



LAPORAN PENELITIAN
RESEARCH FELLOWSHIP PANTAU GAMBUT

**Dampak Kebakaran Hutan dan Lahan di Kesatuan Hidrologis Gambut
Sungai Saleh – Sungai Sugihan terhadap Tingkat Penurunan Muka Lahan
Gambut Menggunakan Citra Satelit Sentinel – 1A SAR Data Pada Tahun
2019**

ALMI RAMADHI

**FAKULTAS KEHUTANAN DAN LINGKUNGAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
Tahun 2021**

RINGKASAN

ALMI RAMADHI. Dampak Kebakaran Hutan dan Lahan di Kesatuan Hidrologis Gambut (KHG) Sungai Saleh - Sungai Sugihan Terhadap Tingkat Penurunan Muka Lahan Gambut (*Peatland Subsidence*) Menggunakan Citra Satelit Sentinel-1A SAR Data pada Tahun 2019. Dibimbing oleh ERIANTO INDRA PUTRA.

Provinsi Sumatera Selatan (Sumsel) menjadi provinsi dengan luas Kebakaran Hutan dan Lahan (Karhutla) tertinggi di Indonesia pada tahun 2019 yaitu mencapai 336798 ha dan sekitar 136875 ha diantaranya merupakan kawasan gambut. Salah satu Kawasan Hidrologis Gambut (KHG) yang terdampak akibat karhutla yang terjadi di Sumsel adalah KHG Sungai Saleh – Sungai Sugihan (KHGSS) yang berada pada Kabupaten Banyuasin dan Kabupaten Ogan Komering Ilir. Karhutla yang terjadi pada kisaran bulan Agustus hingga Oktober 2019 merusak lahan di KHGSS dengan luas sekitar 53 ribu ha (KLHK 2020). Kebakaran yang terjadi pada lahan gambut dapat menyebabkan terjadinya oksidasi atau dekomposisi dari bahan organik, permasalahan tersebut dapat menyebabkan hilangnya air di lahan gambut sehingga gambut mudah terbakar dan mengalami penurunan muka gambut. Penurunan lahan muka gambut juga menyebabkan fenomena lain seperti banjir dan kerusakan infrastruktur sehingga diperlukan pemantauan fenomena penurunan muka gambut sebagai upaya mitigasi. Tujuan penelitian ini adalah (1) mengetahui korelasi pengaruh intensitas kebakaran hutan dan lahan di KHGSS pada tahun 2019 terhadap tingkat penurunan muka lahan gambut, (2) mengetahui korelasi pengaruh perubahan tutupan lahan akibat kebakaran hutan dan lahan di KHGSS pada tahun 2019 terhadap tingkat penurunan muka lahan gambut, (3) mengetahui korelasi antara lamanya kejadian kebakaran terhadap tingkat penurunan muka lahan gambut. (4) mengidentifikasi pola sebaran dan besaran penurunan muka lahan gambut setelah kebakaran hutan dan lahan pada 2019 di KHGSS.

Pada penelitian ini melakukan perhitungan penurunan muka lahan gambut menggunakan citra satelit Sentinel-1A dengan metode *Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar* (DInSAR) di aplikasi SNAP. Citra satelit Sentinel-1A merupakan satelit yang menghasilkan citra radar dengan polarisasi yang dipilih menggunakan polarisasi VV untuk mendapatkan data permukaan bumi secara vertikal. Metode DInSAR merupakan metode pencitraan radar dengan melakukan proses perubahan dari dua citra radar untuk mengidentifikasi perubahan spasial dalam bentuk fase. Penelitian ini dilakukan perhitungan tingkat penurunan muka lahan gambut sebelum terjadinya karhutla (periode Oktober 2018 – Juni 2019) dan setelah terjadinya karhutla (periode Desember 2019 – Agustus 2020). Pengidentifikasi pengaruh dari kebakaran terhadap penurunan muka lahan gambut, dilakukan pengamatan spasial dengan 4 faktor yaitu pengamatan pengaruh pada kepadatan titik panas yang berada di KHGSS, pengaruh tingkat keparahan kebakaran melalui metode *Normalized Burn Ratio* (NBR), pengaruh perubahan tutupan lahan, dan pengaruh lamanya kebakaran. Perhitungan NBR dan identifikasi perubahan tutupan lahan dilakukan menggunakan citra satelit Landsat-8 OLI/TIRS pada aplikasi ArcGIS. Masing-masing faktor yang menunjukkan perubahan dan nilai keparahan tertinggi pada saat terjadinya karhutla tahun 2019 di KHGSS akan dilakukan pengamatan tingkat nilai penurunan muka lahan gambut untuk data

setelah terjadinya karhutla dan membandingkannya dengan data penurunan muka lahan gambut sebelum terjadinya karhutla di titik yang sama sesuai amatan. Hasil dari penelitian ini berupa (1) sebaran data penurunan muka lahan gambut di KHGSS sesuai waktu amatannya, (2) peta setiap faktor, (3) nilai korelasi dan pengaruh dari setiap faktor terhadap perubahan penurunan muka lahan gambut.

Kebakaran hutan dan lahan di KHGSS tahun 2019 berdampak terhadap penurunan muka lahan gambut dari sebelum kebakaran memiliki rata-rata subsiden 3.103 cm atau bernilai tidak terjadi penurunan muka lahan gambut dan setelah kebakaran menjadi -3.320 cm atau bernilai terjadi penurunan muka lahan gambut. Wilayah yang terjadi kebakaran berada pada wilayah selatan KHGSS dan tingginya nilai penurunan muka lahan gambut pada wilayah tersebut. Faktor pengamatan kepadatan titik panas dan lama kebakaran berkorelasi sedang atau cukup terhadap subsiden dengan nilai -0.465 dan -0.402. Faktor pengamatan keparahan kebakaran dan perubahan tutupan lahan berkorelasi sangat lemah terhadap subsiden dengan nilai -0.184 dan -0.168. Seluruh nilai korelasi bertanda negatif (-) yang berarti adalah seluruh faktor amatan dapat menyebabkan penurunan muka lahan gambut dengan semakin tinggi kelas faktor maka semakin terjadi penurunan muka lahan gambut.

Kata kunci : DInSAR, gambut, kebakaran hutan dan lahan, NBR, radar

I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebakaran hutan dan lahan yang terjadi 2 dekade terakhir merupakan fenomena kebakaran hutan yang sulit untuk di atasi, hal ini dikarenakan masih minimnya penegakan hukum atas pelaku kebakaran hutan dan sulitnya melacak pelaku pembakaran hutan. Selain karena aktivitas manusia kebakaran hutan juga disebabkan oleh faktor alam antara lain oleh pengaruh *el-nino* yang menyebabkan kemarau berkepanjangan sehingga tanaman menjadi kering. Tanaman kering merupakan bahan bakar potensial kebakaran jika terkena percikan api dari pembakaran lainnya baik disengaja maupun tidak disengaja (Agustiar *et al.* 2019). Berdasarkan data yang bersumber dari Kementerian Kehutanan dan Lingkungan Hidup Republik Indonesia hingga akhir tahun 2019 sekitar 1.649.258 ha hutan dan lahan di Indonesia habis terbakar akibat bencana kebakaran hutan dan lahan ini. Provinsi Sumatera selatan menjadi provinsi dengan luas kebakaran hutan dan lahan tertinggi di Indonesia yaitu mencapai 336.798 ha dan sekitar 136.875 ha diantaranya merupakan kawasan gambut.

Berulangnya kebakaran hutan ini jelas menjadi ancaman bagi pembangunan yang berkelanjutan. Ancaman kebakaran tersebut dapat dilihat dari berbagai kerugian yang terjadi di masyarakat. Secara tidak langsung masyarakat mengalami kerugian sosial berupa hilangnya hutan sebagai sumber mata pencaharian, hilangnya habitat tempat keanekaragaman hayati flora dan fauna, dan rusaknya ekosistem penting yang memberikan jasa lingkungan sebagai fungsi ekologis. Dampak terhadap lingkungan diantaranya adalah hilangnya fungsi hutan secara utuh seperti menjaga kesuburan tanah, mengatur tata air, dan menjaga iklim (Ulya dan Yunardy 2016). Menurut Rina (2018) akibat kebakaran hutan, banyak lahan gambut yang ditelantarkan, selain itu kebakaran hutan juga mengakibatkan pemadatan (*compaction*) yang dapat mempercepat terjadinya oksidasi atau dekomposisi dari bahan organik. Permasalahan tersebut dapat menyebabkan hilangnya air di lahan gambut sehingga gambut mudah terbakar dan mengalami penurunan muka gambut.

Terjadinya penurunan muka gambut disebabkan oleh pengeringan yang berlebihan, kebakaran atau pembakaran, intensifikasi pemanfaatan serta upaya konservasi yang kurang memadai (Ratningsih 2017). Apabila mengalami kekeringan berlebihan, koloid gambut menjadi rusak sehingga terjadi gejala kering yang tetap dan gambut berubah sifat menjadi arang. Hal ini menyebabkan gambut tidak mampu lagi menyerap hara dan menahan air sehingga membuatnya mudah tererosi (Sarwono 2003). Penurunan muka gambut juga dapat menyebabkan banjir dan kerusakan infrastruktur mengakibatkan terjadinya hambatan pembangunan dan menimbulkan kerugian bagi masyarakat sehingga perlu dilakukannya upaya mitigasi. Salah satu upaya mitigasi ini adalah dengan pemantauan fenomena penurunan muka gambut.

Teknologi yang digunakan dalam pemantauan penurunan muka gambut salah satunya adalah metode pengolahan citra radar yaitu DInSAR (*Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar*). DInSAR adalah metode yang telah dikembangkan dengan baik selama beberapa dekade terakhir untuk pengamatan

penurunan muka lahan dengan akurasi yang tinggi. Selain itu, pengamatan dengan metode DInSAR ini dapat dilakukan dengan biaya yang rendah menggunakan Citra Sentinel-1A. Citra Sentinel-1A merupakan citra radar berjenis SAR yang menyediakan kemampuan operasional independen untuk pemetaan radar terus menerus dari bumi dengan frekuensi, cakupan, ketepatan waktu dan keandalan ditingkatkan untuk layanan operasional (ESA 2014). Selain itu citra Sentinel-1A juga dapat memuat informasi yang lebih fleksibel dalam perolehan data karena tidak terhalang oleh gangguan awan dan cuaca sehingga dapat digunakan untuk memperoleh informasi kondisi lahan (Fathoni *et al.* 2017).

Penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG) memainkan peran penting dalam studi faktor perhitungan tingkat penurunan muka lahan gambut. Penginderaan jauh digunakan untuk berbagai aspek studi kebakaran, pemetaan daerah yang terbakar, dan untuk mengamati serta memantau hutan dan lahan. Penelitian ini penting dilakukan untuk menggambarkan dan memberikan informasi penting mengenai pola sebaran dan besaran penurunan muka lahan gambut di Kesatuan Hidrologis Gambut Sungai Saleh–Sungai Sugihan (KHGSS) akibat terjadinya kebakaran hutan dan lahan pada 2019. Dengan adanya pengukuran tersebut diharapkan upaya mitigasi setelah kebakaran yang lebih baik dapat dilakukan untuk meminimalkan berbagai kerugian yang dapat ditimbulkan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, upaya pencegahan, perlindungan, dan rehabilitasi kembali dari kebakaran hutan perlu dilakukan. Dampak dari kejadian kebakaran hutan terutama pada lahan gambut, menyebabkan rusaknya gambut seperti penurunan muka lahan gambut. Hal ini dapat menyebabkan berbagai bencana seperti banjir, keamblesan tanah, hingga berubahnya fungsi lahan menjadi genangan yang tidak termanfaatkan. Segala hal kebencanaan tersebut merupakan hasil dari hilangnya fungsi gambut seperti mengikat air karena sifatnya gambut seperti spons pada tanah (Wahyunto *et al.* 2005). Jika gambut rusak maka air akan tidak tertahan sehingga akan langsung berdampak ke masyarakat sekitar lahan. Upaya rehabilitasi dampak kebakaran hutan menjadi hal penting, kurangnya rehabilitasi pada lahan kebakaran menyebabkan hutan-hutan tetap rusak dan fenomena penurunan muka lahan gambut (*peatland subsidence*) akibat kebakaran terus terjadi. Oleh karena itu, diperlukan data-data dasar dalam upaya penanganan yang tepat dan fokus lokasi dalam upaya penanganan setelah kebakaran menggunakan bantuan penginderaan jauh dan sistem informasi geografis (SIG). Penelitian ini dapat dirumuskan dalam beberapa permasalahan di antaranya yaitu :

1. Bagaimana pengaruh intensitas kebakaran hutan dan lahan di KHGSS terhadap tingkat penurunan muka lahan gambut?
2. Bagaimana pengaruh perubahan tutupan lahan setelah kebakaran hutan dan lahan di KHGSS terhadap tingkat penurunan muka lahan gambut?
3. Bagaimana pengaruh lama kebakaran setelah kebakaran hutan dan lahan di KHGSS terhadap tingkat penurunan muka lahan gambut?
4. Berapa tingkat penurunan muka lahan gambut di KHGSS sebelum dan setelah kebakaran hutan dan lahan dari pengamatan metode DInSAR?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui korelasi pengaruh intensitas kebakaran hutan dan lahan di KHGSS pada tahun 2019 terhadap tingkat penurunan muka lahan gambut.
2. Mengetahui korelasi pengaruh perubahan tutupan lahan akibat kebakaran hutan dan lahan di KHGSS pada tahun 2019 terhadap tingkat penurunan muka lahan gambut.
3. Mengetahui korelasi antara lamanya kejadian kebakaran terhadap tingkat penurunan muka lahan gambut.
4. Mengidentifikasi besaran dan pola sebaran penurunan muka lahan gambut setelah kebakaran hutan dan lahan pada 2019 di KHGSS.

1.4 Manfaat

Hasil dari penelitian ini diharapkan mampu menyediakan pelayanan informasi data tingkat penurunan muka lahan gambut setelah terjadinya kebakaran hutan dan lahan untuk diimplementasikan dalam upaya penanganan dampak kebakaran dan upaya mitigasi untuk mencegah kebencanaan akibat adanya penurunan muka lahan gambut.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini adalah kejadian kebakaran hutan dan lahan di Kesatuan Hidrologis Gambut Sungai Saleh – Sungai Sugihan (KHGSS), Provinsi Sumatera Selatan pada tahun 2019. Titik panas (*hotspot*) diketahui secara visual dari satelit sensor Modis (Aqua dan Terra) dan satelit sensor VIIRS (NOAA dan SNPP) yang diperoleh dari *website Fire Information for Resource Management System (FIRMS)*. Area terdampak kebakaran dianalisis menggunakan citra satelit Landsat-8 OLI/TIRS dengan metode perhitungan *Normalized Burn Ratio (NBR)*. Citra satelit Landsat-8 OLI/TIRS juga digunakan untuk melakukan identifikasi perubahan tutupan lahan dengan melakukan klasifikasi perubahan tutupan lahan dengan metode *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*. Operasi pengolahan data citra satelit Landsat-8 OLI/TIRS dilakukan pada aplikasi ArcGIS.

Dalam melakukan perhitungan penurunan muka lahan gambut dilakukan pengolahan citra satelit radar yaitu citra satelit Sentinel-1A dengan metode *Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR)*. Metode ini menghasilkan nilai selisih setiap fase dari citra radar (deformasi) sehingga nilai perubahan bentukan permukaan bumi dapat diketahui seperti penurunan muka lahan, khususnya di lahan gambut. Seluruh proses dalam pengolahan citra satelit Sentinel-1A menggunakan aplikasi SNAP yang merupakan aplikasi resmi dari Sentinel.

Objek penelitian ini adalah Provinsi Sumatera Selatan sebagai provinsi tertinggi dalam kejadian kebakaran hutan dan lahan pada tahun 2019 yang difokuskan pada wilayah KHGSS (KLHK 2020). Penelitian ini akan mencari dan mendalami terkait hubungan intensitas kebakaran berupa faktor kepadatan titik

panas, keparahan dampak kebakaran, dan perubahan tutupan lahan yang terjadi terhadap kecepatan penurunan muka lahan gambut. Penelitian ini juga akan mengamati hubungan lamanya kebakaran terhadap kecepatan penurunan muka lahan gambut.

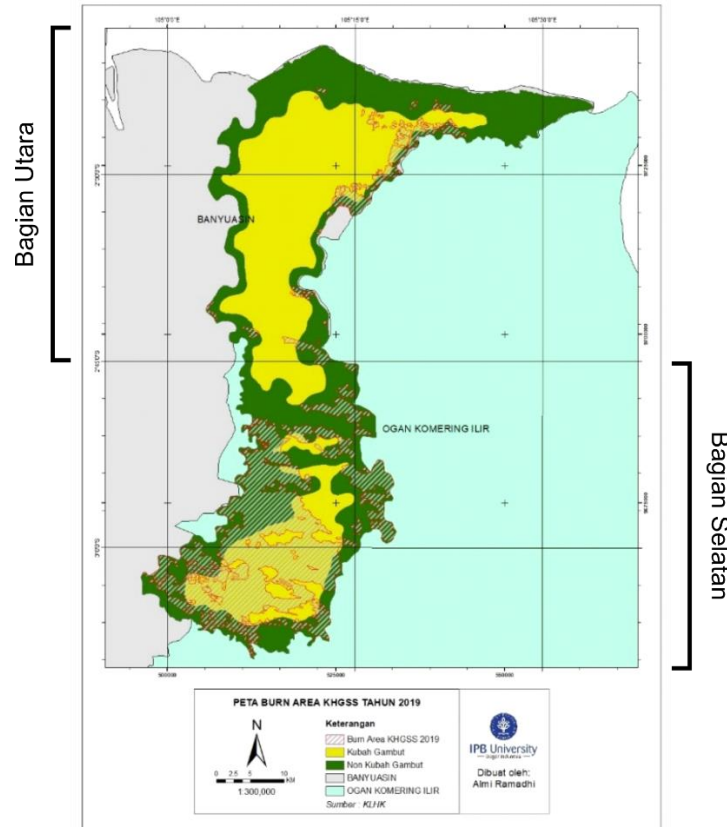
1.6 Hipotesis

Dasar dari penelitian ini untuk menjawab hipotesis dari peneliti yaitu :

1. Terdapat korelasi kepadatan titik panas terhadap kecepatan penurunan muka lahan gambut.
2. Terdapat korelasi tingkat kelas keparahan kebakaran hutan dan lahan terhadap kecepatan penurunan muka lahan gambut.
3. Terdapat korelasi perubahan tutupan lahan akibat kebakaran hutan dan lahan terhadap kecepatan penurunan muka lahan gambut.
4. Terdapat korelasi lamanya kejadian kebakaran terhadap kecepatan penurunan muka lahan gambut.

II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kondisi Lokasi Penelitian



Gambar 1 Peta *burn area* KHGSS 2019

Penelitian ini akan mengamati lokasi yaitu Kesatuan Hidrologis Gambut Sungai Saleh – Sungai Sugihan (KHGSS). Seperti peta yang ditampilkan pada Gambar 1, KHGSS merupakan wilayah gambut yang termasuk lintas kabupaten/kota dengan berada di dua wilayah administrasi kabupaten yaitu Kabupaten Banyuasin dan Kabupaten Ogan Komering Ilir. KHGSS merupakan salahsatu wilayah gambut yang terkena dampak cukup berat akibat kebakaran hutan dan lahan bahkan sejak tahun 2012 hingga 2019. KHGSS memiliki luas sekitar 189.652 ha (Khakim *et al.* 2020)

Pada penelitian ini akan dilakukan pengamatan secara spasial terhadap dampak kebakaran hutan dan lahan yang terjadi di KHGSS pada tahun 2019. Lokasi ini sudah sekitar 4 tahun sudah melewati kondisi perbaikan setelah kebakaran tahun 2015, namun pada tahun 2019 berdasarkan data hotspot dan bekas kebakaran (*burn area*) 2019 terjadi kembali kebakaran yang cukup besar dibagian selatan dan sedikit dibagian utara. Berdasarkan lokasi bekas kebakaran yang ditunjukkan oleh KLHK (2020) kebakaran di KHGSS terjadi pada kisaran bulan Agustus hingga Oktober 2019 dengan luas sekitar 53 ribu ha atau sekitar 28% dari luas area KHGSS. Pemilihan lokasi di KHGSS dikarenakan merupakan wilayah KHG yang mengalami kebakaran hutan dan lahan terluas pada wilayah Kabupaten Banyuasin dan Kabupaten Ogan Komering Ilir ditahun 2019.

2.2 Estimasi Area Terbakar

Area terbakar atau *Burn area* dari kejadian kebakaran hutan dan lahan merupakan suatu hamparan lahan yang didominasi oleh tutupan vegetasi hutan maupun vegetasi non-hutan seperti semak, belukar, ladang, perkebunan, dan tegalan. Area terbakar sering sekali ditunjukkan dan bahkan disamakan dengan titik panas. Dalam konteks kebakaran hutan dan lahan, titik panas adalah suatu daerah di permukaan bumi yang memiliki suhu relatif lebih tinggi dibandingkan daerah di sekitarnya berdasarkan ambang batas suhu tertentu. Titik panas merupakan indikasi potensi akan terjadi kebakaran, sehingga belum tentu akan terjadi kebakaran. Area terbakar merupakan suatu area yang dapat dikatakan sebagai kebakaran aktual dengan dibantu pemantauannya oleh titik panas agar diketahui posisi kebakaran potensialnya.

Teknologi kini semakin maju dan berkembang, contoh dari teknologi yang berkembang dalam memantau dan memonitoring titik panas dan area terbakar adalah penggunaan penginderaan jauh atau *Geographic Information System* (GIS). Penginderaan jauh adalah ilmu dan seni untuk memperoleh informasi tentang suatu obyek, daerah atau fenomena melalui analisis data yang diperoleh dengan suatu alat tanpa kontak langsung dengan objek, daerah atau fenomena yang dikaji (Lillesand dan Kiefer 1994). Penginderaan jauh dapat membantu mengidentifikasi kejadian kebakaran dengan temuan titik panas (*hotspot*). Titik panas berupa gambar piksel yang memiliki kecerahan suhu yang lebih tinggi dibandingkan daerah sekitarnya yang dideteksi oleh satelit, dan area tersebut direpresentasikan dalam suatu titik yang memiliki koordinat tertentu (PPPJL 2017). Titik panas diindikasikan sebagai potensi akan terjadi kebakaran, sehingga belum tentu akan terjadi kebakaran. Suhu permukaan minimum dari suatu titik panas yang dapat dianggap satelit sebagai satu titik panas sekitar 37-42 °C (Chrisnawati 2007). Pemetaan titik panas aktif

dilakukan untuk memberikan gambaran kebakaran yang sedang terjadi pada suatu wilayah dan untuk membantu melihat kejadian kebakaran berikutnya yang mungkin terjadi (EFFIS 2017). Contoh satelit yang umumnya digunakan dalam pengamatan titik panas adalah *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), *Aqua/Terra* (MODIS), *Landsat*, dan *Suomi National Polar-orbiting Partnership* (SNPP).

Pengidentifikasi area terbakar dan estimasi tingkat keparahannya dapat dilakukan dengan menggunakan metode *Normalized Burning Ratio* (NBR) pada citra inframerah. Rumus yang digunakan pada metode NBR menggunakan kanal *Near-Infrared* (NIR) dan kanal *Shortwave-Infrared* (SWIR) (Roy *et al.* 2006). Vegetasi sebelum terbakar memiliki reflektansi yang tinggi terhadap gelombang kanal *Near Infrared* (NIR) dan reflektansi yang rendah terhadap gelombang kanal *Shortwave Infrared* (SWIR). Setelah terbakar daerah tersebut memiliki reflektansi yang rendah terhadap gelombang kanal *Near Infrared* (NIR) dan reflektansi yang tinggi terhadap gelombang kanal *Shortwave Infrared* (SWIR). Nilai NBR yang tinggi umumnya menunjukkan vegetasi yang masih baik sedangkan nilai NBR yang rendah menunjukkan berupa tanah kosong dan daerah baru terbakar (Loboda *et al.* 2007).

Kejadian kebakaran hutan dan lahan dapat menyebabkan terjadinya perubahan tutupan lahan yang sebelumnya merupakan vegetasi menjadi area yang tidak bervegetasi atau bervegetasi rusak. Pemantauan untuk melihat perubahan dan perbedaan hutan atau lahan yang terbakar dapat menggunakan metode *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) pada citra inframerah. NDVI dan NBR merupakan dua metode analisis citra inframerah yang sama-sama menghitung perubahan tutupan di suatu lahan dengan sama-sama menggunakan gelombang NIR. Perbedaan antara NDVI dan NBR adalah pada perhitungan pasangan gelombang dari NIR. Pada NDVI menggunakan gelombang Red sedangkan NBR menggunakan gelombang SWIR. Menurut penelitian dari Parwati *et al.* (2012), dalam hal menunjukkan lahan bekas terbakar dapat direpresentasikan secara baik melalui metode NBR hal ini karena NBR menggunakan gelombang SWIR yang sangat peka terhadap kondisi kadar air suatu lahan/tanaman. Namun, dalam hal mengidentifikasi kerapatan vegetasi sebelum dan sesudah kejadian kebakaran, metode NDVI menjadi paling baik karena menggunakan gelombang Red sehingga dapat memvisualisasikan secara baik tampilan lahan pada citra.

2.3 Sentinel-1A

Sentinel-1 merupakan satelit seri pertama dari tujuh isi Sentinel yang diluncurkan sebagai bagian program *Copernicus* yang digagas oleh *European Commission* (EC) dan *European Space Agency* (ESA) (ESA 2014). Sentinel-1 membawa *Radar Aperture C-band* dengan dua buah satelit, yakni Sentinel-1A dan Sentinel-1B yang mengorbit secara tandem berjauhan 180°. Sentinel-1 terbagi menjadi dua satelit, yaitu Sentinel-1A yang diluncurkan pada tanggal 3 April 2014 dan Sentinel-1B yang diluncurkan pada tanggal 25 April 2016. Satelit ini melakukan pencitraan pada daerah yang sama dengan selang waktu 12 hari di ketinggian orbit 693 km dan pada inklinasi 98,18°. Ruang segmen dari misi GMES Sentinel-1 diperkirakan terdiri dari minimal dua satelit yang mengorbit sinkron

matahari identik dekat kutub. Sensor *C-band* SAR yang merupakan citra radar dapat menembus awan dan hujan sehingga proses perekamannya bebas dari gangguan cuaca dan menghasilkan citra dalam segala cuaca dan akurat (Bayanuddin 2016).

Produk data yang dihasilkan satelit Sentinel-1A terbagi menjadi empat mode resolusi spasial yaitu *Strip Map* (SM) memiliki lebar sapuan 80 km dan resolusi spasial 5x5 m, *Interferometric Wide Swath* (IW) memiliki lebar sapuan 250 km dan resolusi spasial 5x20 m, *Extra-Wide Swath* (EW) memiliki lebar sapuan 400 km dan resolusi spasial 25x100 m, dan *Wave-Mode* (WV) memiliki lebar sapuan 20x20 km dan resolusi spasial 5x20 m (ESA 2014). Adapun produk yang tersedia pada Sentinel-1A adalah polarisasi VV dan polarisasi VH dengan lintasan satelit *ascending* maupun *descending*. Polarisasi VV merupakan rambatan sinyal radar yang dipancarkan secara vertikal serta diterima oleh sensor secara vertikal terhadap pesawat. Polarisasi VH merupakan rambatan sinyal radar yang dipancarkan secara vertikal serta diterima oleh sensor secara horizontal terhadap pesawat. Data yang tersedia juga bervariasi dan berbeda karakter. Produk data untuk karakteristik citra Sentinel-1A ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Karakteristik produk Sentinel-1A

Produk Sentinel-1A	Ukuran Data	Karakteristik
Level-0 Raw Data	1 GB	Data mentah
Level-1 SLC	8 GB	Terdiri dari amplitudo dan fasa
Level-1 GRD	1 GB	Terdiri dari amplitudo dengan intensitas <i>multilook</i>
Level-2 Ocean		Terdapat parameter arus, gelombang, dan arah angin

2.4 Metode DInSAR

Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR) merupakan suatu metode pencitraan radar ke samping dengan memanfaatkan perbedaan fasa dua atau lebih citra SAR pada akuisisi yang berbeda dalam pengolahannya untuk mendapatkan topografi dan deformasi (Islam *et al.* 2017). Metode ini dilakukan dalam mendapatkan data deformasi dengan adanya data acuan sehingga dengan mengolah dua sampai beberapa citra dapat mengetahui perubahannya melalui DInSAR. Metode DInSAR pada dasarnya menggunakan dua citra SAR (data *master* dan *slave*) untuk mengidentifikasi perubahan spasial dengan memanfaatkan koheren atau perbedaan dalam pengukuran fase interferometrik dari permukaan yang sama (Francis *et al.* 1996). Hasil dari perbedaan dari fase tersebut menghasilkan jenis citra baru yang disebut interferogram. Interferogram akan menunjukkan perubahan yang terjadi pada wilayah tersebut mengenai kenaikan atau penurunan muka tanah.

Fase interferometric ($\Delta\phi$) yang dihasilkan oleh DInSAR terdiri dari lima kontribusi sinyal fase: $\Delta\phi_{flat}$ adalah fasa akibat pengaruh topografi, $\Delta\phi_{elevasi}$ adalah

fasa akibat pengaruh ketinggian, $\Delta\phi_{deformasi}$ adalah fase akibat adanya perubahan di permukaan (deformasi), $\Delta\phi_{atmosfer}$ adalah fase akibat pengaruh atmosfer, dan $\Delta\phi_{noise}$ adalah fase akibat *noise*. Berdasarkan Cyntia dan Pudja (2018) rumusan fase yang digunakan dalam metode DInSAR adalah :

$$\Delta\phi = \Delta\phi_{flat}(a) + \Delta\phi_{elevasi}(b) + \Delta\phi_{deformasi}(c) + \Delta\phi_{atmosfer} + \Delta\phi_{noise}$$

Keterangan :

$$a = -\frac{4\pi}{\lambda} \frac{Bn}{R \tan\theta}$$

$$b = -\frac{\Delta q}{\sin\theta} \frac{Bn}{R} \frac{4\pi}{\lambda}$$

$$c = +\frac{4\pi}{\lambda} d$$

λ = Panjang gelombang (m)

Bn = baseline tegak lurus slant (baseline penpendicular) (m)

R = jarak radar ke target (m)

θ = sudut insiden (derajat)

q = perbedaan ketinggian (altitude) antar target (m)

d = perpindahan relative proyeksi slant (m)

III METODE

3.1 Waktu dan Tempat

Pengamatan yang dilakukan pada penelitian ini merupakan kejadian kebakaran hutan dan lahan pada tahun 2019 dengan rentang waktu amatan spasial Oktober 2018 – Agustus 2020. Pemilihan waktu tersebut merupakan hasil analisis melalui sebaran titik panas bulanan pada tahun 2019 seperti pada Gambar 3 dan selang waktu pengamatan subsiden sebelum-sesudah kebakaran selama 8 bulan. Objek penelitian adalah keseluruhan area gambut di wilayah KHGSS. Pemilihan obyek penelitian dilakukan secara *purposive* (sengaja). Pertimbangannya adalah 28% wilayah dari KHGSS terdampak kebakaran hutan dan lahan. Pengolahan dan analisis data citra dilakukan pada bulan Oktober 2020 sampai dengan Januari 2021 di Laboratorium *Remote Sensing* dan GIS, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan IPB.

3.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Data titik panas Indonesia 2019 yang diperoleh dari *website* FIRMS (<https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/firms>).
2. Data *burn area* Indonesia 2019 yang diperoleh dari KLHK.
3. Data kawasan gambut yang diperoleh dari KLHK.
4. Citra Sentinel-1A (estimasi Oktober 2018 – Agustus 2020) wilayah KHGSS yang diperoleh dari *website* ESA (<http://scihub.copernicus.eu/>).

5. Citra Landsat-8 OLI/TIRS (estimasi Juli – Oktober 2019) wilayah KHGSS yang diperoleh dari *website* USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).
6. Data administrasi Provinsi Sumatera Selatan.
7. DEM SRTM 30 M Provinsi Sumatera Selatan yang diperoleh dari *website* DEMNAS BIG.

3.3 Alat

Alat yan digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Laptop prosesor Intel Core i7 dan RAM minimal 16 Gb dengan OS Windows 10.
2. Aplikasi SNAP yang dapat diunduh pada *website* ESA (<http://step.esa.int/main/download/snap-download>).
3. Plug-in SNAPHU 1.4.2 yang dapat diunduh pada *website* ESA (<https://step.esa.int/main/third-party-plugins-2/snaphu/>).
4. Aplikasi Arc Map 10.3
5. Aplikasi SPSS
6. Aplikasi Microsoft Excel

3.4 Prosedur Penelitian

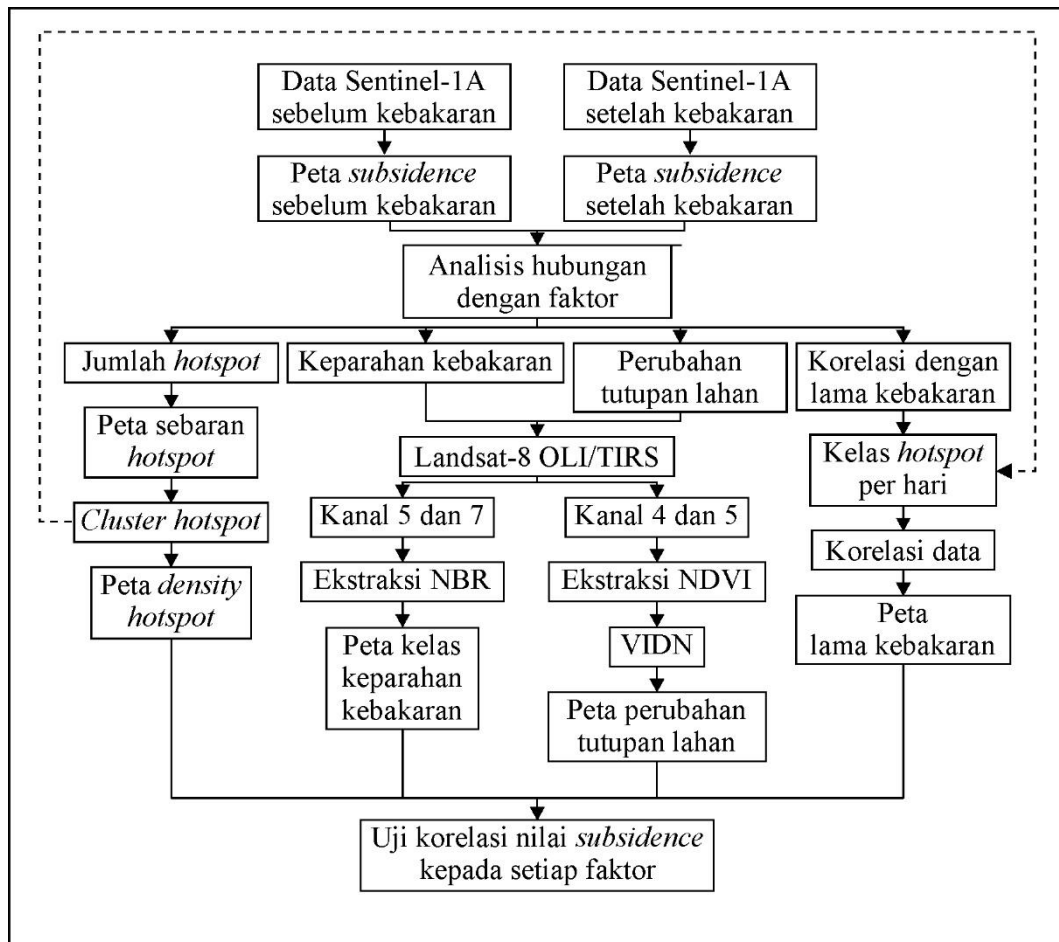
Penelitian dilaksanakan melalui beberapa tahapan meliputi pengumpulan data, pengolahan data, dan analisis data yang telah tersaji dalam matriks Tabel 2.

Tabel 2 Tahapan penelitian (tujuan, faktor, metode analisis, sumber data, dan luaran)

Tujuan	Faktor	Metode analisis	Sumber data		Luaran
			Primer	Sekunder	
Mengetahui korelasi pengaruh intensitas kebakaran hutan dan lahan di KHGSS pada tahun 2019 terhadap tingkat penurunan muka lahan gambut	Kepadatan titik panas	Penggunaan metode <i>Build Density Point</i>	Data penurunaan muka lahan gambut dari citra Sentinel-1A	Data titik panas dari satelit Terra/Aqua, NOAA, dan VIIRS dari FIRMS	Nilai korelasi penurunaan muka lahan gambut akibat kepadatan titik panas
	Keparahan kebakaran	Analisis citra Landsat-8 dengan model NBR	Data penurunaan muka lahan gambut dari citra Sentinel-1A		Nilai korelasi penurunaan muka lahan gambut akibat keparahan

			Data Landsat-8		nilai kebakaran
Mengetahui korelasi pengaruh perubahan tutupan lahan akibat kebakaran hutan dan lahan di KHGSS pada tahun 2019 terhadap tingkat penurunan muka lahan gambut terhadap tingkat penurunan muka lahan gambut	Perubahan tutupan lahan	Analisis citra Landsat-8 dengan model NDVI	Data penurunan muka lahan gambut dari citra Sentinel-1A Data Landsat-8		Nilai korelasi penurunan muka lahan gambut akibat perubahan tutupan lahan
Mengetahui korelasi antara lamanya kejadian kebakaran terhadap tingkat penurunan muka lahan gambut	Lama terjadinya kebakaran	Analisis sebaran titik panas harian dan overlay dengan data <i>burn area</i> KLHK di KHGSS tahun 2019	Data penurunan muka lahan gambut dari citra Sentinel-1A Data <i>burn area</i> KLHK di KHGSS tahun 2019	Data titik panas dari satelit Terra/Aqua, NOAA, dan VIIRS dari FIRMS	Nilai korelasi penurunan muka lahan gambut akibat lamanya kejadian kebakaran
Mengidentifikasi pola sebaran dan besaran penurunan muka lahan gambut setelah kebakaran hutan dan lahan	Waktu sebelum dan sesudah terjadinya kebakaran	Perhitungan nilai penurunan muka lahan gambut	Data penurunan muka lahan gambut dari citra Sentinel-1A		Nilai penurunan muka lahan gambut sebelum dan sesudah kebakaran

Penelitian ini dilakukan perhitungan tingkat penurunan muka lahan gambut sebelum terjadinya karhutla (periode Oktober 2018 – Juni 2019) dan setelah terjadinya karhutla (periode Desember 2019 – Agustus 2020). Untuk mengidentifikasi pengaruh dari kebakaran terhadap penurunan muka lahan gambut, dilakukan pengamatan spasial dengan 4 faktor yaitu pengamatan pengaruh kepadatan titik panas yang berada di KHGSS, pengaruh tingkat keparahan kebakaran, pengaruh perubahan tutupan lahan, dan pengaruh lamanya kejadian kebakaran. Alur tahapan penelitian disajikan dalam Gambar 2.



Gambar 2 Diagram alir penelitian

3.5 Pengukuran Penurunan Muka Lahan

3.5.1 Pengumpulan Data

Analisis penurunan muka lahan khususnya yang berada di KHGSS menggunakan citra Sentinel-1A SAR Data yang merupakan jenis citra radar sehingga dapat peka terhadap perubahan deformasi di permukaan bumi. Penelitian

untuk menentukan *peatland subsidence* akan menggunakan produk resolusi atau mode akuisisi *IW* dengan citra sentinel Level-1 SLC pada polarisasi *VV* atau lintasan *ascending*. Hal ini dikarenakan mode akuisisi *IW* memiliki resolusi spasial yang cukup baik dan merupakan mode utama disaat melakukan analisis daratan. Penggunaan mode polarisasi *VV* juga bertujuan untuk mendapatkan perubahan data secara vertikal. Mode *IW* mengakuisisi 3 sub-petak dengan menggunakan TOPSAR (*Terrain Observation with Progressive Scan SAR*). Mode TOPSAR dimaksudkan untuk menggantikan mode ScanSAR konvensional dengan cakupan dan resolusi yang sama akan tetapi rasio *noise* menjadi kecil. Teknologi ini memiliki kelebihan yang dapat menghasilkan kualitas gambar yang homogen dengan *noise* yang dapat diminimalisir (*Signal-to-Noise Ratio*) hampir seragam (Emiyati *et al.* 2016).

Pengukuran penurunan muka lahan menggunakan sebanyak 4 citra Sentinel-1A atau dua pasang citra *master* dan *slave*. Periode sebelum terjadinya kebakaran menggunakan temporal citra Sentinel-1A pada tanggal 27 Oktober 2018 sebagai citra *master* dan pada tanggal 24 Juni 2019 sebagai citra *slave*. Periode setelah terjadinya kebakaran menggunakan temporal citra Sentinel-1A pada tanggal 9 Desember 2019 sebagai citra *master* dan pada tanggal 5 Agustus 2020 sebagai citra *slave*. Seluruh pasang citra berjarak 240 hari atau sekitar 8 bulan. Pemilihan rentang jarak pasang citra didasari pada penelitian Ratnaningsih dan Prastyaningsih (2017), bahwa subsiden gambut signifikan terjadi setelah 8 bulan. Karakteristik data yang digunakan terdapat pada Tabel 3.

Tabel 3 Produk Sentinel-1A yang digunakan

Tanggal Akuisisi	Level	Mode Akuisisi	Polarisasi	Sudut Pandang	Baseline Perpendicular (m)	Baseline Temporal (hari)
27/10/2018	1.0	IW	VV	<i>Ascending</i>	0,00	0
24/06/2019	1.0	IW	VV	<i>Ascending</i>	-36,66	240
9/12/2019	1.0	IW	VV	<i>Ascending</i>	0,00	0
5/08/2020	1.0	IW	VV	<i>Ascending</i>	-27,87	240

3.5.2 Pengolahan Data

Data-data yang diperoleh diproses dalam perangkat lunak SNAP dan dibantu oleh perangkat lunak SNAPHU dengan hasil akhir data deformasi topografi dari *Digital Elevation Model* (DEM) yang digunakan untuk membuat peta penurunan muka lahan gambut. Data penurunan muka lahan gambut hasil Sentinel-1A tidak dilakukan validasi lapang untuk uji akurasi tetapi hanya dilakukan verifikasi terhadap hasil pengukuran dari studi literatur.

Penelitian ini diawali dengan melakukan pengumpulan seluruh data kemudian melakukan pemrosesan masing-masing citra Sentinel-1A dengan metode DInSAR pada setiap waktu temporal (sebelum dan setelah kebakaran hutan dan lahan). Dalam melakukan pemrosesan satu citra Sentinel-1A dilakukan tahapan sebagai berikut :

1. Melakukan estimasi *baseline* untuk melihat hubungan pasangan citra *master* dan *slave*. Pada proses ini dalam satu pemrosesa citra, membutuhkan dua data satelit (pasangan) sebagai *master* (acuan) dan *slave* (peubah). Hal yang perlu

diperhatikan dalam menentukan pasangan satelit adalah pastikan estimasi jarak utama (*baseline perpendicular*) *master* dan *slave* tidak begitu besar untuk menghindari koherensi antardata yang buruk. Menurut Lazecky *et al.* (2018) bahwa toleransi tertinggi dari keambiguitas *baseline perpendicular* adalah sebesar ~3000 m dengan sebaiknya tidak melebihi ~100 m. Informasi *baseline* ini dapat dilihat pada menu *InSAR Stack Overview* di perangkat lunak SNAP.

2. Melakukan koregristrasi citra untuk menyatukan antar piksel *master* dan *slave*. Produk SLC level-1 IW Sentinel-1A disediakan sebagai 3 *sub-swath* terpisah (IW1, IW2, dan IW3) dan setiap *sub-swath* terdiri dari 9-10 *burst*. Pada lokasi KHGSS berada di IW1 dan memilih 5 *burst* yaitu *burst* 3-7. Sebelum dilakukan penyatuan, dilakukan proses koreksi orbit dengan *Sentinel Precise* dan tahapan *back-geocoding* dengan DEM SRTM 30 m dengan menggunakan metode *resampling bilinear interpolation* (metode pencitraan untuk meningkatkan atau mengurangi jumlah piksel dalam gambar digital sehingga menghasilkan gambar yang bagus)
3. Pembentukan interferogram dan koheren. Apabila nilai koherensi sudah lebih dari 0,2 maka dapat dilanjutkan ke tahap berikutnya (Chen dan Zebker 2001). Jika tidak, maka dilakukan kembali pencarian pasangan data untuk *master* dan *slave*. Semakin kecil nilai koherensi maka semakin rendah tingkat kecocokan antar citra tersebut.
4. Melakukan proses TOPSAR *Deburst*. Tujuan proses ini adalah melakukan penggabungan ketiga *burst* yang terpisah menjadi satu citra utuh.
5. Melakukan proses subset. Proses ini merupakan pemotongan citra sesuai daerah penelitian yang bertujuan untuk membuat proses *running* citra semakin ringan dan cepat.
6. Melakukan proses koreksi atau teknik *filtering*. Proses ini dilakukan dua tahap yaitu melakukan reduksi fasa *noise* dengan menggunakan *Goldstein Filtering* (Goldstein dan Werner 1998) dan melakukan proses *Multilooking* untuk mengurangi fasa *noise* pada citra SAR dengan membentuk piksel mendekati bujur sangkar.
7. Melakukan proses *Phase Unwrapping* yang dikerjakan dalam perangkat lunak SNAPHU. Setelah melakukan proses koreksi atau *filtering*, fasa-fasa yang sudah terbentuk dalam pemrosesan sampai *Multilooking* masih mengandung fasa ambiguitas, sehingga perlu dihilangkan fasa ambiguitas tersebut menjadi fasa absolut yang disebut *Phase Unwrapping*. Proses *Phase Unwrapping* mengubah fase relatif menjadi fase absolut yang hasilnya dapat dilakukan perubahan dari fase ke nilai ketinggian. Sebelumnya, untuk memasuki proses ke SNAPHU, hasil tahapan *Multilooking* perlu di ekspor *unwrap* dalam perangkat lunak SNAP. Setelah proses di SNAPHU selesai, dapat dikerjakan lagi menggunakan SNAP dengan setelan impor *unwrap*.
8. Konversi fase ke deformasi. Lakukan konversi data *unwrap* dari fasa ke tinggi untuk mengetahui perbedaan tinggi dari proses DInSAR atau mengonversi dari *slant to height* dengan menggunakan *Phase to Displacement* di perangkat lunak SNAP.
9. Melakukan proses *geocoding* atau *Range Doppler Terrain Correction* yang dibantu dengan DEMNAS dan menghasilkan nilai ketinggian yang sudah terkoreksi secara geometric dengan format koordinat WGS84.

10. Membuat peta deformasi atau peta spasial penurunan muka lahan gambut menggunakan Arc Map 10.3.
11. Langkah-langkah ini dilakukan masing-masing citra Sentinel-1A untuk setiap periode waktunya (sebelum dan pasca kebakaran hutan dan lahan di KHGSS tahun 2019) sesuai pemilihan resolusi temporal citra.

3.6 Faktor Kepadatan Titik Panas

3.6.1 Pengumpulan Data

Pada penelitian ini menggunakan data titik panas (*hotspot*) yang berasal dari FIRMS NASA dengan kombinasi data dari citra satelit sensor VIIRS (NOAA dan SNPP) dan citra satelit sensor MODIS (Aqua dan Terra). Data yang digunakan divisualisasikan dalam bentuk data titik (*point*). Periode data hotspot yang digunakan adalah Januari – Desember 2019.

3.6.2 Pengolahan Data

Proses pengolahan data titik panas agar didapatkan sebaran kepadatan titik panas dilakukan dengan klusterisasi spasial sebaran titik panas secara visual. Hasil dari pengolahan data adalah mendapatkan kerapatan secara jumlah pada kluster yang ditampakkan pada sebaran titik panas. Hasil dari data ini akan menunjukkan wilayah yang memiliki konsentrasi titik panas paling tinggi. Hal ini didasari bahwa visualisasi titik panas yang berkelompok menunjukkan bahwa terjadinya kebakaran di lahan tersebut.

Penelitian ini diawali dengan pengumpulan data titik panas yang diunduh pada *website* FIRMS. Kemudian melakukan ekstraksi data untuk divisualisasikan pada aplikasi ArcGIS. Setelah itu dilakukan pemetaan kerapatan titik panas. Langkah-langkah menentukan analisis kerapatan titik panas diantaranya:

1. Pengumpulan data titik panas (*hotspot*) dari citra satelit sensor VIIRS (NOAA dan SNPP) dan citra satelit sensor MODIS (Aqua dan Terra) dengan penggunaan seluruh kelas tingkat kepercayaan atau *confidence level*.
2. Melakukan proses *clip* agar titik panas terfokus hanya pada wilayah KHGSS.
3. Menggunakan fitur *point density analysis* pada aplikasi ArcGIS untuk menentukan lokasi indikasi area kebakaran dengan analisis kepadatan titik panas.
4. Melakukan kelas kepadatan titik panas dengan metode klasifikasi standar deviasi menjadi 4 kelas yaitu tingkat kepadatan sangat rendah, rendah, sedang, dan tinggi. Metode klasifikasi sebaran standar deviasi dilakukan karena dapat menunjukkan keragaman dan variasi dari nilai kepadatan titik panas setiap piksel citra. Menurut Kurniati dan Rahardjo (2015) bahwa klasifikasi sebaran standar deviasi sangat baik dalam mengelaskan keragaman data karena metode ini melakukan pengelasan menggunakan nilai keragaman dan ditentukan dari nilai rata-rata keseluruhan.
5. Melakukan analisis perbandingan nilai *subsidence* di area kelompok titik panas pada keadaan sebelum dan sesudah terjadinya kebakaran.

- Uji korelasi antara kepadatan titik panas terhadap tingkat penurunan muka lahan gambut

3.7 Faktor Keparahan Kebakaran

3.7.1 Pengumpulan Data

Data citra satelit yang digunakan adalah citra satelit Landsat-8 OLI/TIRS pada periode Juni hingga Desember tahun 2019. Kanal yang digunakan adalah kanal 5 dan 7 sensor OLI (*Operational Land Imager*). Level data citra yang digunakan adalah Level 1 Terrain (L1T). Analisis keparahan kebakaran pada satu periode kebakaran diperlukan 1 (satu) *scene* citra tanggal perekaman sebelum periode kebakaran dan 1 (satu) *scene* citra tanggal perekaman setelah periode kebakaran. Karakteristik data yang digunakan terdapat pada Tabel 4.

Tabel 4 Produk Landsat 8 yang digunakan

Citra	Tanggal Akuisisi	Level	Sudut Pandang	Waktu Kebakaran
Landsat 8 OLI/TIRS	21 Juni 2019	2.0	<i>Ascending</i>	Sebelum (<i>Pre</i>)
Landsat 8 OLI/TIRS	14 Desember 2019	2.0	<i>Ascending</i>	Sesudah (<i>Pasca</i>)

3.7.2 Pengolahan Data

Langkah awal dalam pengolahan citra satelit Landsat-8 OLI/TIRS adalah melakukan koreksi citra. Koreksi yang dilakukan berupa radiometrik. Koreksi radiometrik berguna untuk menghasilkan reflektansi permukaan. Selanjutnya melakukan pengolahan data citra dengan metode NBR yang memanfaatkan kanal 5 dan 7 citra Landsat-8 OLI/TIRS dengan seluruh kegiatan dilakukan pada aplikasi ArcGIS. Berikut langkah-langkah pemrosesan dan analisis data yang dilakukan :

- Melakukan fusi kanal, yaitu menggabungkan kanal 5 dan 7 dalam satu file himpunan data.
- Pembuatan citra NBR. Kanal 5 yang digunakan dapat menunjukkan penurunan vegetasi dan kanal 7 yang digunakan untuk variabel kebakaran. Persamaan yang digunakan untuk menghitung variabel tersebut adalah :

$$\mathbf{NBR} = \frac{B5 - B7}{B5 + B7}$$

Keterangan :

NBR = *Normalized Burn Ratio*

B5 = reflektansi kanal 5 (NIR; 0,845–0,885 μ m)

B7 = reflektansi kanal 7 (SWIR; 2,100–2,300 μ m)

- Proses 1 dan 2 dilakukan pada citra satelit Landsat-8 OLI/TIRS sebelum dan setelah kejadian kebakaran.

- Sebelum lanjut ke tahap berikutnya, citra yang sudah diolah dengan NBR dilakukan proses pemotongan (*clip*) agar terfokuskan pada wilayah kerja yaitu di KHGSS.
- Melakukan proses identifikasi area terbakar dengan cara ekstraksi piksel daerah terbakar dengan rumus yaitu (LAPAN 2015) :

$$\Delta NBR = NBR_{pre} - NBR_{post}$$

Keterangan :

- NBR_{pre} : Nilai NBR sebelum kebakaran
 NBR_{post} : Nilai NBR setelah kebakaran pada suatu piksel tertentu
 ΔNBR : Perubahan nilai NBR

- Membuat kelas keparahan kebakaran. Kelas keparahan kebakaran mengacu pada penelitian Que *et al.* (2019), yaitu:

Tabel 5 Kelas keparahan kebakaran

ΔNBR	Keparahan Kebakaran
$\Delta NBR < -0,25$	Pertumbuhan kembali pasca kebakaran yang tinggi
$-0,25 \leq \Delta NBR < -0,1$	Pertumbuhan kembali pasca kebakaran yang rendah
$-0,1 \leq \Delta NBR < 0,1$	Tidak terbakar
$0,1 \leq \Delta NBR < 0,27$	Keparahan kebakaran rendah
$0,27 \leq \Delta NBR < 0,44$	Keparahan kebakaran sedang-rendah
$0,44 \leq \Delta NBR < 0,66$	Keparahan kebakaran sedang-tinggi
$\Delta NBR \geq 0,66$	Keparahan kebakaran tinggi

- Melakukan analisis perbandingan nilai *subsidence* di area keparahan kebakaran pada keadaan sebelum dan sesudah terjadinya kebakaran.
- Uji korelasi antara kepadatan titik panas terhadap tingkat penurunan muka lahan gambut.

3.8 Faktor Perubahan Tutupan Lahan

3.8.1 Pengumpulan Data

Data citra satelit yang digunakan adalah citra satelit Landsat-8 OLI/TIRS pada periode Juni hingga Desember tahun 2019. Citra satelit yang digunakan adalah citra yang sama pada saat akan melakukan pemrosesan keparahan kebakaran sebelumnya. Dalam menentukan perubahan tutupan lahan, kanal yang digunakan pada citra satelit Landsat-8 adalah kanal 4 dan 5 sensor OLI (*Operational Land Imager*) yang sudah dilakukan koreksi geometrik dan radiometrik. Karakteristik data yang digunakan sama seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.

3.8.2 Pengolahan Data

Seluruh pengolahan data citra dilakukan pada aplikasi ArcGIS. Pengolahan ini menggunakan metode NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) dan VIDN (*Vegetation Index Differencing*) dengan menggunakan kanal 4 dan 5 pada citra satelit Landsat-8 yang sudah dilakukan koreksi geometrik dan radiometrik. Langkah-langkah dalam melakukan pengolahan data citra secara NDVI dan VIDN adalah :

1. Melakukan fusi kanal, yaitu menggabungkan kanal 4 dan 5 dalam satu file himpunan data.
2. Pembuatan citra NDVI. Persamaan yang digunakan untuk menghitung NDVI adalah :

$$NDVI = \frac{B5 - B4}{B5 + B4}$$

Keterangan :

NDVI = Nilai spektral saluran Near Infrared (*Normalized Difference Vegetation Index*)

B4 = reflektansi kanal 4 (Red; 0,64–0,67 μ m)

B5 = reflektansi kanal 5 (NIR; 0,845–0,885 μ m)

3. Proses 1 dan 2 dilakukan pada citra satelit Landsat-8 OLI/TIRS sebelum dan setelah kejadian kebakaran.
4. Sebelum lanjut ke tahap berikutnya, citra yang sudah diolah dengan NDVI dilakukan proses pemotongan (*clip*) agar terfokuskan pada wilayah kerja yaitu di KHGSS.
5. Melakukan proses VIDN atau perbedaan antar citra NDVI. Rumus yang digunakan adalah :

$$\Delta NDVI = NDVI_{pre-fire} - NDVI_{post-fire}$$

Keterangan :

$\Delta NDVI$: perubahan vegetasi atau perubahan nilai NDVI (VIDN)

$NDVI_{pre-fire}$: nilai NDVI citra sebelum kebakaran

$NDVI_{post-fire}$: nilai NDVI citra setelah kebakaran

6. Membuat kelas perubahan vegetasi. Kelas perubahan vegetasi mengacu pada penelitian IWG-SEM (2018), yaitu:

Tabel 6 Kelas keparahan kebakaran

dNDVI	Perubahan Vegetasi
$dNDVI \leq 0$	Tidak terjadi perubahan
$0 < dNDVI \leq 0,3$	Tingkat perubahan rendah
$0,3 < dNDVI \leq 0,55$	Tingkat perubahan moderat/sedang
$dNDVI \geq 0,55$	Tingkat perubahan tinggi

7. Melakukan analisis perbandingan nilai *subsidence* di area perubahan tutupan lahan pada keadaan sebelum dan sesudah terjadinya kebakaran.
8. Uji korelasi antara kepadatan titik panas terhadap tingkat penurunan muka lahan gambut.

3.9 Faktor Lama Terjadinya Kebakaran

3.9.1 Pengumpulan Data

Pada penelitian ini menggunakan data titik panas (*hotspot*) yang digunakan pada faktor kepadatan titik panas dan data sebaran kebakaran dari KLHK tahun 2019. Data ini berasal dari FIRMS NASA dengan kombinasi data dari citra satelit NOAA, SNPP, Aqua, dan Terra pada periode Januari – Desember 2019. Perhitungan lamanya kebakaran menggunakan indikator sebaran titik panas harian dikarenakan titik panas dapat digunakan sebagai penduga terjadinya kebakaran serta titik panas merupakan data yang memiliki resolusi temporal paling singkat yaitu dengan pengukuran setiap hari.

3.9.2. Pengolahan Data

Faktor ini akan menunjukkan lama terjadinya kebakaran dengan menggunakan data titik panas yang nantinya akan dianalisis dampaknya terhadap nilai penurunan muka lahan. Langkah-langkah yang dilakukan pada faktor ini adalah :

1. Melakukan klasifikasi data hotspot per bulan sehingga diketahui waktu terjadinya puncak kebakaran.
2. Melakukan klasifikasi per hari pada bulan-bulan yang memiliki jumlah titik panas tinggi.
3. Memvisualisasikan sebaran titik setiap hari dan melihat perubahan pergerakan titik dari data titik panas.
4. Identifikasi lokasi kebakaran melalui data *burn area* KLHK di KHGSS tahun 2019.
5. Melakukan perhitungan rentang hari terbakar pada masing-masing lokasi yang terjadi kebakaran dari pergerakan titik panas harian.
6. Membuat kelas lokasi berdasarkan lamanya kejadian kebakaran.
7. Membuat data lokasi terjadinya kebakaran ke tipe *polygon* format *shapefile* (SHP).
8. Melakukan analisis perbandingan nilai *subsidence* di lokasi terjadinya kebakaran pada keadaan sebelum dan sesudah terjadinya kebakaran.
9. Uji korelasi antara lama kebakaran terhadap tingkat penurunan muka lahan gambut.

3.10 Uji Korelasi Pearson

Teknik statistik yang digunakan untuk mencari koefisien korelasi adalah teknik *product moment* dari *Bivariate* Pearson dengan menggunakan alat bantu komputer program SPSS. Uji korelasi Pearson adalah uji statistik yang ditujukan untuk mengetahui hubungan dua atau lebih variabel berskala nominal. Rumus korelasi Pearson yang digunakan mengacu pada Sugiyono (2012) adalah :

$$r_{xy} = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

Dimana:

- x = variabel pertama
- y = variabel kedua
- n = jumlah data

Dengan ketentuan

- jika $r_{xy} > r_{xy}$ tabel, H_0 ditolak dan H_1 diterima.
- Jika r_{xy} hitung $\leq r_{xy}$ tabel, H_0 diterima, H_1 ditolak.

Nilai koefisien korelasi berkisar antara -1 sampai dengan $+1$ yang berkriteria pemanfaatannya sebagai berikut:

1. Jika nilai $r > 0$, artinya terjadi hubungan positif. Semakin besar nilai variabel bebas maka semakin besar pula nilai variabel terikatnya.
2. Jika nilai $r < 0$, artinya terjadi hubungan linear negatif. Semakin besar nilai variabel bebas semakin kecil nilai variabel terikatnya.
3. Jika nilai $r = 0$, artinya tidak ada hubungan sama sekali antara variabel bebas dan variabel terikat.
4. Jika nilai $r = 1$ atau $r = -1$, artinya telah terjadi hubungan yang sempurna yaitu berupa garis lurus. Untuk r yang semakin mengarah ke 0 , garis semakin tidak lurus.

Nilai korelasi Pearson dilakukan interpretasi berdasarkan kekuatan dan keeratan antara variabel bebas dengan variabel terikat seperti yang ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7 Interpretasi nilai korelasi Pearson

No	Nilai Korelasi Pearson	Tingkat Hubungan
1	0,00 – 0,199	Korelasi sangat lemah
2	0,20 – 0,399	Korelasi lemah
3	0,40 – 0,599	Korelasi sedang
4	0,60 – 0,799	Korelasi kuat
5	0,80 – 1,000	Korelasi sangat kuat (sempurna)

Data yang digunakan pada uji korelasi Pearson adalah berupa data sensus dari setiap nilai piksel pada peta olahan data. Mekanisme pengambilan data adalah

1. Membuat *fishnet* (plot titik) pada aplikasi ArcGIS yang seukuran dengan resolusi dari peta subsiden yang telah dibuat. Ukuran satu piksel peta subsiden adalah 100 x 100 meter.
2. Pembuatan *point fishnet* (titik tengah dari plot) pada aplikasi ArcGIS.
3. Ekstraksi data setiap piksel pada seluruh peta sehingga menghasilkan data dari keseluruhan piksel peta di *point fishnet*. Ekstraksi data menggunakan fitur *extract by point* di aplikasi ArcGIS.
4. Setelah seluruh nilai piksel setiap peta diambil, data tersebut dikonversi ke format Microsoft Excel agar dapat dilakukan uji korelasi.
5. Data di Microsoft Excel dirapikan dan dihitung nilai minimum, maksimum, dan rata-rata dari nilai piksel.
6. Uji korelasi pada aplikasi SPSS.

IV HASIL DAN PEMBAHASAN

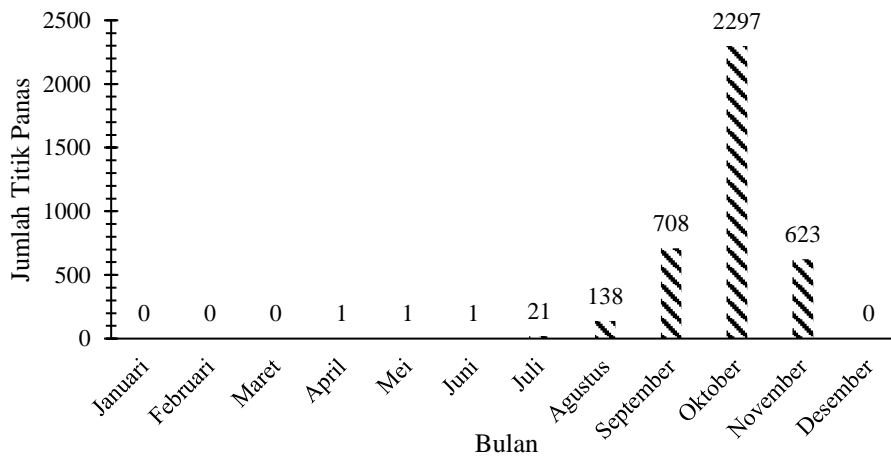
4.1 Indikator Kebakaran Hutan dan Lahan

4.1.1 Jumlah Titik Panas

Titik panas (*hotspot*) merupakan suatu indikator dalam kebakaran hutan dan lahan dengan mendeteksi lokasi yang memiliki suhu relatif lebih tinggi dibandingkan suhu disekitarnya (Permenhut Nomor P.12/Menhut-II/2009). Titik panas mendeteksi kebakaran hutan dan lahan menggunakan data citra yang dihasilkan oleh satelit dengan mengukur perbedaan suhu pada ukuran piksel tertentu. Titik panas umumnya digunakan sebagai indikator kejadian kebakaran hutan dan lahan pada wilayah tertentu berdasarkan jumlah dan berulangnya terdapat titik panas pada suatu titik. Menurut Endrawati (2016) bahwa semakin banyak dan berulangnya titik panas pada suatu wilayah maka semakin tinggi potensi kejadian kebakaran hutan dan lahan. Suatu titik panas diindikasikan sebagai kejadian kebakaran hutan dan lahan jika titik panas tersebut menggerombol atau berkelompok pada suatu lokasi dan/atau titik panas tersebut terjadi selama tiga hari berturut-turut atau lebih. Titik panas masih terus dipercaya sebagai alat deteksi kebakaran hutan dan lahan meski titik panas tidak selalu mencerminkan semakin luasnya kebakaran yang terjadi dikondisi sebenarnya Prasasti *et al.* (2012).

Berdasarkan data titik panas (*hotspot*) yang diperoleh dari FIRMS NASA dengan citra satelit sensor VIIRS (satelit SNPP dan NOAA) dan sensor MODIS (satelit Aqua dan Terra) menunjukkan terdapat sebanyak 3.790 titik panas yang terdeteksi di KHGSS pada tahun 2019. Jumlah titik panas ini merupakan gabungan dari seluruh jenis citra satelit titik panas dan seluruh tingkat kepercayaan titik panas, hal ini bertujuan untuk semakin kuatnya dugaan penentuan periode kebakaran. Peningkatan jumlah titik panas yang ditampilkan pada Gambar 3 pertama kali dimulai pada bulan Juli sebanyak 21 titik panas dan terus meningkat hingga puncak jumlah titik panas tertinggi terjadi pada bulan Oktober sebanyak 2.297 titik panas. Jumlah titik panas mulai menurun pada bulan November sebanyak 623 titik panas dan menurun signifikan pada bulan Desember dengan tidak terdapat titik panas. Berdasarkan grafik jumlah titik panas perbulan tersebut menunjukkan bahwa

diduga pola kebakaran yang terjadi di KHGSS sepanjang tahun 2019 hanya terdapat satu periode kebakaran.



Gambar 3 Jumlah titik panas perbulan di KHGSS tahun 2019

4.1.2 Tingkat Kepercayaan Titik Panas

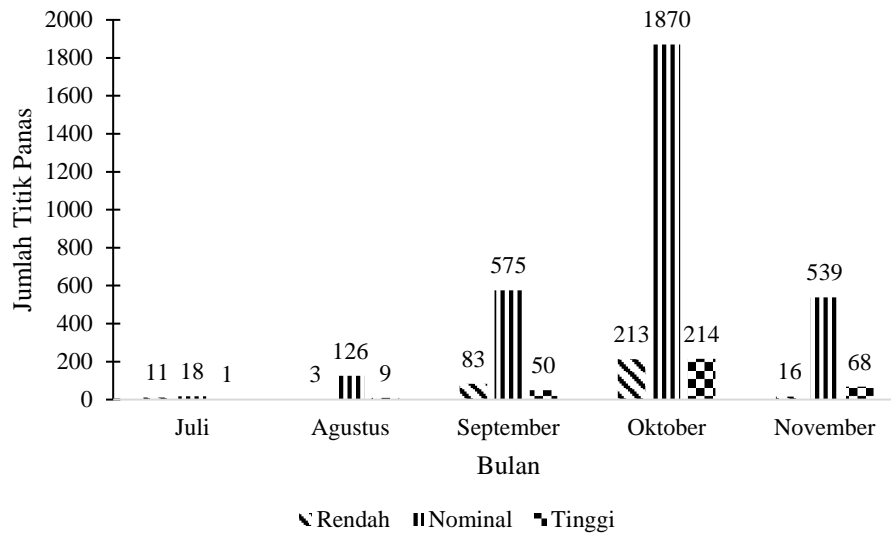
Titik panas yang diduga sebagai periode kebakaran yaitu pada bulan Juli hingga November dengan setiap bulannya memiliki variasi tingkat kepercayaan titik panas. Menurut Prayoga *et al.* (2017) bahwa tingkat kepercayaan dari data titik panas menunjukkan tingkat keakuratan titik panas tersebut sebagai titik api dalam kejadian kebakaran hutan dan lahan yang sebenarnya terjadi di area terbakar. Tingkat kepercayaan titik panas memiliki rentang 0% hingga 100% dengan semakin tinggi nilai tingkat kepercayaan maka semakin tinggi keakuratannya untuk mendeteksi kejadian kebakaran hutan dan lahan. Nilai kepercayaan titik panas didapatkan melalui algoritma dan estimasi nilai yang sudah secara otomatis dilakukan oleh pengolah data pada sumber data. Tingkat kepercayaan dari seluruh jumlah titik panas setiap bulannya dikelaskan pada 3 kelas berdasarkan Giglio *et al.* (2018) yang ditampilkan pada Tabel 8.

Tabel 8 Kelas tingkat kepercayaan titik panas

Tingkat kepercayaan (C)	Kelas	Tindakan
$0\% \leq C < 30\%$	Rendah	Perlu diperhatikan
$30\% \leq C < 80\%$	Nominal	Waspada
$80\% \leq C \leq 100\%$	Tinggi	Segera penanggulangan

Gambar 4 memperlihatkan bahwa titik panas di KHGSS pada tahun 2019 didominasi dengan tingkat kepercayaan nominal sehingga status tindakan yang diambil adalah waspada pada lokasi yang terdapat titik panas tersebut. Bulan dengan titik panas tertinggi yaitu bulan Oktober yang didominasi kelas tingkat kepercayaan nominal dengan 1.870 titik, kemudian kelas tingkat kepercayaan tinggi dengan 214 titik, dan tingkat kepercayaan rendah dengan 213 titik. Jumlah titik panas dengan kelas tingkat kepercayaan tinggi terbanyak pada bulan Oktober sehingga menunjukkan bahwa diduga puncak kebakaran dan kebakaran terparah

terjadi pada bulan Oktober. Semakin tinggi kelas tingkat kepercayaan maka akan semakin tinggi potensi bahwa titik panas tersebut adalah benar-benar kejadian kebakaran hutan dan lahan (Giglio *et al.* 2018).

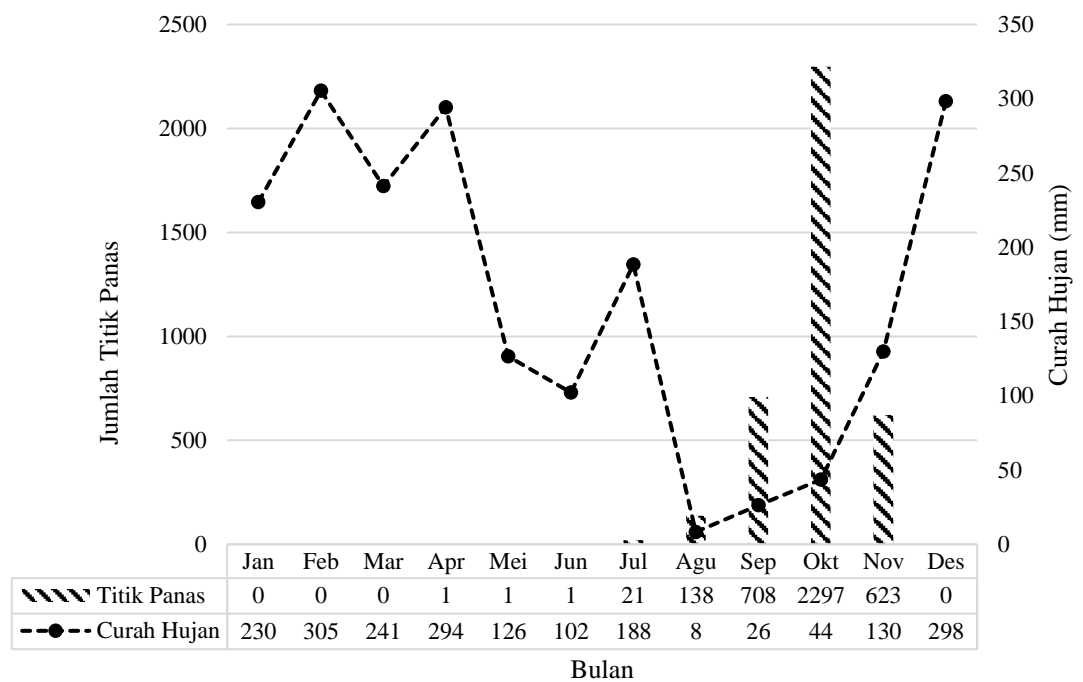


Gambar 4 Kelas tingkat kepercayaan titik panas di KHGSS tahun 2019

4.1.3 Hubungan Titik Panas dan Curah Hujan

Penentuan periode kebakaran hutan dan lahan dapat diduga melalui hubungan jumlah titik panas dengan tingkat curah hujan. Estimasi periode kebakaran berkaitan erat dengan masa kemarau pada suatu lokasi yang diduga terjadi kebakaran hutan dan lahan. Pola curah hujan di KHGSS yang secara umum memiliki karakteristik yang sama pada provinsi Sumatera Selatan dengan karakter pola hujan monsunal atau memiliki satu puncak musim hujan dan musim kemarau (Hermawan 2010). Musim kemarau di KHGSS terjadi pada bulan Juni hingga Agustus dan musim hujan terjadi pada bulan Desember hingga Februari. Bulan peralihan atau pancaroba di KHGSS terjadi selama enam bulan yaitu Maret hingga Mei dan September hingga November.

Berdasarkan data curah hujan bulanan citra satelit TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) pada Gambar 5 bahwa curah hujan tertinggi di KHGSS terjadi mencapai 305 mm/bulan pada bulan Februari, curah hujan terendah mencapai 8 mm/bulan pada bulan Agustus, dan curah hujan rata-rata 166 mm/bulan. Peningkatan jumlah titik panas terjadi pada bulan Agustus hingga Oktober seiringan dengan jumlah curah hujan yang berada dibawah 50 mm dengan berada pada masa musim kemarau dan peralihan. Peningkatan curah hujan terjadi pada bulan November menunjukkan terjadinya penurunan jumlah titik panas. Curah hujan terus meningkat pada bulan Desember dan menunjukkan tidak terdapat jumlah titik panas. Menurut Prayoga *et al.* (2017) bahwa tingkat curah hujan bulanan berkorelasi dengan tingkat jumlah titik panas bulanan yang berhubungan negatif yaitu semakin tinggi curah hujan bulanan maka semakin rendah jumlah titik panas bulanan dan sebaliknya.



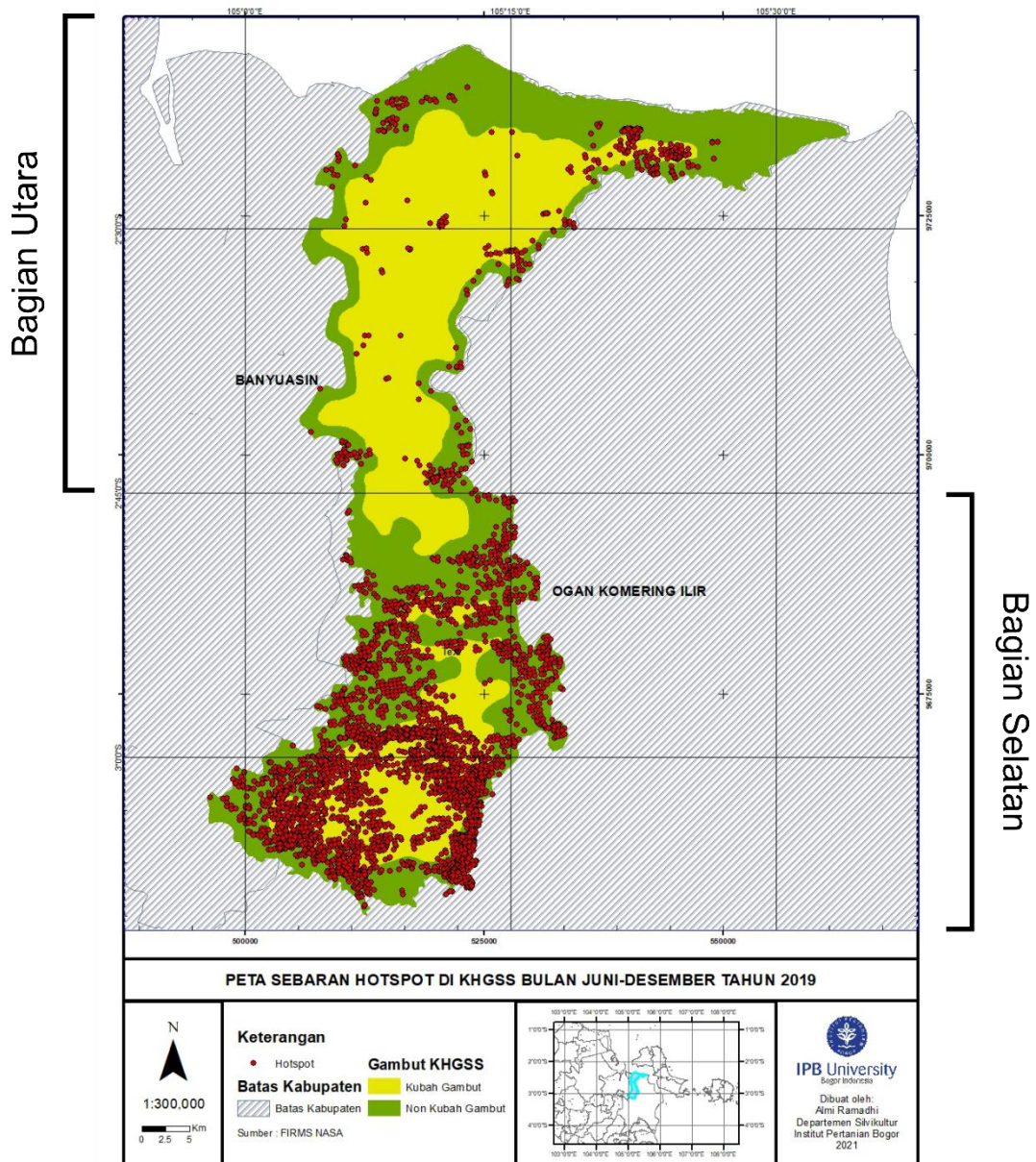
Gambar 5 Distribusi curah hujan bulanan dengan titik panas bulanan di KHGSS tahun 2019

4.1.4 Sebaran Titik Panas di KHGSS tahun 2019

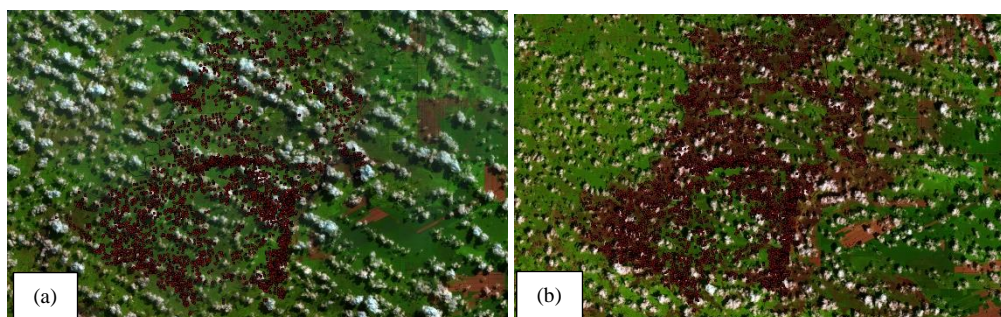
Data distribusi titik panas di KHGSS terlihat berkelompok yang terdiri dari kelompok besar hingga kelompok kecil seperti yang ditunjukkan Gambar 6. Berdasarkan peta sebaran titik panas tersebut, titik panas di KHGSS tahun 2019 dominan terdapat pada bagian selatan dari area KHGSS. Titik panas dibagian selatan area KHGSS sangat dapat diduga sebagai kejadian kebakaran hutan dan lahan. Hal tersebut ditunjukkan melalui perubahan warna pada citra satelit Landsat 8 dengan komposit RGB (6, 5, 4) sebelum dan sesudah periode dugaan kejadian kebakaran. Area yang terjadi perubahan warna seperti pada Gambar 7 terjadi dari yang sebelum kebakaran berwarna hijau pada komposit RGB (6, 5, 4) yang berarti tertutup oleh vegetasi (Gambar 7 (a)) dan setelah kebakaran ditunjukkan berwarna coklat pada komposit RGB 654 yang berarti sudah menjadi area terbuka atau tidak bervegetasi (Gambar 7 (b)).

4.1.5 Periode Kebakaran di KHGSS tahun 2019

Data titik panas sangat diperlukan dalam menduga kejadian kebakaran hutan dan lahan terutama dalam estimasi rentang waktu kejadian kebakaran dan termasuk indikator dalam pengukuran area terbakar. Pada penelitian ini, data titik panas digunakan untuk menduga rentang waktu kejadian sebelum dan sesudah kebakaran hutan dan lahan di KHGSS pada tahun 2019. Berdasarkan analisis yang dilakukan diduga bahwa periode kebakaran terjadi pada bulan Juli hingga November tahun 2019. Setelah diketahui periode kebakaran, dapat ditentukan estimasi temporal citra satelit Sentinel-1A dan Landsat 8 yang digunakan untuk analisis penurunan muka tanah dan estimasi area terbakar.



Gambar 6 Peta sebaran titik panas di KHGSS tahun 2019



Gambar 7 Contoh citra Landsat 8 periode sebelum (a) dan setelah (b) kebakaran komposit RGB (6, 5, 4)

4.2 Tingkat Penurunan Muka Lahan Gambut

Penurunan permukaan lahan gambut (*peatland subsidence*) merupakan kondisi fisik tanah di lahan gambut berupa penurunan ketinggian tanah seperti terjadinya pengambelasan tanah. Pada kejadian kebakaran hutan dan lahan, proses ini terjadi akibat gambut mengempis atau mengalami penyusutan. Penurunan permukaan lahan gambut juga bisa terjadi akibat massa gambut mengalami pengerutan akibat berkurangnya air yang terkandung dalam bahan gambut. Proses lain yang menyebabkan penurunan permukaan gambut adalah proses pelapukan (dekomposisi) yang dapat menyebabkan perubahan kondisi gambut dari anerob (miskin oksigen) menjadi aerob (kaya oksigen) sehingga mikroba pembusuk (dekomposer) menjadi lebih aktif yang mengakibatkan terjadinya penurunan fungsi gambut sebagai penyimpan karbon dan berkontribusi terhadap peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer (Ratnaningsih 2017). Menurut Gronlund *et al.* (2008) penurunan muka lahan terjadi disebabkan oleh pemadatan, dekomposisi dan erosi gambut di permukaan yang mengakibatkan lahan gambut semakin kering.

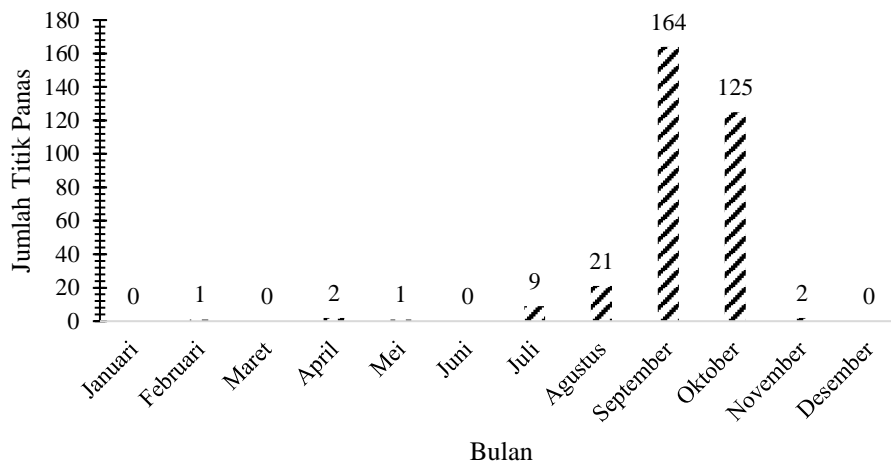
Tabel 9 Nilai subsiden lahan gambut sebelum dan sesudah kebakaran di KHGSS tahun 2019

Kejadian Kebakaran	Maksimum (cm)	Minimum (cm)	Rata-rata (cm)
Sebelum kebakaran	8,320	-3,090	3,103
Setelah kebakaran	9,141	-19,709	-3,320

Data nilai subsiden seperti pada Tabel 9 diinterpretasikan terjadi kenaikan muka lahan dengan nilai angka positif (+) dan penurunan muka lahan dengan nilai angka negatif (-). Berdasarkan data pengamatan pada Tabel 9 menunjukkan bahwa kejadian sebelum kebakaran (periode Oktober 2018 hingga Juni 2019) memiliki nilai perubahan ketinggian muka lahan gambut maksimum sebesar 8,320 cm dan minimum sebesar -3,090 cm dengan rata-rata perubahan 3,103 cm. Hal ini menunjukkan bahwa pada kejadian sebelum kebakaran di KHGSS tahun 2019 tidak terjadi penurunan muka lahan gambut, namun terjadi kenaikan muka lahan gambut dengan rata-rata kenaikan 3,103 cm. Kenaikan ketinggian tersebut disebabkan karena adanya sedimentasi dan genangan air akibat kondisi hujan yang terjadi di rentang bulan Oktober 2019 hingga Juni 2019. Kejadian tersebut juga diperkuat dengan rendahnya nilai titik panas pada bulan Oktober hingga Desember pada tahun 2018 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8 dibandingkan pada tahun 2019 sehingga diduga sangat rendah faktor yang dapat mengakibatkan terjadinya penurunan ketinggian permukaan. Hal ini sesuai menurut penelitian Cyntia dan Pudja (2018) bahwa kenaikan permukaan lahan disebabkan karena naiknya curah hujan terjadi banjir yang meningkatkan kejadian sedimentasi tanah.

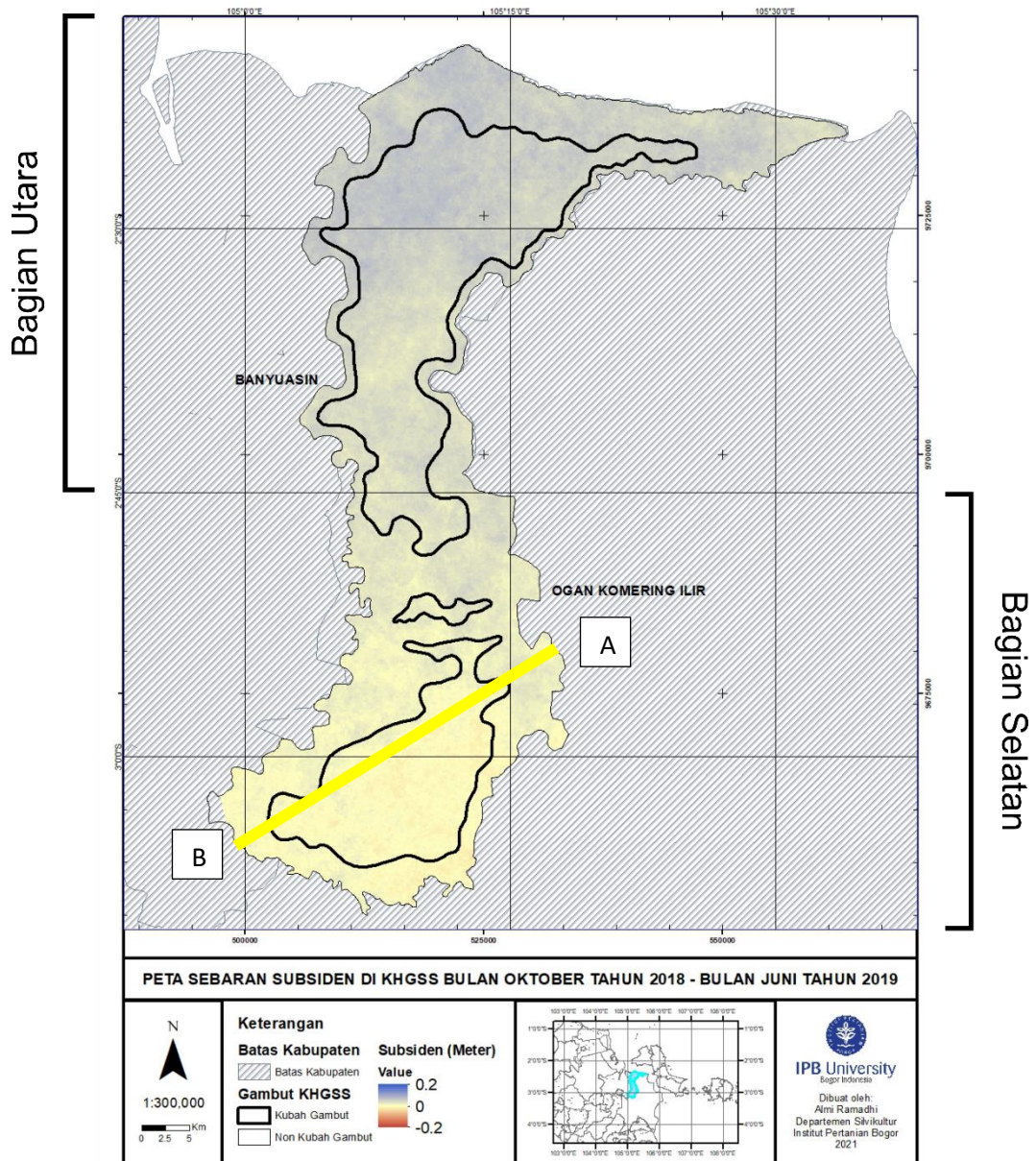
Berdasarkan data pengamatan pada Tabel 9 menunjukkan bahwa kejadian setelah kebakaran (periode Desember 2019 hingga Agustus 2020) memiliki nilai perubahan ketinggian muka lahan gambut maksimum sebesar 9,141 cm dan minimum sebesar -19,709 cm dengan rata-rata -3,320 cm. Rata-rata perubahan ketinggian muka lahan gambut menunjukkan bahwa setelah kejadian kebakaran hutan dan lahan terjadi penurunan muka lahan gambut. Penurunan muka lahan

gambut akibat adanya kejadian kebakaran hutan dan lahan di KHGSS disebabkan karena faktor dampak saat dan setelah kebakaran. Tingginya suhu permukaan tanah saat kebakaran dapat menyebabkan terjadinya penguapan air sehingga tanah menjadi kering. Kekeringan pada tanah menjadikan peningkatan kepadatan tanah dan penurunan porositas tanah akibatnya tanah menjadi amblas dan turun dari ketinggian sebelumnya. Menurut Wasis *et al.* (2019) bahwa penurunan kandungan air pada tanah akibat kebakaran menyebabkan tanah memadat dan meningkatkan potensi erosi. Faktor lainnya dari kebakaran hutan dan lahan yang diduga dapat menyebabkan penurunan tanah adalah kepadatan titik panas, keparahan kebakaran, perubahan tutupan lahan, dan lamanya kebakaran.

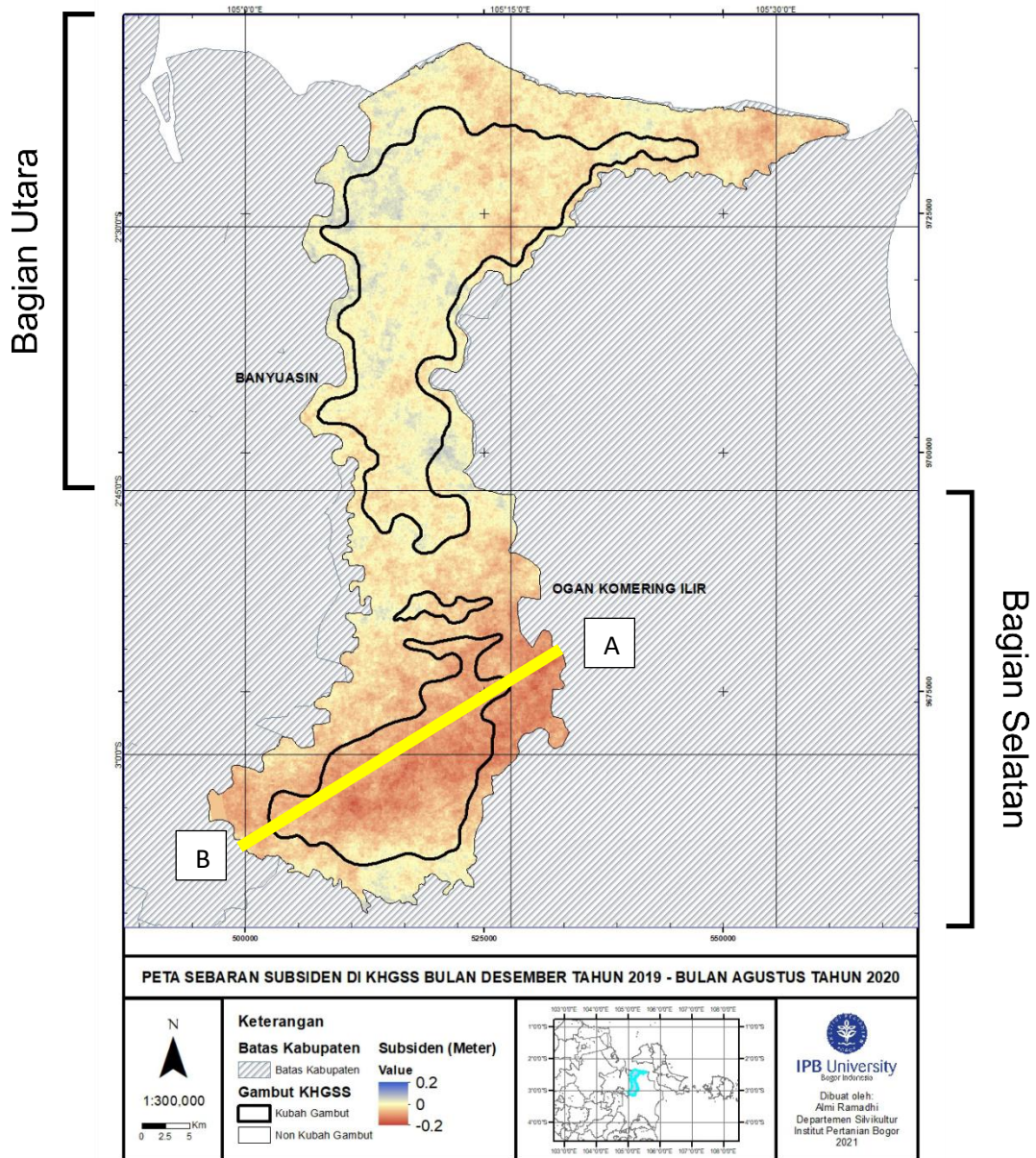


Gambar 8 Jumlah titik panas bulanan di KHGSS tahun 2018

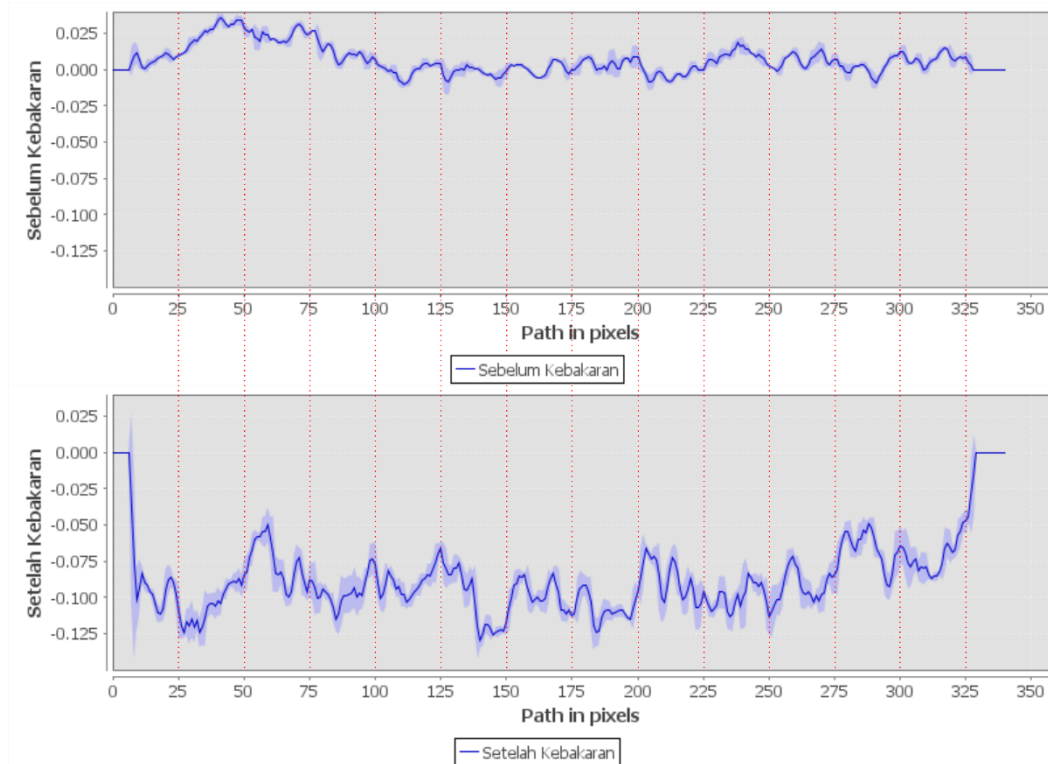
Gambar 9 menunjukkan bahwa sebaran penurunan permukaan lahan gambut sebelum terjadinya kebakaran di KHGSS tahun 2019 terjadi pada bagian selatan yang diinterpretasikan melalui warna peta menunjukkan nilai yang relatif rendah. Perubahan ketinggian permukaan lahan sebelum terjadinya kebakaran didominasi pada nilai 0 meter atau relatif tidak terjadi penurunan atau kenaikan pada bagian selatan. Namun, pada bagian utara terjadi kenaikan tinggi permukaan yang disebabkan sedimentasi dari aliran air yang akan menuju laut. Gambar 10 menunjukkan bahwa sebaran penurunan permukaan lahan gambut yang terjadi setelah kebakaran di KHGSS tahun 2019 didominasi terjadi penurunan pada bagian selatan kawasan. Hal tersebut diduga akibat terjadinya intensitas kebakaran yang tinggi pada area bagian selatan tersebut.



Gambar 9 Peta sebaran subsidi di KHGSS bulan Oktober 2018–Juni 2019



Gambar 10 Peta sebaran subsiden di KHGSS bulan Desember 2019–Agustus 2020

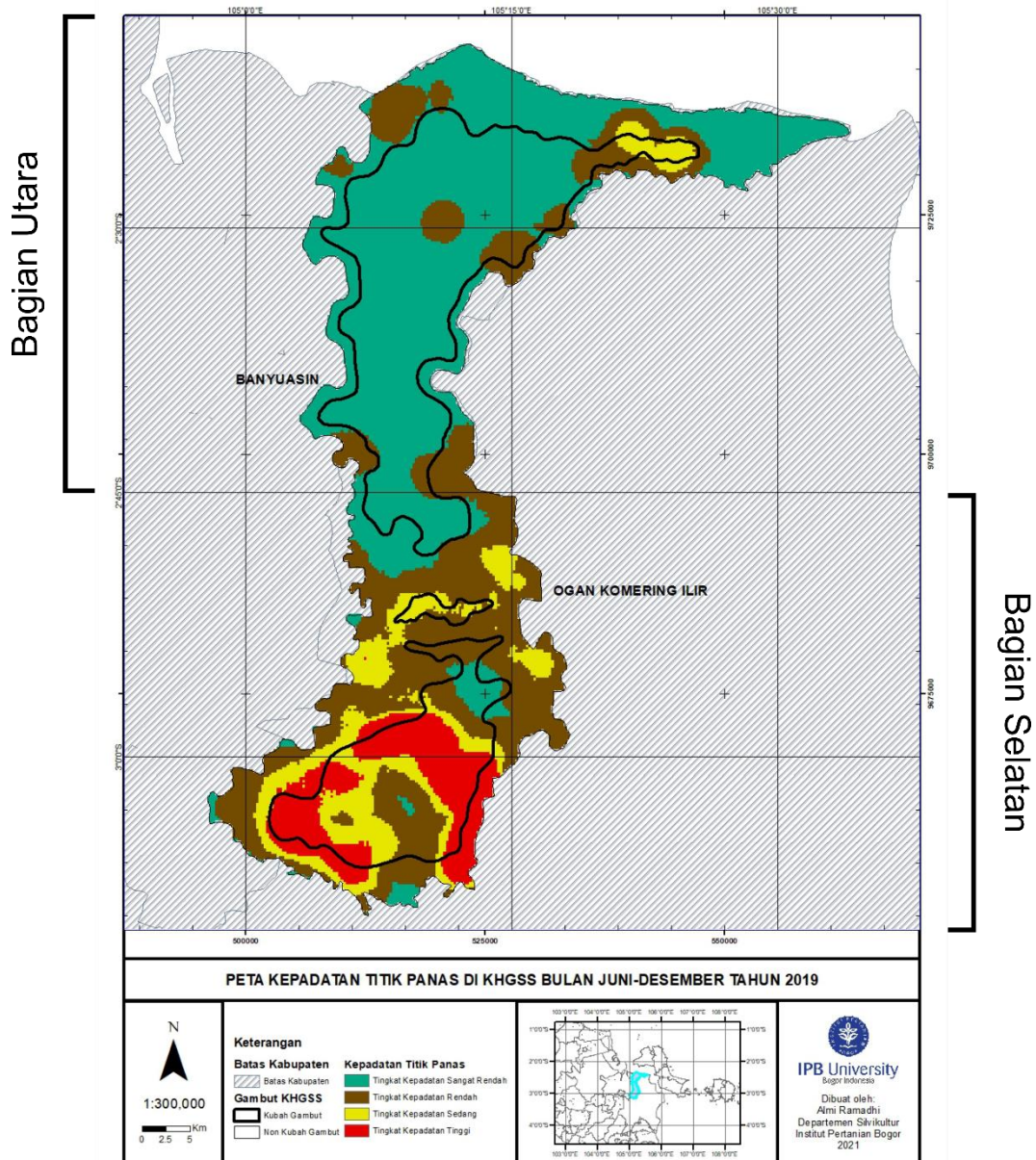


Gambar 11 Perbandingan perubahan ketinggian muka lahan sebelum dan sesudah kebakaran di KHGSS tahun 2019

Perubahan ketinggian muka lahan gambut sebelum dan sesudah kebakaran di KHGSS tahun 2019 pada lokasi garis AB di Gambar 9 dan 10 menunjukkan terjadinya penurunan permukaan lahan gambut akibat kebakaran. Lokasi tersebut dipilih berdasarkan perubahan warna secara visual dari peta penurunan muka lahan gambut. Pada Gambar 11 sebelum kebakaran pada *profile plot* garis AB menunjukkan nilai perubahan ketinggian muka lahan bernilai sekitar 0 meter yang berarti perubahan ketinggian muka lahan gambut tidak terjadi secara drastis. *Profile plot* garis AB setelah kebakaran menunjukkan nilai perubahan ketinggian dibawah 0 meter yang berarti penurunan muka lahan gambut terjadi dan berdampak pada wilayah tersebut.

4.3 Pengaruh Faktor Kepadatan Titik Panas Terhadap Penurunan Muka Lahan Gambut

Kepadatan titik panas adalah pengukuran jumlah titik panas yang berada pada suatu luasan tertentu. Titik panas yang menunjukkan dugaan kejadian kebakaran dicirikan dengan penyebaran yang bergerombol atau berkelompok. Penggunaan analisa kepadatan titik panas menunjukkan model kluster untuk penentuan pengelompokan dari titik panas. Semakin banyak titik panas dalam luasan tertentu maka semakin besar kemungkinan terjadinya kebakaran pada wilayah tersebut. Hal tersebut juga berbanding lurus dengan dugaan intensitas kebakaran, bahwa semakin padat titik panas pada luasan tertentu maka semakin besar kemungkinan terjadinya kebakaran dengan intensitas yang tinggi.



Gambar 12 Peta kepadatan titik panas di KHGSS bulan Juni – Desember tahun 2019

Tabel 10 Luasan kepadatan titik panas setiap kelas di KHGSS tahun 2019

No	Kelas Kepadatan Titik Panas	Selang (titik panas/km ²)	Luas (ha)
1	Sangat rendah	0,000 – 0,185	90.962,92
2	Rendah	0,186 – 1,166	60.047,64
3	Sedang	1,167 – 2,148	21.150,84
4	Tinggi	2,149 – 5,667	17.490,60

Berdasarkan metode pengelasan dengan klasifikasi sebaran standar deviasi, kepadatan titik panas di KHGSS terbagi menjadi 4 kelas yaitu tingkat kepadatan

sangat rendah, rendah, sedang, dan tinggi. Gambar 12 menunjukkan kepadatan titik panas tertinggi secara visual peta ditunjukkan pada wilayah bagian selatan di KHGSS. Hal tersebut diperkuat dengan hanya pada wilayah bagian selatan di KHGSS terdapat kelas kepadatan titik panas tinggi dengan selang kepadatan 2,149 – 5,667 titik panas/km². Kelas kepadatan tinggi berarti dapat ditemui 2 hingga 5 titik panas dalam luas 1 km². Selain itu, pada wilayah utara KHGSS terdapat kelas kepadatan titik panas sedang dengan selang kepadatan 1,167 – 2,148 titik panas/km², hal tersebut dapat menunjukkan dugaan bahwa terdapat kejadian kebakaran hutan dan lahan pada wilayah utara. Kelas kepadatan titik panas rendah menunjukkan selang kepadatan 0 – 0,185 titik panas/km², hal ini berarti sangat jarang jumlah titik panas dalam luasan 1 km² pada kelas tersebut. Luas area setiap kelas kepadatan titik panas menurun seiring dengan naiknya tingkatan kepadatan titik panas. Berdasarkan data Tabel 10 luas terbesar yaitu pada kelas kepadatan rendah seluas 90.962,92 ha dan luas terkecil yaitu pada kelas kepadatan tinggi seluas 17.490,60 ha.

Tabel 11 Nilai uji korelasi Pearson antara kepadatan titik panas dan subsiden lahan gambut

		Subsiden	Kepadatan Titik Panas
Subsiden	<i>Pearson</i>	1	-,465**
	<i>Correlation</i>		
	<i>Sig. (2-tailed)</i>		,000
	N	189644	189644
Kepadatan Titik Panas	<i>Pearson</i>	-,465**	1
	<i>Correlation</i>		
	<i>Sig. (2-tailed)</i>	,000	
	N	189644	189644

** . *Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).*

Hasil uji korelasi Pearson pada Tabel 11 antara kepadatan titik panas dan subsiden lahan gambut menunjukkan hubungan yang berkorelasi. Berdasarkan nilai signifikansi (*2-tailed*) antara kepadatan titik panas dan subsiden memiliki nilai 0,00 sehingga berada dibawah nilai signifikansi atau toleransi kesalahan sebesar 0,05 yang berarti terjadi korelasi pada hubungan tersebut dan hasil korelasi dapat diterima. Nilai korelasi Pearson antara subsiden dan kepadatan titik panas adalah -0,465 (bernilai negatif) yang berarti bahwa terjadi hubungan yang berlawanan. Tingkat hubungan antara subsiden dan kepadatan titik panas bernilai 0,465 yang berarti memiliki tingkat hubungan sedang. Berdasarkan uji korelasi yang dilakukan, faktor kepadatan titik panas mempengaruhi dan berhubungan dengan tingkat hubungan sedang terhadap nilai subsiden serta semakin tinggi kepadatan titik panas maka nilai subsiden akan menuju pada nilai negatif atau nilai penurunan muka lahan gambut akan semakin tinggi.

Hasil korelasi antara nilai subsiden dan kepadatan titik panas menunjukkan bahwa semakin padat titik panas maka akan mempengaruhi nilai subsiden kearah negatif atau akan terjadi penurunan muka lahan gambut. Titik panas merupakan

suatu indikator kuat sebagai penunjuk dugaan kejadian kebakaran hutan dan lahan pada suatu wilayah. Kepadatan titik panas tinggi menunjukkan intensitas yang tinggi pada kejadian kebakaran sehingga menimbulkan dampak kebakaran yang tinggi terhadap tanah. Semakin padat titik panas maka semakin besar kebakaran yang terjadi pada wilayah tersebut. Titik panas muncul jika terjadi perbedaan suhu permukaan pada satu piksel dengan piksel sekitarnya, sehingga satu titik panas menunjukkan terjadinya suhu permukaan yang tinggi yang berarti meningkatnya suhu pada tanah lokasi kebakaran. Penelitian Prakoso (2005) menunjukkan bahwa peningkatan suhu tanah karena kebakaran menyebabkan kerusakan struktur pada permukaan tanah akibat terjadinya penguapan air gambut secara cepat sehingga kepadatan tanah meningkat. Kepadatan tanah yang meningkat tersebut dapat mengakibatkan terjadinya pengambelasan atau penurunan muka lahan pada gambut.

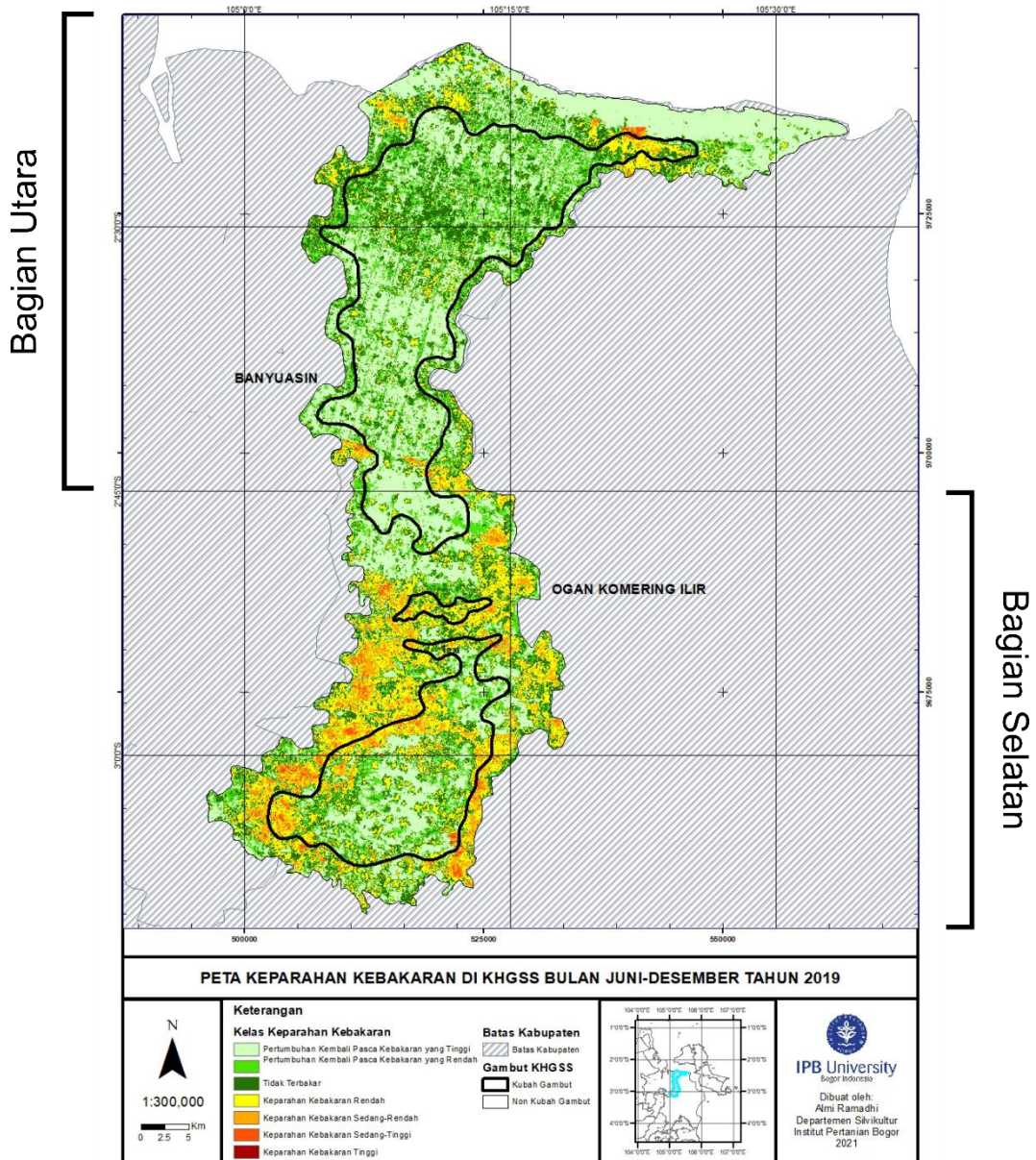
4.4 Pengaruh Faktor Keparahan Kebakaran Terhadap Penurunan Muka Lahan Gambut

Tingkat keparahan kebakaran merupakan istilah deskriptif yang mengintegrasikan perubahan fisik, kimia dan biologi pada suatu tapak akibat kebakaran. Penilaian terhadap tingkat keparahan kebakaran dilakukan untuk melihat respon suatu ekosistem terhadap api yang terjadi pada masa kebakaran. Hutan dan lahan yang terbakar memiliki pola keparahan yang bervariasi sebagai bentuk dari adanya perbedaan topografi dan vegetasi. Dugaan keparahan kebakaran dapat dilakukan secara pengamatan langsung pada area kebakaran dan dapat dilakukan secara analisis spasial menggunakan citra satelit.

Normalized Burn Ratio (NBR) dirancang untuk menyoroti area yang terbakar dan memperkirakan tingkat keparahan kebakarannya (Amandasari 2017). NBR merupakan suatu metode untuk melihat perubahan reflektansi antara citra kanal NIR yang menunjukkan biomassa dengan kanal SWIR yang menunjukkan kelembaban dari suatu wilayah. Keparahan kebakaran hutan dan lahan dapat diduga melalui selisih nilai dua citra NBR sebelum kebakaran dan sesudah kebakaran berupa citra dNBR. Citra dNBR dapat menunjukkan lokasi yang mengalami perubahan biomassa dan kelembaban. Citra dNBR dapat dikelaskan pada selang kelas tertentu berdasarkan kriteria tingkat keparahan kebakarannya.

Tabel 12 Luasan keparahan kebakaran di KHGSS tahun 2019

Kelas	Keparahan	Luas (Ha)
Kelas pertumbuhan kembali pasca kebakaran yang rendah n vegetasi	Pertumbuhan kembali pasca kebakaran yang rendah	33.519,48
	Pertumbuhan kembali pasca kebakaran yang tinggi Tidak terbakar	67.430,52 42.900,75
Kelas kebakaran	Keparahan kebakaran rendah	32.313,05
	Keparahan kebakaran sedang-rendah	11.678,68
	Keparahan kebakaran sedang-tinggi	1.777,47
	Keparahan kebakaran tinggi	32,05



Gambar 13 Peta keparahan kebakaran di KHGSS bulan Juni–Desember tahun 2019

Kelas keparahan kebakaran dibagi menjadi 7 kelas dengan 3 kelas pertumbuhan vegetasi dan 4 kelas kebakaran. Tabel 12 menunjukkan kelas pertumbuhan vegetasi berupa pertumbuhan kembali pasca kebakaran yang rendah, pertumbuhan kembali pasca kebakaran yang tinggi, dan tidak terbakar. Kelas kebakaran berupa keparahan kebakaran rendah, sedang-rendah, sedang-tinggi, dan tinggi. Kelas pertumbuhan vegetasi menunjukkan luasan tertinggi dibandingkan dengan kelas kebakaran, hal ini menunjukkan bahwa tidak seluruh wilayah KHGSS terjadi kebakaran atau hanya pada bagian-bagian tertentu. Luasan tertinggi pada kelas pertumbuhan vegetasi adalah pertumbuhan kembali pasca kebakaran yang tinggi seluas 67.430,52 ha, hal ini berarti pada wilayah kelas tersebut sedang berada pada fase suksesi atau pemulihan kembali pasca kebakaran di KHGSS tahun 2015. Penelitian Khakim *et al.* (2020) menunjukkan bahwa pada wilayah KHGSS terjadi kebakaran yang cukup parah pada tahun 2015 pada seluruh bagian wilayah KHGSS.

Kelas kebakaran menunjukkan wilayah diduga terjadi kebakaran secara citra digital. Semakin tinggi kelas kebakaran menunjukkan bahwa diduga semakin tinggi tingkat keparahan kebakarannya. Kelas keparahan kebakaran tinggi menunjukkan dugaan wilayah yang terdampak parah akibat terjadinya kebakaran hutan dan lahan di KHGSS. Data pada Tabel 12 menunjukkan kelas keparahan kebakaran tinggi memiliki luas 32 ha yang secara visual umumnya berada pada bagian selatan KHGSS. Secara visual pemetaan pada kelas kebakaran di Gambar 13, keparahan kebakaran di KHGSS didominasi dengan tingkat keparahan rendah. Secara luasan pada kelas kebakaran di Tabel 12, tingkat keparahan kebakaran rendah menunjukkan luasan tertinggi kelas keparahan kebakaran yang diduga terjadi kebakaran yaitu seluas 32.313,05 ha. Tingginya luas kelas keparahan rendah disebabkan karena kondisi tutupan lahan di KHGSS tahun 2019 sebelum kebakaran didominasi oleh belukar rawa yang umumnya hanya berupa tanaman bawah atau semai (KLHK 2020). Biomassa tanaman bawah atau semai pada nilai piksel citra Landsat 8 menunjukkan nilai yang kecil jika dibandingkan pada biomassa pohon sehingga saat dilakukan perhitungan NBR dan dNBR menimbulkan interpretasi bahwa kejadian kebakaran rendah. Selain itu, tipe kebakaran tanah gambut yang umumnya berada pada lapisan bawah permukaan tanah tidak dapat ditunjukkan secara maksimal oleh metode NBR dan dNBR. Hal tersebut dikarenakan citra Landsat 8 hanya melakukan pemotretan permukaan tanah dan tidak spesifik hingga kondisi tanah itu sendiri. Penggunaan citra Landsat 8 pada perhitungan metode NBR dan dNBR hanya menggunakan kanal sensor OLI yang terbatas pada pengukuran reflektansi warna dari wilayah potret citra. Hal tersebut didasari Nurlina *et al.* (2018) bahwa pada metode NBR hanya menganalisis area yang terbakar melalui nilai reflektansi permukaan yang berarti pemantauan keparahan kebakaran hanya terbatas pada permukaan lahan dan tidak menganalisis hingga bagian bawah tanah.

Hasil uji korelasi Pearson pada Tabel 13 antara keparahan kebakaran dan subsiden lahan gambut menunjukkan hubungan yang berkorelasi. Berdasarkan nilai signifikansi (*2-tailed*) antara keparahan kebakaran dan subsiden memiliki nilai 0,00 sehingga berada dibawah nilai signifikansi atau toleransi kesalahan sebesar 0,05 yang berarti terjadi korelasi pada hubungan tersebut dan hasil korelasi dapat diterima. Nilai korelasi Pearson antara subsiden dan keparahan kebakaran adalah -0,184 (bernilai negatif) yang berarti bahwa terjadi hubungan yang berlawanan.

Tingkat hubungan antara subsidi dan keparahan kebakaran bernilai 0,184 yang berarti memiliki tingkat hubungan sangat lemah. Berdasarkan uji korelasi yang dilakukan adalah faktor keparahan kebakaran mempengaruhi dan berhubungan dengan tingkat hubungan lemah terhadap nilai subsidi serta semakin tinggi keparahan kebakaran maka nilai subsidi akan menuju pada nilai negatif atau nilai penurunan muka lahan gambut akan semakin tinggi.

Tabel 13 Nilai uji korelasi Pearson antara keparahan kebakaran dan subsidi lahan gambut

		Subsiden	Keparahan Kebakaran
Subsiden	<i>Pearson Correlation</i>	1	-,184**
	<i>Sig. (2-tailed)</i>		,000
	N	189644	189644
Keparahan Kebakaran	<i>Pearson Correlation</i>	-,184**	1
	<i>Sig. (2-tailed)</i>	,000	
	N	189644	189644

***. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).*

Hasil korelasi antara nilai subsidi dan keparahan kebakaran menunjukkan bahwa semakin parah kebakaran maka akan mempengaruhi nilai subsidi kearah negatif atau akan terjadi penurunan muka lahan gambut. Kecilnya nilai korelasi antara subsidi dan keparahan kebakaran dikarenakan masih rendahnya akurasi dari penggunaan metode NBR dalam proses pendugaan keparahan kebakaran. Menurut penelitian Hafni (2017), bahwa nilai akurasi dari citra NBR dalam menunjukkan kebakaran pada lahan gambut hanya 26,1%. Namun demikian, metode NBR dan dNBR masih menjadi metode yang baik dalam dugaan kebakaran hutan dan lahan secara cepat sehingga masih dapat terus dilakukan pengembangan dalam peningkatan ketelitian dari hasil metode tersebut.

Tingkat keparahan kebakaran mempengaruhi penurunan lahan gambut. Hal ini disebabkan karena semakin parah kebakaran yang ditunjukkan oleh citra dNBR maka semakin tinggi kerusakan biomassa atau vegetasi dan semakin rendah kelembaban pada permukaan wilayah tersebut. Hal tersebut didasari pada penelitian Dewi (2017) bahwa data citra NBR digunakan untuk mengamati penurunan tutupan vegetasi dan kadar air yang direspon pada kanal NIR dan SWIR. Perubahan tutupan vegetasi dan kadar air pada kelas keparahan kebakaran tinggi dapat menyebabkan menurunnya kekuatan tanah dalam mengikat sehingga terjadi pemadatan tanah dan pengecilan pori tanah. Menurunnya kekuatan tanah dalam mengikat air sesuai menurut penelitian Syaufina dan Purba (2017) bahwa semakin parah kebakaran yang terjadi, maka akan semakin tinggi kerusakan sifat-sifat tanah termasuk terjadinya peningkatan kepadatan tanah akibat hilangnya ikatan air yang mengisi ruang-ruang tanah.

4.5 Pengaruh Faktor Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Penurunan Muka Lahan Gambut

Tutupan lahan memiliki peranan penting dalam suatu ekosistem terutama pada lahan gambut. Menurut Lillesand dan Kiefer (1990) tutupan lahan adalah segala sesuatu yang berkaitan dengan jenis kenampakan yang ada di permukaan bumi. Kejadian kebakaran hutan dan lahan menjadi satu dari sekian banyak faktor yang menjadi penyebab terjadinya perubahan tutupan lahan. Salah satu teknik yang digunakan untuk analisis perubahan tutupan lahan adalah NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). Transformasi tersebut dilakukan dengan memanfaatkan nilai piksel hasil perekaman gelombang cahaya merah (RED) dan inframerah dekat (NIR) yang memiliki kepekaan tinggi terhadap objek vegetasi. Transformasi NDVI memiliki sensitivitas tinggi terhadap kandungan klorofil pada tanaman, sehingga sangat baik untuk mengidentifikasi vegetasi tidak hanya pada wilayah dengan vegetasi yang memiliki kerapatan tinggi (Jackson dan Huete 1991).

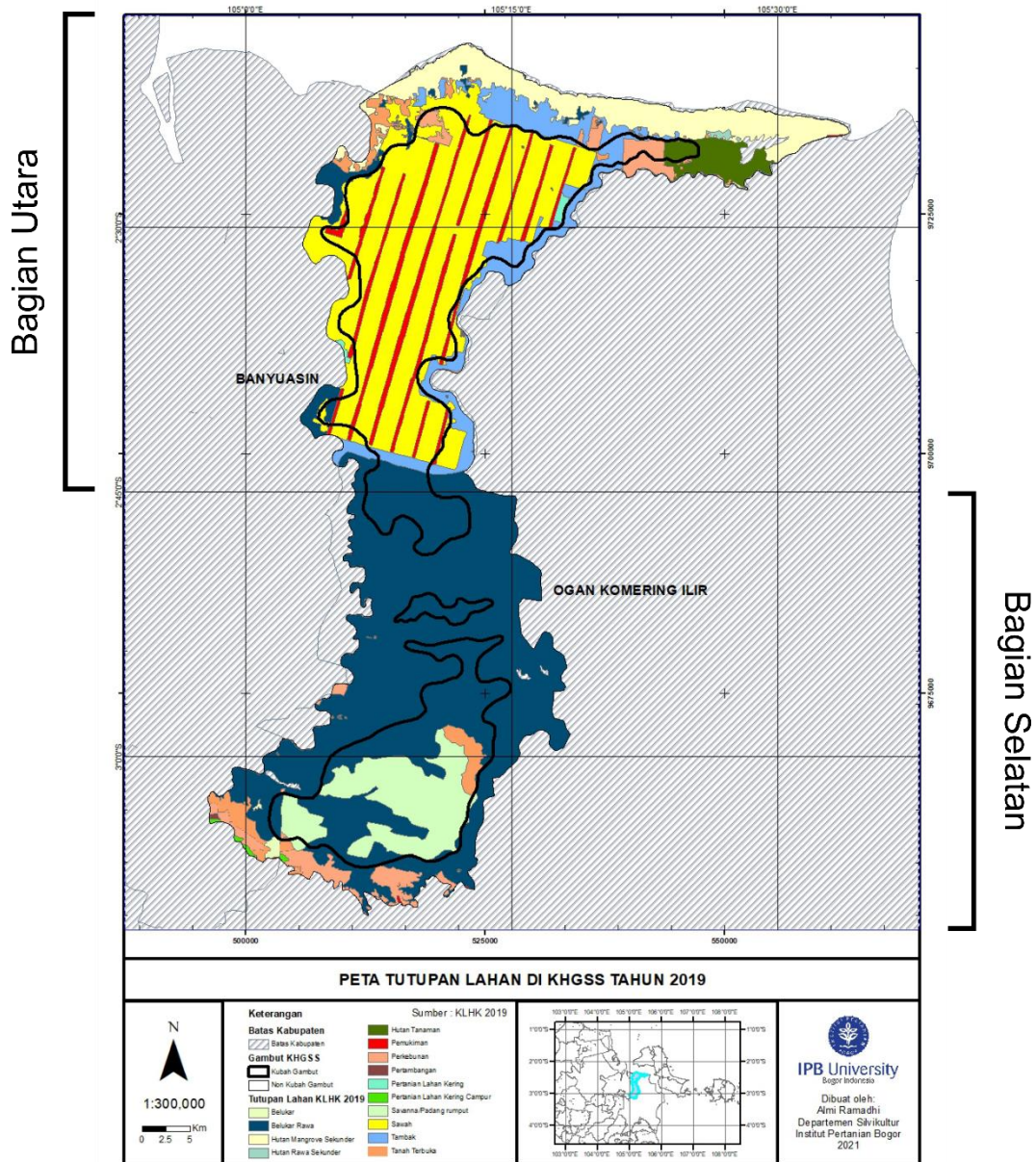
Tabel 14 Luasan setiap kelas tutupan lahan di KHGSS tahun 2019 sebelum terjadinya kebakaran hutan dan lahan

Tutupan Lahan	Luas (ha)
Hutan tanaman	3.615,83
Belukar	332,58
Perkebunan	6.365,60
Pemukiman	8.760,62
Tanah terbuka	4.665,75
Savana/Padang rumput	12.577,60
Hutan mangrove sekunder	13.888,10
Hutan rawa sekunder	177,05
Belukar rawa	77.970,06
Pertanian lahan kering	368,47
Pertanian lahan kering campur	206,67
Sawah	48.609,25
Tambak	12.638,01
Pertambangan	46,79

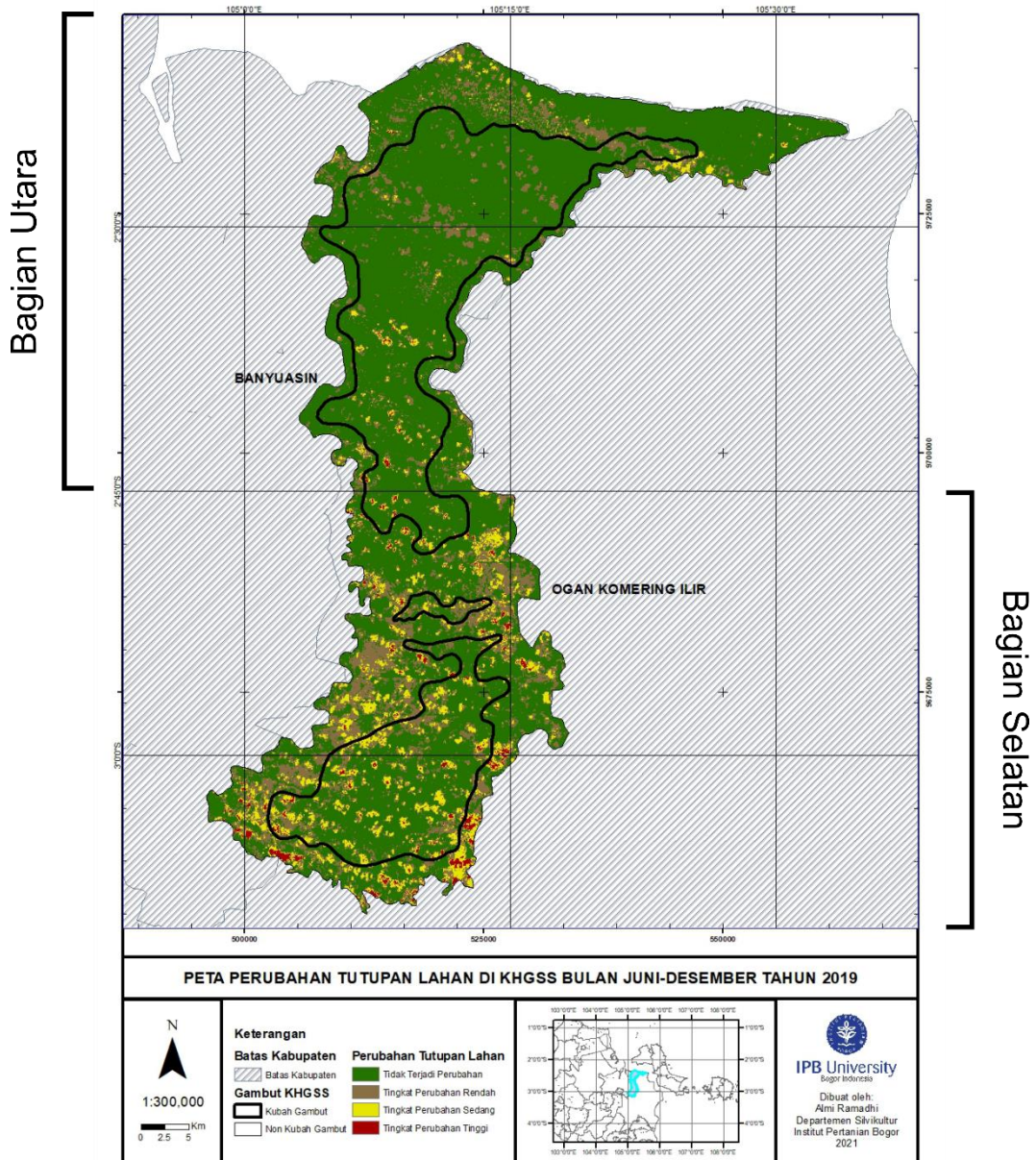
Berdasarkan visualisasi Gambar 14 dan data pada Tabel 14, tutupan vegetasi di KHGSS didominasi oleh tutupan belukar rawa seluas 77.970,06 ha. Belukar rawa merupakan tutupan lahan yang umumnya mendominasi pada wilayah lahan gambut. Lahan gambut merupakan lahan yang dicirikan dengan keadaan basah dengan terbentuk dari material organik dari sisa-sisa tumbuhan yang terdekomposisi tidak sempurna sehingga terakumulasi pada rawa (Dwisutono *et al.* 2019). Selain belukar rawa, KHGSS didominasi oleh persawahan seluas 48.609,25 ha yang berada pada bagian utara wilayah KHGSS.

Tabel 15 Luas kelas perubahan tutupan lahan di KHGSS tahun 2019

Kelas Perubahan Tutupan Lahan	Luas (Ha)
Tidak terjadi perubahan	137.982,24
Tingkat perubahan rendah	37.098,94
Tingkat perubahan sedang	12.478,39
Tingkat perubahan tinggi	2.092,43



Gambar 14 Peta tutupan lahan di KHGSS tahun 2019 sebelum terjadinya kebakaran hutan dan lahan



Gambar 15 Peta perubahan tutupan lahan di KHGSS bulan Juni–Desember tahun 2019

Perubahan tutupan lahan akibat kebakaran hutan dan lahan di KHGSS tahun 2019 diduga melalui perubahan nilai NDVI atau dNDVI dan kemudian dilakukan klasifikasi berdasarkan kriteria tingkat perubahan tutupan lahan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 15. Perubahan tutupan lahan didominasi terjadi pada wilayah bagian selatan di KHGSS. Berdasarkan data Tabel 15 tingkat perubahan yang paling parah berdasarkan analisis dNDVI ditunjukkan pada kelas tingkat perubahan tinggi dengan total luas yang terkena dampak adalah 2.092,43. Tingkat perubahan yang terluas terjadi pada kelas tingkat perubahan rendah dengan total luas 37.098,94 ha. Rendahnya luas pada kelas tingkat perubahan tinggi dan besarnya luas pada kelas tingkat perubahan rendah disebabkan karena tipe kebakaran di lahan gambut yang umumnya berupa kebakaran dibawah permukaan sehingga warna hijau vegetasi tidak berubah secara keseluruhan. Hal tersebut dimungkinkan karena kanal dalam metode dNDVI menggunakan kanal RED yang sangat peka akan reflektansi hijau. Berdasarkan penelitian Nailufar *et al.* (2018) bahwa NDVI berfokuskan dan memiliki kepekaan yang tinggi dalam perubahan hijau vegetasi dengan dilakukan pendugaan perubahan warna hijau menandakan terjadinya perubahan vegetasi. Kebakaran yang tidak terlalu berdampak pada vegetasi dapat mengakibatkan interpretasi citra menjadi hanya berupa perubahan kecil.

Tabel 16 Nilai uji korelasi Pearson antara perubahan tutupan lahan dan subsidi lahan gambut

		Subsiden	Perubahan Tutupan Lahan
Subsiden	<i>Pearson Correlation</i>	1	-,168**
	<i>Sig. (2-tailed)</i>		,000
	N	189644	189644
Perubahan Tutupan Lahan	<i>Pearson Correlation</i>	-,168**	1
	<i>Sig. (2-tailed)</i>	,000	
	N	189644	189644

***. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).*

Hasil uji korelasi Pearson pada Tabel 16 antara perubahan tutupan lahan dan subsidi lahan gambut menunjukkan hubungan yang berkorelasi. Berdasarkan nilai signifikansi (*2-tailed*) antara perubahan tutupan lahan dan subsidi lahan gambut memiliki nilai 0,00 sehingga berada dibawah nilai signifikansi atau toleransi kesalahan sebesar 0,05 yang berarti terjadi korelasi pada hubungan tersebut dan hasil korelasi dapat diterima. Nilai korelasi Pearson antara subsidi lahan gambut dan perubahan tutupan lahan adalah -0,168 (bernilai negatif) yang berarti bahwa terjadi hubungan yang berlawanan. Tingkat hubungan antara subsidi lahan gambut dan perubahan tutupan lahan bernilai 0,168 yang berarti memiliki tingkat hubungan sangat lemah. Berdasarkan uji korelasi yang dilakukan adalah faktor perubahan tutupan lahan mempengaruhi dan berhubungan dengan tingkat hubungan lemah terhadap nilai subsidi lahan gambut serta semakin tinggi perubahan tutupan lahan maka nilai subsidi lahan gambut akan menuju pada nilai negatif atau nilai penurunan muka lahan gambut akan semakin tinggi.

Tingkat perubahan tutupan lahan mempengaruhi penurunan muka lahan gambut. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi perubahan tutupan lahan yang

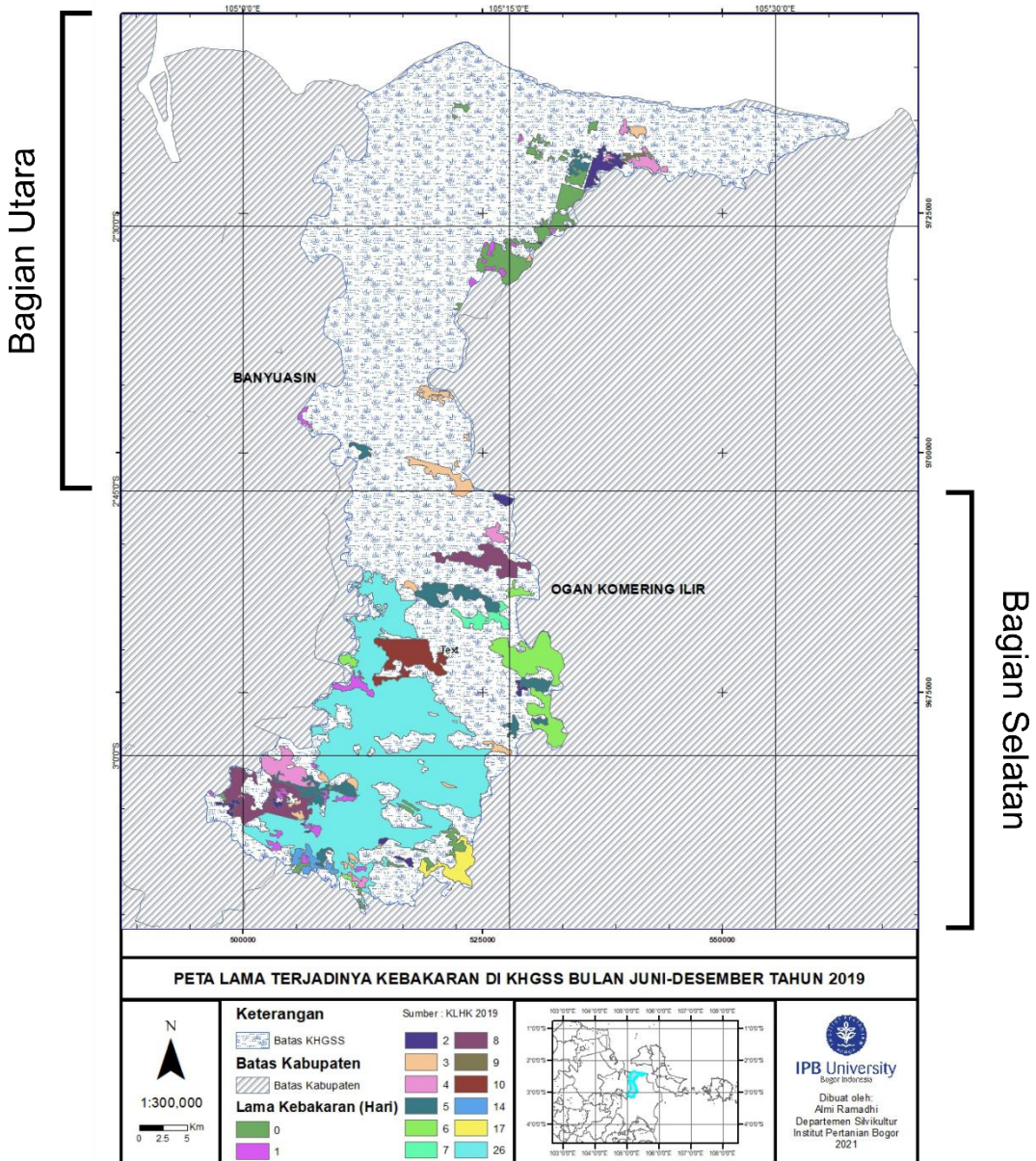
ditunjukkan oleh citra dNDVI maka semakin tinggi kerusakan biomassa atau vegetasi dan semakin rendah tutupan vegetasi pada permukaan wilayah tersebut. Perubahan tutupan lahan terjadi akibat berubahnya kondisi dari yang dulunya bervegetasi atau tutupan hijau pada citra menjadi lahan yang tidak bervegetasi atau tutupan coklat pada citra. Hal ini disebabkan karena vegetasi merupakan biomassa yang dalam proses pembakaran sebagai sumber bahan bakar untuk api, sehingga hilangnya vegetasi menunjukkan bahwa vegetasi telah habis terbakar. Hilangnya vegetasi dapat menyebabkan terjadinya erosi yang menyebabkan tanah terkikis dan terbawa oleh air. Hal tersebut dibuktikan melalui interpretasi secara visual perubahan tinggi muka lahan gambut pasca kebakaran di Gambar 10 menunjukkan pada bagian utara terjadi kenaikan muka lahan gambut. Kenaikan muka lahan gambut dibagian utara diduga akibat adanya sedimentasi dari tanah pada tutupan vegetasi yang sudah berubah sehingga tergerus oleh air dan terendapkan. Menurut Firmansyah dan Subowo (2012) bahwa keterbukaan vegetasi mengakibatkan air hujan langsung menyentuh permukaan tanah dengan kondisi tanah yang sudah memadat akibat suhu saat terjadinya kebakaran sehingga tanah menjadi pecah dan terbawa oleh air. Tanah yang terkena dampak kebakaran setelah mengalami evaporasi atau penguapan air yang tinggi akibat suhu api, menyebabkan sangat sulit untuk kembali menyimpan dan menyerap air. Hal ini dikarenakan terjadinya pengurangan porositas dan pemadatan tanah akibat kebakaran.

4.6 Pengaruh Faktor Lama Kebakaran Terhadap Penurunan Muka Lahan Gambut

Lama kebakaran merupakan estimasi waktu lamanya nyala api terjadi pada wilayah kebakaran tersebut. Lama kebakaran merupakan suatu indikator dari intensitas kebakaran yang terjadi. Lama kebakaran menunjukkan durasi waktu suatu penyalan api yang seluruh aspeknya dipengaruhi oleh segitiga api. Menurut Ramli (2010) bahwa pembakaran atau nyala api merupakan suatu peristiwa oksidasi yang melibatkan tiga unsur atau disebut segitiga api yaitu bahan bakar, oksigen, dan sumber panas. Lamanya kebakaran dikeadaan lapangan umumnya dipengaruhi oleh bahan bakar yang terkandung, hal ini karena oksigen sudah tersedia langsung diudara bebas serta sumber panas sudah ada disaat terjadinya nyala api pertama kali. Lahan gambut merupakan suatu karakter lahan yang memiliki lama kebakaran yang sangat lama, hal ini dikarenakan sulitnya lokasi pemadaman dan karakter kebakarannya yang berada dibawah permukaan sehingga sangat sulit untuk dilakukan pemadaman. Selain itu, jenis tanah gambut yang terdiri dari sisa-sisa bahan organik menyebabkan kandungan bahan bakar semakin tinggi dan sangat cepat terbakar jika dibandingkan kebakaran pada tegakan pohon di tanah mineral (Firmansyah dan Subowo 2012).

Perhitungan lama kebakaran dibuat berdasarkan keberlanjutan titik panas pada wilayah *burn area* KLHK melalui perubahan titik panas harian dari bulan Juni hingga Desember 2019 yang ditampilkan pada Lampiran 2. Gambar 16 menunjukkan sebaran lama kebakaran di KHGSS banyak terjadi dibagian selatan wilayah KHGSS. Lama kebakaran terlama yaitu selama 26 hari dengan luas area seperti pada Tabel 17 adalah 28.001,62 ha. Hal tersebut menunjukkan bahwa kebakaran dilahan gambut sangat lama akibat sulitnya dilakukan pemadaman

karena kebakaran yang terjadi dibawah permukaan. Menurut Lubis (2016) bahwa kebakaran hutan dan lahan gambut mulanya membakar bahan bakar yang berada diatasnya umumnya berupa serasah, semak, dan lain-lain, kemudian api menyebar secara tidak terarah dibawah permukaan dengan membakar bahan organik melalui pori-pori dan akar semak belukar yang sudah terbakar di permukaan tanah.



Gambar 16 Peta lama terjadinya kebakaran di KHGSS bulan Juni–Desember 2019

Tabel 17 Luasan lama kebakaran di KHGSS tahun 2019

Lama Kebakaran	Luas (Ha)
0	3.953,03
1	1.410,77
2	1.299,81
3	1.977,68
4	2.012,38
5	3.283,59
6	3.607,38
7	661,20
8	3.561,91
9	103,20
10	1.878,75
14	535,36
17	1.025,51
26	28.001,62

Tabel 18 Nilai uji korelasi Pearson antara lama kebakaran dan subsidi lahan gambut

		Subsiden	Lama Kebakaran
Subsiden	<i>Pearson Correlation</i>	1	-,402**
	<i>Sig. (2-tailed)</i>		,000
	N	189644	189644
Lama Kebakaran	<i>Pearson Correlation</i>	-,402**	1
	<i>Sig. (2-tailed)</i>	,000	
	N	189644	189644

***. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).*

Hasil uji korelasi Pearson pada Tabel 18 antara lama kebakaran dan penurunan muka lahan gambut menunjukkan hubungan yang berkorelasi. Berdasarkan nilai signifikansi (*2-tailed*) antara lama kebakaran dan subsidi memiliki nilai 0,00 sehingga berada dibawah nilai signifikansi atau toleransi kesalahan sebesar 0,05 yang berarti terjadi korelasi pada hubungan tersebut dan hasil korelasi dapat diterima. Nilai korelasi Pearson antara subsidi dan lama kebakaran adalah -0,402 (bernilai negatif) yang berarti bahwa terjadi hubungan yang berlawanan. Tingkat hubungan antara subsidi dan lama kebakaran bernilai 0,402 yang berarti memiliki tingkat hubungan sedang. Berdasarkan uji korelasi yang dilakukan adalah faktor lama kebakaran mempengaruhi dan berhubungan dengan tingkat hubungan sedang terhadap nilai subsidi serta semakin lama terjadinya kebakaran maka nilai subsidi akan menuju pada nilai negatif atau nilai penurunan muka lahan gambut akan semakin tinggi.

Lamanya kebakaran mempengaruhi penurunan muka lahan gambut. Hal ini disebabkan karena semakin lama kebakaran maka semakin lama terjadinya nyala

api dan suhu panas pada wilayah tersebut. Kebakaran menghasilkan panas yang menyebar ke lingkungan sekitar api kebakaran. Dampak panas dari api tersebut menyebabkan terjadinya kekeringan sehingga merusak lingkungan sekitar api. Berdasarkan pengamatan Firmansyah dan Subowo (2012) bahwa panas yang dihasilkan kebakaran menyebabkan kekeringan bagi tanaman yang terkena api maupun sekitarnya serta membunuh seluruh biota pada tanah, selain itu kadar air disekitar api akan mengalami penurunan yang tinggi. Semakin lama kebakaran, maka akan semakin keringnya suatu wilayah tersebut yang mengakibatkan kandungan air pada tanah semakin sedikit sehingga terjadi penurunan muka lahan gambut dari meningkatnya kepadatan tanah.

4.7 Perbandingan Nilai Uji Korelasi Faktor

Perbandingan nilai uji korelasi Pearson faktor dilakukan untuk menunjukkan pengaruh terkuat dari beberapa faktor terhadap nilai penurunan muka lahan gambut. Faktor-faktor yang dilakukan uji korelasi Pearson diantaranya adalah faktor kepadatan titik panas, keparahan kebakaran, perubahan tutupan lahan, dan lamanya kebakaran. Setiap faktor memiliki nilai korelasi Pearson yang berbeda-beda dan beragam. Nilai korelasi Pearson setiap faktor adalah

Tabel 19 Perbandingan nilai uji korelasi Pearson setiap faktor

Faktor	Nilai Korelasi Pearson	Interpretasi
Kepadatan titik panas	-0,465	Sedang
Keparahan kebakaran	-0,184	Sangat lemah
Perubahan tutupan lahan	-0,168	Sangat lemah
Lama kebakaran	-0,402	Sedang

Berdasarkan Tabel 19 bahwa faktor kepadatan titik panas, keparahan kebakaran, perubahan tutupan lahan, dan lama kebakaran mempengaruhi terjadinya penurunan muka lahan gambut dengan berbagai tingkat kekuatan korelasinya. Hal ini didasari bahwa seluruh hasil uji korelasi menunjukkan nilai negatif yang berarti semakin tinggi kelas setiap faktor maka nilai subsiden akan semakin kearah negatif yang berarti semakin terjadi penurunan muka lahan gambut.

Berdasarkan Tabel 19 seluruh nilai korelasi bertanda negatif (-) yang menunjukkan bahwa semakin tinggi kelas setiap faktor (penambahan nilai) maka akan semakin terjadinya penurunan muka lahan gambut dengan ditandai nilai penurunan subsiden negatif (-). Nilai korelasi Pearson tertinggi yaitu faktor kepadatan titik panas dengan nilai korelasi Pearson -0,465 yang interpretasinya berkorelasi sedang. Kemudian nilai korelasi Pearson tertinggi selanjutnya yaitu faktor lama kebakaran dengan nilai korelasi pearson -0,402 yang interpretasinya adalah berkorelasi sedang. Nilai korelasi Pearson yang interpretasinya sangat lemah adalah faktor keparahan kebakaran dan faktor perubahan tutupan lahan dengan nilai korelasi Pearson masing-masing -0,184 dan -0,168.

Nilai korelasi Pearson faktor kepadatan titik panas dan faktor lama kebakaran berkorelasi sedang disebabkan kecilnya nilai bias data pada data faktor keparahan kebakaran dan faktor perubahan tutupan lahan. Hal ini disebabkan

karena data yang digunakan pada faktor kepadatan titik panas dan lama kebakaran merupakan data titik panas yang didapatkan dari FIRMS yang sudah dilakukan koreksi pada algoritma tertentu sehingga ketepatannya tinggi. Menurut Hanifah *et al.* (2016) bahwa sebaran titik panas pada sumber data seperti LAPAN dan FIRMS telah melewati proses koreksi data citra dan diproses awal sebelum diturunkan menjadi nilai reflektansi dan indeks. Rendahnya nilai korelasi pada faktor keparahan kebakaran dan perubahan tutupan lahan disebabkan karena terdapat banyaknya bias data pada satelit Landsat 8 yang digunakan. Hal ini dikarenakan pada rentang waktu citra yang dibutuhkan, lokasi sedang berada pada musim hujan yang tinggi seperti pada Gambar 5 sehingga terdapat banyak awan pada area tersebut. Namun, citra Landsat 8 yang dipilih merupakan citra dengan jumlah tutupan awan yang paling sedikit dalam sepanjang tahun 2019 di KHGSS sehingga nilai raster dari Landsat 8 dalam proses NDVI dan NBR menjadi bias.

Hasil analisis korelasi yang dilakukan bahwa kebakaran hutan dan lahan menyebabkan terjadinya penurunan muka lahan gambut. Penurunan muka lahan gambut yang terjadi menunjukkan bahwa terjadinya kerusakan dari lahan yang berjenis tanah gambut. Lahan gambut merupakan suatu jenis lahan yang memiliki karakteristik sangat unik dan perlu dijaga terutama fungsi gambut sebagai penyimpan karbon dan penyangga air bagi masyarakat sekitar lahan gambut. Menurut Joosten (2007), bahwa total gambut didunia mengandung 75% karbon dari seluruh karbon atmosfer yang setara dengan dua kali simpanan karbon semua hutan di seluruh dunia. Rusaknya gambut akibat kebakaran hutan dan lahan sehingga terjadinya penurunan muka lahan gambut menunjukkan bahwa semakin hilangnya gambut pada lahan tersebut. Hal ini menjadi suatu kerusakan lingkungan yang besar terutama saat terjadinya pelepasan karbon yang akan meningkatkan perubahan iklim bumi. Olehkarena itu, perlunya menjaga lahan gambut terutama dari kejadian kebakaran hutan dan lahan serta melakukan rehabilitasi dari lahan yang terdampak penurunan muka lahan sehingga lahan gambut akan kembali pulih dengan segala fungsinya.

V SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Simpulan dari penelitian ini adalah :

1. Kebakaran hutan dan lahan di KHGSS tahun 2019 berdampak terhadap penurunan muka lahan gambut dari sebelum kebakaran memiliki rata-rata subsiden 3,103 cm atau tidak terjadi penurunan muka lahan gambut dan setelah kebakaran menjadi -3,320 cm atau terjadi penurunan muka lahan gambut.
2. Wilayah yang terjadi kebakaran berada pada wilayah selatan KHGSS yang menyebabkan penurunan muka lahan gambut pada wilayah tersebut.
3. Faktor pengamatan kepadatan titik panas dan lama kebakaran berkorelasi sedang terhadap subsiden dengan nilai -0,465. Korelasi yang terjadi adalah semakin tinggi kepadatan titik panas maka nilai subsiden akan menuju pada nilai negatif atau nilai penurunan muka lahan gambut akan semakin tinggi.
4. Faktor pengamatan keparahan kebakaran berkorelasi sangat lemah terhadap subsiden dengan nilai -0,184. Korelasi yang terjadi adalah semakin tinggi keparahan kebakaran maka nilai subsiden akan menuju pada nilai negatif atau nilai penurunan muka lahan gambut akan semakin tinggi.
5. Faktor pengamatan perubahan tutupan lahan berkorelasi sangat lemah terhadap subsiden dengan -0,168. Korelasi yang terjadi adalah semakin tinggi perubahan tutupan lahan maka nilai subsiden akan menuju pada nilai negatif atau nilai penurunan muka lahan gambut akan semakin tinggi.
6. Faktor pengamatan lama kebakaran berkorelasi sedang terhadap subsiden dengan nilai -0,402. Korelasi yang terjadi adalah semakin lama terjadinya kebakaran maka nilai subsiden akan menuju pada nilai negatif atau nilai penurunan muka lahan gambut akan semakin tinggi.
7. Seluruh nilai korelasi bertanda negatif (-) yang berarti adalah seluruh faktor amatan dapat menyebabkan penurunan muka lahan gambut dengan semakin tinggi kelas faktor maka semakin terjadi penurunan muka lahan gambut.

5.2 Saran

Saran dari penelitian ini adalah :

1. Perlunya pengembangan lebih lanjut terhadap estimasi penilaian subsiden terutama dalam pengembangan metode DInSAR. Pengembangan dapat dilakukan dengan koreksi menggunakan metode SBAS atau PS-InSAR serta koreksi data di lapangan agar mendapatkan nilai estimasi subsiden yang berakurasi tinggi.
2. Perlunya pengembangan lebih lanjut untuk estimasi nilai citra Landsat 8 yang tertutupi oleh awan terutama dalam kasus lokasi yang memiliki tutupan awan tinggi agar bias menjadi rendah dan akurasi menjadi tinggi.

3. Perlu adanya wadah publikasi informasi penurunan muka tanah se-Indonesia dengan memanfaatkan citra Sentinel-1A SAR Data agar membantu penentuan kebijakan yang tepat dalam rehabilitasi lahan pasca kebakaran hutan dan lahan.

DAFTAR PUSTAKA

- [EFFIS] European Forest Fire Information System. 2015. Active fire detection. [Internet]. [diunduh 2020 Oktober 8]. Tersedia pada :<http://effis.jrc.ec.europa.eu/about-effis/technicalbackground/active-fire-detection/>.
- [ESA] European Space Agency. 2014. Sentinel-1 Mission [internet]. [diakses 2020 Sep18]. Tersedia pada:<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1>.
- [IWG-SEM] International Working Group on Satellite-based Emergency Mapping. 2018. *Emergency Mapping Guidelines*. Alsace (FR): Fire Mapping.
- [KemenLHK] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Peraturan Menteri Kehutanan Nomor P.12/Menhut-II/2009 tentang Pengendalian Kebakaran Hutan. Jakarta: KemenLHK.
- [PPPJL] Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional. 2015. *Pedoman Pemanfaatan Data Landsat 8 untuk Deteksi Daerah Terbakar (Burned Area)*. Jakarta (ID): Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional.
- [PPPJL] Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh Lapan. 2016. *Panduan teknis (V.01) informasi titik panas (hotspot) kebakaran hutan/lahan*. Jakarta (ID) : Deputi Bidang Penginderaan Jauh lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional.
- Agustiar AB, Mustajib, Fadlilatul A, Ahmad F. 2019. Kebakaran hutan dan lahan perspektif etika lingkungan. *Jurnal Studi Islam* 20(2):124-132.
- Amandasari GF. 2017. Estimasi tingkat keparahan kebakaran hutan dan lahan menggunakan citra landsat 8 di kabupaten pulang pisau provinsi kalimantan tengah [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Bayanuddin AA. 2016. Pendugaan cadangan karbon di atas permukaan pada hutan rakyat dengan memanfaatkan data *Synthetic Aperture Radar* Sentinel-1 (studi kasus di Kabupaten Sukoharjo) [Skripsi]. Surakarta (ID): Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Chen CW, Zebker HA. 2001. Of statistical models for cost functions in nonlinear optimization. *J. Opt. Soc. Am. A* 18(1): 338–351.
- Chrisnawati G. 2017. Analisa sebaran titik panas dan suhu permukaan daratan sebagai penduga terjadinya kebakaran hutan menggunakan sensor satelit NOAA/AVHRR dan EOS Aqua-Terra/MODIS [skripsi]. Depok (ID): Universitas Indonesia.
- Cyntia, Pudja IP. 2018. Analisis penurunan muka tanah DKI Jakarta dengan metode diferensial onterferimetry synthetic aperture radar (DInSAR). *Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika* 2(2): 88-99.
- Dewi R. 2017. Estimasi tingkat keparahan kebakaran hutan dan lahan menggunakan citra landsat 8 di Kabupaten Rokan Hilir Provinsi Riau [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor
- Dwisutono AN, Budi SW, Istomo. 2019. Keanekaragaman tumbuhan pada tipe penggunaan lahan di kesatuan hidrologis gambut (KHG) Sungai Mendahara – Batanghari, Provinsi Jambi. *Media Konservasi* 24(2): 141-151.

- Emiyati, Manoppo AKS, Hartuti M. 2016. Pemanfaatan Data Radar Sentinel-1 untuk Pemetaan Lahan Tambak di Kabupaten Gresik Jawa Timur. *Prosiding Sinas Inderaja 2016* Jakarta(ID): 20 Agustus 2016.
- Endrawati. 2016. Analisis Data Titik Panas (Hotspot) dan Areal Kebakaran Hutan dan Lahan Tahun 2016. Jakarta (ID): Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Goldstein RM, Werner CL. 1998. Radar interferogram filtering for geophysical applications. *Geophys. Res. Lett* 25(1): 4035–4038. <https://doi.org/10.1029/1998GL900033>.
- Fathoni MN, Chulafak GA, Kushardono D. 2017. Kajian Awal Pemanfaatan Data Radar Sentinel-1 untuk Pemetaan Lahan Baku Sawah di Kabupaten Indramayu Jawa Barat. Seminar Nasional Penginderaan Jauh ke-4, 181- 183.
- Firmansyah MA, Subowo. 2012. Dampak kebakaran lahan terhadap kesuburan fisik, kimia, dan biologi tanah serta alternatif penanggulangan dan pemanfaatannya. *Jurnal Sumberdaya Lahan* 6(2):89-101.
- Francis PW, Wadge G, Mougini-Mark PJ. 1996. Satellite monitoring of volcanoes, Dalam R. Scarpa and R.I. Tilling (eds.) *Monitoring and mitigation of volcano hazards*. New York (US): Springer-Verlag.
- Hafni DAF. 2017. Estimasi luas kebakaran dan emisi karbon akibat kebakaran hutan dan lahan gambut di Kabupaten Siak, Provinsi Riau [tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor
- Hermawan E. 2010. Pengelompokan pola curah hujan yang terjadi di beberapa kawasan P. Sumatera berbasis hasil analisis teknik spektral. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika* 11(2): 75-87.
- Islam LJJ, Prasetyo Y, Sudarsono B. 2017. Analisis penurunan muka tanah (Land subsidence) kota Semarang menggunakan citra sentinel-1 berdasarkan metode dinsa pada perangkat lunak SNAP. *Jurnal Geodesi Undip* 6(2): 29-37.
- Jackson RD, Huete AR. 1991. Interpreting vegetation indices. *Journal of Preventive Veterinary Medicine* 11(91): 231- 237.
- Joosten H. 2007. *Peatland and carbon*. Kuala Lumpur (MY): Assetment on Peatland, Biodiversity and Climat Change Global Environmental Centre.
- KLHK. 2020. *Burn area 2019*. Diakses 17 September 2020, dari <http://webgis.dephut.go.id/>.
- Khakim MYN, Bama AA, Yustian I, Poerwono P, Tsuji T, Matsuoka T. 2020. Peatland subsidence and vegetation cover degradation as impacts of the 2015 El niño event revealed by Sentinel-1A SAR data. *Int J Appl Earth Obs Geoinformation* 8(1): 1-14. Doi:10.1016/j.jag.2019.101953.
- Kurniati E, Rahardjo N. 2015. Evaluasi metode klasifikasi dalam pembuatan peta kepadatan penduduk DIY dengan permukaan statistik dan uji proporsi. *Jurnal Bumi Indonesia* 4(1): 214-222.
- Lazecky M, Hlavacova I, Martinovic J, Ruizarmenteros AM. 2018. Accuracy of sentinel-1 interferometry monitoring system based on topography-free phase images. *Procedia Computer Science* 138(1): 310–317.
- Lillesand TM, Kiefer RW. 1990. *Penginderaan Jauh dan Interpretasi Citra*. Dulbahri, Suharsono P, Hartono dan Suharyadi, Penerjemah. Yogyakarta (ID): Gadjah Mada University Press. Terjemahan dari: Remote Sensing and Image Interpretation.

- Loboda T, O'Neal KJ, Csiszar I. 2007. Regionally adaptable dNBR-based algorithm for burned area mapping from MODIS data. *Remote Sensing of Environment* 109(4): 429–442.
- Lillesand TM, Kiefer RW. 1994. *Penginderaan Jauh dan Interpretasi Citra*. Yogyakarta(ID): Gadjah Mada University Press.
- Lubis AH. 2016. Respon karakteristik tanah gambut terhadap kebakaran [skripsi] Bogor(ID): Institut Pertanian Bogor.
- Nurlina, Ridwan IR, Putri WE. 2018. Analisis Kebakaran Lahan Gambut Menggunakan Citra Satelit Multitemporal. *Prosiding Seminar Nasional Lingkungan Lahan Basah* 3(2): 352-355.
- Nailufar B, Syahdat RM, Ameliawati P. Analisis perubahan indeks kerapatan vegetasi dengan metode analisis *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) di Kota Batu berbasis sistem informasi geografis (GIS) dan penginderaan jauh. *Jurnal Arsitektur* 19(2): 59-67.
- Parwati, Zubaidah A, Vetrira Y, Yulianto F, Sukowati KAD, Khomarudin MR. 2012. Kapasitas indeks lahan terbakar *Normalized Burn Ratio* (NBR) dan *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dalam mengidentifikasi bekas lahan terbakar berdasarkan data SPOT-4. *Jurnal Ilmiah Geomatika* 18(1): 29-41.
- Prasasti I, Boer R, Ardiyansyah M, Buono A, Syaufina L, Vetrira Y. 2012. Analisis hubungan kode-kode SPBK (Sistem Peringkat Bahaya Kebakaran) dan *hotspot* dengan kebakaran hutan dan lahan di Kalimantan Tengah. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan* 2(2): 91–101.
- Prayoga MBR, Yananto A, Kusumo DA. 2017. Analisis korelasi kerapatan titik api dengan curah hujan di pulau Sumatera dan Kalimantan. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca* 18(1): 17-24.
- Ramli S. 2010. *Petunjuk Praktis Manajemen Kebakaran*. Jakarta (ID): Dian Rakyat
- Ratnaningsih AT, Prastyaningsih SR. 2017. Dampak kebakaran hutan gambut terhadap subsidensi di hutan tanaman industri. *Wahana Forestra: Jurnal Kehutanan* 12(1): 37-44.
- Prakoso Y. 2005. Dampak kebakaran hutan terhadap sifat fisik tanah di hutan tanaman sekunder *Acacia mangium* di Desa Langensari, Kecamatan Parungkuda, Sukabumi, Jawa Barat [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Que VKS, Prasetyo SYJ, Fibriani C. 2019. Analisis perbedaan indeks vegetasi *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dan *Normalized Burn Ratio* (NBR) Kabupaten Pelalawan menggunakan citra satelit Landsat 8. *Indonesian Journal of Modeling and Computing* 1(1) : 1-7.
- Roy DP, Boschetti L, Trigg SN, 2006. Remote sensing of fire severity: Assessing the performance of the normalized burn ratio. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 3(1): 112–116.
- Sarwono. 2003. *Klsifikasi Tanah dan Pedogenesis*. Jakarta(ID): Akademik Pressindo.
- Sugiyono. 2012. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D Statistika Untuk Penelitian*. Bandung (ID): CV Alfabeta Sugiyono.
- Syaufina L, Purba VL. 2017. Penilaian dampak kebakaran pada tegakan akasia di BKPH Parung Panjang KPH Bogor, Perum Perhutani unit III Jawa Barat dan Banten. *Jurnal Silvikultur Tropika* 8(1): 55-62.

- Ulya NA, Syafrul Y. 2006. Analisis dampak kebakaran hutan di Indonesia terhadap distribusi pendapatan masyarakat. *Jurnal Penelitian Sosial & Ekonomi Kehutanan* 3(2): 133-146.
- Wasis B, Saharjo BH, Waldi RD. 2019. Dampak kebakaran hutan terhadap flora dan sifat tanah mineral di kawasan hutan Kabupaten Pelalawan Provinsi Riau. *Jurnal Silvikultur Tropika* 10(1):40-44.
- Wahyunto *et al.* 2005. *Sebaran Gambut dan Kandungan Karbon di Sumatera dan Kalimantan*. Bogor (ID): Wetlads International.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Nilai data raster hasil peta pengamatan

Peta	Minimal	Maksimal	Rata - Rata	Standar Deviasi
Subsiden sebelum kebakaran (Meter)	-0.031	0.083	0.031	0.022
Subsiden setelah kebakaran (Meter)	-0.197	0.091	-0.033	0.041
Kepadatan titik panas (Titik panas/Km ²)	0.000	5.667	0.680	0.984
Keparahan kebakaran	-0.734	0.822	-0.111	0.251
Perubahan tutupan lahan	-3.415	0.943	-0.176	0.305
Lama Kebakaran (Hari)	0.000	26.000	4.549	9.229

Lampiran 2 Pergerakan titik panas harian di KHGSS bulan Juni-Desember tahun 2019

Pergerakan titik panas harian dianalisis menggunakan video *time lapse* pergerakan titik panas. Video tersebut dapat diunduh pada ipb.link/hotspotkhgss2019.