

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Bab tinjauan pustaka menyajikan beberapa teori dan konsep yang dikutip dari para ahli sebagai acuan dasar dalam melakukan penelitian. Kutipan tersebut berasal dari karya ilmiah yang berkaitan dengan topik penelitian tugas akhir, seperti teori dan konsep terkait keberadaan lahan gambut di Indonesia, kesatuan hidrologi gambut (KHG), kebakaran hutan dan lahan gambut, Stasiun Sistem Pemantauan Air Lahan Gambut (SIPALAGA), serta metode analisis yang digunakan.

2.1 Ekosistem Lahan Gambut

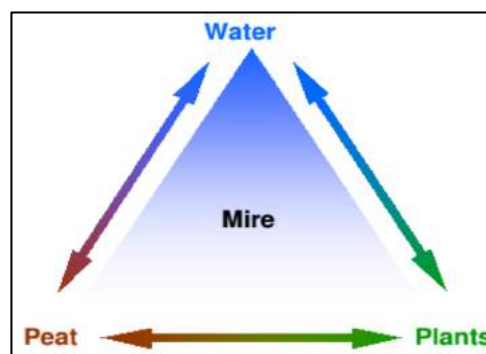
Tanah gambut yaitu tanah berwarna cokelat kemerahan hingga kehitaman yang terbentuk dari timbunan bahan organik, seperti sisa tumbuhan yang telah mati dan jasad hewan yang mengalami dekomposisi secara tidak sempurna selama ribuan tahun [15]. Proses dekomposisi bahan organik secara tidak sempurna terjadi karena kondisi lingkungan sekitar yang jenuh air, dalam arti tidak dapat menyerap air lagi sehingga menimbulkan genangan. Genangan air menyebabkan kondisi anaerob sehingga menghambat laju perkembangan mikroorganisme dalam proses dekomposisi [16]. Tanah gambut dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Tanah gambut [17]

Tanah gambut mempunyai karakteristik yang berbeda dari jenis tanah mineral lain karena perbedaan bahan, proses pembentukan, ketebalan, serta kondisi lingkungan yang unik dan spesifik [18]. Karakteristik tanah gambut yang unik dan spesifik tersebut, diantaranya (1) bersifat kering tidak balik (*irreversible drying*), dalam arti kadar air tanah gambut tidak mencapai 100% saat sudah mengering serta tidak mampu menyerap air lagi [3]. Selain itu, juga terjadi

perubahan sifat tanah gambut yang semula dapat menyerap air dalam jumlah banyak atau menyukai air (*hidrofilik*) menjadi tidak dapat menyerap dan menyimpan air lagi atau menolak air (*hidrofobik*) [19]. Sifat tanah gambut yang mengering serupa dengan kondisi kayu kering yang mudah terbakar, bobotnya ringan sehingga mudah hanyut terbawa air dan terbang terbawa angin, serta terdapat *pseudosand* seperti tanah berpasir, sehingga gambut kehilangan fungsi dalam menyerap air [20], (2) teksturnya lunak dan basah sehingga mudah ambles (*subsidence*), dalam arti muka tanah gambut mudah mengalami penurunan akibat kemampuan dalam menyerap air yang besar, (3) berat isi dan daya dukung (*bearing capacity*) lahan gambut terhadap tekanan yang rendah [19], (4) memiliki sifat kemasaman yang tinggi sehingga pH tanah gambut rendah yaitu berkisar antara 3-5 [3], kondisi asam pada tanah gambut dapat menghambat ketersediaan unsur hara makro dan mikro, serta membuat tanah gambut menjadi tidak subur walaupun kaya akan kandungan organik, serta (5) perkembangan mikroorganisme yang terbatas [19]. Melihat karakteristik tersebut, maka lahan gambut termasuk ke dalam ekosistem lahan basah yang mudah rapuh, tetapi memiliki peran ekologis yang sangat penting dalam menunjang kehidupan dan mengatur tata air saat terjadi pergantian musim. Tanah gambut memiliki sifat seperti *spons*, dimana mampu menyerap dan menyimpan air dengan kapasitas yang sangat besar saat musim hujan hingga mencapai 13-15 kali lipat dari berat gambut, kemudian air dilepas dan dialirkan ke daerah sekitar saat musim kemarau tiba [21]. Ekosistem gambut terbentuk dari tiga komponen yang saling berkaitan dan berinteraksi satu sama lain, diantaranya air, tumbuhan dan gambut seperti dalam diagram pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Diagram interaksi antar komponen di ekosistem gambut [22]

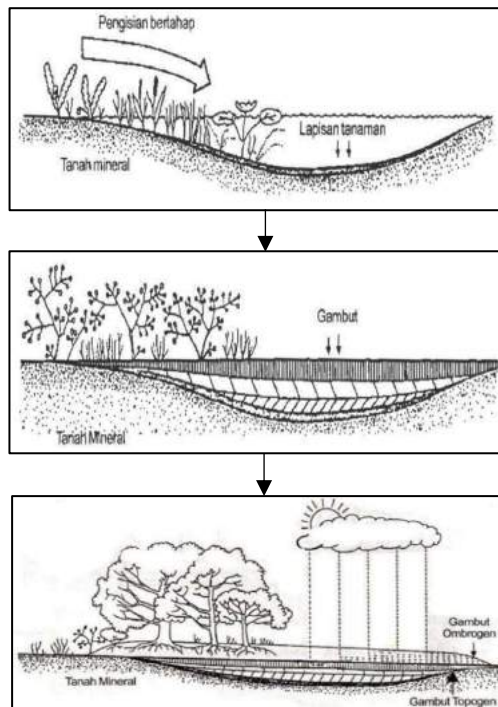
Air atau siklus hidrologi akan menentukan jenis tumbuhan yang akan tumbuh, proses dekomposisi serta kondisi gambut. Tumbuhan akan menentukan jenis gambut dan sifat hidrolik yang terbentuk. Struktur gambut menentukan bentuk, arah aliran dan fluktuasi air melalui bentuk permukaannya. Hubungan yang erat antar komponen tersebut menunjukkan apabila terjadi perubahan terhadap salah satu komponen, maka komponen yang lain akan ikut berubah dalam jangka waktu yang cepat maupun lama [22].

2.2 Pembentukan Tanah Gambut

Pada umumnya, laju pembentukan tanah gambut terjadi secara bertahap dan berbeda di setiap tempat dalam jangka waktu yang lama [19], tergantung pada kondisi lingkungan sekitar, seperti (a) sumber dan neraca air, (b) kandungan mineral yang terdapat dalam air, (c) kondisi iklim yang mencakup suhu, curah hujan, kelembapan, (d) pengelolaan setelah drainase, dan (e) tutupan vegetasi yang terdiri dari jenis dan kerapatan [23]. Gambut terbentuk dari hasil proses transformasi, dimana proses ini membentuk suatu biomassa yang didukung oleh beberapa faktor eksternal dan internal, seperti pancaran sinar matahari, udara, air dan nutrisi, serta proses translokasi, dimana terjadi pergerakan air dari tempat yang lebih tinggi ke tempat yang lebih rendah dan pergerakan udara akibat perbedaan tekanan sehingga menyebabkan perpindahan bahan organik.

Laju pembentukan gambut terdiri dari beberapa tahap diawali oleh aliran air yang membawa bahan-bahan sedimen dari luar untuk mengisi cekungan atau rawa dangkal pada setiap saluran utama yang sudah tertutup, proses tersebut berlangsung sangat lambat dan mengakibatkan muka air tanah menjadi lebih dalam, sehingga tanah gambut menjadi kering. Selanjutnya, tanah gambut akan tumbuh lebih cepat secara horizontal dan vertikal dengan cadangan air yang berasal dari air hujan. Kemudian, terjadi penebalan tanah gambut oleh sisa-sisa tumbuhan atau terbentuknya kubah gambut, pada tahap ini, suplai air dari luar tidak lagi mempengaruhi kondisi tanah gambut, melainkan hanya dari air hujan saja. Pada tahap awal, akar pada tumbuhan hidup yang berada di atas timbunan tipis tanah gambut masih dapat mengambil unsur hara

mineral pada lapisan bawah (*substratum*) yang berasal dari air sungai, sehingga kesuburan tanah gambut masih sangat tinggi (*topogenous*). Namun, pada tahap selanjutnya penebalan tanah gambut yang terus terjadi, membuat akar pada tumbuhan tidak dapat lagi mengambil unsur hara yang berasal dari lapisan mineral di bawahnya, sehingga unsur hara hanya diperoleh dari hasil penguraian bahan organik dan air hujan, sehingga tanah gambut akan menjadi tidak subur (*ombrogenous*). Tahap pembentukan tanah gambut dapat dilihat pada Gambar 2.3.



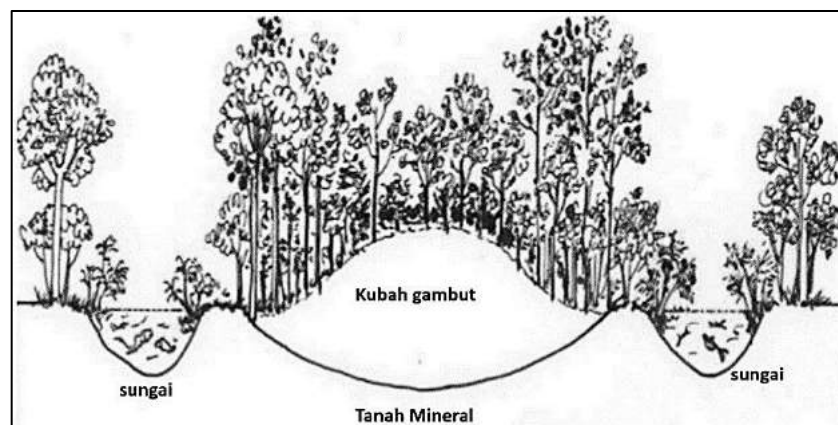
Gambar 2.3 Proses pembentukan tanah gambut [19]

Tanah gambut yang lebih dalam (tebal) memiliki bahan penyusun yang didominasi oleh bahan organik, sedangkan untuk tanah gambut yang dangkal (tipis) memiliki bahan penyusun campuran antara bahan organik dan tanah mineral, seperti tanah liat. Apabila keberadaan tanah gambut semakin dalam (tebal) dan semakin jauh dari sungai, maka kandungan organik akan semakin tinggi pula hingga mencapai 100% karena pengaruh tanah mineral semakin sedikit. Kandungan organik yang tinggi dapat menghasilkan karbon (C) organik hingga mencapai 60% [18], dimana terdapat 400-700 ton C_{org}/ha setiap satu meter ketebalan tanah gambut. Dapat dikategorikan sebagai tanah gambut apabila memiliki kandungan karbon organik $\geq 12\%$ dan ketebalan

gambut ≥ 50 cm [24]. Kandungan karbon yang tinggi dalam tanah gambut bersifat fluktuatif, dalam arti lahan gambut akan mudah mengalami kerusakan apabila terjadi suatu gangguan atau perubahan pada kondisi lingkungannya.

2.3 Kesatuan Hidrologis Gambut (KHG)

Definisi dari Kesatuan Hidrologis Gambut yang selanjutnya disingkat KHG adalah ekosistem gambut yang letaknya di antara dua sungai, di antara sungai dan laut, dan/atau rawa. Definisi tersebut tercantum dalam Permen LHK RI No. P.10/MENLHK/SETJEN/KUM.1/3/2019 tentang Penentuan, Penetapan dan Pengelolaan Puncak Kubah Gambut Berbasis Kesatuan Hidrologis Gambut. Skema melintang dari KHG dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Skema melintang KHG [25]

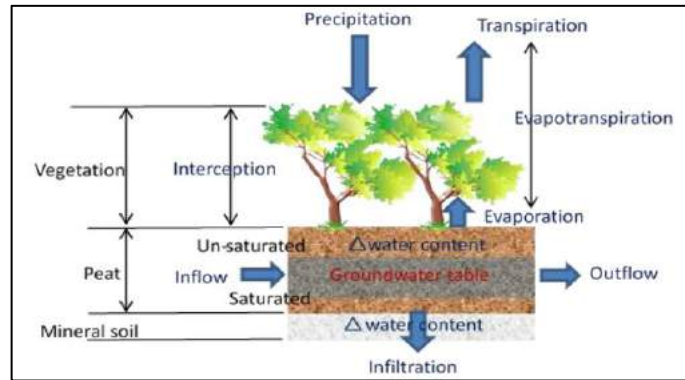
Dapat terlihat pada Gambar 2.4 terdapat skema yang menunjukkan bahwa dalam suatu KHG dapat terdiri dari satu atau lebih kubah gambut, dimana bentuk kubah gambut dapat menentukan kondisi permukaan air di dalam KHG tersebut [25]. Menurut Permen LHK RI No. P.10/MENLHK/SETJEN/KUM.1/3/2019 tentang Penentuan, Penetapan dan Pengelolaan Puncak Kubah Gambut Berbasis Kesatuan Hidrologis Gambut, kubah gambut dapat didefinisikan sebagai suatu areal Kesatuan Hidrologis Gambut (KHG) yang mempunyai topografi yang lebih tinggi dari wilayah sekitarnya, sehingga secara alami mempunyai kemampuan menyerap dan menyimpan air lebih banyak, serta dapat menyuplai air pada wilayah sekitarnya.

Kemampuan puncak kubah gambut dalam menyerap dan menyimpan lebih banyak air sangat penting dalam menjaga keseimbangan air, sehingga dapat mencegah terjadinya banjir, kekeringan atau kebakaran dan penyangga intrusi air laut. Dilihat dari fungsinya tersebut, maka keberadaan kubah gambut dapat dikatakan sebagai daerah konservasi air wilayah hidrologis gambut (KHG atau Sub-KHG) karena mempunyai elevasi yang lebih tinggi dan ketebalan yang lebih dalam. Air yang tersimpan dalam puncak kubah gambut hanya berasal dari curah hujan saja, sedangkan air yang keluar dapat melalui proses evapotranspirasi, limpasan permukaan air tanah (*outflow*) serta rembesan kanal dan sungai, sehingga jumlah air yang keluar dapat melebihi jumlah simpanan air dalam kubah gambut [26].

2.4 Tinggi Muka Air (TMA) Gambut

Suatu nilai yang diperoleh dari perbedaan tinggi pada permukaan tanah gambut yang umumnya terlihat datar, namun pada kenyataan di lapangan tidak datar, melainkan sedikit bergelombang, dapat disebut sebagai Tinggi Muka Air (TMA) gambut atau lebih dikenal dengan kedalaman muka air tanah gambut. Air memiliki sifat dinamis, sehingga TMA pada tinggi muka gambut akan selalu mengikuti bentuk permukannya. TMA gambut memiliki keterkaitan yang erat terhadap tinggi muka gambut, ketebalan gambut, serta tingkat kematangan gambut [27].

TMA dapat digunakan sebagai salah satu parameter untuk memperkirakan terjadinya kebakaran hutan dan lahan, serta juga dapat digunakan sebagai upaya pencegahan emisi gas rumah kaca [28]. Oleh karena itu, informasi mengenai TMA gambut yang saat ini masih diperoleh dari hasil pengukuran lapangan sangat penting [6]. Prediksi muka air tanah gambut dapat dilakukan untuk memperoleh informasi mengenai TMA gambut atau kedalaman muka air tanah di lahan gambut. Menurut referensi [29], prediksi dapat dilakukan secara spasial dan temporal melalui pemodelan matematis yang mengacu pada konsep keseimbangan air di lahan gambut, pemetaan muka air tanah, dan dengan data penginderaan jauh [30]. Konsep keseimbangan air yang menjadi prinsip dalam prediksi tinggi muka air terdapat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Konsep keseimbangan air pada lahan gambut [31]

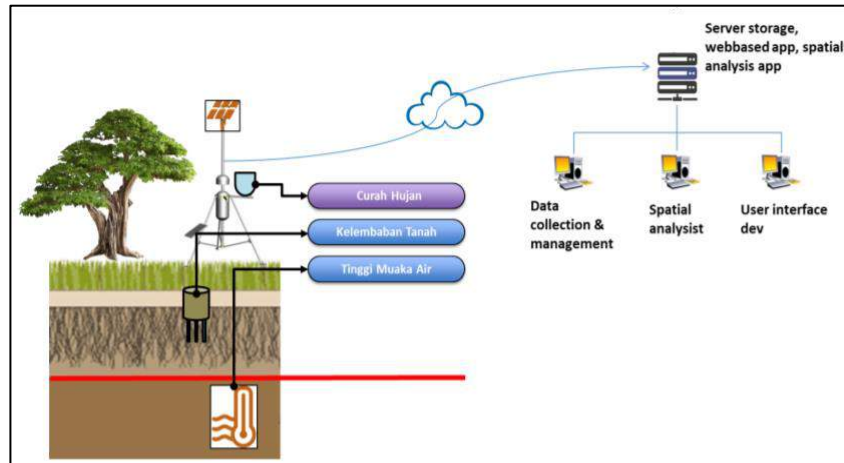
Konsep keseimbangan air pada lahan gambut seperti yang tercantum di atas menunjukkan bahwa adanya perbedaan antara sumber air yang masuk dengan sumber air yang keluar, sehingga terjadi penambahan ataupun pengurangan muka air tanah gambut dari kondisi awal. Sumber air yang masuk, seperti air hujan, sedangkan sumber air yang keluar yaitu evapotranspirasi dan infiltrasi. Berdasarkan konsep keseimbangan, dapat dinyatakan bahwa adanya selisih antara kenaikan muka air tanah akibat hujan harian dengan penurunan muka air tanah akibat evapotranspirasi harian menyebabkan terjadinya perubahan tinggi muka air tanah gambut harian [29].

TMA gambut pada kondisi alamiah selalu mengikuti periode tahunan, dimana akan menggenang di dekat permukaan tanah pada saat musim hujan dan menyusut atau menurun saat musim kemarau. Umumnya TMA pada musim kemarau beragam yaitu berkisar 20 cm sampai 40 cm dari permukaan tanah dan apabila musim kemarau terjadi terus-menerus, maka TMA tidak akan turun melebihi 100 cm [32]. TMA gambut akan mempengaruhi kadar air dalam tanah gambut [8].

2.5 Stasiun Sistem Pemantauan Air Lahan Gambut (SIPALAGA)

Stasiun Sistem Pemantauan Air Lahan Gambut (SIPALAGA) adalah sebuah inovasi teknologi informasi terbaru yang dikeluarkan dan dikembangkan oleh Badan Restorasi Gambut dan Mangrove (BRGM) dalam bentuk *platform* pemantau data yang dapat diakses setiap saat secara *real time*. Program yang dapat memantau data ini berasal dari instrumen pemantau TMA yang dapat mengukur kelembapan tanah gambut, curah hujan, suhu, kelembapan udara,

kecepatan dan arah angin. SIPALAGA akan merekam beberapa data melalui sensor yang terpasang, seperti parameter TMA, kelembapan tanah gambut, dan curah hujan setiap 10 menit. Kemudian, data yang telah terekam akan dikirim ke server setiap hari untuk disajikan secara *real time* berbasis telemetri pada *website* [33]. Sistem kerja SIPALAGA tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Sistem kerja SIPALAGA [33]

Instrumen pemantauan TMA ini diharapkan dapat menjadi salah satu upaya dalam mencegah terjadinya kebakaran hutan dan lahan gambut dengan memberikan informasi peringatan dini yang terdiri dari tiga kategori, yaitu (a) aman yang ditandai dengan warna hijau, (b) siaga yang ditandai dengan warna kuning, dan (c) bahaya yang ditandai dengan warna merah. Dapat dikatakan dalam kondisi siaga, apabila TMA gambut berada 40 cm di bawah permukaan lahan gambut dan dalam kondisi bahaya, apabila TMA gambut lebih rendah dari 40 cm di bawah permukaan lahan gambut. BRGM telah memasang 142 instrumen pemantau TMA hingga tahun 2018 di tujuh provinsi yang menjadi prioritas, diantaranya Riau (47 unit), Kalimantan Tengah (42 unit), Sumatera Selatan (21 unit), Jambi (13 unit), Kalimantan Barat (12 unit), Kalimantan Selatan (5 unit), dan Papua (2 unit). Kemudian, BRGM menambahkan pemasangan instrumen pemantau TMA kembali sebanyak 20 unit di tujuh provinsi tersebut pada tahun 2019 [33].

2.6 Penyebaran Lahan Gambut di Indonesia

Penyebaran lahan gambut di Indonesia sangat dipengaruhi oleh keadaan dan proses pembentukan yang meliputi bahan asal, mikroorganisme, waktu, iklim, dan topografi. Umumnya, sebaran tanah gambut terutama pada dataran rendah selalu mengikuti pola *landform* yang dapat terbentuk di antara dua sungai besar akibat adanya genangan air hujan yang cukup dalam atau bentuk topografi yang cekung pada wilayah tersebut sehingga menimbulkan genangan air yang membentuk rawa dangkal. *Landform* yang terbentuk dapat berupa dataran gambut, dataran pasang surut, dan kubah gambut [34].

Luas lahan gambut di Indonesia selama ini telah mengalami fluktuasi, yaitu dari 13,2 hingga 26,5 juta ha [35]. Dalam literatur internasional tertulis bahwa luas lahan gambut mencapai 20,6 juta ha [36]. Namun, BBSDLP menjelaskan bahwa luas lahan gambut di Indonesia terakhir yaitu sebesar 14,9 juta ha [37], angka ini menunjukkan bahwa lahan gambut di Indonesia tergolong sangat besar dan berada pada urutan keempat di dunia setelah Kanada, Rusia, dan Amerika Serikat [38]. Angka ini diperoleh dari hasil *updating* kumpulan beberapa peta tanah terdahulu, data warisan tanah, serta hasil survei tanah hingga tahun 2011. Atlas Peta Lahan Gambut Indonesia dalam skala 1:250.000 merupakan bentuk peta terbaru untuk sebaran lahan gambut di Indonesia secara spasial [39].

Pulau Sumatera memiliki lahan gambut terluas dari dua pulau lainnya yaitu berkisar 6.436.649 ha atau 43,18% dari keseluruhan luas lahan gambut di Indonesia, dengan Provinsi Riau yang memiliki lahan gambut paling luas yaitu 3.867.413 ha dan yang paling sempit terdapat pada Provinsi Bengkulu yaitu 8.052 ha. Kemudian, disusul oleh lahan gambut di Pulau Kalimantan yang cukup luas yaitu berkisar 4.777.905 ha, dengan Provinsi Kalimantan Tengah yang memiliki lahan gambut paling luas yaitu 2.659.234 ha atau 55,66%. Sementara, lahan gambut di Pulau Papua sangat sedikit dengan luas 3.690.921 ha atau 24,76% dari keseluruhan luas lahan gambut di Indonesia. Luas lahan gambut di beberapa pulau besar serta provinsi didalamnya pada tahun 2011 dapat dilihat pada Tabel 2.1.

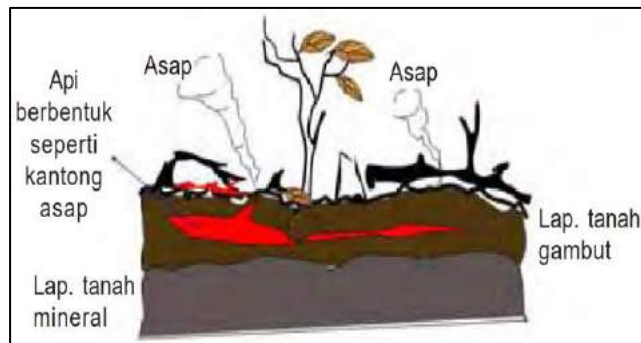
Tabel 2.1 Luas lahan gambut tahun 2011 [40]

Provinsi/Pulau	Luas Lahan Gambut	
	(Ha)	(%)
Aceh	215.704	3,35
Sumatera Utara	261.234	4,06
Sumatera Barat	100.687	1,56
Riau	3.867.413	60,08
Kepulauan Riau	8.186	0,13
Jambi	621.089	9,65
Bengkulu	8.052	0,13
Sumatera Selatan	1.262.385	19,61
Kep. Bangka Belitung	42.568	0,66
Lampung	49.331	0,77
Sumatera	6.436.649	100
Kalimantan Barat	1.680.135	35,16
Kalimantan Tengah	2.659.234	55,66
Kalimantan Selatan	106.271	2,22
Kalimantan Timur	332.265	6,96
Kalimantan	4.777.905	100
Papua	2.644.438	71,65
Papua Barat	1.046.483	28,35
Papua	3.690.921	100
Luas Total	14.905.475	

2.7 Kebakaran Lahan Gambut di Indonesia

Kebakaran lahan gambut merupakan peristiwa dimana munculnya api yang merambat secara bebas dengan menghabiskan semua bahan bakar bervegetasi yang terjadi di kawasan bukan hutan [14]. Bahan bakar pada bagian bawah permukaan gambut mempunyai kadar air yang sangat tinggi dibanding bahan bakar yang berada pada permukaan dan di atas permukaan. Bahan bakar yang berada pada permukaan yaitu serasah, ranting, log, sementara bahan bakar di atas permukaan yaitu tajuk pohon, lumut, dan epifit. Hal ini dikarenakan gambut memiliki kemampuan dalam menyerap dan menyimpan air yang sangat besar, sehingga bagian bawah permukaan akan tetap lembab bahkan masih basah saat bagian atas sudah mengering. Tanah gambut akan cepat mengering dan mudah terbakar saat musim kemarau, api akan merambat sampai ke lapisan terdalam yang relatif masih basah, sehingga saat terjadi kebakaran, kobaran api akan bercampur dengan uap air dalam tanah gambut yang kemudian akan menghasilkan gumpalan asap putih [41].

Lahan gambut yang terbakar termasuk dalam tipe kebakaran bawah (*ground fire*), dimana akan terjadi penyebaran api yang membakar keseluruhan bahan organik yang berada di bawah permukaan tanah tanpa dipengaruhi oleh angin sehingga akan sangat sulit untuk dikendalikan serta dideteksi. Kebakaran pada tipe ini terjadi secara perlahan dan tidak menyala (*smoldering*), sehingga hanya akan terlihat asap berwarna putih di atas permukaan [41], seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Tipe kebakaran bawah (*ground fire*) [41]

Api yang muncul saat terjadi kebakaran biasanya berasal dari permukaan yang merambat masuk melalui pori-pori tanah gambut, kemudian akan membakar bahan organik yang berada di bawah permukaan, seperti timbunan potongan kayu yang dapat terbakar melalui bagian atas pada akar semak belukar. Selain itu, akar pohon yang berada di lahan gambut juga dapat ikut terbakar, sehingga pohon menjadi goyah dan pada akhirnya tumbang. Api merambat secara horizontal maupun vertikal menyerupai cerobong asap. Pemadaman api pada kebakaran ini akan sangat sulit dilakukan karena hanya asap putih yang terlihat, kecuali terdapat genangan air pada lapisan tanah gambut yang terbakar, maka akan mempermudah pemadaman [41].

Lahan gambut yang terbakar dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, baik secara internal maupun eksternal [8], seperti (1) tingkat dekomposisi gambut, dimana semakin tinggi tingkat kematangan gambut, maka gambut akan semakin sulit terbakar, seperti jenis gambut saprik akan lebih mudah terbakar dibandingkan jenis gambut hemik dan fibrik, (2) kadar air gambut, dimana kadar air yang semakin tinggi dapat mengurangi laju pembakaran, (3) TMA gambut, dimana kondisi TMA gambut sangat mempengaruhi kadar air yang

terkandung dalam gambut serta (4) curah hujan, dimana kondisi curah hujan sangat mempengaruhi kondisi TMA gambut. Berdasarkan kondisi tersebut, maka frekuensi dari fenomena kebakaran hutan dan lahan disetiap periode akan berbeda [21].

Peristiwa kebakaran lahan gambut di Indonesia sudah hampir terjadi setiap tahun dan menyebabkan banyak kerugian. Saat ini, dampak yang ditimbulkan dari kejadian kebakaran tidak hanya bersifat lokal atau dalam skala kecil saja, tetapi sudah mencapai skala besar, seperti gumpalan asap yang dihasilkan dari kebakaran lahan di Indonesia mampu melewati batas antar provinsi hingga ke negara tetangga yakni Malaysia dan Singapura [13]. Selain itu, dampak lain yang sangat merugikan yaitu gangguan kesehatan dan permasalahan ekonomi terkait anggaran biaya pemadaman yang mahal serta biaya pengobatan bagi masyarakat [41]. Luas kebakaran hutan dan lahan setiap provinsi di Indonesia pada tahun 2015-2020 dapat dilihat pada Tabel 2.2 dan Tabel 2.3.

Tabel 2.2 Luas karhutla di Indonesia tahun 2015-2020 [42]

No.	Provinsi	Luas Karhutla (ha)					
		2015	2016	2017	2018	2019	2020
Sumatera							
1	Aceh	913,27	9.158,45	3.865,16	1.284,70	730,00	1.078,00
2	Jambi	115.634,34	8.281,25	109,17	1.577,75	56.593,00	1.002,00
3	Bengkulu	931,76	1.000,39	131,04	8,82	11,00	221,00
4	Bangka Belitung	19.770,81	-	-	2.055,67	4.778,00	576,00
5	Kepulauan Riau	-	67,36	19,61	320,96	6.134,00	8.805,00
6	Riau	183.808,59	85.219,51	6.866,09	37.236,27	90.550,00	15.442,00
7	Lampung	71.326,49	3.201,24	6.177,79	15.156,22	35.546,00	1.358,00
8	Sumatera Barat	3.940,14	2.629,82	2.227,43	2.421,90	2.133,00	1.573,00
9	Sumatera Selatan	646.298,80	8.784,91	3.625,66	16.226,60	336.798,00	950,00
10	Sumatera Utara	6.010,92	33.028,62	767,98	3.678,79	2.514,00	3.744,00
Kalimantan							
1	Kalimantan Barat	93.515,80	9.174,19	7.467,33	68.422,03	151.919,00	7.646,00
2	Kalimantan Selatan	196.516,77	2.331,96	8.290,34	98.637,99	137.848,00	4.017,00
3	Kalimantan Tengah	583.833,44	6.148,42	1.743,82	47.432,57	317.749,00	7.681,00
4	Kalimantan Timur	69.352,96	43.136,78	676,38	27.893,20	68.524,00	5.221,00
5	Kalimantan Utara	14.506,20	2.107,21	82,22	627,71	8.559,00	1.721,00
Jabalnusa							
1	DKI Jakarta	-	-	-	-	-	-
2	Banten	250,02	-	-	-	9,00	2,00

Tabel 2.3 Luas karhutla di Indonesia tahun 2015-2020 lanjutan

No.	Provinsi	Luas Karhutla (ha)					
		2015	2016	2017	2018	2019	2020
3	Jawa Barat	2.886,03	-	648,11	4.104,51	9.552,00	2.344,00
4	Jawa Tengah	2.471,70	-	6.028,48	331,67	4.782,00	7.516,00
5	Jawa Timur	7.966,79	-	5.116,43	8.886,39	23.655,00	19.148,00
6	DI Yogyakarta	-	-	-	-	23,00	181,00
7	Bali	373,46	-	370,8	1.013,76	373,00	29,00
8	Nusa Tenggara Barat	2.565,71	706,07	33.120,81	14.461,38	60.234,00	29.157,00
9	Nusa Tenggara Timur	85.430,86	8.968,09	38.326,09	57.428,79	136.920,00	114.719,00
Sulawesi							
1	Gorontalo	5.225,89	737,91	-	158,65	1.909,00	80,00
2	Sulawesi Barat	4.989,38	4.133,98	188,13	978,38	3.029,00	569,00
3	Sulawesi Selatan	10.074,32	438,4	1.035,51	1.741,27	15.697,00	1.902,00
4	Sulawesi Tengah	31.679,88	11.744,40	1.310,19	4.147,28	11.551,00	2.555,00
5	Sulawesi Tenggara	31.763,54	72,42	3.313,68	8.594,67	16.929,00	3.206,00
6	Sulawesi Utara	4.861,31	2.240,47	103,04	326,39	4.574,00	177,00
Maluku & Papua							
1	Maluku	43.281,45	7.834,54	3.918,12	14.906,44	27.211,00	20.270,00
2	Maluku Utara	13.261,10	103,11	31,10	69,54	2.781,00	59,00
3	Papua	350.005,30	186.571,60	28.767,38	88.626,84	108.110,00	28.277,00
4	Papua Barat	7.964,41	542,09	1.156,03	509,50	1.533,00	5.716,00
	TOTAL	2.611.411,44	438.363,19	165.483,92	529.266,64	1.649.258,00	296.942,00

2.7.1 Segitiga Api (*Fire Triangle*)

Api dapat menyala karena terdapat susunan kimiawi yang mendukungnya, biasanya dikenal dengan istilah segitiga api (*fire triangle*) [43]. Segitiga api terdiri dari tiga unsur utama, yaitu bahan bakar (*fuel*), oksigen (O_2) dan sumber api atau panas (*heat*). Bahan bakar dapat berbentuk padat, cair atau gas yang mampu terbakar dengan campuran oksigen dari udara yang cukup dan didukung oleh energi panas dengan suhu tertentu, seperti panas matahari, gesekan, energi listrik, percikan api, permukaan yang panas. Apabila ketiga unsur bertemu dengan keseimbangan yang cukup, maka akan menimbulkan api. Tetapi, apabila salah satu unsur tersebut tidak ada dan tidak seimbang, maka api tidak akan muncul. Prinsip dari segitiga api biasanya digunakan sebagai dasar pencegahan kebakaran [44]. Bagan segitiga api tercantum pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Bagan segitiga api (*fire triangle*) [41]

2.7.2 Perilaku Api

Ketiga unsur yang membentuk segitiga api sangat mempengaruhi perilaku nyala api terutama dalam kebakaran lahan gambut dan mempunyai hubungan yang erat dengan perubahan unsur lingkungan, seperti bahan bakar, iklim atau cuaca serta topografi [45].

a. Bahan Bakar

Faktor utama yang menjadi pengendali bahan bakar yaitu kadar air [46]. Kandungan kadar air sangat menentukan kemudahan bahan bakar untuk menyala, kemudahan memadamkan api dan kecepatan proses pembakaran lahan. Selain itu, kadar air juga sangat berpengaruh terhadap perilaku api dalam kecepatan pembakaran, dimana kandungan kadar air yang tinggi

dalam bahan bakar akan membutuhkan api yang cukup besar dalam mengeluarkan air dari bahan bakar, sehingga kemampuan serta kecepatan pembakaran menjadi menurun. Tinggi atau rendah kandungan kadar air dalam tanah gambut dipengaruhi oleh curah hujan, tinggi muka air, kelembapan serta suhu udara [45].

b. Iklim atau Cuaca

Kondisi iklim seperti suhu, kelembapan, curah hujan, dan kecepatan angin menjadi salah satu faktor penyebab terjadinya kebakaran hutan dan lahan karena berpengaruh terhadap kondisi bahan bakar pada permukaan, tingkat oksigen dan kecepatan pembakaran lahan [45]. Perubahan suhu udara dapat mempengaruhi kondisi bahan bakar, dimana akan terjadi penurunan kelembapan saat suhu udara meningkat sehingga bahan bakar akan lebih cepat mengering dan kandungan kadar air akan menurun. Kondisi ini yang dapat memicu terjadinya kebakaran lahan [46].

Salah satu unsur iklim yang mempunyai korelasi sangat tinggi terhadap kebakaran yaitu curah hujan. Curah hujan juga mempunyai pola yang sangat beragam menurut skala ruang dan waktu sehingga keragamannya tergolong tinggi [46]. Rendahnya curah hujan saat musim kemarau dan intensitas panas matahari yang sangat tinggi sering memicu terjadinya peningkatan kebakaran lahan [41]. Musim kemarau dan musim hujan di Indonesia dipengaruhi oleh aktifitas Monsoon Australia Musim Dingin dan Monsoon Asia Musim Dingin, sehingga musim kemarau biasanya terjadi pada bulan April-September dengan titik curah hujan terendah terjadi pada bulan Juli-Agustus, sedangkan musim hujan biasanya terjadi pada bulan Oktober-Maret dengan titik curah hujan tertinggi terjadi pada bulan Desember-Februari [47]. Selain itu, setiap wilayah juga memiliki musim kemarau yang berbeda menurut referensi [48], dimana wilayah Kalimantan dan Jawa memiliki titik curah hujan yang paling rendah pada bulan Juli-Oktober, sedangkan titik curah hujan yang paling rendah di wilayah Sumatera terjadi dua kali yaitu pada bulan Februari-April dan Agustus-Oktober. Peristiwa kebakaran lahan gambut akan sangat rendah

pada musim hujan, dimana ketika hujan turun, air akan menggenangi lahan gambut sehingga kadar air yang terkandung dalam bahan bakar menjadi tinggi dan akan sulit untuk terbakar [41].

Kecepatan dan pergerakan angin berkaitan dengan pola penjalaran api, sehingga sangat mempengaruhi perilaku api. Setiap kenaikan angin 4 m/s akan meningkatkan kecepatan penyebaran api dua kali lipat. Topografi juga sangat mempengaruhi arah angin dalam penyebaran api [45]. Angin dapat mendorong, meningkatkan, serta menentukan arah penyebaran api, sehingga penyebaran api sangat luas sampai bagian bahan bakar yang belum terbakar [46].

c. Topografi

Kecepatan penyebaran, perilaku serta sifat nyala api sangat dipengaruhi oleh arah kelerengan. Api akan lebih cepat menyebar apabila menuju ke atas atau menaiki lereng, sedangkan saat menuju ke bawah atau menuruni lereng akan menjadi lebih lambat [45].

2.7.3 Penyebab Kebakaran Lahan

Dalam perkembangannya, terdapat dua faktor utama yang menjadi penyebab terjadinya kebakaran lahan, yaitu 90% kegiatan manusia (*antropogenik*), baik secara sengaja atau tidak sengaja dan 10% fenomena alam (*naturogenik*), seperti petir panas dan larva gunung berapi [49]. Namun, kebakaran lahan akibat *antropogenik* lebih sering terjadi karena mayoritas masyarakat bekerja sebagai petani atau penggarap yang melakukan pengolahan lahan dengan mencangkul dan memupuk, dimana cara ini dinilai lebih aman dan tidak merugikan orang lain, tetapi realitanya masih banyak masyarakat yang melakukan pengolahan melalui pembakaran lahan karena dinilai lebih cepat dan meminimalisir biaya daripada melakukan pengolahan dengan cangkul dan pupuk. Kebakaran lahan akibat *naturogenik*, seperti petir sangat jarang terjadi di Indonesia karena petir pada daerah tropis selalu diiringi oleh hujan, sehingga tegakan pohon yang terbakar akibat petir akan cepat padam oleh air hujan. Berbeda halnya dengan daerah sub tropis, dimana kebakaran lahan sering terjadi akibat faktor *naturogenik* karena petir dapat muncul tanpa

hujan, sehingga api akan sulit padam [50]. Perilaku masyarakat yang dapat memicu terjadinya kebakaran [41], diantaranya sebagai berikut:

- a. Pembakaran vegetasi, dimana kebakaran lahan diakibatkan oleh api hasil pembakaran yang tak terkendali, seperti persiapan dan pembukaan areal Hutan Tanaman Industri (HTI) dan lahan perkebunan oleh masyarakat.
- b. Konversi lahan, dimana kebakaran diakibatkan oleh api hasil kegiatan pembakaran lahan untuk industri, pembuatan jalan, bangunan, pertanian, dan lain sebagainya.
- c. Pemanfaatan sumber daya alam, dimana kebakaran diakibatkan oleh api yang berasal dari kegiatan pemanfaatan sumber daya alam, diantaranya pembakaran semak belukar dan pembuatan api untuk memasak.
- d. Pembuatan kanal atau saluran di lahan gambut yang digunakan sebagai irigasi dan sarana transportasi kayu hasil tebangan. Apabila saluran tidak dilengkapi pintu kontrol, maka air akan keluar dan mengakibatkan lahan gambut menjadi kering dan rawan terbakar.
- e. Penguasaan lahan, dimana api sering digunakan masyarakat lokal untuk mengambil kembali lahan yang menjadi hak mereka.

2.8 Titik Panas (*Hotspot*)

Definisi titik panas (*hotspot*) menurut Peraturan Menteri Kehutanan Nomor P.12/Menhut-II/2009 tentang Pengendalian Kebakaran Hutan yaitu indikator kebakaran hutan yang mendeteksi suatu lokasi yang memiliki suhu relatif lebih tinggi dibandingkan dengan suhu disekitarnya [51]. Lokasi tersebut dapat ditampilkan dalam bentuk titik yang memiliki koordinat dan dipantau melalui satelit. Data citra satelit yang telah diakuisisi oleh stasiun bumi milik LAPAN untuk dapat mendeteksi *hotspot*, diantaranya yaitu TERRA, AQUA dengan sensor *MODIS* (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), serta S-NPP dengan sensor *VIIRS* (*Visible Infrared Imager Radiometer Suite*) [52]. Data *MODIS* dapat diperoleh dari dua satelit yaitu AQUA dan TERRA dalam sehari. Citra yang dihasilkan memiliki resolusi spasial 1000 m dengan tingkat kepercayaan *low* (0-29), *medium* (30-79) dan *high* (80-100) [53]. Sedangkan, untuk data *VIIRS* dapat diperoleh dari satelit S-NPP yang telah

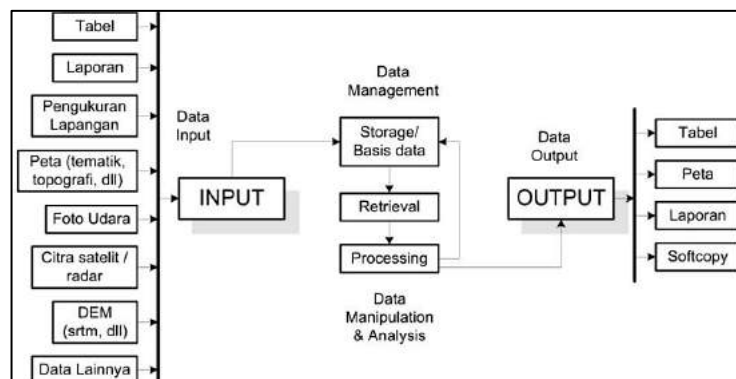
diakuisisi oleh stasiun bumi LAPAN tahun 2012 dan sudah menghasilkan data *hotspot* sejak tahun 2013 [52]. Citra yang dihasilkan memiliki resolusi spasial 375 m dengan tingkat kepercayaan *low* (7), *medium* (8) dan *high* (9). Data dengan resolusi tinggi akan mendeteksi dan merekam *hotspot* lebih jelas hingga ukuran yang sangat kecil, sehingga *hotspot* akan lebih akurat [53].

Selama ini *hotspot* identik dengan adanya kebakaran, tetapi realitanya tidak setiap *hotspot* yang terekam oleh citra satelit menandakan adanya kebakaran lahan yang sesungguhnya, sehingga dapat diketahui dan dikatakan kebakaran lahan, apabila *hotspot* tersebut terdeteksi dan berada pada koordinat yang sama selama lebih dari tiga hari berturut-turut [54]. Kombinasi data *hotspot* dengan data lain, seperti data curah hujan yang dapat menunjukkan adanya korelasi antara jumlah deteksi titik panas dengan jumlah curah hujan pada suatu wilayah. Data *hotspot* juga dinilai sebagai cara yang paling efektif dalam memantau kebakaran lahan secara cepat sampai saat ini [55].

Selain itu, kepadatan *hotspot* juga mempunyai peranan yang penting dalam menentukan tingkat kerawanan kebakaran yang terjadi. Apabila tingkat kepadatan *hotspot* tinggi, maka tingkat kerawanan kebakaran lahan yang terjadi juga tinggi dan begitupun sebaliknya, apabila tingkat kepadatan *hotspot* rendah, maka tingkat kerawanan kebakaran lahan yang terjadi juga rendah. Kepadatan *hotspot* dapat didefinisikan sebagai titik panas yang memiliki potensi dalam menimbulkan kebakaran lahan dan hutan pada suatu kawasan [56]. Keragaman jumlah *hotspot* tergantung pada kondisi perubahan unsur lingkungan di suatu kawasan tertentu, salah satunya kondisi iklim dan cuaca yang mempunyai pengaruh besar terhadap peningkatan dan penyebaran *hotspot*. Musim kemarau yang ditandai dengan curah hujan yang rendah akan mengakibatkan suatu kawasan tersebut menjadi kering, sehingga berpotensi meningkatkan jumlah *hotspot* [57].

2.9 Sistem Informasi Geografis (SIG)

Perkembangan Sistem Informasi Geografis (SIG) sebagai suatu bidang kajian ilmu dan teknologi sangatlah pesat, sehingga definisi SIG selalu mengalami pertambahan yang bervariasi juga [58], [59]. SIG sebagai suatu sistem yang dapat memberikan informasi berbasis komputer dengan mengakomodasi data spasial bereferensi geografis dan data atribut menjadi sebuah tampilan yang menyajikan analisis keruangan dalam suatu perencanaan [60]. Data dalam bentuk digital yang dapat diolah melalui SIG terdiri atas data spasial dan data atribut. Data spasial adalah data yang mempunyai referensi ruang kebumian (*georeference*) [61] dan memiliki lokasi koordinat tertentu, dimana penyajian data ditampilkan dalam model data vektor dan data raster. Data vektor dalam SIG dikenal dengan *feature* [62] yaitu titik (*point*), garis (*line*) serta area (*polygon*). Sedangkan, data atribut adalah data dalam bentuk tabel yang berisi informasi terkait objek pada data spasial [63]. Data spasial dapat diperoleh dari berbagai sumber dengan beragam format, diantaranya yaitu data sistem penginderaan jauh (citra satelit dan foto udara), peta analog (peta topografi dan peta tanah), data hasil pengukuran lapangan, data dengan menggunakan *GPS* dan *theodolit* [64], [65]. Terdapat beberapa sub-sistem dalam SIG, yaitu data *input*, data *output*, data *management* dan data *manipulation & analysis*. Keempat sub-sistem tersebut dapat diuraikan dalam bentuk ilustrasi seperti pada Gambar 2.9 [64].



Gambar 2.9 Ilustrasi sub-sistem SIG [64]

Salah satu perangkat lunak berbasis SIG yang telah dikembangkan oleh ESRI (*Environmental Science & Research Institue*) yaitu ArcGis. Komponen utama yang terdapat dalam ArcGis, yaitu (1) ArcView untuk mengelola, memetakan

dan menganalisis data secara menyeluruh, (2) ArcEditor untuk mengedit data spasial, serta (3) ArcInfo untuk menyediakan keperluan analisa dari fitur *geoprocessing* [65]. Komponen tersebut dapat digunakan melalui salah satu program aplikasi sentral dalam ArcGis yaitu ArcMap, dimana ArcMap dapat menampilkan dan memanipulasi data geografis, menggambar peta, *query*, seleksi serta *editing* peta [58].

SIG memiliki perbedaan karakteristik dengan sistem informasi lainnya yang hanya berbasis statistik, yaitu kemampuan dalam menganalisis sistem melalui analisis spasial, dimana analisis ini memberikan gambaran geografis yang lebih komprehensif [61], [64]. Fungsi analisis spasial, meliputi [58], [59]:

1. *Klasifikasi (Reclassify)*

Analisis klasifikasi berfungsi untuk mengelompokkan kembali suatu data spasial menjadi data spasial yang baru berdasarkan kriteria tertentu.

2. *Jaringan (Network)*

Analisis jaringan (*network*) memiliki fungsionalitas untuk melihat data spasial berupa titik (*point*) atau garis (*line*) yang saling berhubungan.

3. *Overlay*

Analisis *overlay* berfungsi untuk menggabungkan beberapa data spasial menjadi suatu data spasial yang baru.

4. *Buffering*

Analisis *buffering* berfungsi untuk menghasilkan suatu data spasial baru berbentuk area (*polygon*) dengan jarak tertentu sesuai bentuk data spasial yang akan di *buffering*.

5. *Clipping*

Analisis *clipping* berfungsi untuk memotong sebuah data spasial agar sesuai dengan wilayah penelitian yang diinginkan.

6. *3D Analysis*

3D Analysis berfungsi untuk menampilkan data spasial dalam ruang tiga dimensi.

7. *Digital Image Processing*

Digital Image Processing berfungsi menganalisis data spasial permukaan bumi, seperti koreksi geometrik, radiometrik, *filtering*.

2.10 Analisis Statistik Korelasi Sederhana

Sebuah buku statistik menjelaskan bahwa analisis korelasi merupakan salah satu teknik analisa dalam statistika yang dapat digunakan untuk mengukur tingkat kekuatan suatu hubungan antar dua variabel yaitu variabel bebas (X) dengan variabel terikat (Y) melalui koefisien korelasi (r) dan dapat digunakan untuk mengetahui besarnya pengaruh variabel bebas (X) terhadap variabel terikat (Y) melalui koefisien determinasi (R^2) yang diperoleh [66]. Walter R. Bog dan Meredith D. Gall dalam referensi [66] menjelaskan bahwa analisis korelasi tidak dapat digunakan untuk mengetahui hubungan sebab akibat antar variabel dalam suatu penelitian, tetapi adanya hasil korelasi yang signifikan antar variabel dapat mengindikasikan bahwa kemungkinan antar variabel tersebut mempunyai hubungan sebab akibat.

Salah satu teknik analisis korelasi yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu analisis korelasi *product moment*. Korelasi *product moment* diciptakan dan dikembangkan oleh Karl Pearson. Nama *product moment* digunakan pada korelasi ini karena nilai korelasi berasal dari hasil perkalian atau *product* hasil korelasi dari *moment* variabel (*Product of the Moment*) [66]. Terdapat empat cara untuk menghitung nilai koefisien korelasi *product moment*, yaitu dengan skor mentah, skor deviasi, standar deviasi dan diagram *scatter* [67]. Namun, nilai koefisien korelasi dalam penelitian ini akan dihitung dengan rumus skor mentah seperti yang tercantum dalam persamaan (2.1).

$$r_{XY} = \frac{N \cdot \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[N \cdot \sum X^2 - (\sum X)^2][N \cdot \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}} \quad (2.1)$$

dimana:

r_{XY} = koefisien korelasi *product moment*

N = jumlah data

$\sum X$ = nilai jumlah variabel x

$\sum Y$ = nilai jumlah variabel y

Koefisien korelasi yang telah diperoleh dari hasil perhitungan menggunakan persamaan (2.1) merupakan tolok ukur untuk mengetahui kekuatan dan arah hubungan antara variabel yang satu dengan variabel lainnya. Penafsiran nilai

koefisien korelasi dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu melihat kekuatan hubungan, melihat arah hubungan serta melihat signifikansi hubungan [68]. Nilai koefisien korelasi mempunyai batasan tertentu yaitu berkisar antara 0 sampai dengan ± 1 atau $(-1 < 0 < +1)$ [66], [69]. Batas nilai tersebut memiliki arti sebagai berikut:

- a. Apabila $r = +1$, maka korelasi positif sempurna. Artinya arah hubungan antar variabel satu arah, dimana peningkatan satu variabel akan diikuti oleh variabel yang lain. Tingkat keeratan kedua variabel akan semakin kuat, apabila nilai koefisien korelasi semakin mendekati angka 1 dan sebaliknya.
- b. Apabila $r = -1$, maka korelasi negatif sempurna. Artinya arah hubungan antar variabel berlawanan arah, dimana peningkatan satu variabel akan diikuti oleh penurunan satu variabel lain. Tingkat keeratan kedua variabel akan semakin kuat, jika nilai koefisien korelasi semakin mendekati angka 1 dan sebaliknya.
- c. Apabila $r = 0$, maka tidak ada korelasi antara kedua variabel.

Kekuatan hubungan antar variabel dapat diketahui melalui interpretasi nilai sesuai dengan batas yang telah ditentukan. Interpretasi nilai koefisien korelasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Interpretasi koefisien korelasi [66]

Koefisien Korelasi	Interpretasi
0,00	Tidak Ada
0,00 – 0,20	Sangat Lemah
0,20 – 0,40	Lemah
0,40 – 0,70	Sedang
0,70 – 0,90	Kuat
0,90 – 1,00	Sangat Kuat

Kebenaran hubungan antara dua variabel dapat didukung dengan melakukan uji signifikansi (*p value*). Uji signifikansi dilakukan dengan membandingkan nilai koefisien korelasi yang telah dihitung (*r hitung*) dengan nilai koefisien korelasi pada tabel (*r tabel - two tailed test*) sesuai derajat kebebasan ($db = N - 2$) dan taraf signifikansi yang telah ditentukan ($\alpha = 5\%$ atau 1%) [66], [67]. Adapun kriteria dari uji signifikansi adalah sebagai berikut:

- H_0 = Tidak ada hubungan antara kedua variabel
 H_a = Terdapat hubungan antara kedua variabel
- Jika (+) $r \text{ hitung} \geq r \text{ tabel}$ atau (-) $r \text{ hitung} \leq -r \text{ tabel}$, maka koefisien korelasi dianggap signifikan, dalam arti H_0 ditolak dan H_a diterima

Selain itu, keeratan korelasi antar variabel juga dapat digambarkan melalui diagram pencar (*scatter diagram*). Kekuatan korelasi dinyatakan dalam suatu fungsi linear. Korelasi dapat dikatakan bersifat linear, apabila pola titik-titik koordinat antar kedua variabel (X,Y) terlihat berkumpul atau menyebar mendekati garis linear [70]. Apabila korelasi kedua variabel bersifat linear sempurna, maka sebaran pola titik-titik kedua variabel akan membentuk garis lurus [69].

Penyimpangan hasil koefisien korelasi dapat dicegah dengan memperhatikan beberapa asumsi dasar sebagai syarat dalam menggunakan analisis korelasi *product moment*, diantaranya sebagai berikut [70]:

1. Data yang digunakan harus diambil secara acak dari populasi.
2. Kedua variabel berhubungan linear atau garis lurus.
3. Kedua variabel harus berdistribusi normal.

Data berdistribusi normal atau tidak dapat diketahui dan ditentukan melalui uji normalitas [71]. Uji normalitas yang paling populer dan akan digunakan dalam penelitian ini yaitu uji normalitas *Kolmogorov Smirnov* (KS) [72]. Uji ini fokus pada penyimpangan (deviasi) yang paling besar atau dapat disebut deviasi maksimum melalui rumus yang tercantum pada persamaan (2.2) [73].

$$D = \text{maksimum } |F_0(X) - S_N(X)| \quad (2.2)$$

dimana:

$F_0(X)$ = distribusi frekuensi kumulatif teoritis

$S_N(X)$ = distribusi frekuensi kumulatif observasi

Signifikansi nilai D mempunyai kriteria sebagai berikut [74]:

- H_0 = data residual berdistribusi normal
- H_a = data residual tidak berdistribusi normal
- Nilai maksimum $|F_0(X) - S_N(X)| \leq \text{nilai tabel KS}$, maka H_0 diterima dan H_a ditolak.

Berdasarkan uji normalitas data, dapat diketahui bahwa data telah memenuhi asumsi dan dapat digunakan atau tidak. Data yang tidak berdistribusi normal dapat diakibatkan oleh varian data yang bersifat heterogen sehingga data tidak terdistribusi normal. Untuk mengatasi ketidaknormalan data dapat dilakukan melalui beberapa pendekatan, yaitu dengan mengurangi jumlah data terutama data yang dinilai ekstrem dan melakukan transformasi data [75]. Apabila dalam penelitian ini terdapat data yang tidak normal, maka akan dilakukan pendekatan melalui transformasi data.

Transformasi data dapat didefinisikan sebagai salah satu upaya yang dapat digunakan dalam mengubah skala ukur data asli dalam penelitian, sehingga data tersebut dapat memenuhi asumsi analisis [76]. Jenis transformasi yang paling umum digunakan, diantaranya yaitu transformasi akar, transformasi logaritma, transformasi arcsin dan transformasi *square* (kuadrat). Salah satu jenis transformasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah transformasi logaritma, dimana dalam menggunakan transformasi ini terdapat beberapa acuan yang perlu diperhatikan. Acuan tersebut adalah sebagai berikut [76]:

1. Jika nilai dalam data asli berkisar antara 0-10, maka rumus transformasi yang dapat digunakan yaitu $\text{Log } X+1$.
2. Jika nilai dalam data asli terdiri dari bilangan desimal atau mendekati nol, maka rumus transformasi yang dapat digunakan yaitu $\text{Log}(10X)$.
3. Jika data asli terdiri dari banyak nilai nol, maka transformasi logaritma tidak dapat digunakan.