa gambut mengalami pengaruh yang lebih serius dibanding kebakaran hutan dataran rendah. Hutan rawa gambut dibentuk oleh tingginya volume sedimen dan



- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.

rendahnya kerapatan lapisan material tumbuhan yang terdekomposisi (Ellery *et al*, 1988).

Ketebalan rawa gambut dapat menjadi beberapa meter kemudian menyediakan sumber kebakaran secara terus menerus dengan beberapa hambatan kebakaran. Karena kondisi di rawa gambut, tingkat pembakaran dan penyebaran kebakaran itu menjadi rendah. Untuk alasan itu, kebakaran di rawa gambut dapat terjadi dalam waktu yang lama. Kebakaran gambut juga dapat membakar di atas maupun di bawah permukaan tanah sehingga dengan ini dapat menghilangkan struktur vegetasi dan merusak sumber biji (Ellery *et al*, 1998).

Pembukaan lahan gambut secara besar-besaran membuat kondisi gambut menjadi kering, mudah mengalami terbakar. Fenomena api meloncat melewati kanal-kanal, selain api dilahan gambut kering juga dapat menjalar di bawah melewati kanal, di beberapa lokasi air yang tersisa di kanal (karena sebagian kanal telah mengering) menjadi seperti mendidih. Permukaan atas dan bawah gambut yang kering merupakan kombinasi mengapa kebakaran di lahan gambut sulit untuk dikendalikan.

Api permukaan sepertinya telah padam oleh pemadaman maupun diguyur hujan. Namun api juga menjalar di bawah permukaan gambut kering, dimana sering hanya terlihat asapnya saja dan sulit dideteksi juga sulit dipadamkan.

Kesalahan dalam mengantisipasi melalui optimalisasi upaya pencegahan tentunya memberikan kemungkinan peluang terjadi bencana asap yang lebih parah. Maka penelitian ini memfokuskan deteksi kebakaran lahan gambut untuk tipe api permukaan dan api di dalam tanah.



- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.

Periode kebakaran lahan dan hutan di Provinsi Riau pada bulan Februari dan Maret 2014, urutan terluas terjadinya kebakaran di lahan gambut yaitu di Kabupaten Bengkalis (7.836 ha), Meranti (6.339 ha), Rokan Hilir (2.504 ha) dan Siak (1.116 ha) (BPBD Riau, 2014). Melihat kebelakang kebakaran yang terjadi di tahun 1997 diperkirakan hampir 26.153 ha lahan gambut dan hutan terbakar pada periode tersebut.

Sedangkan lahan gambut terbakar pada periode tersebut secara keseluruhan di Sumatera mencapai 1,5 juta ha. Kebakaran lebih besar lagi terjadi di lahan gambut dan hutan terulang di Riau pada tahun 2005 dengan total luas terbakar 42.200 ha. Sementara proporsi luas daerah kebakaran hutan dan lahan gambut tertinggi perkabupaten/Kota di Riau yaitu Dumai (35%) diikuti kabupaten Siak (29%) dan kabupaten Rokan Hilir (26%).

Kebakaran hutan dan lahan gambut di Riau mengindikasikan tingginya laju deforestasi (penggundulan hutan rawa gambut alami tersisa) hingga kini, alih fungsi lahan, pengeringan gambut dan pada muaranya memicu tingginya emisi CO₂ yang dikeluarkannya. Meningkatnya konsentrasi Gas-gas Karbon (CO₂) di atmosfer akibat ter-di bakarnya lahan gambut kering.

Senyawa organik dalam bentuk karbon yang tersimpan di rawa gambut ribuan tahun tidak terusik jikalau terjaga tetap basah dan lembab berhutan. Kejadian sebaliknya dimana gambut dikeringkan dan pohon-pohon yang menjaga kelembaban gambut juga telah berubah, selanjutnya dengan mudah karbon yang tersimpan lepas, lebih diperparah dengan terbakarnya lahan gambut. Akumulasi gas-gas karbon membentuk lapisan di atmosfer yang dapat menghambat masuknya radiasi sinar



- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.

matahari ke Bumi, sehingga bumi menjadi panas. Fenomena inilah yang kita sebut sebagai gas rumah kaca (*GHG-GRK: greenhouse gases*).

Menurut Purbowaseso (2004) kebakaran hutan dan lahan berdampak terhadap seluruh aspek kehidupan, lingkungan dan ekosistem yang meliputi antara lain:

1. Dampak terhadap Tanah

Kebakaran hutan dan lahan dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan fisik dan kimia tanah, seperti rusaknya struktur tanah, karena vegetasi permukaan telah terbakar. Meskipun kebakaran diyakini juga akan meningkatkan kesuburan tanah untuk beberapa saat, terutama di lahan gambut.

Dampak terhadap Air

Terganggunya siklus hidrologi, karena hilangnya vegetasi penutup tanah. Kebakaran hutan dan lahan gambut mempengaruhi kondisi perairan, terutama gambut didekat pantai. Hal ini karena gambut di daerah dekat pantai memiliki fungsi sebagai *buffer*.

Pada dampak ikutan bisa menyebabkan intrusi air laut kedalam sumur-sumur air tawar, atau di daerah rendah air tawar ke air asin di daerah estuarium.

3. Dampak terhadap Iklim dan Kualitas Udara

Pada saat terjadi kebakaran berdampak muncul asap, karena proses pembakaran yang tidak sempurna akan terjadi gas-gas yang terkondensasi dan kelihatan sebagai asap. Asap tebal akan menyebabkan menurunnya kualitas udara. Dampak lanjutannya adalah terganggunya transportasi dan kesehatan.



- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.

4. Dampak terhadap Flora
Kalimantan dan Sumatra mempunyai 11 tipe hutan yang bernilai penting dengan sejumlah spesies tumbuhan yang akan terancam punah. Selain berdampak semakin tingginya keterancaman kepunahan, juga kebakaran mengganggu proses ekologi hutan salah satunya suksesi alami. Hilangnya flora hutan didekati dengan perhitungan “benefit transfer approach”. Nilai kerugian untuk jenis bahan makanan dan bahan mentah hasil hutan per ha sebesar US \$ 35, sumberdaya genetic US \$ 41 dan kerugian rekreasi sebesar US \$ 112.
5. Dampak terhadap Fauna
Besarnya kerugian pada hilangnya satwa akibat kebakaran hutan belum bisa diprediksi secara nominal. Meskipun demikian hutan merupakan habitat dari beberapa satwa liar endemic dan dilindungi, seperti gajah, harimau, tapir, dan beruang. Hilangnya hutan akibat terbakar akan berdampak pada meningkatnya kemungkinan konflik antara manusia dan satwa liar, terutama kejadian-kejadian di beberapa tempat di Provinsi Riau.
6. Dampak terhadap Sosial Ekonomi
Kerugian akibat kebakaran hutan dan lahan yang dialami masyarakat membawa dampak yang mendalam dan berjangka panjang dalam hal rasa keamanan dan keharmonisan dimasyarakat.
7. Dampak terhadap Kesehatan



- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.

Kebakaran yang terjadi pada tahun 1997 di Kalimantan Barat dan Riau, masyarakat yang menghirup asap pekat selama 2-3 bulan telah menurunkan kesehatan masyarakat. Sedangkan kebakaran yang terjadi tahun 2014 ini di Riau, pada bulan Februari dan Maret, berakibat pada penyakit ISPA yang menyerang lebih dari 58.000 orang (BNPB 2014).

2.2 Pengembangan Sistem Deteksi Kebakaran di Lahan Gambut

Buku ini membahas tentang pengembangan sistem deteksi kebakaran lahan gambut untuk tipe api permukaan dan api bawah tanah, dan pengembangan sistem peringatan dini berbasis sensor panas dan dipancarkan melalui sinyal elektromagnetik yang terintegrasi dengan aplikasi yang berfungsi sebagai *early warning systems* kebakaran lahan gambut.

2.2.1 Sistem Logika

Gerbang logika adalah piranti dengan dua keadaan, yaitu keluaran dengan tegangan 0V yang menyatakan logika 0 atau rendah (Low) dan keluaran dengan tegangan tetap 5V yang menyatakan logika 1 atau tinggi (High). Gerbang logika mempergunakan sistem bilangan yang disebut dengan *bilangan biner*. Pada biner sering kita jumpai bit dan byte yang mana bit adalah singkatan dari *Binary Digit*.

Bit bisa dipakai untuk melambangkan dua macam data atau informasi, seperti ya atau tidak biasanya hanyalah merupakan pilihan antara 0 dan 1, dimana 0 biasanya berarti 'Off'



dan 1 berarti 'On' sedangkan *Byte* adalah merupakan kumpulan beberapa bit yang biasanya $1 \text{ byte} = 8 \text{ bit}$ (Ibrahim,1991).

Untuk mengkonversi bilangan desimal ke dalam bilangan biner dapat dilakukan dengan cara yaitu:

1. Bilangan desimal dibagi dengan dua kali hingga nilainya nol (0)
2. Dicatat setiap sisa bagi 0 atau 1
3. Sisa bagi 0 dan 1 merupakan digit bilangan biner
4. Posisi digit 0 atau 1 pada bilangan biner disebelah kiri biner "point", teruskan pembagian hingga terakhir nol (0) .

Secara umum gerbang logika dapat mengkondisikan input-input yang masuk dan kemudian menjadikannya sebuah output yang sesuai dengan apa yang ditentukan olehnya.

Gerbang logika dapat dibagi ke dalam kelompok yakni gerbang logika inverter (pembalik) yang merupakan logika dengan satu sinyal masukan dan satu sinyal keluaran dimana sinyal keluaran selalu berlawanan dengan keadaan sinyal masukan sedangkan gerbang logika non inverter sinyal masukannya ada dua atau lebih sehingga keluarannya bergantung pada sinyal masukan dan gerbang logika yang dilaluinya.

Gerbang AND merupakan gerbang *non inverter* yang memiliki karakteristik logika dimana jika input yang masuk adalah bernilai nol, maka hasil outputnya pasti akan bernilai nol dan jika kedua input diberi nilai satu, maka hasil output akan bernilai satu pula. Dengan kata lain gerbang logika mempunyai dua atau lebih sinyal masukan tapi hanya mempunyai satu keluaran. Adapun

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.



- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, pennisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.

Tabel kebenaran dan simbol dari gerbang logika AND dapat dilihat pada simbol dan tabel 2.1 di bawah ini.

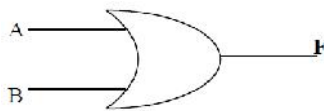


Gambar 2.2. Simbol gerbang logika AND

Tabel 2.1 Tabel kebenaran dari gerbang logika AND

| Gerbang Logika AND | | |
|--------------------|---|---|
| A | B | F |
| 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |

Selain gerbang logika AND gerbang logika OR juga termasuk dalam gerbang logika *non inverter* yang dapat dikatakan memiliki karakteristik "memihak1", dimana karakteristik logikanya akan selalu mengeluarkan hasil output bernilai satu apabila ada satu saja input yang bernilai satu. Dengan kata lain jika masukannya bernilai satu maka keluarannya bernilai satu dan jika keluarannya bernilai nol, maka semua masukannya harus dalam keadaan nol. Adapun tabel kebenaran dan simbol dari gerbang logika OR dapat dilihat pada simbol dan tabel 2.2 di bawah ini.



Gambar 2.3 Simbol gerbang logika OR



- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.

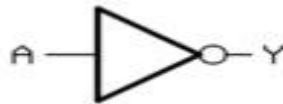
Tabel 2.2 Tabel kebenaran dari gerbang logika OR

| Gerbang Logika OR 2 Masukan | | |
|-----------------------------|---|---|
| A | B | F |
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 |

Sumber: Data Analisis 2014

Gerbang Logika Not sering juga disebut dengan istilah *inverter* atau pembalik. Gerbang NOT merupakan gerbang logika yang mempunyai satu buah input dan satu buah output. Apabila inputnya bernilai satu maka outputnya bernilai nol dan sebaliknya.

Jika masukan $A=1$, maka keluarannya $Y=0$ (Santosa, 2006). Adapun tabel kebenaran dan simbol dari gerbang logika NOT dapat dilihat pada simbol dan tabel 2.3 di bawah ini.



Gambar 2.4 Simbol gerbang logika NOT



- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.

Tabel 2.3 Tabel kebenaran dari gerbang logika NOT

| Input A | Ountput Y |
|---------|-----------|
| 1 | 0 |
| 0 | 1 |

Sumber: Data Analisis 2014

2.2.2 Sistem Pengiriman Data

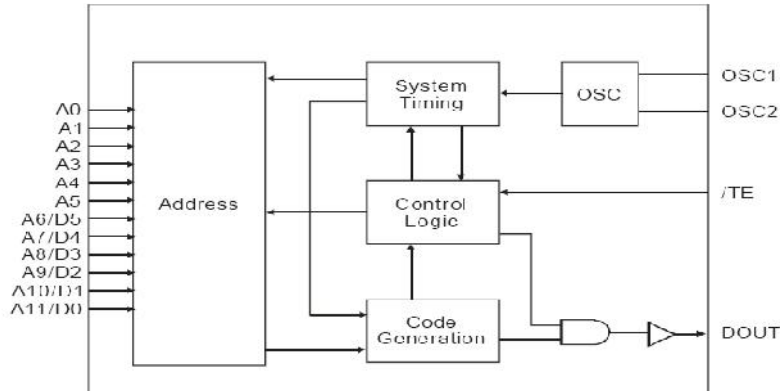
2.2.3 Modul Pemancar HX2262

Modul pemancar HX226 adalah modul yang mampu memberikan sinyal yang dikodekan oleh modul penerima HX2272. Modul ini mampu mengkodekan data dan alamat ke pin kode serial dalam bentuk gelombang modulasi. Modul HX2262 memiliki maksimum 12 BIT yang mampu menyediakan tempat kode alamat sebesar $531.441 (3^{12})$, dengan demikian mampu mengalihkan semua kode yang tidak sama sehingga mampu mengurangi benturan sinyal (**Princeton Technology Crop, 2009**).

Modul HX2262 memiliki frekuensi sebesar 433MHz yang telah diset sebelumnya. Modul HX2262 ini juga memiliki fitur-fitur yang mendukung sistem kerja yaitu memiliki teknologi CMOS, konsumsi daya lemah, kekebalan kebisingan sangat tinggi, memiliki 12 bit, memiliki tegangan daya (Vcc) sebesar 4-15V dan memiliki osilator tunggal. Adapun blok diagram dari modul pemancar HX2262 dapat dilihat pada gambar 2.4 di bawah ini.



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.



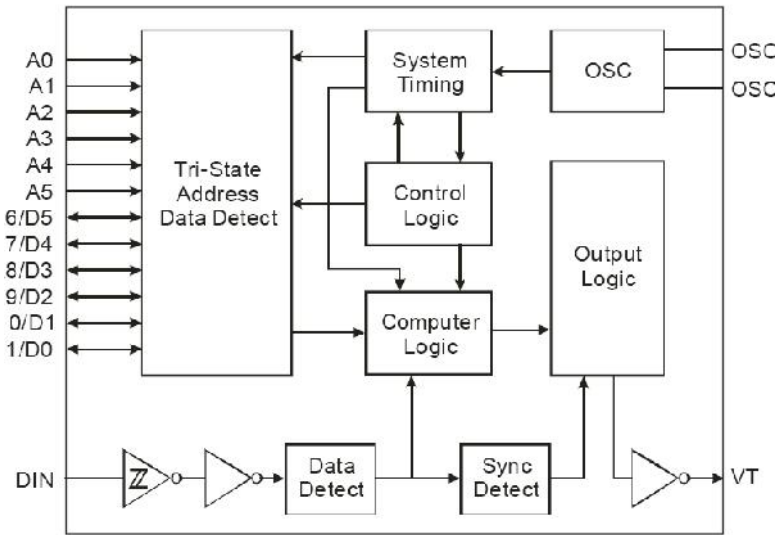
Gambar 2.5 Susunan blok diagram dari modul pemancar HX2262

2.2.4 Modul Penerima HX2272

Modul HX2272 merupakan modul untuk menerima sinyal yang dikodekan oleh modul HX2262. Modul ini juga menggunakan teknologi CMOS yang memiliki 12 BIT yang mampu menyediakan tempat kode alamat sebesar $531.441 (3^{12})$, dengan demikian secara drastis mampu mengalihkan semua kode yang tidak sama sehingga mampu mengurangi benturan sinyal. Sama halnya dengan modul pemancar HX2262 modul penerima HX2262 juga memiliki frekuensi 433MHz dan juga memiliki fitur antara lain memiliki teknologi CMOS, konsumsi daya lemah, kekebalan kebisingan sangat tinggi memiliki 12 bit, memiliki tegangan daya (V_{cc}) sebesar 4-15V, dan memiliki osilator tunggal (Murniwati, 2007). Adapun blok diagram dari modul penerima HX2272 dapat dilihat pada gambar 2.5 di bawah ini



- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.



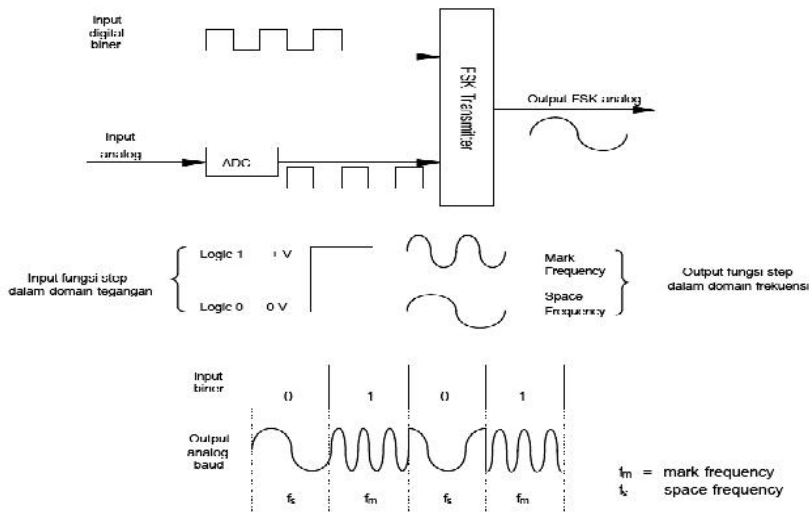
Gambar 2.6 Susunan blok diagram dari modul penerima HX2272

2.2.5 Biner Frequency Shift Keying (FSK)

Modulasi Frequency Shift Keying (FSK) merupakan sistem modulasi digital yang relatif sederhana, dengan mengubah pulsa-pulsa biner menjadi gelombang harmonis sinusoidal. Pada sebuah modulator FSK tengah dari frekuensi pembawa tergeser oleh masukan data biner, maka keluaran pada modulator FSK adalah sebuah fungsi step pada domain frekuensi. Adapun bentuk dari sistem pengiriman data menggunakan gelombang FSK dapat dilihat pada gambar 2.6 di bawah ini.



- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penerjemahan, penerbitan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.



Gambar 2.7 Bentuk sistem dari modulasi FSK biner

Sesuai perubahan sinyal masukan biner dari suatu logika “0” ke logika “1” dan sebaliknya, dalam metode FSK angka tersebut kemudian dipresentasikan ke dalam bentuk frekuensi, dan keluaran FSK bergeser diantara dua frekuensi tersebut, yaitu logika “1” dan logika “0”.

Terdapat perubahan frekuensi output setiap adanya perubahan kondisi logik pada sinyal input. Sebagai konsekuensinya, laju perubahan output adalah sebanding dengan laju perubahan input, maka perubahan output pada FSK sebanding dengan perubahan yang terjadi pada sinyal inputnya. Dalam modulasi digital, laju perubahan input pada modulator disebut *bit rate* dan memiliki satuan *bit per second* (Kurniawan, 2009). Hal ini dapat diperlihatkan pada persamaan berikut:



- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.

$$S_{rSK}(t) = Vp \cos 2\pi(fp + m.fd)t \dots\dots\dots(2.)$$

Dimana :

Vp = amplitude sinyal

fp = frekuensi pembawa

m = indeks modulasi

fd = frekuensi informasi

2.6 Sensor Suhu LM35

Modul sensor suhu LM35 adalah suatu piranti atau sensor suhu yang dapat memberikan tegangan keluaran (*output*) yang berubah-ubah secara linier seiring dengan perubahan suhu yang juga terjadi secara linier. Sensor suhu tipe LM35 dapat beroperasi dengan menggunakan tegangan sumber antara 4 - 30 V_{dc} dan untuk menghindari *self heating* yang berlebih digunakan catu daya sebesar 5V.

Self heating adalah efek pemanasan oleh komponen itu sendiri akibat adanya arus yang bekerja melewatinya. Keluaran sensor suhu LM35 merupakan faktor skala linier terhadap suhu sebenarnya sebesar 10 mV/°C, dengan jangkauan maksimum yang dapat diukur antara -55 sampai 150°C.

Keluaran maksimum LM35 adalah sebesar 1,5 Volt, dengan tingkat ketelitian 0.5°C pada suhu 25°C. Tingkat kesalahan



- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penerbitan, penerjemahan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.

pembacaan sensor pada pengukuran dengan suhu ruangan 25°C tidak lebih dari 2°C sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Temp in } ^\circ\text{C} = (\text{Vout in mV}) / 10\text{mV} \dots\dots\dots (2.2)$$



Gambar 2.8 Simbol dan tata letak terminal Sensor LM35 (National Semiconductor Corporation, 1999)

2.2.7 Mikrokontroler AVR AT Mega8

Modul AVR AT Mega8 merupakan salah satu jenis mikrokontroler yang di dalamnya terdapat berbagai macam fungsi yang diantaranya tidak perlu menggunakan osilator eksternal karena di dalamnya sudah terdapat internal osilator. Untuk beberapa jenis AVR terdapat beberapa fungsi khusus seperti ADC. Mikrokontroler AT Mega8 memiliki 28 pin yang masing-masing pinnya memiliki fungsi yang berbeda-beda baik sebagai PORT ataupun sebagai fungsi yang lain.

AVR AT Mega8 juga merupakan sistem komputer yang paling sederhana yang dapat digunakan sebagai pengolah data dan memiliki arsitektur RISC 8 bit, dimana semua instruksi pada Mikrokontroler AT Mega8 dikemas dalam kode 16-bit (*16-bits*)



- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.

word) dan sebagian besar instruksi dieksekusi dalam satu siklus clock. Hal ini dikarenakan mikrokontroler AT Mega8 memiliki teknologi AVR RISC (*Reduce Instruction Set Computing*). Mikrokontroler AT Mega8 digunakan sebagai pengolah data dengan *baud rate* sebesar 300 bps sehingga dapat bekerja pada tegangan 4,5V - 5,5V.

Baudrate adalah frekuensi clock yang digunakan dalam pengiriman dan penerimaan data. Satuan *baud rate* pada umumnya adalah bps (*bit per second*), yaitu jumlah *bit* yang dapat ditransmisikan per detik. Dimana rumus umum dari *baud rate* adalah:

$$\text{Baud rate} = \frac{2^{\text{SMOD}}}{32} \times \frac{\text{Frekuensi Osilator}}{12 \times (65536 - \text{TH1})} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

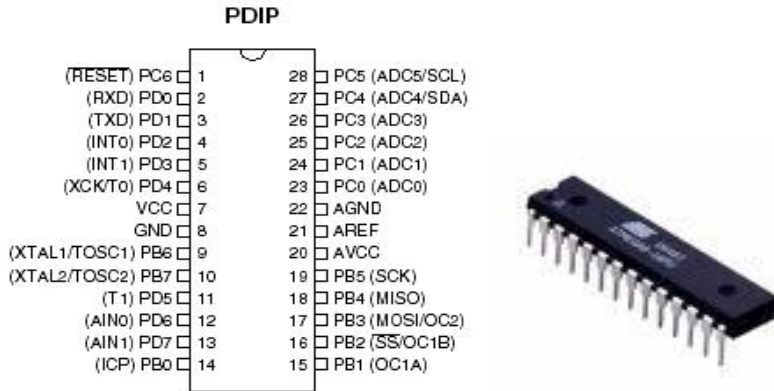
SMOD = Bit

TH1 = Timer

Mikrokontroler juga dapat dikatakan sebagai mikroprosesor plus yang artinya terdapatnya memori dan port Input atau Output dalam suatu kemasan IC yang komplit. Dengan kemampuan yang programmable, fitur yang lengkap (ADC internal, EEPROM internal, PORT I/O, Komunikasi Serial) yang memungkinkan mikrokontroler dapat diprogram secara berulang-ulang.



- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, pennisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.



Gambar 2.9 Susunan dari Pin IC AT Mega8 dan chip AT Mega8 (ATMEL Corporation, 2001)

Adapun fungsi dari konfigurasi pin Mikrokontroler AT MEGA8 adalah sebagai berikut:

1. VCC merupakan supply tegangan digital
2. GND merupakan ground untuk semua komponen yang membutuhkan grounding
3. PORT-B merupakan pin I/O yang di dalamnya terdapat XTAL1, XTAL2, TOSC1, TOSC2
4. PORT-C merupakan pin I/O yang di dalamnya terdapat pin sebagai reset dan memiliki karakteristik yang sama dalam hal kemampuan menyerap arus (sink) atau pun mengeluarkan arus (source)
5. PORT-D digunakan sebagai masukan dan keluaran atau biasa disebut dengan I/O
6. AVCC berfungsi sebagai supply tegangan untuk ADC
7. AREF merupakan pin referensi analog jika menggunakan ADC