



Suhu Permukaan dan Fluks Bahang: Komparasi Antara Hutan Alam dan Perkebunan Kelapa Sawit di Provinsi Jambi Menggunakan Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL)

Surface Temperature and Heat Fluxes: Comparison between Natural Forest and Oil Palm Plantation in Jambi Province Using Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL)

Salis Deris Artikanur, dan Tania June*

Departemen Geofisika dan Meteorologi, Gedung FMIPA, IPB, Jl. Meranti Wing 19 Lv.4 Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

ARTICLE INFO

Article history:

Received 24 June 2019

Received in revised from 14 November 2019

Accepted 20 December 2019

doi: 10.29244/j.agromet.33.2.62-70

Keywords:

Canopy Cover
Landsat 8
Leaf area index
Micro-climate
Plant biophysical

ABSTRACT

Man-made ecosystems such as oil palm plantations can affect energy balance and surface temperature (T_s) compared to natural ecosystems such as forests. Oil palm plantations in Jambi are widespread. Study of microclimate in oil palm plantations and forests in Jambi is important to be carried out so that surface temperature and heat fluxes (energy balance) can be identified at that location. This study aims to compare T_s and heat fluxes of oil palm with different ages, how is the difference between forest and oil palm plantation, and to analyze the effect of oil palm planting on surface temperature and heat fluxes change in Jambi. Using the Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL), it was found that in Jambi, young oil palm (2 years old) had higher T_s of 2°C compared with adult oil palm (19 years old). Surface temperature of adult oil palm was slightly higher 0.5°C than natural forest. The highest sensible heat flux (H) was in the 2 years old oil palm plantation that was 282 W/m^2 . Latent heat flux (LE) in 7 years old oil palm was higher than another oil palm plantation and forest i.e. 710 W/m^2 . Ground heat flux (G) in 3 years old oil palm plantation i.e. 98 W/m^2 , was the highest than other land uses. Oil palm regeneration can affect the micro-climate characteristics of an area due to changes in plant biophysical characteristics such as height (h), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Canopy Cover (CC), roughness length (z_0), friction velocity (u^*), aerodynamic resistance (r_{zh}), net radiation (R_n), and albedo.

PENDAHULUAN

Pada tahun 2016 produksi kelapa sawit Indonesia sebesar 31.4 juta ton (BPS, 2016) yang menempatkan Indonesia sebagai produsen kelapa sawit terbesar di dunia. Saat ini, perkebunan kelapa sawit Indonesia banyak tersebar di pulau Sumatera dan pulau Kalimantan, salah satu di Provinsi Jambi. Di Jambi, perkebunan kelapa sawit skala besar ada sejak tahun 1985, termasuk di Kabupaten Batanghari, Provinsi Jambi. Dari perkebunan seluas 4000 ha, dalam kurun waktu 1985 hingga 2010 mengalami perkembangan hingga 25.25% per tahun. Pada tahun 2010, total luas perkebunan kelapa sawit di Provinsi Jambi mencapai

513.9 ribu ha dengan produksi *crude palm oil* (CPO) 1.39 juta ton, dan menyerap tenaga kerja sebanyak 185 ribu orang (BPTP, 2014).

Tutupan lahan yang berbeda memiliki karakteristik suhu permukaan (Pal and Ziaul, 2017; Tran et al., 2017) dan neraca energi (Conte et al., 2019; Duveiller et al., 2018) yang berbeda pula. Albedo yang berbeda pada setiap tutupan lahan berpengaruh pada jumlah radiasi matahari yang diserap ataupun dipantulkan (Sabajo et al., 2017). Perubahan nilai albedo dapat mempengaruhi suhu permukaan, dan neraca energi permukaan pada skala lokal (Burakowski et al., 2018; Trlica et al., 2017). Lahan terbuka dengan vegetasi rendah memiliki suhu permukaan dan fluks

* Corresponding author: taniajune@apps.ipb.ac.id

bahang terasa lebih tinggi, namun memiliki fluks bahang laten yang lebih rendah dibandingkan dengan tanaman tinggi berkayu (Liu et al., 2017). Metode *Surface Energy Balance Algorithm for Land* (SEBAL) dapat mengestimasi nilai suhu permukaan dan komponen neraca energi, yaitu nilai fluks bahang tanah (G), fluks bahang terasa (H), dan fluks bahang laten (LE) dengan akurasi cukup baik di berbagai tutupan lahan (Bhattarai et al., 2016; Jassas et al., 2015).

Penelitian ini bertujuan untuk: (i) membandingkan suhu permukaan dan fluks bahang antara perkebunan kelapa sawit muda dan dewasa, (ii) menganalisis perbedaan suhu permukaan dan fluks bahang antara perkebunan kelapa sawit dengan hutan alam, dan (iii) menganalisis pengaruh penanaman kelapa sawit terhadap suhu permukaan dan fluks bahang di Provinsi Jambi menggunakan *Surface Energy Balance Algorithm for Land* (SEBAL). Karakteristik suhu permukaan, fluks bahang, dan parameter iklim mikro lain yang ada pada tanaman kelapa sawit muda, kelapa sawit dewasa, dan hutan alam di Jambi dibandingkan berdasar pada karakteristik kekasapan permukaan, dan karakteristik biofisik tanaman. Penelitian ini memberikan informasi perbandingan antara karakteristik iklim mikro pada tutupan lahan hutan dan kelapa sawit di Jambi, sehingga dapat membantu upaya pengelolaan lingkungan dan biofisik tanaman yang lebih komprehensif, baik di hutan maupun di perkebunan kelapa sawit.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Provinsi Jambi yang terletak pada 0°45'-2°45' LS dan 101°10'-104°55' BT. Pengambilan data dilakukan di perkebunan kelapa sawit dengan tujuh variasi umur yang berbeda (2, 3, 7, 7.5, 15, 19, dan 28 tahun), dan dua hutan alam (hutan primer, dan hutan sekunder). Pengambilan data lapang dilaksanakan pada bulan November 2017.

Data dan Alat

Analisis data menggunakan citra satelit Landsat 8 (path 125, row 61) dengan persentase tutupan awan paling rendah, akuisisi tanggal 27 Juni 2013, 16 Juli 2014, 6 Agustus 2016, dan 19 April 2017. Data yang diambil di lapang meliputi koordinat titik lokasi, data iklim stasiun (suhu dan kecepatan angin), tinggi tanaman, indeks luas daun (*leaf area index*, LAI), dan tutupan kanopi (*canopy cover*, CC). Alat untuk mengolah data terdiri dari ArcGIS 10.3, dan *Gap Light Analyzer*. Sedangkan untuk pengukuran lapang, alat GPS untuk merekam koordinat lokasi, Vertex untuk mengukur tinggi tanaman, kamera *fish-eye* untuk mengukur nilai LAI dan CC tanaman.

Sebelum dilakukan analisis data spasial, citra Landsat perlu dikalibrasi radiometrik, kemudian dipotong sesuai dengan batas wilayah kajian dan dihilangkan pada bagian yang tertutup awan. Parameter yang diturunkan dari data citra Landsat 8, yaitu: (i) *normalized different vegetation index* (NDVI), (ii) emisivitas, (iii) suhu permukaan, (iv) albedo, (v) radiasi masuk bumi, (vi) radiasi keluar bumi, (vii) radiasi netto, (viii) fluks bahang tanah, dan (ix) fluks bahang terasa. Parameter lain yang digunakan untuk menghitung fluks bahang terasa, yaitu: (i) panjang kasap, (ii) kecepatan angin pada ketinggian 200m, (iii) kecepatan kasap, (iv) tahanan aerodinamik, dan (v) perbedaan suhu pada dua variasi ketinggian. Nilai fluks bahang laten berasal dari perhitungan beberapa parameter yang diperoleh. Hasil akhir berupa peta dan tabel kemudian dilakukan analisis lanjutan.

Prosedur Analisis Data

Penelitian ini menggunakan metode *Surface Energy Balance Algorithm for Land* (SEBAL) untuk mengestimasi variasi spasial dari parameter-parameter iklim mikro utama secara empiris. Metode ini memerlukan data citra satelit, suhu permukaan, dan tinggi tanaman. Dalam perhitungan, model tidak melibatkan model simulasi numerik. Nilai fluks dari setiap tutupan lahan dapat dihitung menggunakan model SEBAL. Metode ini dapat digunakan untuk mengolah citra *thermal infrared* pada resolusi meter hingga kilometer. Hubungan empiris setiap parameter disesuaikan berdasar lokasi geografis dan waktu akuisisi citra Landsat 8 yang digunakan. Data input SEBAL yang paling penting yaitu data cuaca dan data citra satelit. Radiasi gelombang pendek dan fluks bahang tanah dihitung dari data citra satelit. Flux bahang terasa dihitung berdasarkan hubungan linier antara dT (perbedaan antara suhu permukaan dan suhu udara) dan suhu permukaan yang diturunkan dari data citra Landsat 8. Fluks bahang laten diperoleh dari perhitungan keseimbangan energi (Hoffmann et al., 2016).

1. Mengitung NDVI dan Emisivitas permukaan
Nilai NDVI dapat diketahui melalui data reflektansi citra satelit yang terkoreksi dari efek atmosfer dengan menggunakan perangkat lunak ArcGIS pada menu image analysis. Rumus perhitungan NDVI (Jensen and Lulla, 1987) melalui citra disajikan pada Persamaan (1).

$$NDVI = \frac{(NIR-Red)}{(NIR+Red)} \quad (1)$$

dimana *NIR* nilai reflektansi dari band cahaya inframerah dekat, pada Landsat 8 adalah band 5,

dan *Red* nilai reflektansi dari band cahaya merah, pada Landsat 8 yaitu band 4.

2. Menghitung Suhu dan Albedo Permukaan

Suhu permukaan ditentukan dengan menghitung suhu kecerahan (*T_b*). Suhu kecerahan kemudian dikonversi menjadi suhu permukaan (Artis and Carnahan, 1982) menggunakan Persamaan (2).

$$T_s = \frac{T_b}{1 + \left(\frac{\lambda T_b}{\sigma}\right) \ln \epsilon} \quad (2)$$

dimana *T_s* suhu permukaan (K), *T_b* suhu kecerahan (K), λ panjang gelombang dari radiasi yang dipancarkan (11.5 μ m), ϵ emisivitas objek, σ merupakan $\frac{h.c}{\sigma}$, yaitu sebesar 1.438×10^{-2} M K yang berasal dari *h* konstanta Planck (6.26×10^{-34} J sec), *c* kecepatan cahaya (2.998×10^8 ms⁻¹), dan σ konstanta Boltzman (1.38×10^{-23} J K⁻¹).

3. Radiasi Netto (*R_n*), Fluks Bahang Tanah (*G*) dan Fluks Bahang Terasa (*H*)

Radiasi netto (*R_n*) merupakan radiasi hasil selisih dari gelombang pendek dan gelombang panjang yang masuk ke permukaan bumi dengan gelombang pendek dan gelombang panjang yang dipancarkan keluar dari permukaan bumi. Perhitungan neraca radiasi menggunakan Persamaan (3).

$$R_n = R_{Sin} - \alpha * R_{sin} + R_{Lin} - R_{Lout} - (1 - \epsilon) * R_{Lin} \quad (3)$$

dimana *R_{Sin}* radiasi gelombang pendek yang masuk (W/m²), *R_{Lin}* radiasi gelombang panjang yang masuk (W/m²), *R_{Lout}* radiasi gelombang panjang yang keluar (W/m²), α albedo, dan ϵ emisivitas.

Fluks bahang tanah (*G*) dapat diduga menggunakan metode remote sensing dengan Persamaan (4) (Bastiaanssen, 2000). Persamaan tersebut merupakan fungsi dari radiasi netto, suhu permukaan, albedo, dan indeks kerapatan tanaman (NDVI).

$$\frac{G}{N} = \frac{T_s}{\alpha} (0.0038 \alpha + 0.0074 \alpha^2) * (1 - 0.98 * NDVI^4) \quad (4)$$

dimana *T_s* suhu permukaan (°C).

Nilai fluks bahang terasa (*H*) dihitung melalui beberapa tahapan, mulai dari menghitung *Z₀*, *Z₂₀₀*, *u**,

rah, dan *dT* di lokasi studi. Perhitungan nilai *H* disajikan pada Persamaan (5).

$$H = \left(\rho * C_p \left(\frac{b+a T_s}{rah} \right) \right) + 273.15 \quad (5)$$

dimana *rah* tahanan aerodinamik transport bahang (s/m), ρ massa jenis udara (1.16 kg/m³), *C_p* panas spesifik udara (1004 J/Kg/K), *a* dan *b* adalah *slope* dan intersep dari persamaan linier antara *dT* dengan *T_s*. Sesuai dengan asumsi neraca energi dalam SEBAL, fluks bahang laten (*LE*) merupakan radiasi netto (*R_n*) dikurangi dengan fluks bahang tanah (*G*) dan fluks bahang terasa (*H*) (Persamaan 6).

$$LE = R_n - G - H \quad (6)$$

dimana *LE* fluks bahang laten (W/m²), *G* fluks bahang tanah (W/m²), and *H* fluks bahang terasa (W/m²).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Algoritma SEBAL dapat mengestimasi variasi spasial dari tiap parameter iklim mikro di Jambi. Nilai tiap parameter yang diperoleh pada tiap lokasi pengukuran disajikan pada Tabel 1. Nilai tersebut merupakan nilai rerata tahun 2013, 2014, 2016, dan 2017. Pada tiap tutupan lahan memiliki variasi spasial dan temporal yang cukup baik.

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

NDVI terendah terdapat di lokasi kebun KS2. Nilai NDVI yang rendah di lokasi tersebut disebabkan oleh tanaman kelapa sawit muda yang masih berumur 2 tahun, sehingga tutupan vegetasi di lokasi tersebut tidak rapat dan lahan cenderung terbuka. Tanaman kelapa sawit di lokasi lain yang berumur lebih dewasa menunjukkan nilai NDVI yang lebih tinggi dikarenakan tanaman yang lebih tinggi dan kanopi yang lebih rapat. Lokasi KS19 dengan tinggi rata-rata tanaman kelapa sawit 14.8 meter memiliki NDVI yang lebih besar dibandingkan dengan Hutan Harapan Sekunder dengan tinggi rata-rata tanaman yang sama. Hutan Harapan Primer terletak cukup jauh di dalam kawasan Hutan Harapan jika dibandingkan dengan Hutan Harapan Sekunder yang terletak di bagian luar kawasan. Semakin ke dalam kawasan hutan, maka semakin minimum gangguan yang dialami dan vegetasi tumbuh lebih alami dan Hutan Harapan Primer memiliki NDVI yang lebih tinggi dibandingkan dengan Hutan Harapan Sekunder (Gambar 1a).

Tabel 1. Nilai rata-rata tahun 2013, 2014, 2016, dan 2017 dari 12 parameter metode SEBAL pada sembilan lokasi contoh di Jambi.

Parameter	Unit	Lokasi								
		KS2	KS3	KS7	KS7.5	KS15	KS19	KS28	HS	HP
NDVI	-	0.19	0.28	0.30	0.25	0.27	0.35	0.28	0.30	0.32
Ts	C	21.50	20.97	19.80	20.83	20.43	19.40	19.90	19.20	19.90
Rn	W/m ²	948.00	1063.00	1071.00	958.40	978.40	1038.00	929.00	1031.00	1021.00
G	W/m ²	91.40	97.81	92.50	90.41	90.22	84.70	83.40	85.00	87.10
H	W/m ²	282.00	278.70	268.00	270.40	266.30	257.00	259.00	253.00	258.00
LE	W/m ²	575.00	686.80	711.00	597.60	621.90	696.00	587.00	693.00	676.00
z ₀	m	0.49	0.81	0.89	0.70	0.76	1.04	0.76	0.86	1.00
u*	m/s	0.57	0.59	0.59	0.59	0.59	0.64	0.60	0.62	0.63
r _{ah}	s/m	13.00	12.51	12.30	12.46	12.28	11.50	12.30	11.80	11.60
Emisivitas	-	0.987	0.988	0.988	0.987	0.988	0.989	0.988	0.988	0.988
Albedo	-	0.099	0.093	0.098	0.109	0.085	0.084	0.107	0.082	0.080
NDVI/albedo	-	1.950	3.397	3.800	2.678	3.067	4.590	3.170	3.930	4.200

Keterangan:

KS2 kelapa sawit umur 2 tahun; **KS3** kelapa sawit umur 3 tahun; **KS7** kelapa sawit umur 7 tahun; **KS7.5** kelapa sawit umur 7.5 tahun; **KS15** kelapa sawit umur 15 tahun; **KS19** kelapa sawit umur 19 tahun; **KS28** kelapa sawit umur 28 tahun; **HS** hutan sekunder; **HP** hutan primer.

Suhu Permukaan

Suhu permukaan pada wilayah perkebunan kelapa sawit cenderung tinggi ketika masih muda, kemudian semakin turun hingga usia dewasa. Namun ketika mendekati waktu untuk *re-planting*, maka suhu permukaan akan meningkat lagi karena tanaman yang sudah meranggas. Faktor kesehatan tanaman juga dapat mempengaruhi suhu permukaan. Lokasi dengan suhu permukaan dari tinggi ke rendah secara berurutan yaitu KS2, KS3, KS7.5, KS15, KS28, HP, KS7, KS19, dan HS. Suhu masing-masing yaitu 21.5°C, 21°C, 20.9°C, 20.5°C, 19.9°C, 19.9°C, 19.8°C, 19.4°C, dan 19.2°C (Gambar 1b).

Hasil ini mengindikasikan bahwa pada tanaman kelapa sawit muda memiliki nilai suhu permukaan lebih tinggi dibandingkan dengan kelapa sawit dewasa. Suhu permukaan kelapa sawit akan semakin menurun seiring dengan umur tanaman yang bertambah. Tanaman kelapa sawit dewasa memiliki suhu permukaan hampir sama dengan suhu permukaan pada hutan. Tinggi tanaman kelapa sawit dewasa umur 19 tahun (KS19) di PTPN VI sama dengan tinggi rata-rata vegetasi yang ada di hutan sekunder yaitu 14.8 meter.

Komponen Neraca Energi (Radiasi Netto dan Fluks Bahang)

1. Radiasi Netto (RN)

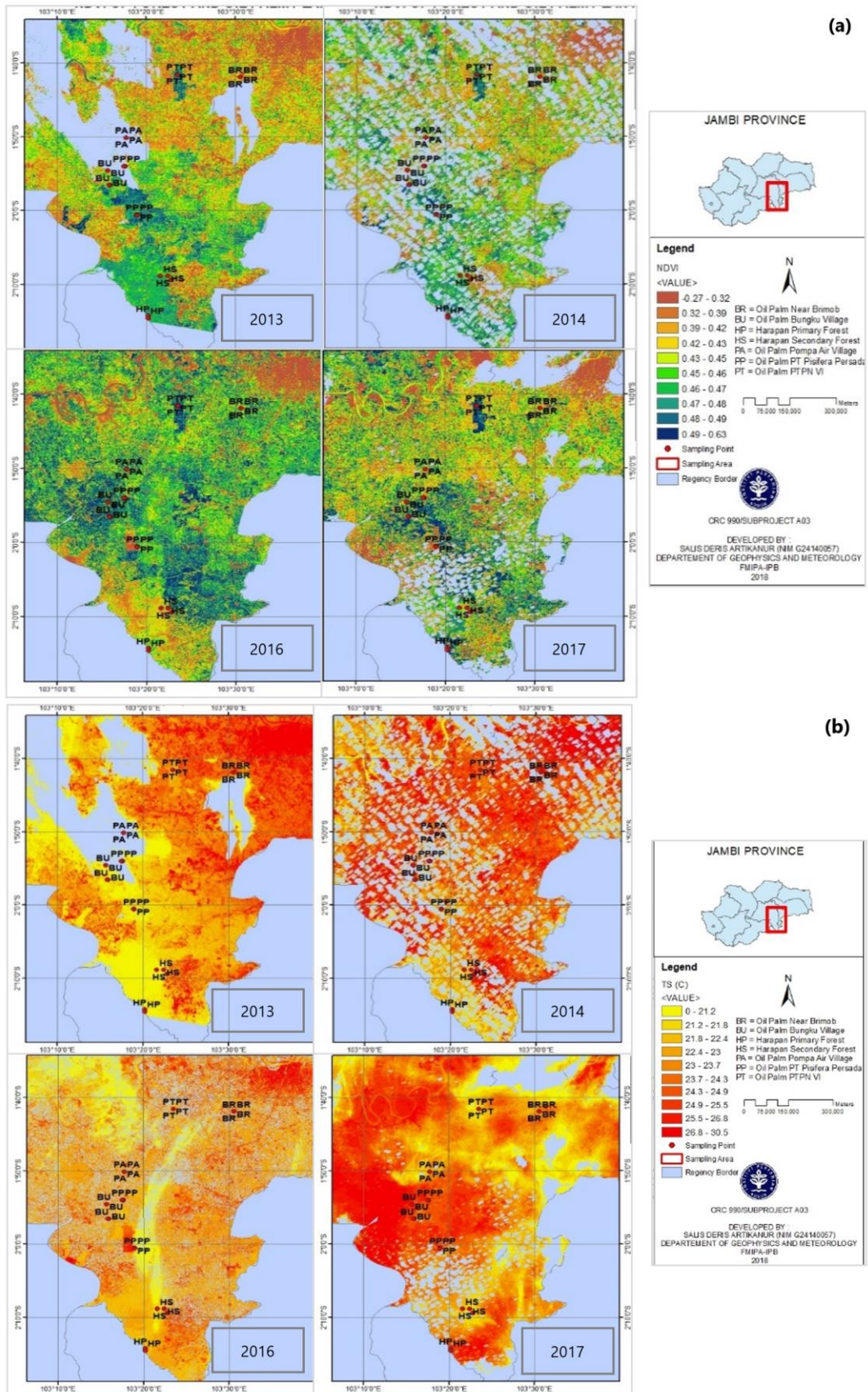
Dalam SEBAL, radiasi netto merupakan komponen penting untuk mengestimasi nilai fluks bahang tanah, fluks bahang terasa, hingga fluks bahang laten. Radiasi netto akan lebih besar di lokasi dengan vegetasi yang lebih dewasa dan lebih rapat. Hal

ini terjadi karena tanaman memiliki kemampuan lebih tinggi dalam menyerap radiasi.

Hubungan yang baik antara Rn-G dengan H+LE di KS19 dapat dilihat dari nilai R2 yang tinggi yaitu 0.9524 dan p_{value} yang signifikan (0.000862), sehingga asumsi bahwa Rn merupakan total dari G, H, dan LE dalam SEBAL dapat digunakan. Nilai dari masing-masing fluks bahang bervariasi tergantung pada kondisi tutupan lahan dan karakteristik iklim wilayah tersebut. Radiasi netto secara rata-rata yang terbesar dihitung di lokasi kebun kelapa sawit Desa Pompa Air, sedangkan yang terkecil ada di lokasi kebun kelapa sawit KS2. Hal ini menyebabkan secara rata-rata LE yang merupakan sisa serta memiliki kontribusi terbesar terhadap radiasi netto, tertinggi berada di kebun KS7 dan yang terendah berada di KS2.

2. Fluks Bahang Tanah (G)

Sesuai dengan umur dan kondisi fisik yang dapat dibandingkan melalui geometri (tinggi, LAI, dan *Canopy Cover*) tanaman, fluks bahang tanah lebih tinggi pada lokasi sampel tanaman kelapa sawit muda, dimana permukaan lahan lebih terbuka dibandingkan dengan tanaman kelapa sawit dewasa. Dalam penelitian ini secara rata-rata fluks bahang tanah tertinggi ada di lokasi KS3, sedangkan yang terendah ada di lokasi KS28. Semakin tinggi dan rapat kanopi tanaman, maka akan menghalangi radiasi matahari yang masuk sehingga terjadi pemanasan pada tanah di bawah kanopi. Sehingga fluks bahang tanah menjadi lebih rendah.



Gambar 1. Hasil pengolahan data citra Landsat 8 untuk parameter (a) NDVI, dan (b) suhu permukaan pada tutupan lahan hutan dan perkebunan kelapa sawit di Jambi tahun 2013, 2014, 2016, dan 2017. **BR** titik sampel untuk KS2 (kelapa sawit umur 2 tahun), **PP1** titik sampel untuk KS3 (kelapa sawit umur 3 tahun), **PA** titik sampel untuk KS7 (kelapa sawit umur 7 tahun), **BU1** titik sampel untuk KS7.5 (kelapa sawit umur 7.5 tahun), **BU2** titik sampel untuk KS15 (kelapa sawit umur 15 tahun), **PT** titik sampel untuk KS19 (kelapa sawit umur 19 tahun), **PP2** titik sampel untuk KS28 (kelapa sawit umur 28 tahun), **HS** titik sampel untuk hutan sekunder, **HP** titik sampel untuk hutan primer.

3. Fluks Bahang Terasa (H)

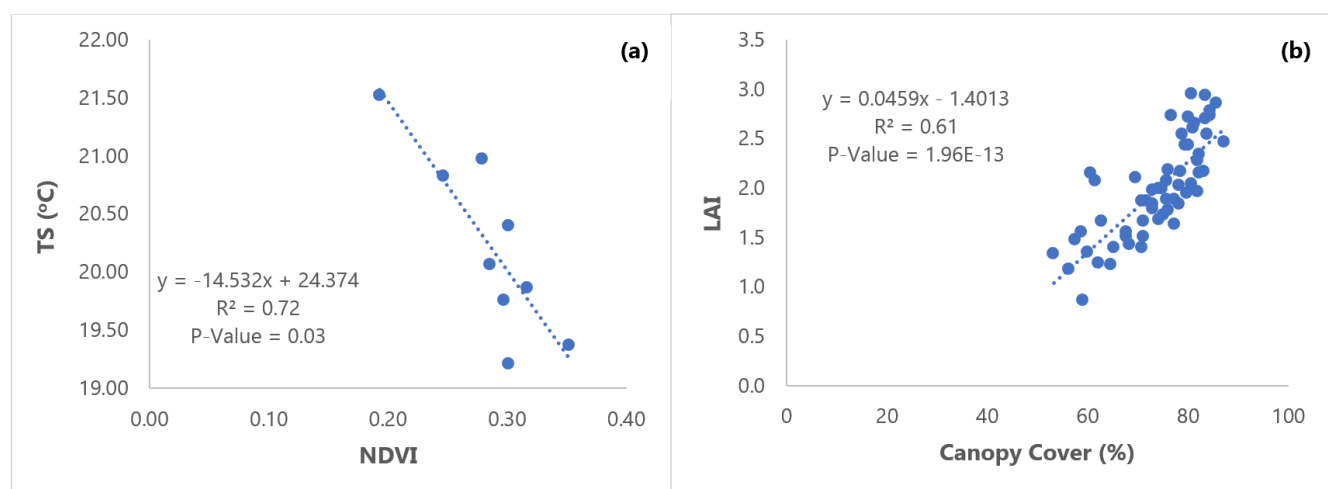
Fluks bahang terasa secara rata-rata yang terkecil ada di Hutan Harapan Sekunder, sedangkan yang terbesar ada di KS2. Nilai ini memberikan arti bahwa energi yang digunakan untuk memanaskan udara lebih besar di kelapa sawit KS2 jika dibandingkan dengan lokasi lain. Fluks bahang terasa berbanding lurus dengan suhu permukaan. Suhu permukaan yang tinggi akan diikuti dengan fluks bahang terasa yang tinggi pula, sebagaimana persamaan untuk mencari fluks bahang terasa (H) di dalam SEBAL. Penurunan H terjadi seiring dengan penurunan suhu permukaan ketika tinggi, LAI, CC, dan NDVI tanaman kelapa sawit meningkat. Efek pendinginan terjadi seiring dengan penambahan umur tanaman kelapa sawit. Nilai fluks bahang terasa antara tanaman kelapa sawit dewasa (KS19) dengan hutan alam di Jambi memiliki perbedaan yang kecil dikarenakan NDVI, Ts, h, CC, dan LAI antara dua tutupan lahan tersebut memiliki nilai perbedaan yang kecil.

Hubungan antara NDVI dan Ts bernilai negatif dengan koefisien korelasi Pearson sebesar 0.86 ($R^2 = 0.72$) (Gambar 2a). Hasil korelasi antara NDVI dengan Ts ini sesuai dengan beberapa penelitian yang sudah ada (e.g. Anbazhagan and Paramasivam, 2016; Deng et al., 2018; Rani et al., 2018). Sebanyak sembilan lokasi pengamatan di Jambi yang meliputi hutan alam dan perkebunan kelapa sawit digunakan untuk mengetahui korelasi antara kedua parameter tersebut. Tanaman kelapa sawit yang masih muda hanya memiliki sedikit daun, sehingga tutupan kanopi dan LAI yang rendah. Semakin dewasa umur tanaman kelapa sawit, maka akan semakin bertambah tinggi tanaman. Struktur kanopi dari daun akan semakin rapat dan lebih menutup permukaan di bagian bawah kanopi (Gambar 2b).

Terjadi hubungan positif yang signifikan dengan koefisien korelasi Pearson sebesar 0.78 ($R^2 = 0.61$) antara CC dengan LAI. Semakin besar CC, maka kemampuan kanopi kelapa sawit dalam meredam panas akan semakin besar. Selain karena albedo yang lebih kecil dibandingkan kelapa sawit muda dengan CC yang lebih rendah, juga karena tanaman dengan CC lebih besar akan memiliki tahanan aerodinamik yang lebih kecil. Sehingga, fluks bahang terasa dan fluks bahang laten dari perhitungan SEBAL yang terjadi di pertanaman dapat menghasilkan efek pendinginan lokasi di sekitar kanopi.

Panjang kasap secara rata-rata dari tahun 2013, 2014, 2016, dan 2017 yang terkecil terdapat pada KS2, sedangkan yang terbesar terdapat di KS19. Semakin tinggi tanaman, panjang kasap akan cenderung meningkat. Hal ini menggambarkan bahwa wilayah dengan vegetasi yang rapat dan tinggi, memiliki permukaan lebih kasap dibandingkan dengan wilayah yang sedikit vegetasi atau yang bervegetasi rendah.

Pada saat beberapa elemen kekasapan disusun secara berdekatan, akan ada permukaan yang lebih tinggi yang dibentuk oleh mereka, setara dengan jarak dimana ketinggian bergerak naik, dan jarak ini disebut *zero plane-displacement* (d) (Hu et al., 2015). Nilai d akan naik seiring umur dan tinggi tanaman yang bertambah, sama dengan parameter kekasapan lain yaitu z_0 dan u^* (June et al., 2018). Ketika tinggi dan LAI tanaman mencapai maksimum, sedangkan jarak antar tanaman menjadi minimum akibat kanopi yang rapat, maka d juga akan maksimum. Korelasi antara NDVI/albedo dengan d menghasilkan persamaan yang cukup baik dengan koefisien korelasi Pearson sebesar 0.79 ($R^2 = 0.63$). Selain itu, nilai P-Value yang dihasilkan menunjukkan hubungan ini signifikan (Wayant et al., 2018). Sehingga kenaikan NDVI/albedo dapat menjelaskan peningkatan nilai d di lokasi tersebut.



Gambar 2. Hasil identifikasi hubungan antara parameter: (a) NDVI dengan suhu permukaan (Ts), dan (b) *Canopy cover* dengan indeks luas daun (LAI).

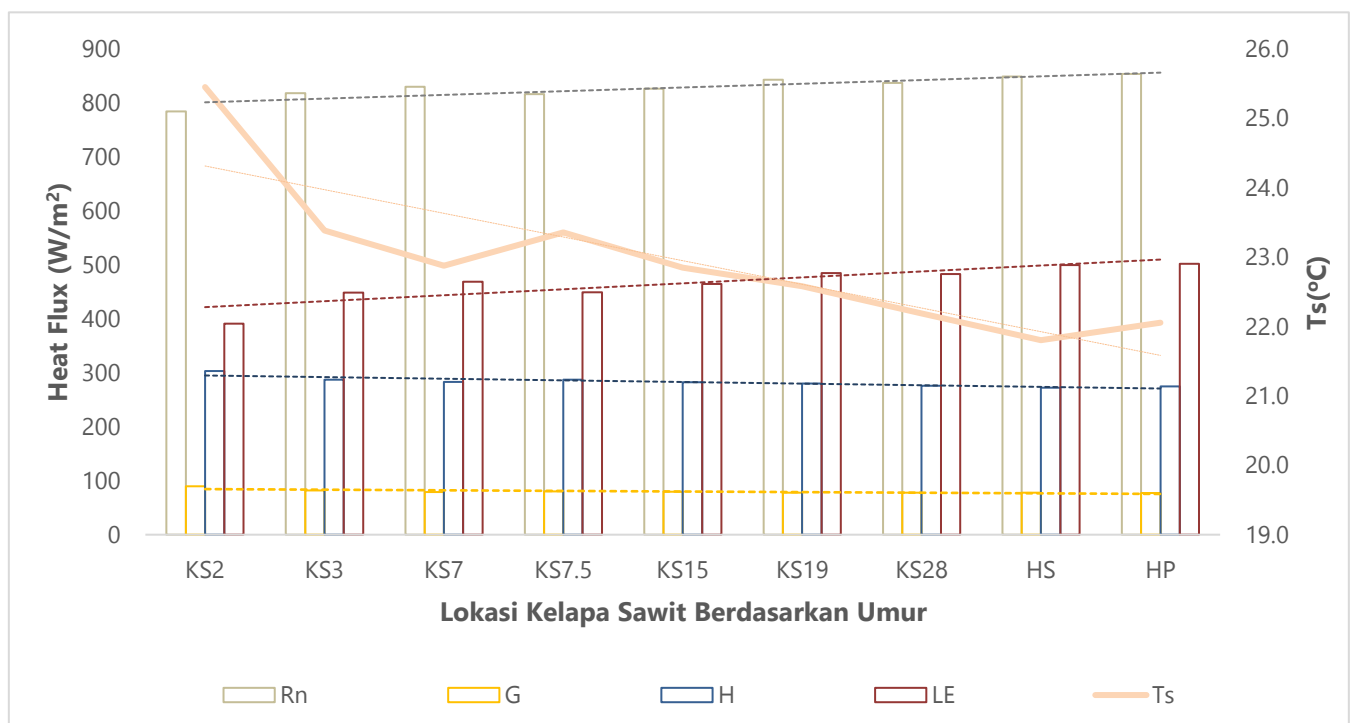
Nilai kecepatan kasap (u^*) meningkat seiring dengan peningkatan kecepatan angin (Pelliccioni et al., 2016). Pada tanaman yang lebih tinggi, kecepatan angin yang semakin besar sehingga kecepatan kasap lebih besar dibandingkan dengan tanaman yang lebih rendah. Didapatkan nilai parameter kekasapan u^* yang beragam di setiap lokasi pengambilan sampel yang berbeda dan nilai yang cenderung lebih besar pada tanaman kelapa sawit dewasa dibandingkan dengan kelapa sawit muda. Kebun kelapa sawit umur 19 tahun memiliki nilai u^* yang hampir sama dengan Hutan Harapan. Berdasarkan SEBAL kelapa sawit dewasa dengan tinggi rata-rata sama dengan hutan alam memiliki profil kekasapan permukaan yang hampir serupa. Tahanan aerodinamik berperan dalam transport bahang. Peningkatan tahanan aerodinamik dan penurunan panjang kasap dapat menyebabkan peningkatan suhu permukaan (Yang et al., 2017). Suhu permukaan yang meningkat di suatu lokasi, maka dapat meningkatkan fluks bahang terasa di lokasi tersebut.

4. Fluks Bahang Laten (LE)

Fluks bahang laten menunjukkan energi yang digunakan untuk evaporasi dan transpirasi. Evapo-

transpirasi lebih banyak terjadi di lokasi yang bervegetasi, sehingga fluks bahang laten vegetasi akan lebih tinggi. Suhu udara dan fluks bahang terasa pada tanaman kelapa sawit muda lebih tinggi dan kekasapan permukaan yang lebih rendah dibandingkan tanaman kelapa sawit dewasa yang menginvestasikan lebih banyak energi untuk fluks bahang laten sehingga memiliki suhu permukaan yang lebih rendah (June et al., 2018).

Fluks bahang laten secara rata-rata yang terendah ada di lokasi yang vegetasi rendah atau masih muda, dalam penelitian ini yaitu KS2 (Gambar 3). Sedangkan fluks bahang laten tertinggi ada di kelapa sawit Desa Pompa Air. Hal ini menunjukkan bahwa evapotranspirasi lebih banyak terjadi di lokasi kelapa sawit yang berumur dewasa dan lebih rapat dibandingkan dengan lokasi kelapa sawit yang berumur masih muda. Peningkatan evapotranspirasi akan meningkatkan pendinginan permukaan (Abtew and Melesse, 2016; Sun et al., 2015; Zhao et al., 2017). Sehingga lokasi yang memiliki LE tinggi, nilai suhu permukaan akan cenderung lebih rendah dibandingkan dengan lokasi sekitar yang memiliki LE lebih rendah, disebabkan oleh sifat air yang mempunyai kapasitas panas tinggi.



Gambar 3. Grafik suhu permukaan (T_s), fluks bahang (Heat flux) dan komponen neraca energi (R_n radiasi netto, G bahang tanah, H bahang terasa, LE bahang laten) pada tutupan lahan hutan dan perkebunan kelapa sawit di Jambi tahun 2013, 2014, 2016, dan 2017. **KS2** kelapa sawit umur 2 tahun; **KS3** kelapa sawit umur 3 tahun; **KS7** kelapa sawit umur 7 tahun; **KS7.5** kelapa sawit umur 7.5 tahun; **KS15** kelapa sawit umur 15 tahun; **KS19** kelapa sawit umur 19 tahun; **KS28** kelapa sawit umur 28 tahun; **HS** hutan sekunder; **HP** hutan primer.

KESIMPULAN

Suhu permukaan kelapa sawit dewasa lebih rendah dibandingkan dengan kelapa sawit muda karena terjadi hubungan negatif antara NDVI, h, dan CC dengan suhu permukaan. Ketika NDVI, h, dan CC mengalami kenaikan, maka suhu permukaan akan mengalami penurunan. Suhu permukaan pada tanaman kelapa sawit dewasa sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan hutan di Jambi yaitu sekitar 0.5oC. Nilai fluks bahang tanah dan fluks bahang terasa akan turun ketika tanaman kelapa sawit semakin dewasa, sedangkan nilai fluks bahang laten akan naik. Hal ini terjadi akibat peningkatan h, NDVI, CC, panjang kasap, dan kecepatan kasap. Penurunan suhu permukaan, albedo, dan tahanan aerodinamik mengakibatkan efek pendinginan pada tanaman kelapa sawit dewasa. Fluks bahang tanah pada perkebunan kelapa sawit dewasa lebih rendah dibandingkan dengan hutan alam di Jambi, sedangkan fluks bahang terasa dan fluks bahang laten yang sedikit lebih tinggi dibandingkan hutan alam. Hasil-hasil tersebut menunjukkan bahwa penanaman kelapa sawit mempengaruhi karakteristik iklim mikro suatu wilayah dan dapat berubah tergantung pada tutupan lahan, parameter cuaca, serta parameter biofisik tanaman seperti umur, tinggi, kerapatan vegetasi, dan tutupan kanopi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abtew, W., Melesse, A., 2016. Landscape dynamics and Evapotranspiration. Presented at the World Environmental and Water Resources Congress 2016, pp. 668–678.
- Anbazhagan, S., Paramasivam, C.R., 2016. Statistical Correlation between Land Surface Temperature (LST) and Vegetation Index (NDVI) using Multi-Temporal Landsat TM Data. *IJAESE* 5, 333–346. <https://doi.org/10.23953/cloud.ijaese.204>
- Artis, D.A., Carnahan, W.H., 1982. Survey of emissivity variability in thermography of urban areas. *Remote Sensing of Environment* 12, 313–329. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(82\)90043-8](https://doi.org/10.1016/0034-4257(82)90043-8)
- Bastiaanssen, W.G.M., 2000. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. *Journal of Hydrology* 229, 87–100. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(99\)00202-4](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(99)00202-4)
- Bhattarai, N., Shaw, S.B., Quackenbush, L.J., Im, J., Niraula, R., 2016. Evaluating five remote sensing based single-source surface energy balance models for estimating daily evapotranspiration in a humid subtropical climate. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 49, 75–86. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.01.010>
- BPS, 2016. Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2016. Badan Pusat Statistik Republik Indonesia, Jakarta.
- BPTP, 2014. Laporan Tahunan BPTP Jambi T.A. 2012. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian, Muaro Jambi.
- Burakowski, E., Tawfik, A., Ouimette, A., Lepine, L., Novick, K., Ollinger, S., Zarzycki, C., Bonan, G., 2018. The role of surface roughness, albedo, and Bowen ratio on ecosystem energy balance in the Eastern United States. *Agricultural and Forest Meteorology* 249, 367–376. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.11.030>
- Conte, L., Renner, M., Brando, P., Oliveira dos Santos, C., Silvério, D., Kolle, O., Trumbore, S.E., Kleidon, A., 2019. Effects of Tropical Deforestation on Surface Energy Balance Partitioning in Southeastern Amazonia Estimated From Maximum Convective Power. *Geophysical Research Letters* 46, 4396–4403. <https://doi.org/10.1029/2018GL081625>
- Deng, Y., Wang, S., Bai, X., Tian, Y., Wu, L., Xiao, J., Chen, F., Qian, Q., 2018. Relationship among land surface temperature and LUCC, NDVI in typical karst area. *Scientific Reports* 8, 641. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-19088-x>
- Duveiller, G., Hooker, J., Cescatti, A., 2018. The mark of vegetation change on Earth's surface energy balance. *Nature Communications* 9, 679. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02810-8>
- Hoffmann, H., Nieto, H., Jensen, R., Guzinski, R., Zarco-Tejada, P., Friborg, T., 2016. Estimating evaporation with thermal UAV data and two-source energy balance models. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 20, 697–713. <https://doi.org/10.5194/hess-20-697-2016>
- Hu, D., Wang, C., Qiao, K., Xu, Y., Deng, L., 2015. Parameterizing the aerodynamic roughness length on a regional scale based on multi-source remote-sensing data. *International Journal of Remote Sensing* 36, 3483–3502. <https://doi.org/10.1080/01431161.2015.1059967>
- Jassas, H., Kanoua, W., Merkel, B., 2015. Actual Evapotranspiration in the Al-Khazir Gomal Basin (Northern Iraq) Using the Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) and Water Balance. *Geosciences* 5, 141–159. <https://doi.org/10.3390/geosciences5020141>
- Jensen, J.R., Lulla, K., 1987. Introductory digital image processing: A remote sensing perspective.

- Geocarto International 2, 65–65. <https://doi.org/10.1080/10106048709354084>
- June, T., Meijide, A., Stiegler, C., Kusuma, A.P., Knohl, A., 2018. The influence of surface roughness and turbulence on heat fluxes from an oil palm plantation in Jambi, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 149, 012048. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/149/1/012048>
- Liu, K., Su, H., Li, X., 2017. Comparative Assessment of Two Vegetation Fractional Cover Estimating Methods and Their Impacts on Modeling Urban Latent Heat Flux Using Landsat Imagery. *Remote Sensing* 9. <https://doi.org/10.3390/rs9050455>
- Pal, S., Ziaul, Sk., 2017. Detection of land use and land cover change and land surface temperature in English Bazar urban centre. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* 20, 125–145. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2016.11.003>
- Pelliccioni, A., Monti, P., Leuzzi, G., 2016. Wind-Speed Profile and Roughness Sublayer Depth Modelling in Urban Boundary Layers. *Boundary-Layer Meteorology* 160, 225–248. <https://doi.org/10.1007/s10546-016-0141-1>
- Rani, M., Kumar, P., Pandey, P.C., Srivastava, P.K., Chaudhary, B.S., Tomar, V., Mandal, V.P., 2018. Multi-temporal NDVI and surface temperature analysis for Urban Heat Island inbuilt surrounding of sub-humid region: A case study of two geographical regions. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 10, 163–172. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.03.007>
- Sabajo, C.R., le Maire, G., June, T., Meijide, A., Roupsard, O., Knohl, A., 2017. Expansion of oil palm and other cash crops causes an increase of the land surface temperature in the Jambi province in Indonesia. *Biogeosciences* 14, 4619–4635. <https://doi.org/10.5194/bg-14-4619-2017>
- Sun, Z., Wang, Q., Batkhisig, O., Ouyang, Z., 2015. Relationship between Evapotranspiration and Land Surface Temperature under Energy- and Water-Limited Conditions in Dry and Cold Climates. *Advances in Meteorology*, 1835487 2016, 9. <https://doi.org/10.1155/2016/1835487>
- Tran, D.X., Pla, F., Latorre-Carmona, P., Myint, S.W., Caetano, M., Kieu, H.V., 2017. Characterizing the relationship between land use land cover change and land surface temperature. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 124, 119–132. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.01.001>
- Trlica, A., Hutyra, L.R., Schaaf, C.L., Erb, A., Wang, J.A., 2017. Albedo, Land Cover, and Daytime Surface Temperature Variation Across an Urbanized Landscape. *Earth's Future* 5, 1084–1101. <https://doi.org/10.1002/2017EF000569>
- Wayant, C., Scott, J., Vassar, M., 2018. Evaluation of Lowering the P Value Threshold for Statistical Significance From .05 to .005 in Previously Published Randomized Clinical Trials in Major Medical Journals. *JAMA* 320, 1813–1815. <https://doi.org/10.1001/jama.2018.12288>
- Yang, Y., Qiu, J., Su, H., Bai, Q., Liu, S., Li, L., Yu, Y., Huang, Y., 2017. A One-Source Approach for Estimating Land Surface Heat Fluxes Using Remotely Sensed Land Surface Temperature. *Remote Sensing* 9, 43. <https://doi.org/10.3390/rs9010043>
- Zhao, W., Hu, Z., Li, S., Guo, Q., Liu, Z., Zhang, L., 2017. Comparison of surface energy budgets and feedbacks to microclimate among different land use types in an agro-pastoral ecotone of northern China. *Science of The Total Environment* 599–600, 891–898. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.200>