

Analisis Komponen Utama untuk Menilai Faktor Lingkungan Mikro dan Pertumbuhan Angsana pada Lahan Percobaan FABA di Banko Barat, Tanjung Enim

Principal Component Analysis for Micro Environmental Factor and Angsana Growth at FABA Experimental Plot in Banko Barat, Tanjung Enim

Nessa Regitha Maghzarini¹, **Dwi Setyawan**^{1*}, Herlina Hanum²

¹Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya, Ogan Ilir, Indralaya
30662, Sumatera Selatan, Indonesia

²Fakultas MIPA, Universitas Sriwijaya, Ogan Ilir, Indralaya 30662, Sumatera Selatan,
Indonesia

^{*}Penulis untuk korespondensi: dsetyawan@unsri.ac.id

Sitasi: Maghzarini, N. S., Setyawan, D., & Hanum, H. (2024). Principal component analysis for micro environmental factor and angsana growth at FABA experimental plot in Banko Barat, Tanjung Enim. *In: Herlinda S et al. (Eds.), Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal ke-12 Tahun 2024, Palembang 21 Oktober 2024.* (pp. 543–555). Palembang: Penerbit & Percetakan Universitas Sriwijaya (UNSRI).

ABSTRACT

Post-mining revegetation often uses highly adapted plant species to harsh conditions including those from legumes like Angsana (*Pterocarpus indicus*). Microenvironmental factors such as soil moisture, temperature, light, and soil pH affect plant growth. The research aimed to monitor the microenvironment and evaluate the response to plant growth on coal post-mine land. This research was conducted from October to November 2023 in the FABA (*fly ash* and *bottom ash*) IUP PIT 3 landfill in Banko Barat (Tanjung Enim). Field observation used a survey method. A random sampling of 39 plants was selected from 65 seedlings using the Slovin formula. Micro-environment measurement includes soil moisture, temperature, pH, and flux intensity. Plants were measured for stem diameter and plant height. Data obtained were analyzed using PCA (Principal Component Analysis). Soil moisture varied greatly from 25.3 to 90.7 %. Soil temperature ranged between 30.8 and 42.4°C. Light intensity differed widely between morning and afternoon measurements (35000 and 135000 lux respectively). In general plant height and stem diameter increased slowly. PCA indicates that 52.69% of data variance is related to soil temperature and stem diameter. There is a great variance between plant samples attributed to environmental factors and plant growth.

Keywords: adaptive species, light intensity, PCA

ABSTRAK

Revegetasi pascatambang sering kali menggunakan spesies tanaman yang sangat beradaptasi dengan kondisi marjinal termasuk yang berasal dari kacang-kacangan seperti Angsana (*Pterocarpus indicus*). Faktor lingkungan mikro seperti kelembaban tanah, suhu, cahaya, dan pH tanah mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Penelitian ini bertujuan untuk memantau lingkungan mikro mengevaluasi respons pertumbuhan tanaman Angsana di lahan pascatambang batubara. Penelitian ini dilakukan dari Oktober hingga November 2023 di TPA FABA (abu terbang dan abu dasar) IUP PIT 3 di Banko Barat (Tanjung Enim). Pengamatan lapangan menggunakan metode survei. Pengambilan sampel acak dari 39 tanaman dipilih dari 65 bibit menggunakan rumus Slovin. Pengamatan lingkungan

mikro meliputi suhu tanah, kelembaban tanah, pH tanah, dan fluks radiasi. Pengukuran tanaman meliputi diameter batang dan tinggi tanaman. Data yang diperoleh dianalisis menggunakan PCA (*Principal Component Analysis*). Kelembaban tanah sangat bervariasi dari 25,3 hingga 90,7%. Suhu tanah berkisar antara 30,8 dan 42,4 °C. Intensitas cahaya sangat berbeda antara pengukuran pagi dan sore (masing-masing 35000 dan 135000 lux). Secara umum tinggi tanaman dan diameter batang meningkat perlahan. PCA menunjukkan bahwa 52,69% varian data terkait dengan suhu tanah dan diameter batang. Terdapat varian yang besar antara sampel tanaman yang disebabkan oleh faktor lingkungan dan pertumbuhan tanaman.

Kata kunci: intensitas cahaya, PCA, spesies adaptif

PENDAHULUAN

Setiap operator penambangan wajib mematuhi ketentuan dalam reklamasi dan pascatambang sebagaimana diatur dalam Peraturan Pemerintah Nomor 78 Tahun 2010 tentang Reklamasi dan Pascatambang. Pasal 4 (1) Prinsip perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup pertambangan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 ayat (1) huruf a dan ayat (2) huruf a, paling sedikit meliputi: a. perlindungan terhadap kualitas air permukaan, air tanah, air laut, dan tanah serta udara berdasarkan standar baku mutu atau kriteria baku kerusakan lingkungan hidup sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan; b. perlindungan dan pemulihan keanekaragaman hayati; c. penjaminan terhadap stabilitas dan keamanan timbunan batuan penutup, kolam tailing, lahan bekas tambang, dan struktur buatan lainnya; d. pemanfaatan lahan bekas tambang sesuai dengan peruntukannya; e. memperhatikan nilai-nilai sosial dan budaya setempat; dan f. perlindungan terhadap kuantitas air tanah sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan. Dalam upaya pemulihan keanekaragaman hayati upaya yang ditempuh melalui program revegetasi dengan menggunakan berbagai spesies tanaman multiguna atau bersifat indigenous.

Salah satunya adalah Angsana (*Pterocarpus indicus*). Tanaman ini termasuk legum sehingga berpotensi dalam penambatan nitrogen, pengendalian iklim mikro (Husna, Arif, et al., 2022; Martins, 2024; Nutayla, 2023; Yudha et al., 2013), dan memiliki khasiat fitofarmaka (Armedita et al., 2018; Khan & Omoloso, 2003) Kayu Angsana juga termasuk bagus untuk bahan bangunan dan peneduh tepi jalan (Mendoza et al., 2022; Thaiutsa et al., 2008). Pemanfaatannya untuk revegetasi lahan pascatambang dan lahan kritis juga cukup luas (Husna, Tuheteru, et al., 2022; Sen & Bhakat, 2021).

Pemanfaatan limbah batubara sebagai bahan bakar PLTU terus mendapatkan perhatian sejak klasifikasi FABA (*flying ash bottom ash*) tidak lagi sebagai limbah B3 (bahan beracun berbahaya (Febriyani & Hartiwiningsih, 2022)). Upaya pemulihan lahan pascatambang termasuk dengan memanfaatkan bahan limbah pembakaran batubara dari PLTU. Limbah FABA (*Fly ash bottom ash*) merupakan dua jenis limbah yang dihasilkan dari proses pembakaran batubara. Fly ash adalah sisa hasil pembakaran batubara yang keluar dari tungku pembakaran, sementara bottom ash merupakan sisa hasil pembakaran yang mengendap di dasar tungku (Rini et al., 2023). Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 20 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan, FABA dari proses pembakaran batubara yang menggunakan teknologi selain *stoker boiler* diidentifikasi sebagai limbah yang tidak termasuk dalam kategori Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) (Amriani & Tuahatu, 2021). Penggunaan kembali lahan timbunan FABA dapat dilakukan melalui revegetasi dengan tanaman yang tahan terhadap kondisi lahan kritis, salah satunya adalah tanaman angsana (*Pterocarpus indicus*).

Angsana termasuk dalam kelompok tanaman legum tropis yang menghasilkan kayu komersial dengan nilai ekonomi yang tinggi. Jenis ini juga telah tercatat dalam red list

IUCN (International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources) sebagai jenis tanaman yang terancam punah. Jenis legum ini sangat cocok untuk kegiatan revegetasi pada hutan yang mengalami kerusakan dan lahan yang mengalami degradasi, terutama pada lahan pascatambang. Upaya perlindungan tanaman angšana dari ancaman kepunahan menjadi hal yang penting untuk dilakukan. Salah satu strategi untuk menyelamatkan angšana di wilayah tropis adalah dengan penanaman bibit angšana di lahan pascatambang.

Faktor lingkungan mikro adalah kondisi lingkungan sekitar yang secara langsung berpengaruh terhadap fisik suatu lingkungan. Faktor lingkungan seperti kelembaban tanah, suhu, tingkat cahaya, dan pH tanah memiliki peran dalam mengatur pertumbuhan tanaman. Di lokasi penelitian ini, tanaman belum tumbuh dengan tajuk yang lebar, sehingga sinar matahari dapat langsung menembus permukaan tanah. Dalam situasi di mana jarak antar tajuk tanaman cukup rapat, lebih banyak sinar matahari yang dapat diserap oleh daun tanaman dibandingkan dengan penetrasi langsung ke permukaan tanah (Yusak et al., 2023).

Intensitas cahaya berkaitan erat dengan suhu dan kelembaban tanah, nilai intensitas cahaya yang tinggi di lapangan dapat meningkatkan suhu dan menurunkan kelembaban. Peningkatan ini berpengaruh pada tingkat evaporasi yang kemudian dapat mengurangi ketersediaan air tanah, sehingga meningkatkan laju transpirasi tanaman (Sukendro & Sugiarto, 2012).

Memantau lingkungan mikro sebagai upaya untuk pertumbuhan tanaman dapat menjadi sarana dalam menciptakan dan sedikit mengusahakan kondisilingkungan agar optimum untuk pertumbuhan tanaman sehingga kondisi yang terjadi sesuai untuk syarat tumbuh tanaman. Hal ini dapat dicapai melalui penggunaan alat-alat monitoring lingkungan yang praktis dan mudah dioperasikan. Meskipun demikian, kesadaran akan pentingnya melakukan kegiatan pemantauan lingkungan untuk mendukung pertumbuhan tanaman, khususnya pada upaya revegetasi lahan pascatambang yang masih terbatas. Padahal, kegiatan pemantauan lingkungan dapat secara signifikan meningkatkan pertumbuhan tanaman dalam upaya revegetasi pada lahan pascatambang. Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji faktor lingkungan mikro pada lahan pascatambang timbunan FABA serta memonitor dinamika lingkungan mikro di lahan timbunan FABA terhadap laju respon pertumbuhan tanaman Angšana.

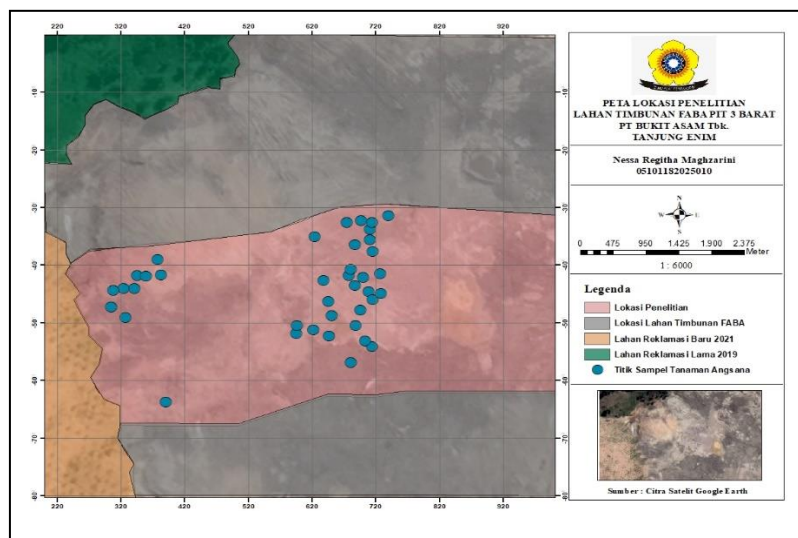
BAHAN DAN METODE

Penelitian dilakukan dari Oktober 2023 sampai dengan November 2023 di lahan timbunan FABA (*fly ash dan bottom ash*) dengan luas lahan 1,4 hektar dengan empat jenis tanaman revegetasi; salah satunya adalah tanaman Angšana (*Pterocarpus indicus*) pada Satuan Kerja Pengelolaan Hutan dan Rehabilitasi DAS IUP PIT 3 Banko Barat PT Bukit Asam Tbk, Tanjung Enim. Lokasi penelitian disajikan dalam Gambar 1.

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini yaitu pengambilan sampel menggunakan metode *Random Sampling* dimana penentuan jumlah sampel ditentukan menggunakan rumus Slovin (Santoso, 2023) seperti berikut:

$$n = \frac{N}{1 + N(e)^2}$$

Keterangan: n = jumlah sampel; N = jumlah populasi; e = batas kesalahan maksimal yang ditolerir dalam sampel alias tingkat signifikansi adalah 0,1 (10%). Sehingga didapat 39 tanaman dari total 65 tanaman angšana. Pola pengambilan sampel tanaman dipilih secara acak menggunakan *random table generator*.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian di IUP Banko Barat dengan sebaran tanaman angsana

Orientasi lapangan bertujuan untuk mengetahui gambaran umum lokasi penelitian. Lokasi penelitian dipilih pada lahan timbunan FABA PIT 3 barat PT Bukit Asam Tbk. Pengambilan sampel dengan menggunakan metode *Random Sampling* dimana penentuan jumlah sampel ditentukan dengan menggunakan rumus Slovin sehingga didapatkan total 39 sampel tanaman. Pola pengambilan sampel tanaman dipilih secara acak menggunakan *random table generator* yang dapat diakses melalui link berikut: <https://stattrek.com/statistics/random-number-generator>.

Lingkungan mikro dipantau dan diukur dengan menggunakan alat *Digital Soil Hygrometer Moisture Meter* untuk mengukur kelembaban tanah, *Digital Soil Analyzer Tester Meter* untuk mengukur pH tanah, *Lux meter UT383* untuk mengukur intensitas cahaya. Pengambilan data dilakukan sebanyak 2 (dua) kali pengukuran, yaitu pagi hari (pukul 07.30-08.30 WIB) dan siang hari (pukul 10.30-11.30 WIB), selama 15 hari pengamatan dalam satu hari dilakukan dua kali pengamatan yaitu pagi hari dan siang hari. Cara pengukuran dilakukan dengan menancapkan ujung sensor masing-masing alat kedalam tanah disekitar tempat tumbuh tanaman. Pengukuran dilakukan pada 39 tanaman di lahan timbunan FABA.

Salah satu faktor lingkungan seperti kelembaban tanah mempunyai peranan dalam mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Pengukuran kelembaban tanah menggunakan alat *Digital Soil Hygrometer Moisture Meter* dengan menancapkan ujung sensor disekitar tempat tumbuh tanaman. Pada layar monitor alat akan muncul nilai kelembaban tanah dalam bentuk persen.

Semakin rendah suhu, maka sedikit air yang diserap oleh akar, penurunan suhu tanah mendadak dapat menyebabkan kelayuan tanaman. Pengukuran suhu menggunakan alat *Digital Soil Hygrometer Moisture Meter* dengan menancapkan ujung sensor disekitar tempat tumbuh tanaman. Nilai suhu tanah dalam satuan °C (derajat celcius).

Tinggi rendahnya intensitas cahaya dapat mempengaruhi kelembaban dan suhu pada tanah. Pengukuran intensitas cahaya menggunakan alat *Lux meter UT383*, nilai intensitas cahaya akan muncul dalam satuan *lux*.

Pengamatan tinggi tanaman dilakukan dengan cara mengukur batang utama dari pangkal batang sampai ujung daun tertinggi menggunakan meteran. Pengukuran dilakukan mulai dari hari pertama dimulai penelitian dengan interval pengukuran satu minggu sekali

untuk melihat hasil rata-rata peningkatan pertumbuhan dan keberhasilan tumbuh tanamannya.

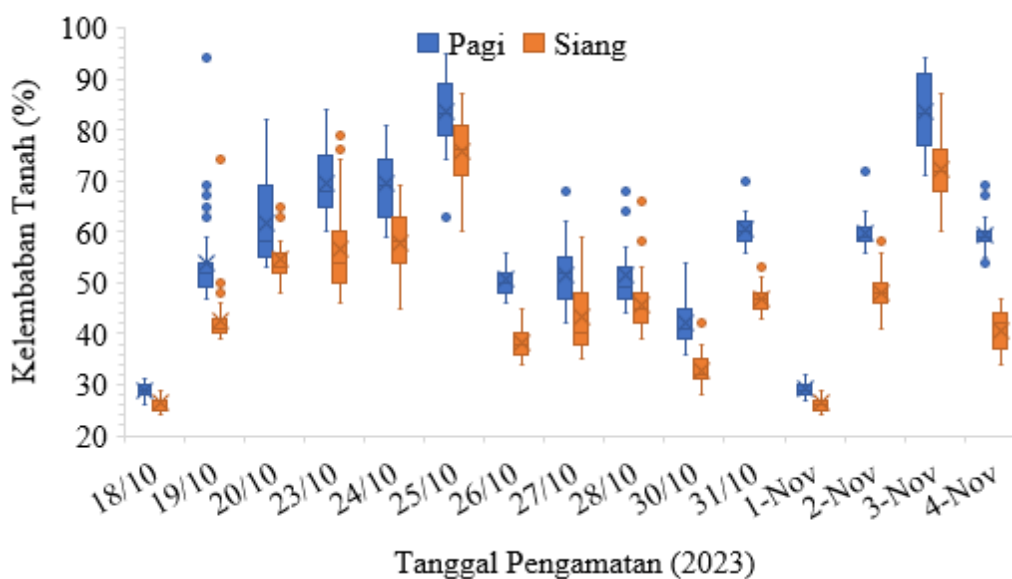
Pengamatan diameter batang diukur pada bagian bawah tanaman dengan menggunakan *Digital Caliper Meter* dengan satuan mm (millimeter). Pengukuran dilakukan mulai dari hari pertama dimulai penelitian dengan interval pengukuran satu minggu sekali untuk melihat hasil rata-rata peningkatan pertumbuhan dan keberhasilan tumbuh tanamannya.

Analisis data yang digunakan pada penelitian ini yaitu Data yang diperoleh dari lapangan akan dianalisis menggunakan *Microsoft Excel 2019* untuk mencari rata-rata serta hubungan antar parameter dengan korelasi kemudian diregresi linear berganda atau *Multiple Regression Linear* menggunakan software SPSS dan disajikan secara deskriptif kuantitatif dengan boxplot dan secara statistik menggunakan PCA atau *Principal Component Analysis*.

HASIL

Analisis Kelembaban dan Temperatur Tanah

Pengamatan kelembaban tanah dilakukan setiap hari pada pagi hari (pukul 07.30-08.30 WIB) dan siang hari (pukul 10.30-11.30 WIB) pengamatan selama tiga minggu. Pada Gambar 2 disajikan data kelembaban tanah harian selama penelitian.

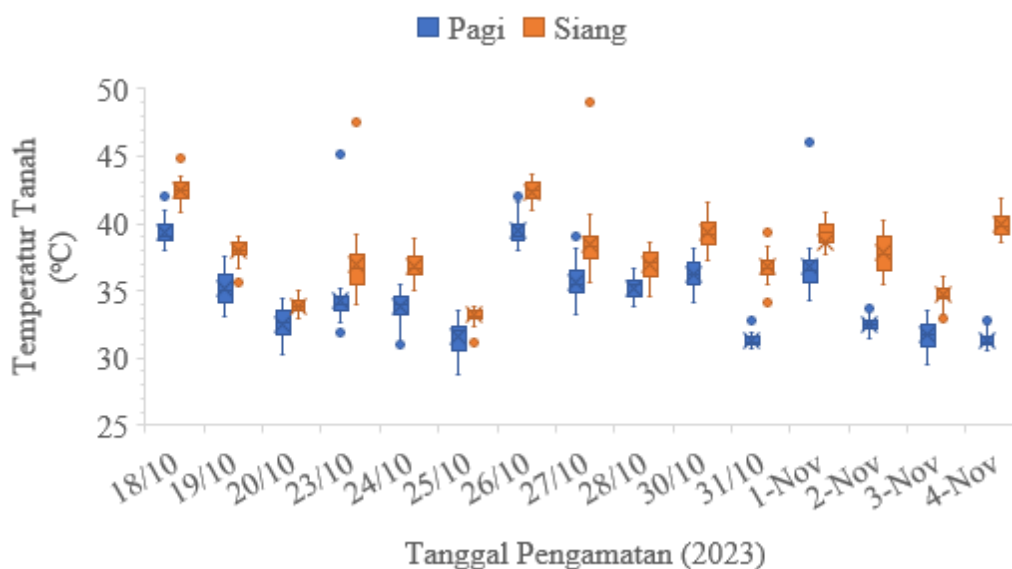


Gambar 2. Boxplot kelembaban tanah selama pengamatan

Berdasarkan Gambar 2 dan Gambar 3 dapat dilihat bahwa selama pengamatan nilai kelembabannya sangat fluktuatif. Kelembaban tertinggi terjadi pada tanggal 25 Oktober 2023 dengan kelembaban 95% untuk pengamatan pagi hari dan 87% untuk pengamatan siang hari. Sedangkan nilai kelembaban terendah terjadi pada tanggal 18 Oktober 2023 dengan kelembaban 26% pada pagi hari dan 24% pada siang hari. Tingkat kelembaban tanah yang baik pada tanaman setidaknya mencapai 80% untuk menjaga agar tanaman tetap mendapatkan nutrisinya (Nasron *et al.*, 2019).

Berdasarkan pengamatan selama di lapangan, data yang memiliki nilai kelembaban yang rendah disebabkan karena intensitas cahaya yang tinggi dan suhu yang tinggi sehingga air dalam tanah lebih cepat menguap. Sedangkan data yang memiliki nilai kelembaban yang tinggi disebabkan karena hujan sehingga air yang masuk kedalam tanah lebih banyak dan kelembaban tanah lebih besar (Mahendra, 2020). Kelembaban tanah akan

menentukan ketersediaan air dalam tanah bagi pertumbuhan tanaman. Ketersediaan air dalam menyebabkan peningkatan laju pertumbuhan akar.



Gambar 3. Boxplot temperatur tanah selama pengamatan

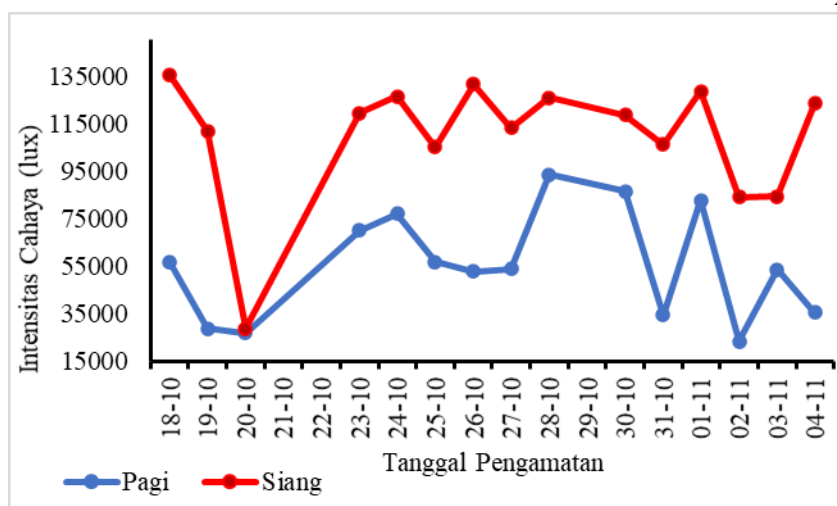
Pengamatan suhu tanah dilakukan setiap hari dalam sehari dilakukan pengamatan sebanyak dua kali pada pagi hari (pukul 07.30-08.30 WIB) dan siang hari (pukul 10.30-11.30 WIB) selama tiga minggu. Pada Gambar 3 dapat dilihat rata-rata suhu harian selama pengamatan yang disajikan dalam bentuk boxplot.

Suhu tanah tertinggi terjadi pada tanggal 26 Oktober 2023 dengan suhu mencapai 41,5°C pada pengamatan pagi dan 43,7°C pada pengamatan siang. Sedangkan nilai suhu terendah terjadi pada tanggal 25 Oktober 2023 dengan kelembaban hanya dengan 28,8°C pada pengamatan pagi dan 32,4°C pada pengamatan siang. Pada umumnya suhu yang baik bagi tumbuhan adalah antara 22°C sampai dengan 37°C (Nasrullah *et al.*, 2011). Suhu yang lebih atau kurang dari batas normal tersebut dapat mengakibatkan pertumbuhan yang lambat atau berhenti. Dengan demikian, terdapat beberapa hari dalam pengamatan dimana suhu tanahnya melebihi batas normal yang diasumsikan menyebabkan pertumbuhan tanaman seperti tinggi dan diameter menjadi terhambat. Menurut Yusak *et al.*, (2023) jarak tajuk tanaman yang masih kecil menyebabkan sinar matahari yang masuk kedalam permukaan tanah dibandingkan lebih banyak diserap oleh daun sehingga menyebabkan suhu tanah juga ikut meningkat.

Kelembaban sangat dipengaruhi oleh suhu, apabila suhu meningkat maka kelembaban akan menurun. Hal tersebut sesuai menurut Setiawati dan Syamsi, (2019) bahwa hubungan antara suhu dan kelembaban adalah berbanding terbalik, semakin tinggi suhu udara maka kelembabannya semakin kecil. Saat suhu meningkat maka terjadi proses penguapan kandungan air, sehingga kadar air menurun. Menurut Cahyaningprastiwi dan Karyati Sarminah, (2021) adanya fluktuasi suhu dan kelembaban tanah dapat terjadi karena dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti faktor internal, faktor eksternal, dan faktor topografi.

Analisis Intensitas Cahaya

Berdasarkan pengukuran intensitas cahaya pada pagi hari (pukul 07.30-08.30 WIB) dan siang hari (pukul 10.30-11.30 WIB) yang dilakukan selama pengamatan ditampilkan hasil pengamatan pada Gambar 4.



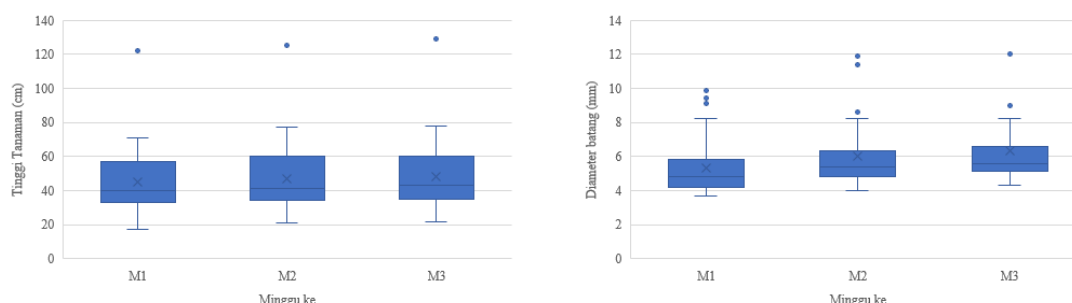
Gambar 4. Scatter intensitas cahaya harian selama pengamatan

Berdasarkan Gambar 4 nilai intensitas cahaya dapat dilihat bahwa intensitas cahaya di lokasi penelitian sangat tinggi. Tanaman pada lokasi penelitian belum memiliki tajuk tanaman yang lebar sehingga sinar matahari langsung terpapar. Jika jarak tajuk tanaman yang rapat maka sinar matahari yang masuk lebih banyak diserap oleh daun dibandingkan sinar matahari yang langsung masuk kedalam permukaan tanah (Yusak *et al.*, 2023).

Intensitas cahaya berkaitan dengan suhu dan kelembaban tanah, peningkatan intensitas cahaya akan meningkatkan suhu dan menurunkan kelembaban sehingga peningkatan tersebut mempengaruhi tingkat evaporasi menyebabkan peningkatan kekeringan dan ketersediaan air tanah sehingga akan meningkatkan transpirasi tanaman (Sukendro dan Sugiarto, 2012).

Analisis Pertumbuhan Tanaman Angsana (*Pterocarpus indicus*)

Pengukuran tinggi tanaman dan diameter batang dilakukan setiap satu minggu sekali, dari minggu pertama sampai minggu ketiga. Bentuk pengamatan tersebut dilakukan untuk mengetahui perubahan atau respon pertumbuhan tanaman terhadap dinamika lingkungan yang diamati. Semakin tinggi tanaman maka diameter juga semakin besar. Penggunaan data delta tinggi tanaman dan diameter batang karena tinggi dan diameter awal yang tidak seragam. Pada Tabel 1 ditampilkan data statistik tinggi tanaman selama pengamatan. Pada Tabel 2 dapat dilihat nilai rata-rata pertumbuhan diameter batang selama pengamatan, dimana rata-rata delta pertumbuhan diameter batangnya mencapai 1 mm.



Gambar 5. Box plot tinggi tanaman dan diameter hasil pengukuran selama tiga minggu. Gambar menunjukkan beberapa tanaman yang merupakan pencilan (data jauh lebih tinggi dibanding lainnya ditandai dengan titik di atas garis whisker)

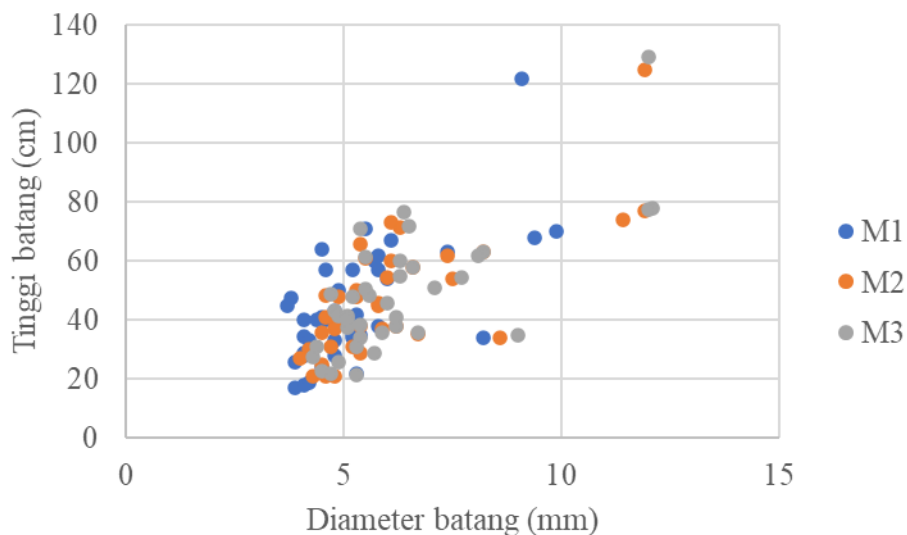
Tabel 1. Data statistik tinggi tanaman selama pengamatan

Minggu ke	Tinggi tanaman (cm)				Rerata pertambahan
	Rerata	Maksimum	Minimum	Simpangan baku	
1	44,5	71	17	19,9	
2	47,1	77	21	20,1	
3	48,3	78	21	20,6	3,7

Tabel 2. Data statistik diameter batang selama pengamatan

Minggu ke	Diameter batang (mm)				Rerata pertambahan
	Rerata	Maksimum	Minimum	Simpangan baku	
1	5,2	8,2	3,7	1,5	
2	6,0	8,2	4,0	1,9	
3	6,3	8,2	4,3	1,9	1,0

Berdasarkan pada Gambar 5 jika dilihat dari nilai mediannya, minggu pertama nilai mediannya 40,2 cm, pada minggu kedua nilai mediannya 41 cm dan pada minggu ketiga mediannya 43,2 cm. Dapat dilihat bahwa tinggi tanaman selama pengamatan tidak terlalu menunjukkan perubahan yang signifikan dari minggu pertama sampai minggu akhir pengamatan. Tanaman yang paling tinggi dengan tinggi awal 122 cm dan tinggi pada minggu terakhir adalah 129,2 cm. Sedangkan tanaman yang paling rendah dengan tinggi hanya sebesar 17 cm. Berdasarkan pada Gambar 6 jika dilihat dari nilai mediannya, minggu pertama nilai mediannya 4,8 mm, minggu kedua nilai mediannya 5,4 mm dan pada minggu ketiga nilai mediannya 5,6 mm. Dapat dilihat bahwa diameter batang selama pengamatan tidak terlalu menunjukkan perubahan yang signifikan dari minggu pertama sampai minggu akhir pengamatan. Tanaman yang pertambahan diameter batang paling signifikan adalah salah satu tanaman dengan diameter awal 9,1 mm dan diameter akhir 12 mm.



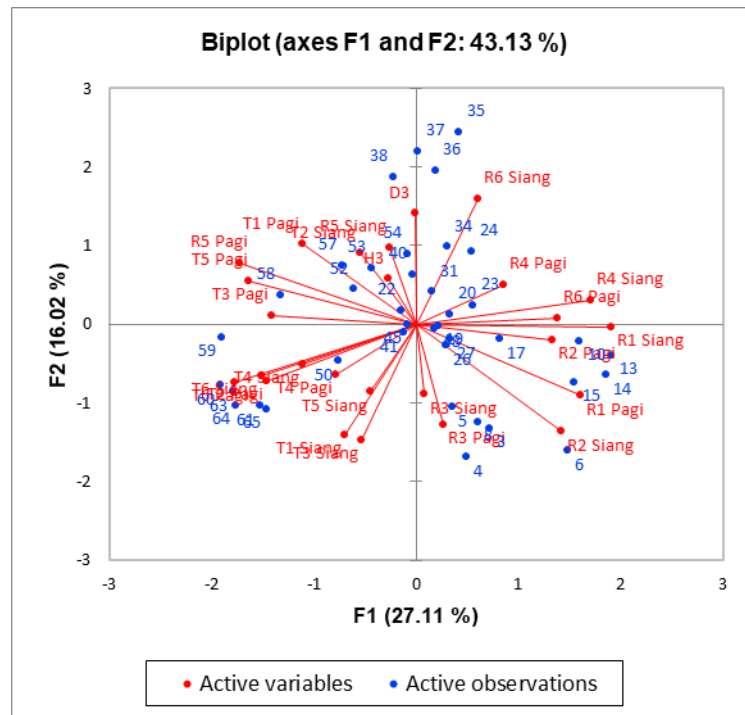
Gambar 6. Biplot antara tinggi tanaman dan diameter batang Angsana. Bibit yang digunakan sesuai dengan syarat perusahaan, tetapi bibit yang terlalu pendek cukup sulit beradaptasi di lahan percobaan FABA.

Analisis PCA (*Principal Component Analysis*)

Penelitian ini menggunakan analisis *Principal Component Analysis* (PCA). Dalam penelitian ini analisis PCA dilakukan pada empat data yang meliputi kelembaban pagi, kelembaban siang, suhu pagi, suhu siang, tinggi tanaman dan diameter batang. Berdasarkan

Gambar 7 Biplot axes F1 dan F2 menunjukkan angka 43,13%. Hal tersebut dapat menunjukkan bahwa pada karakteristik lingkungan yang memiliki pengaruh pada seluruh nomor tanaman sebesar 52,69%. Berdasarkan garis antar active variables yang berwarna merah pada biplot tersebut, garis yang membentuk sudut antar active variables menyatakan suatu hubungan antar variabel tersebut. Semakin kecil sudut yang terbentuk maka hubungan antar active variables tersebut semakin besar atau semakin berkaitan. Sedangkan semakin besar sudut yang terbentuk maka semakin kecil atau bahkan tidak ada hubungan antar active variables tersebut.

Berdasarkan hasil uji *Principal Component Analysis* (PCA) sumbu F1 dicirikan oleh active variables yang paling mendominasi yaitu R1 Siang yang terletak pada kuadran IV. Hal tersebut dapat dilihat dari tabel Eigenvectors pada F1. Dimana pada kuadran IV merupakan nomor tanaman yang memiliki active variables (R1 Siang) diatas rata-rata. Sedangkan pada sumbu F2 dicirikan oleh active variables yang paling mendominasi yaitu R6 Siang yang terletak pada kuadran I dilihat dari tabel Eigenvectors pada F2. Pada kuadran I merupakan nomor tanaman dengan active variables (R6 Siang) diatas rata-rata. Untuk tanaman yang berada pada sumbu negatif merupakan nomor tanaman yang memiliki nilai active variables di bawah rata-rata dari active variables yang paling mendominasi pada sumbu tersebut.



Gambar 7. Biplot dua dimensi pertama PCA yang menunjukkan kontribusi total 43,13 % dalam menerangkan keragaman data

Analisis *Multiple Regression Linear*

Analisis regresi linear berganda adalah analisis yang digunakan untuk mengetahui pengaruh dua atau lebih variable independent terhadap variable dependen. Dari hasil regresi dengan menggunakan program SPSS, maka didapatkan koefisien regresi yang dapat dilihat pada Tabel 3 berikut. Berdasarkan Tabel 3, persamaan regresi linear berganda sebagai berikut:

$$Y = -67.492 + 0.484X1 + 1.704X2 - 0.439X3 + 0.243X4 + 7.844X5$$

Tabel 3. Nilai koefisien regresi berganda dengan peubah tak bebas tinggi tanaman

Model	Koefisien tidak dibakukan		Koefisien dibakukan Beta	t	Signifikan
	B	Std error			
Konstan	-67,492	101,319		-0,66	0,507
Suhu pagi	0,484	1,250	0,030	0,387	0,700
Suhu siang	1,704	2,406	0,054	0,708	0,480
Kelembaban pagi	-0,49	0,549	-0,151	-0,799	0,426
Kelembaban siang	0,243	0,677	0,068	0,358	0,721
Diameter batang	7,844	0,735	0,732	10,674	0,000

Berdasarkan tabel Model Summary, dapat dilihat bahwa nilai R diperoleh 0.714 yang mempunyai arti korelasi antara variabel kelembaban, suhu, dan diameter batang terhadap tinggi tanaman sebesar 0.714. Nilai tersebut mendekati angka 1 yang berarti hubungannya semakin erat atau semakin berpengaruh. Nilai R square atau kuadrat dari R, yaitu menunjukkan koefisien determinasi. Diperoleh nilai koefisien determinasi 0.510, yang berarti besar pengaruh variabel suhu pagi, suhu siang, kelembaban pagi, kelembaban siang, dan diameter batang terhadap tinggi tanaman sebesar 51%, sedangkan sisanya 49% dipengaruhi oleh variabel lain yang tidak dimasukkan dalam model ini.

PEMBAHASAN

Keberhasilan revegetasi lahan pascatambang tidak hanya ditentukan oleh penyiapan lahan yang baik, tetapi juga oleh spesies tanaman yang diusahakan. Pada umumnya konsep revegetasi menganut model tumbuh cepat dan hijau. Namun konsep ini sudah bergeser dari monospesies menjadi komunitas spesies yang pada klimaks pertumbuhan dapat menjadi hutan sekunder dengan keragaman spesies yang lebih kaya. Dalam penelitian ini *Angsana* merupakan salah satu spesies yang dinominasikan menjadi tanaman revegetasi di lahan pascatambang batubara dan diseleksi serta diujicobakan dalam kondisi lapangan yang tidak selalu menguntungkan.

Perusahaan tambang batubara juga dihadapkan kepada situasi lingkungan berkaitan dengan pengelolaan limbah FABA dari PLTU. Secara regulasi FABA dapat dikembalikan ke lahan. Sejumlah hasil penelitian menunjukkan FABA memiliki potensi hara yang cukup memadai, selain sifat fisik-kimia yang juga dapat dimanfaatkan untuk bahan paving (Sriningsih et al., 2022), campuran material bangunan (Frahat et al., 2024; Ghafoori et al., 2024; Wang et al., 2021), atau pengendalian air asam tambang (Nugraha et al., 2024; Zhang et al., 2024).

Untuk memastikan kesesuaian tumbuh tanaman revegetasi dengan kondisi lingkungan perlu dilakukan pemantauan. Hasil pengamatan di lapangan menunjukkan kondisi pertumbuhan tanaman yang tidak selalu menguntungkan. Perubahan cuaca yang mendadak, disertai dengan kenaikan temperatur cukup tinggi mengakibatkan tanaman *Angsana* dan lainnya dapat mengalami cekaman. Adaptasi ini penting untuk kelanjutan pertumbuhan tanaman revegetasi (Gazal et al., 2004; Yu et al., 2021).

KESIMPULAN

Lingkungan mikro cenderung fluktuatif pada lahan pascatambang timbunan FABA yang terbuka. Suhu tanah dapat mencapai 35-40 °C dengan kelembaban tanah dapat menurun sampai 30 persen. Nilai pH tanah masih sangat masam (pH < 4.0). Fluks intensitas juga ekstrim di lahan terbuka. Intensitas cahaya yang tinggi di lahan tersebut menyebabkan suhu

juga tinggi membuat kelembaban tanah semakin rendah karena belum mendapat pengaruh dari tajuk tanaman. Kondisi lingkungan mikro tersebut melebihi batas normal untuk pertumbuhan tanaman Angsana. Rata-rata pertumbuhan selama pengamatan relatif lambat dengan penambahan tinggi tanaman 1,2 cm dan diameter batang hanya 1 mm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada PT. Bukit Asam Tbk atas izin, bantuan dan fasilitas yang diberikan selama penelitian di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Amriani, Y. A., & Tuahatu, J. W. (2021). Potensi Fly Ash dan Bottom Ash Sebagai Sumber Alternatif Top Soil di Lahan Reklamasi Pasca Tambang Batubara. *Jurnal Penelitian Sains*, 21(3), 163–167., 21(3), 163–167.
- Armedita, D., Asfrizal, V., & Amir, M. (2018). The Antibacterial Activity of Leaves Ethanol Extract, Stem Bark, and Latex of Angsana (*Pterocarpus indicus* Willd.) towards Bacterial Growth *Streptococcus mutans* as in vitro. *ODONTO : Dental Journal*, 5(1), 1. <https://doi.org/10.30659/odj.5.1.1-8>
- Cahyaningprastiwi, S., & Karyati Sarminah, S. (2021). Suhu dan Kelembapan Tanah Pada Posisi Topografi Dan Kedalaman Tanah Berbeda Di Taman Sejati Kota Samarinda. *Jurnal Agrifor*, 20(2), 189–198.
- Febriyani, N. H., & Hartiwiningsih. (2022). Corporate Criminal Liability Post Elimination of Coal FABA Waste Status from B3 Waste Category in Indonesia. *Jurnal Hukum Unissula*, 38(1). <https://doi.org/10.26532/jh.v38i1.20971>
- Frahat, N. B., Awed, A. S., Kassem, S. M., Abdel Maksoud, M. I. A., & Mohamed Omar Ibrahim, O. (2024). Innovative shielding solutions by geopolymer paste and fly ash as effective substitution of cement materials for sustainable protection. *Journal of Building Engineering*, 87, 108977. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.108977>
- Gazal, R. M., Blanche, C. A., & Carandang, W. M. (2004). Root growth potential and seedling morphological attributes of narra (*Pterocarpus indicus* Willd.) transplants. *Forest Ecology and Management*, 195(1), 259–266. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.03.023>
- Ghafoori, N., Gbadamosi, A., & Hasnat, A. (2024). Evaluating the use of harvested fly ash as a sustainable alternative in cementitious mixtures. *Construction and Building Materials*, 447, 138138. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.138138>
- Husna, H., Arif, A., Tuheteru, F. D., Akbar, A., Albasri, A., & Nurdin, W. R. (2022). GROWTH OF ANGSANA (*Pterocarpus indicus* Willd) MYCORRHIZAE 23 MONTHS AGE IN POST GOLD MINING. *Journal of Tropical Mycorrhiza*, 1(2), 79–86. <https://doi.org/10.58222/jtm.v1i2.32>
- Husna, H., Tuheteru, F. D., Juniawan, M. S., Basrudin, B., Arif, A., Albasri, A., Safitri, I., & Karepesina, S. (2022). Response of growth and drought tolerance of *Pterocarpus indicus* Willd. seedlings to arbuscular mycorrhizal fungi. *Journal of Tropical Mycorrhiza*, 1(1), 1–8. <https://doi.org/10.58222/jtm.v1i1.23>
- Khan, M. R., & Omoloso, A. D. (2003). Antibacterial activity of *Pterocarpus indicus*. *Fitoterapia*, 74(6), 603–605. [https://doi.org/10.1016/S0367-326X\(03\)00149-7](https://doi.org/10.1016/S0367-326X(03)00149-7)
- Mahendra, Y. S. (2020). Pengaruh Iklim Terhadap Dinamika Kelembaban Tanah di Piringan Pohon Tanaman Kelapa Sawit. *Jurnal Warta PPKS*, 25(1), 39–51.
- Martins, L. V. (2024). The Effect of Media Composition on the Growth of Angsana (*Pterocarpus Indicus*). *International Journal of Applied and Scientific Research*, 2(2),

- 287–294. <https://doi.org/10.59890/ijasr.v2i2.1464>
- Mendoza, R. C., Romano, A. D., Dulnuan, E. D., Bulong, M. P., Malabrigo, P. L., & Habito, C. D. L. (2022). Wood Identification: A Tool for Preservation of Indigenous Architecture of Traditional Houses in Ifugao, Philippines. *International Journal of Wood Culture*, 2(1), 53–88. <https://doi.org/10.1163/27723194-bja10004>
- Nasron, N., Suroso, S., & Putri, A. R. (2019). Perancangan Logika Fuzzy Untuk Sistem Pengendali Kelembaban Tanah dan Suhu Tanaman. *Jurnal Media Informatika Budidarma*, 3(4), 307.
- Nasrullah, E., Trisanto, A., & Utami, L. (2011). Rancang Bangun Sistem Penyiraman Tanaman Secara Otomatis Menggunakan Sensor Suhu LM35 Berbasis Mikrokontroler ATmega8535. *Bina Sarana Informatika Teknologi Elektro*, 5(3), 182–192.
- Nugraha, H. A., Setyawan, D., & Saleh, E. (2024). Acid Mine Drainage Prevention through the Dry Coating Method Using Fly Ash and Bottom Ash. *Ecological Engineering and Environmental Technology*, 25(2), 102–111. <https://doi.org/10.12912/27197050/175860>
- Nutayla, N. (2023). Leaf Growth of Angsana Plants on Reclaimed Land After Coal Mining. *Sriwijaya Journal of Environment*, 8(3), 156–164. <https://doi.org/10.22135/sje.2023.8.3.156-164>
- Rini, I. D. W. S., Maria, M., Anifah, E. M., Saputra, A. A. I., Gunawan, A., & Arobi, A. I. (2023). Analisis Dampak Lingkungan Pengolahan Limbah Fly Ash dan Bottom Ash dengan Metode Siklus Daur Hidup (Life Cycle Assessment/LCA) di Industri Pembangkit Listrik Tenaga Uap. *SPECTA Journal of Technology*, 6(3), 263–272. <https://doi.org/10.35718/specta.v6i3.761>
- Santoso, A. (2023). Rumus Slovin : Panacea Masalah Ukuran Sampel ? *Suksma: Jurnal Psikologi Universitas Sanata Dharma*, 4(2), 24–43. <https://doi.org/10.24071/suksma.v4i2.6434>
- Sen, U. K., & Bhakat, R. K. (2021). Floristic composition and biological spectrum of a sacred grove in West Midnapore district, West Bengal, India. *Acta Ecologica Sinica*, 41(2), 106–119. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2020.09.005>
- Setiawati, T., & Syamsi, I. F. (2019). Karakteristik Stomata Berdasarkan Estimasi Waktu dan Perbedaan Intensitas Cahaya pada Daun Hibiscus tiliaceus Linn. di Pangandaran, Jawa Barat. *Jurnal Pro-Life*, 6(2), 148–159.
- Sriningsih, W., Iskandar, & Suryaningtyas, D. T. (2022). Utilizing fine coal waste as a topsoil substitute on mine reclamation. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 9(4). <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2022.094.3595>
- Sukendro, A., & Sugiarto, D. E. (2012). Respon Pertumbuhan Anakan Shorea leprosula Miq, Shorea mecistopteryx Ridley, Shorea ovalis (Korth) Blume dan Shorea selanica (DC) Blume terhadap Tingkat Intensitas Cahaya Matahari. *Silvikultur Tropika*, 03(01), 22–27.
- Thaiutsa, B., Puangchit, L., Kjelgren, R., & Arunpraparut, W. (2008). Urban green space, street tree and heritage large tree assessment in Bangkok, Thailand. *Urban Forestry & Urban Greening*, 7(3), 219–229. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2008.03.002>
- Wang, H., Qi, T., Feng, G., Wen, X., Wang, Z., Shi, X., & Du, X. (2021). Effect of partial substitution of corn straw fly ash for fly ash as supplementary cementitious material on the mechanical properties of cemented coal gangue backfill. *Construction and Building Materials*, 280, 122553. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122553>
- Yu, J.-C., Chiang, P.-N., & Lai, Y.-J. (2021). Seasonal and spatial variation in soil respiration in afforested sugarcane fields on Entisols, Taiwan. *Geoderma Regional*, 26, e00421. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2021.e00421>
- Yudha, G. P., Noli, Z. A., & Idris, D. M. (2013). Pertumbuhan Daun Angsana (Pterocarpus

indicus Willd) dan Akumulasi Logam Timbal (Pb) The leaves growth of angsana (Pterocarpus indicus Willd) and lead (Pb) accumulation. *Jurnal Biologi Universitas Andalas (J. Bio. UA.)*, 2(2).

Yusak, M. Y., Karyati, & Syafrudin, M. (2023). Iklim Mikro di Bawah Tegakan Pohn Kombinasi Angsana (Pterocarpus indicus) dan Glodokan (Polyalthalongifolia) di Medan Jalan Mayor Jendral S.Parman di Kota Samarinda. *Jurnal AGRIFOR*, 22(1), 43–54.

Zhang, S., Du, W., Jin, Y., & Li, Y. (2024). Performance and hydration mechanism of fly ash coal-based solid waste backfill material affected by multiple factors. *Materials Today Communications*, 41, 110639. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2024.110639>