

Evaluasi Heterogenitas dan Presisi Sampling *Black Bunch Census*: Studi Enam Blok Kelapa Sawit di Banyuasin

Evaluation of Heterogeneity and Sampling Precision in the Black Bunch Census: A Study of Six Oil Palm Blocks in Banyuasin

Stenia Ruski Yusticia*, Abbi Maulana, Junainah, Siti Rakhmi Afriani, M. Rezky Galang, Bagus Saputra

Program Studi Teknologi Produksi Tanaman Perkebunan, Jurusan Rekayasa Teknologi dan Bisnis Pertanian, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang, Sumatera Selatan, Indonesia

*Penulis korespondensi: stenia.ruski.yusticia@polsri.ac.id

Received: July 2026; Accepted: August 2026; Published: August 2026

ABSTRAK

Ketepatan *Black Bunch Census* (BBC) sebagai dasar estimasi produksi dipengaruhi oleh distribusi unit sampel dan keragaman antarjalur pada blok yang diamati. Informasi presisi diperlukan untuk menilai kestabilan hasil ketika komposisi jalur sensus berubah. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi heterogenitas antarblok, keragaman antarjalur, presisi rerata, dan kecukupan jumlah jalur BBC pada enam blok tanaman menghasilkan di Banyuasin. Sebanyak 1.010 data numerik dari 1.082 catatan pokok dianalisis; nilai nol aktual dimasukkan, sedangkan kode abnormal dan mati dikeluarkan. Unit inferensi utama adalah 34 jalur sensus. Analisis meliputi Kruskal-Wallis berbasis rerata jalur, Dunn-Holm, dekomposisi keragaman, *bootstrap* klaster 20.000 replikasi, evaluasi kestabilan seluruh kombinasi jalur, dan pascastratifikasi umur pada Blok 41B. Perbedaan antarblok tetap nyata pada tingkat jalur ($H(5)=19,440$; $p=0,0016$), tetapi hanya pasangan 41B-42B yang berbeda setelah koreksi Holm ($p=0,019$). Keragaman antarpokok dalam jalur menyumbang 81,47% keragaman total, sedangkan antarblok 11,71% dan antarjalur dalam blok 6,82%. Simpangan baku jumlah janjang antarpokok menurut blok berkisar 1,786-2,682 janjang/pokok. Relative half-width interval kepercayaan Blok 41B mencapai 12,65%, sedangkan Blok 41C hanya memiliki dua jalur. Ketidakseimbangan sampel umur pada Blok 41B menyebabkan rerata berbobot populasi (5,895 janjang/pokok) lebih rendah 4,67% dibandingkan rerata tanpa pembobotan. Dalam cakupan enam blok dan satu periode pengamatan, keterwakilan BBC dipengaruhi oleh distribusi jalur dan proporsi strata, bukan hanya jumlah pokok sampel.

Kata kunci: *bootstrap* klaster; jalur sensus; pasca-stratifikasi; variabilitas bertingkat

ABSTRACT

The reliability of the *Black Bunch Census* (BBC) for production estimation is influenced by sampling-unit distribution and between-row variability. Precision information is needed to assess stability when census-row composition changes. This study evaluated between-block heterogeneity, between-row variability, mean precision, and census-row adequacy in six mature oil palm blocks in Banyuasin. A total of 1,010 numeric observations from 1,082 palm records were analyzed. Actual zeros were retained, whereas abnormal and dead-palm codes were excluded. The primary inferential units were 34 census rows. Analyses included a row-level Kruskal-Wallis test, Dunn-Holm comparisons, variance decomposition, a 20,000-replicate cluster bootstrap, stability assessment across all observed-row combinations, and age-stratum post-stratification for Block 41B. Between-block differences remained significant at the row level ($H(5)=19.440$; $p=0.0016$), although only Blocks 41B and 42B differed after Holm adjustment ($p=0.019$). Within-row palm variation accounted for 81.47% of total variability, compared with 11.71% between blocks and 6.82% between rows within blocks. The within-block palm-level standard deviation ranged from 1.786 to 2.682 bunches per palm. The relative confidence-interval half-width for Block 41B was 12.65%, while Block 41C was represented by only two rows. Unequal age-stratum sampling in Block 41B reduced the population-weighted mean to 5.895 bunches per palm, 4.67% below the unweighted sample mean. Within these six blocks and one observation period, BBC representativeness depended on row distribution and stratum composition rather than sampled-palm count.

Keywords: cluster bootstrap; census row; multilevel variability; post-stratification

PENDAHULUAN

Dalam operasional perkebunan kelapa sawit, perkiraan produksi Tandan Buah Segar (TBS) menjadi dasar untuk menentukan kebutuhan tenaga kerja, sarana transportasi, sasaran panen, serta kapasitas pengolahan. Salah satu pendekatan yang dapat diterapkan adalah Sensus Buah Hitam atau *Black Bunch Census* (BBC). Metode ini dilakukan dengan menghitung jumlah janjang buah hitam pada pokok sampel untuk memproyeksikan produksi pada periode berikutnya (Makrup *et al.*, 2021; Fahlevi *et al.*, 2023).

Suatu estimasi mungkin mendekati hasil aktual pada periode tertentu, tetapi tetap memiliki ketidakpastian tinggi apabila hanya didasarkan pada jumlah jalur yang terbatas atau sebaran jalur yang tidak proporsional. Dengan demikian, evaluasi BBC tidak hanya dilakukan dengan membandingkan nilai estimasi terhadap realisasi produksi, tetapi juga dengan menelaah struktur sampel yang mendasari perhitungan tersebut.

Produksi kelapa sawit menunjukkan tingkat keragaman yang tinggi karena dipengaruhi oleh perbedaan umur tanaman, kondisi pertanaman, karakteristik lingkungan, dan praktik pengelolaan kebun. Perubahan cuaca serta siklus produksi alami tanaman dapat menyebabkan fluktuasi hasil antarwilayah maupun antarwaktu (Monzon *et al.*, 2022; Pradiko *et al.*, 2023). Selain itu, hubungan faktor iklim dengan produktivitas tidak selalu berlangsung secara linier (Kamil *et al.*, 2024). Temuan dari pengembangan model berbasis citra turut menegaskan pentingnya memperhatikan pola distribusi data dan tingkat ketidakpastian ketika mengevaluasi estimasi hasil kelapa sawit (Watson-Hernández *et al.*, 2022).

Hasil produksi kelapa sawit terbentuk melalui interaksi berbagai faktor, termasuk umur tanaman, kondisi agronomis, karakteristik tanah, iklim, dan penerapan teknik pengelolaan. (Jamshidi *et al.*, 2024) menemukan bahwa penggunaan informasi agronomis yang lebih komprehensif dapat meningkatkan ketepatan prediksi hasil kelapa sawit. Jika diterapkan pada BBC, temuan ini menunjukkan bahwa pencatatan identitas blok dan jumlah pokok belum cukup untuk menggambarkan keragaman produksi. Informasi mengenai struktur umur tanaman dan posisi pengamatan pada setiap jalur juga perlu dipertahankan agar variasi data tetap dapat ditafsirkan sesuai dengan kondisi operasional kebun.

Pada pelaksanaan BBC, setiap pokok pengamatan tidak dapat sepenuhnya diperlakukan sebagai unit yang independen karena sejumlah pokok berada dalam jalur sensus yang sama. Tanaman pada satu jalur cenderung mengalami kondisi mikro-lingkungan dan perlakuan pengelolaan yang relatif serupa. Apabila seluruh pokok dianalisis sebagai observasi yang saling bebas, interval kepercayaan dapat menjadi terlalu sempit dan nilai p berpotensi lebih kecil daripada kondisi sebenarnya. Oleh karena itu, struktur pengelompokan harus tetap diperhitungkan dalam proses *resampling* maupun inferensi statistik. Hasil analisis yang hanya melibatkan sedikit klaster juga perlu diinterpretasikan secara lebih hati-hati. (Golzarri-Arroyo *et al.*, 2022)

Besarnya fraksi sampel belum tentu mencerminkan keterwakilan populasi karena ketepatan estimasi juga dipengaruhi oleh struktur dan sebaran unit yang terpilih. Pada populasi sumber daya alam yang mempunyai pola spasial, penyebaran lokasi sampel yang seimbang dapat meningkatkan presisi estimasi dibandingkan pengamatan yang terkonsentrasi pada lokasi tertentu (Robertson *et al.*, 2022). Dalam data bertingkat, inferensi perlu mengikuti hierarki rancangan; penambahan pokok di dalam jalur yang sama tidak menggantikan informasi yang diperoleh dari penambahan jalur sebagai unit tingkat pertama (Kim *et al.*, 2022). Apabila komposisi umur dalam sampel berbeda dari komposisi populasi, informasi populasi tambahan dapat digunakan melalui pascastratifikasi agar estimasi gabungan mengikuti bobot setiap strata (Fuller, 2022).

Dua penelitian terdahulu dengan sumber data serupa memiliki fokus analisis yang berbeda. Maulana *et al.*, (2025) mengkaji perbandingan estimasi produksi antara varietas Costarika dan Sriwijaya 1, sedangkan Afriani *et al.*, (2026) menilai tingkat akurasi estimasi BBC berdasarkan produksi aktual. Meskipun demikian, kedua penelitian tersebut belum menguji sejauh mana sebaran jalur pengamatan dan komposisi strata umur mampu menghasilkan estimasi pada tingkat blok yang presisi serta mewakili kondisi populasi.

Kebaruan penelitian ini ditunjukkan melalui penggunaan jalur sensus sebagai unit inferensi, pemisahan sumber keragaman secara bertingkat, serta penghitungan interval kepercayaan dengan metode *bootstrap* pada tingkat jalur. Penelitian ini juga menilai kestabilan nilai rata-rata berdasarkan variasi jumlah jalur dan menerapkan koreksi pascastratifikasi pada blok yang memiliki dua kelompok umur tanaman. Secara khusus, penelitian bertujuan menganalisis heterogenitas dan presisi pengambilan sampel BBC pada enam blok tanaman menghasilkan, sekaligus merumuskan implikasinya terhadap rancangan sampling pada tingkat blok.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan selama periode April 2025 di PT Cahya Vidi Abadi, Desa Penuguan, Kecamatan Pulau Rimau, Kabupaten Banyuasin, Sumatera Selatan

Populasi, Jalur Sensus, dan Seleksi Data

Pengamatan mencakup 34 jalur sensus dengan interval nomor jalur 20 baris. Blok 41A, 41B, 42A, dan 42B masing-masing memiliki tujuh jalur; Blok 42C empat jalur; dan Blok 41C dua jalur. Sebanyak 1.082 catatan pokok tersedia. Angka numerik, termasuk nol aktual, dimasukkan dalam analisis, sedangkan kode A (pokok abnormal) dan X (pokok mati) dikeluarkan. Seleksi menghasilkan 1.010 data numerik.

Nilai nol tetap dimasukkan dalam analisis karena merepresentasikan pokok yang telah diamati tetapi tidak memiliki janjang hitam, sehingga menjadi bagian yang sah dari distribusi hasil. Sementara itu, kode A dan X diperlakukan sebagai kategori nonnumerik, bukan dikonversi menjadi nol ataupun diisi melalui imputasi.

Kedua kode tersebut dirangkum secara terpisah untuk menggambarkan komposisi dan kelengkapan data. Perlakuan ini penting agar pokok produktif tanpa janjang tidak disamakan dengan pokok yang tidak dapat dievaluasi menggunakan kriteria pengamatan yang sama.

Rancangan Penelitian dan Unit Analisis

Penelitian ini menerapkan desain observasional retrospektif dengan pendekatan potong lintang pada satu periode pelaksanaan BBC. Data dianalisis menggunakan struktur hierarkis, yaitu pokok sebagai unit pengamatan dasar yang berada dalam jalur sensus, sedangkan jalur sensus berada dalam blok. Variabel hasil yang diamati berupa jumlah janjang hitam pada setiap pokok. Karakteristik biologis dideskripsikan pada tingkat pokok, sementara perbandingan antarblok dan pengukuran ketidakpastian dilakukan pada tingkat jalur sensus karena unit tersebut dinilai memiliki tingkat independensi yang lebih memadai.

Periode April 2025 dipilih secara purposif sebagai periode indeks karena pada periode tersebut tersedia catatan BBC tingkat pokok yang dapat ditautkan dengan identitas jalur serta metadata luas dan populasi blok, sehingga memenuhi kebutuhan analisis sampling bertingkat. Pemilihan periode ini tidak dimaksudkan untuk mewakili variasi BBC sepanjang tahun. Blok 41A, 41B, 41C, 42A, 42B, dan 42C dipilih karena seluruhnya termasuk dalam pelaksanaan BBC pada periode yang sama dan memiliki data pokok, jalur, umur tanaman, luas, serta populasi yang diperlukan untuk analisis. Data realisasi produksi tidak dianalisis ulang karena telah digunakan untuk mengevaluasi akurasi estimasi pada artikel sebelumnya (Afriani *et al.*, 2026).

Analisis Statistik

Pada setiap jalur sensus dihitung jumlah pokok dengan data valid, nilai rata-rata, median, standar deviasi, koefisien variasi, frekuensi nilai nol, serta proporsi kode A dan X. Perbandingan antarblok didasarkan pada nilai rata-rata dari 34 jalur yang diperlakukan sebagai unit observasi. Perbedaan secara keseluruhan diuji menggunakan Kruskal-Wallis. Apabila diperoleh nilai $p < 0,05$, analisis dilanjutkan dengan uji Dunn dan penyesuaian Holm. Analisis pada tingkat pokok hanya digunakan sebagai uji sensitivitas untuk memperlihatkan konsekuensi statistik ketika struktur pengelompokan data diabaikan.

Koefisien variasi diperoleh dengan membagi standar deviasi dengan nilai rata-rata, kemudian mengalikannya dengan 100%. Sementara itu, proporsi nilai nol dihitung berdasarkan keseluruhan observasi numerik yang valid. Nilai median disajikan bersama rata-rata untuk memberikan gambaran mengenai kemencengan dan pemusatan distribusi data. Transformasi data tidak diterapkan karena analisis utama menggunakan metode berbasis peringkat dan *resampling*. Selain itu, penggunaan data dalam bentuk asli bertujuan mempertahankan satuan operasional berupa jumlah janjang per pokok.

Secara deskriptif, keragaman total dipisahkan menjadi tiga komponen, yaitu variasi antarblok, variasi antarjalur dalam blok, dan variasi antarpokok dalam

setiap jalur dengan menggunakan pendekatan jumlah kuadrat bertingkat. Interval kepercayaan 95% untuk nilai rata-rata dan koefisien variasi dihitung melalui *cluster bootstrap* sebanyak 20.000 replikasi. Proses resampling dilakukan terhadap jalur sensus dengan pengembalian pada masing-masing blok menggunakan seed 20260721. Tingkat presisi dinilai berdasarkan *relative half-width*, yaitu separuh lebar interval kepercayaan yang dibagi dengan nilai rata-rata, dengan batas eksploratif sebesar 10%.

Stabilitas pengambilan sampel dinilai dengan menguji seluruh kemungkinan kombinasi, mulai dari satu jalur hingga seluruh jalur yang tersedia. Nilai rata-rata setiap kombinasi dibandingkan dengan rata-rata yang dihitung menggunakan seluruh jalur dalam blok, kemudian ditentukan persentil ke-95 dari galat relatifnya. Jumlah minimum jalur secara eksploratif ditetapkan sebagai jumlah terkecil yang menghasilkan persentil ke-95 galat relatif paling tinggi 10%. Prosedur ini digunakan untuk membandingkan kestabilan relatif antarblok pada periode pengamatan yang sama.

Analisis pascastratifikasi umur diterapkan pada blok yang mempunyai lebih dari satu kelompok umur berdasarkan metadata perusahaan. Rerata setiap strata dihitung secara terpisah, kemudian rerata blok dikoreksi menggunakan bobot berupa proporsi populasi setiap strata terhadap populasi gabungan. Perbedaan rerata jalur antarstrata diuji secara eksploratif menggunakan uji Mann-Whitney eksak. Blok yang hanya mempunyai satu kelompok umur tidak dianalisis dengan pascastratifikasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Cakupan Populasi dan Sampel

Struktur populasi, jumlah jalur, cakupan data, serta proporsi A dan X setiap blok dirangkum pada Tabel 1.

Tabel 1. Struktur Populasi dan Cakupan *Sampling* BBC

Blok	Luas	Populasi	Jalur	Tercatat	n valid	Fraksi	A+X
41A	32,32	4.828	7	252	248	5,14	1,59
41B	25,65	3.798	7	252	191	5,03	24,21
41C	6,27	930	2	61	57	6,13	6,56
42A	32,68	4.826	7	252	250	5,18	0,79
42B	25,59	3.788	7	183	182	4,80	0,55
42C	11,35	1.679	4	82	82	4,88	0,00

Keterangan: Luas dinyatakan dalam hektare (ha); n valid = jumlah data numerik setelah kode A dan X dikeluarkan; fraksi = persentase n valid terhadap populasi; A = pokok abnormal; X = pokok mati; A+X = proporsi kedua kode terhadap catatan pokok. Sumber: data primer dan metadata perusahaan diolah (2026).

Fraksi data numerik terhadap populasi berada pada kisaran 4,80-6,13% dan mendekati rancangan sampling sekitar 5%. Namun, jumlah jalur tidak seimbang antarblok. Blok 41C hanya diwakili dua jalur, sedangkan empat blok memiliki tujuh jalur. Blok 41B juga mempunyai proporsi A dan X tertinggi, yaitu

24,21%, sehingga keterwakilan blok tersebut perlu dievaluasi lebih lanjut.

Distribusi Jumlah Janjang dan Kualitas Data

Rerata jumlah janjang per pokok berada pada rentang 4,209-6,684. Blok 41C mempunyai rerata tertinggi (6,684), diikuti 41B (6,183) dan 42A (6,056), sedangkan 42B mempunyai rerata terendah (4,209). Median umumnya berdekatan dengan rerata, sehingga perbedaan pusat distribusi tidak hanya dibentuk oleh beberapa nilai ekstrem. Namun, perbandingan ini masih bersifat deskriptif karena jumlah jalur antarblok tidak seragam dan Blok 41C hanya mempunyai dua jalur. Statistik deskriptif lengkap setiap blok disajikan pada Tabel 2. Khusus Blok 41B, rerata tersebut menggabungkan TM8 dan TM6 dengan proporsi sampel yang tidak seimbang; hasil menurut strata dan pembobotannya dibahas pada Tabel 6.

Tabel 2. Statistik Deskriptif Jumlah Janjang per Pokok Menurut Blok

Blok	n	Rerata	Median	SD	CV (%)	Nol (%)
41A	248	4,859	5,000	2,223	45,74	3,63
41B	191	6,183	6,000	2,682	43,37	4,19
41C	57	6,684	7,000	1,929	28,85	1,75
42A	250	6,056	6,000	2,563	42,32	3,20
42B	182	4,209	4,000	2,210	52,51	6,59
42C	82	4,341	5,000	1,786	41,14	6,10

Keterangan: n = jumlah pokok dengan data numerik valid; rerata, median, dan SD dinyatakan dalam janjang/pokok; SD = standar deviasi; CV = koefisien variasi; nol = proporsi data numerik bernilai 0.

Koefisien variasi berkisar 28,85-52,51%. Nilai tertinggi pada 42B menunjukkan heterogenitas antarpokok yang besar walaupun rerata antarjalurnya relatif stabil. Sebaliknya, CV 41C paling rendah, tetapi informasi tersebut berasal dari 57 pokok pada dua jalur sehingga belum cukup untuk menyimpulkan bahwa keseluruhan blok homogen. Perbedaan ini memperlihatkan bahwa variasi antarpokok dan ketidakpastian rerata tingkat blok merupakan dua hal yang harus dibaca secara terpisah.

Proporsi nilai nol relatif rendah, yaitu 1,75-6,59% dari data numerik, sehingga nol tidak mendominasi rerata blok. Persoalan kualitas data yang lebih menonjol justru terdapat pada status A dan X. Sebanyak 61 dari 252 catatan Blok 41B berkode A atau X (24,21%), jauh lebih tinggi daripada blok lain. Karena sebagian besar kode tersebut terdapat pada strata TM6, pengecualian A dan X mengubah komposisi data valid yang tersedia dan menjadi alasan tambahan untuk melakukan analisis strata serta pembobotan populasi.

Keragaman Antarjalur dan Antarblok

Nilai rata-rata pada tingkat jalur menunjukkan keragaman paling tinggi pada Blok 41B dan 42A. Uji Kruskal Wallis yang menggunakan 34 rata-rata jalur sebagai unit analisis tetap menemukan adanya perbedaan antarblok ($H(5) = 19,440$; $p = 0,0016$).

Namun, setelah dilakukan penyesuaian Holm, perbedaan yang signifikan hanya ditemukan antara Blok 41B dan 42B ($p = 0,019$). Hasil ini lebih konservatif dibandingkan analisis pada tingkat pokok, yang menghasilkan $H(5) = 126,368$ dan $p < 0,001$ dengan lebih banyak pasangan berbeda nyata. Berkurangnya jumlah pasangan yang signifikan menegaskan pentingnya penggunaan jalur sensus sebagai unit inferensi. Ringkasan uji global dan uji lanjut disajikan pada Tabel 3.

Secara deskriptif, perbedaan rata-rata antara Blok 41B dan 42B mencapai 1,974 janjang per pokok. Meskipun demikian, pasangan blok lain yang memperlihatkan selisih rata-rata cukup besar belum tentu menunjukkan perbedaan signifikan setelah koreksi perbandingan berganda. Sebagai contoh, Blok 42A memiliki rata-rata 6,056, sedangkan Blok 42B sebesar 4,209, tetapi perbedaan keduanya tidak memenuhi batas signifikansi setelah penyesuaian Holm. Hal ini menunjukkan bahwa besarnya selisih rata-rata perlu ditafsirkan dengan mempertimbangkan jumlah jalur, variasi antarjalur, dan koreksi terhadap banyaknya pasangan yang dianalisis. Hasil perhitungan dekomposisi keragaman jumlah janjang dan setiap komponen keragaman disajikan pada Tabel 4.

Tabel 3. Uji Antarblok Menggunakan Jalur sebagai Unit Analisis

Analisis	N	Statistik	df	p	Keputusan
Kruskal-Wallis rerata jalur	34	19,440	5	0,0016	Berbeda nyata
Dunn-Holm 41B-42B	-	3,221	-	0,019	Berbeda nyata
Kruskal-Wallis tingkat pokok*	1.010	126,368	5	<0,001	Sensitivitas

Keterangan: N = jumlah unit observasi; df = derajat bebas; p = probabilitas signifikansi; Dunn-Holm = uji lanjut Dunn dengan koreksi Holm. *Analisis tingkat pokok hanya digunakan sebagai uji sensitivitas karena pokok tersarang dalam jalur.

Tabel 4. Dekomposisi Keragaman Jumlah Janjang

Sumber keragaman	Jumlah kuadrat	Proporsi (%)
Antarblok	738,94	11,71
Antarjalur dalam blok	430,61	6,82
Antarpokok dalam jalur	5.142,07	81,47
Total	6.311,62	100,00

Keterangan: Jumlah kuadrat menunjukkan besarnya variasi pada setiap tingkat hierarki; proporsi adalah persentase terhadap jumlah kuadrat total.

Berdasarkan Tabel 4, hasil dekomposisi menunjukkan bahwa sebagian besar keragaman total, yaitu 81,47%, berasal dari perbedaan antarpokok dalam jalur. Sementara itu, variasi antarblok memberikan kontribusi sebesar 11,71%, sedangkan variasi antarjalur dalam blok mencapai 6,82%. Simpangan baku jumlah janjang antarpokok pada masing-masing blok berkisar

1,786-2,682 janjang/pokok. Besarnya keragaman pada tingkat pokok menunjukkan perlunya melibatkan jumlah pokok yang memadai dalam pengamatan. Meskipun kontribusinya lebih kecil, variasi antarjalur tetap harus diperhitungkan dalam penyusunan interval kepercayaan dan generalisasi hasil pada tingkat blok.

Presisi dan Kecukupan Jalur

Rerata, interval kepercayaan, *relative half-width*, dan jumlah jalur minimum eksploratif setiap blok dirangkum pada Tabel 5.

Tabel 5. Presisi *Bootstrap* dan Kestabilan Jalur

Blok	Mean	IK 95%	LSR (%)	Target	Jalur minimum*
41A	4,859	4,55-5,14	6,10	Tercapai	2
41B	6,183	5,36-6,92	12,65	Belum	5
41C	6,684	6,52-6,92	3,00	Terbatas	-
42A	6,056	5,38-6,56	9,74	Tercapai	4
42B	4,209	3,98-4,53	6,58	Tercapai	3
42C	4,341	4,30-4,43	1,43	Tercapai	1

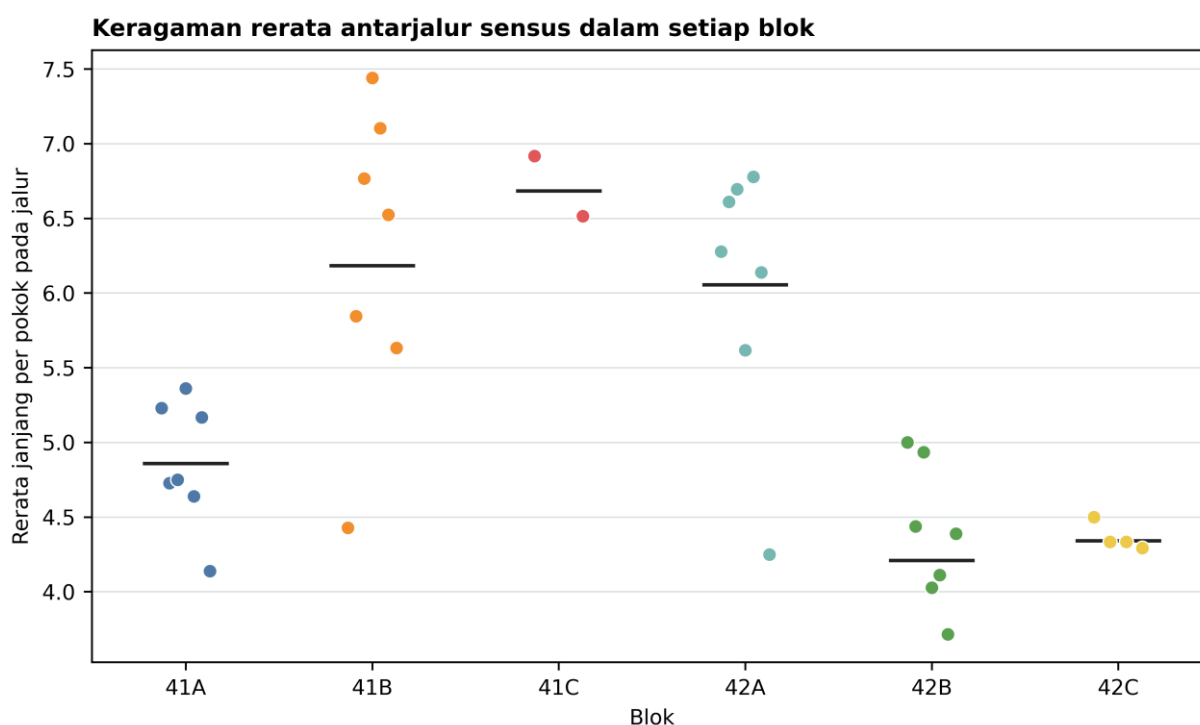
Keterangan: Mean = rerata; IK 95% = interval kepercayaan 95%; LSR = lebar-separuh relatif, yaitu separuh lebar IK dibagi rerata dan dinyatakan dalam persen. *Jumlah jalur minimum bersifat eksploratif berdasarkan seluruh kombinasi jalur yang teramati dan bukan rekomendasi universal.

Hasil menunjukkan bahwa bootstrap jalur menghasilkan *relative half-width* 6,10% pada 41A; 12,65% pada 41B; 3,00% pada 41C; 9,74% pada 42A; 6,58% pada 42B; dan 1,43% pada 42C. Blok 41B belum mencapai target presisi eksploratif 10%. Nilai kecil pada

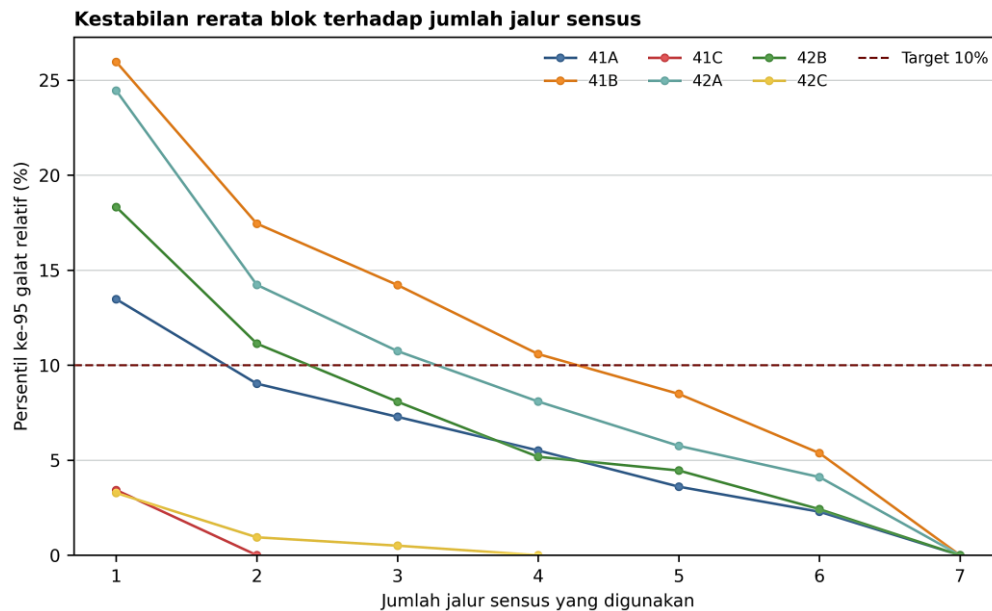
41C tidak dapat dianggap bukti presisi kuat karena hanya berasal dari dua jalur yang kebetulan memiliki rerata berdekatan.

Hasil analisis kombinasi jalur menunjukkan bahwa Blok 41B membutuhkan sekurang-kurangnya lima dari tujuh jalur yang diamati agar persentil ke-95 galat relatif berada di bawah 10%. Jumlah minimum tersebut berbeda pada blok lainnya, yaitu empat jalur untuk Blok 42A, tiga jalur untuk Blok 42B, dan dua jalur untuk Blok 41A. Pada Blok 42C, hasil eksploratif menunjukkan bahwa satu jalur telah menghasilkan galat di bawah batas tersebut karena keempat jalur yang tersedia memiliki karakteristik relatif serupa. Namun, temuan ini hanya berlaku pada blok dan periode pengamatan yang dianalisis sehingga tidak dapat digeneralisasikan secara luas.

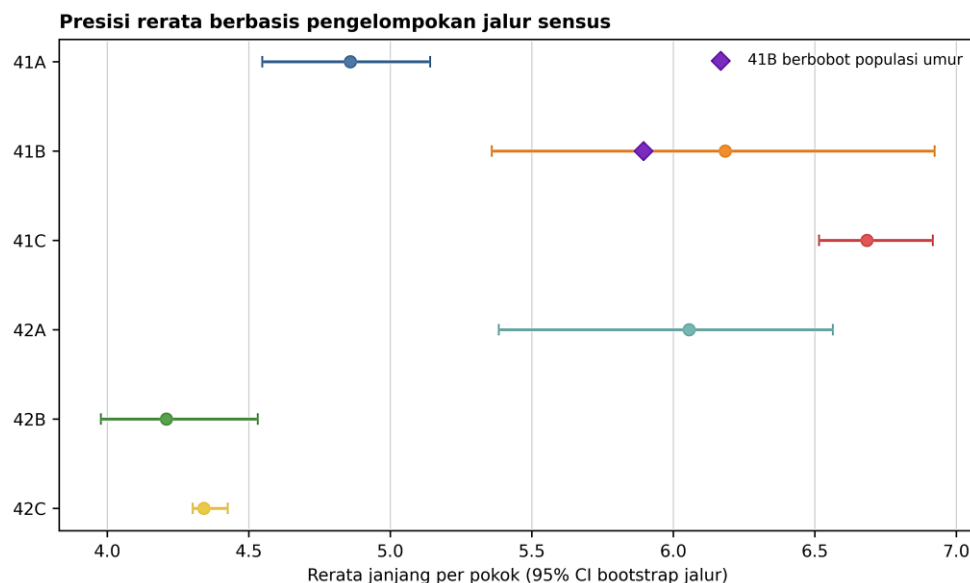
Kurva kestabilan memberikan gambaran yang tidak dapat diperoleh hanya dari besarnya fraksi sampel. Pada Blok 41B, penggunaan satu jalur menghasilkan persentil ke-95 galat relatif sebesar 25,96%. Nilainya masih mencapai 17,45% ketika dua jalur digunakan dan baru menurun menjadi 8,49% setelah jumlahnya ditambah menjadi lima jalur. Pola serupa terlihat pada Blok 42A, dengan galat yang turun dari 24,45% pada satu jalur menjadi 8,09% ketika menggunakan empat jalur. Sebaliknya, rata-rata keempat jalur pada Blok 42C sangat berdekatan sehingga galat dalam kumpulan jalur yang diamati menurun dengan cepat. Perbedaan pola ini menunjukkan bahwa jumlah jalur sebaiknya ditetapkan berdasarkan tingkat heterogenitas masing-masing blok, bukan menggunakan ketentuan tunggal untuk seluruh blok. Pola keragaman antarjalur, kestabilan terhadap jumlah jalur, dan interval kepercayaan rerata divisualisasikan berturut-turut pada Gambar 1, Gambar 2, dan Gambar 3.



Gambar 1. Keragaman Rerata antar Jalur Sensus dalam Setiap Blok



Gambar 2. Kestabilan Rerata Blok terhadap Jumlah Jalur Sensus



Gambar 3. Presisi Rerata BBC Menurut Blok

Sensitivitas Umur dan Pembobotan Blok 41B

Perbedaan cakupan populasi dan sampel kedua strata disajikan pada Tabel 6 berikut ini :

Tabel 6. Struktur Strata Umur Blok 41B

Umur	Luas	Populasi	Jalur	n valid	Mean	Fraksi	A+X
TM8	19,48	2.884	3	97	5,619	3,36	10,19
TM6	6,17	914	4	94	6,766	10,28	34,72

Keterangan: TM = tanaman menghasilkan; n valid = jumlah data numerik setelah kode A dan X dikeluarkan; Mean = rerata dalam janjang/pokok; fraksi = persentase n valid terhadap populasi; A = pokok abnormal; X = pokok mati. Perbandingan rerata jalur TM8-TM6 tidak signifikan ($U=3$; $p=0,400$) dan bersifat eksploratif.

Metadata menunjukkan bahwa Blok 41A, 41C, 42A, 42B, dan 42C hanya terdiri atas TM8, sedangkan Blok 41B terdiri atas TM8 pada jalur 5-45 dan TM6 pada jalur 65-125. Oleh karena itu, analisis sensitivitas umur

dan pembobotan difokuskan pada Blok 41B. Strata TM8 mencakup 75,93% populasi Blok 41B, tetapi hanya menyumbang 50,79% data numerik. Sebaliknya, TM6 mencakup 24,07% populasi dan menyumbang 49,21% data numerik. Fraksi data numerik TM8 hanya 3,36%, sedangkan TM6 mencapai 10,28%. Ketidakseimbangan ini menyebabkan rerata sampel sederhana lebih banyak dipengaruhi oleh TM6.

Nilai rata-rata sebelum memperhitungkan bobot strata mencapai 6,183 janjang per pokok. Setelah dilakukan pembobotan berdasarkan proporsi populasi pada setiap kelompok umur, nilai tersebut menurun sebesar 4,67% menjadi 5,895 janjang per pokok. Perubahan ini menunjukkan bahwa fraksi sampel total yang mendekati 5% belum tentu mampu mewakili populasi apabila komposisi setiap strata dalam sampel tidak proporsional. Oleh karena itu, pada blok yang terdiri atas lebih dari satu kelompok umur tanaman, jumlah jalur pengamatan perlu ditentukan untuk setiap strata, kemudian hasilnya digabungkan menggunakan bobot sesuai komposisi populasi.

Pascastratifikasi dilakukan dengan menerapkan bobot sebesar 0,7593 untuk TM8 dan 0,2407 untuk TM6 berdasarkan proporsi masing-masing kelompok umur dalam populasi. Rata-rata TM8 tercatat sebesar 5,619 janjang per pokok, sedangkan TM6 mencapai 6,766 janjang per pokok. Pada perhitungan tanpa pembobotan, kedua strata memberikan pengaruh yang hampir seimbang karena jumlah data validnya relatif berdekatan. Kondisi tersebut tidak sesuai dengan struktur populasi karena TM6 hanya mencakup sekitar seperempat dari keseluruhan populasi. Penurunan rata-rata sebesar 4,67% setelah pembobotan menunjukkan tingkat sensitivitas estimasi terhadap komposisi sampel dan bukan merupakan koreksi berdasarkan realisasi produksi.

Uji *Mann Whitney* terhadap tujuh rata-rata jalur tidak menemukan perbedaan signifikan antara TM8 dan TM6 ($U = 3$; $p = 0,400$). Namun, hasil tersebut tidak dapat dijadikan dasar untuk menyimpulkan bahwa umur tanaman tidak berkaitan dengan jumlah janjang. Hal ini disebabkan oleh rendahnya daya uji karena analisis hanya melibatkan tiga jalur TM8 dan empat jalur TM6. Temuan yang lebih penting adalah adanya ketidakseimbangan alokasi sampel, dengan fraksi data numerik TM6 mencapai lebih dari tiga kali fraksi TM8. Oleh sebab itu, pembobotan tetap diperlukan agar estimasi pada tingkat blok mencerminkan struktur populasi, terlepas dari hasil uji perbedaan yang masih bersifat eksploratif.

Variabilitas Biologis dan Presisi Estimasi

Hasil penguraian keragaman menunjukkan bahwa 81,47% variasi data berasal dari perbedaan antarpokok dalam jalur. Dominasi komponen ini mencerminkan karakter produksi tanaman yang dapat beragam akibat kondisi individual pokok dan perbedaan fase perkembangan tandan. Meskipun hanya menyumbang 6,82% dari keragaman total, variasi antarjalur tetap memiliki peran penting. Komponen tersebut memengaruhi perubahan rata-rata ketika jalur sampel diganti dan selanjutnya menentukan lebar interval kepercayaan estimasi pada tingkat blok.

Kondisi pada Blok 42B memberikan gambaran yang jelas. Blok ini memiliki koefisien variasi tingkat pokok tertinggi, yaitu 52,51%, tetapi *relative half-width* rata-rata bloknya hanya sebesar 6,58%. Hal ini menunjukkan bahwa nilai antarpokok sangat beragam, sedangkan rata-rata dari tujuh jalurnya cenderung konsisten. Pola berbeda ditemukan pada Blok 41B. Meskipun koefisien variasi tingkat pokoknya lebih rendah, yaitu 43,37%, *relative half-width* mencapai 12,65% karena rata-rata antarjalur lebih bervariasi. Dengan demikian, koefisien variasi pada tingkat pokok tidak dapat digunakan sebagai pengganti pengukuran presisi yang didasarkan pada jalur sensus.

Temuan tersebut turut menjelaskan perbedaan hasil uji Kruskal Wallis antara analisis tingkat pokok dan tingkat jalur. Ketika seluruh 1.010 pokok diperlakukan sebagai unit yang independen, keragaman pokok dalam jalur akan meningkatkan ukuran sampel secara statistik tanpa menambah jumlah unit spasial yang benar-benar terpisah. Sebaliknya, penggunaan 34 rata-rata jalur dapat mengurangi risiko pseudoreplikasi dan menghasilkan kesimpulan yang lebih konservatif. Hasil

ini sesuai dengan penjelasan (Golzarri-Arroyo *et al.*, 2022) bahwa analisis data berkelompok perlu mempertahankan struktur klaster dan bahwa hasil yang berasal dari jumlah klaster terbatas harus ditafsirkan secara hati-hati.

Implikasi Operasional

Hasil penelitian menunjukkan bahwa BBC perlu dievaluasi pada dua tingkat analisis yang berbeda. Data tingkat pokok digunakan untuk menjelaskan distribusi hasil dan keragaman biologis tanaman, sedangkan data tingkat jalur diperlukan untuk mengukur ketidakpastian estimasi pada tingkat blok. Apabila pelaporan hanya menekankan jumlah pokok yang diamati, ukuran sampel dapat terlihat besar meskipun jumlah informasi yang benar-benar independen lebih mendekati banyaknya jalur sensus.

Dalam penerapannya, pencatatan BBC perlu memuat identitas jalur, umur tanaman, jumlah populasi setiap strata, serta proporsi status A dan X. Pada blok dengan interval kepercayaan yang lebar, jumlah jalur dapat ditambah atau pola sebarannya ditinjau kembali. Apabila satu blok terdiri atas beberapa strata, jalur pengamatan perlu dialokasikan secara proporsional atau hasil analisis dikoreksi menggunakan bobot populasi. Rekomendasi ini melengkapi kajian (Afriani *et al.*, 2026) mengenai akurasi estimasi terhadap realisasi produksi tanpa mengulang analisis yang sama.

Evaluasi dapat dilaksanakan melalui empat tahapan. Tahap pertama adalah memeriksa proporsi data numerik, nilai nol, serta status A dan X pada setiap blok dan strata. Tahap kedua dilakukan dengan menyusun ringkasan pada tingkat jalur untuk mengidentifikasi rata-rata atau komposisi status yang menyimpang. Selanjutnya, interval kepercayaan dihitung dengan jalur sebagai unit analisis. Jika target presisi belum tercapai, jumlah jalur dapat ditambah atau sebarannya diperbaiki. Tahap terakhir adalah menggabungkan hasil dari setiap strata berdasarkan bobot populasinya. Prosedur tersebut memungkinkan penambahan sampel dilakukan secara lebih terarah dibandingkan hanya memperbanyak pokok pada jalur yang telah diamati.

Jumlah minimum jalur yang disajikan pada Tabel 5 harus dipahami sebagai hasil diagnosis internal berdasarkan data April 2025, bukan sebagai ketentuan yang berlaku secara umum. Kebutuhan dua jalur pada Blok 41A atau satu jalur pada Blok 42C hanya menunjukkan bahwa kombinasi jalur yang tersedia pada periode tersebut menghasilkan rata-rata yang relatif dekat dengan nilai rata-rata seluruh jalur. Untuk merumuskan kebijakan pengambilan sampel secara berkelanjutan, perusahaan perlu menggabungkan data BBC dari beberapa periode dan menilai konsistensi pola kestabilan pada jalur yang sama. Target operasional selanjutnya dapat ditetapkan dengan mempertimbangkan toleransi terhadap risiko kesalahan, biaya penambahan jalur, dan riwayat heterogenitas pada setiap blok. Dengan demikian, angka minimum jalur dalam penelitian ini tidak dapat digeneralisasikan ke blok, kebun, atau periode lain tanpa validasi menggunakan pengamatan berulang.

Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini hanya menggunakan data BBC dari satu periode dengan jumlah jalur yang masih terbatas, khususnya pada Blok 41C dan 42C. Interval *bootstrap* yang dibentuk dari sedikit jalur berpotensi terlihat sempit meskipun belum tentu memiliki cakupan nominal yang memadai. Oleh sebab itu, hasil pengukuran presisi dan kebutuhan minimum jalur dalam penelitian ini harus dipahami sebagai temuan eksploratif. Analisis juga belum mencakup koordinat spasial, curah hujan, karakteristik tanah, pemupukan, gangguan organisme, dan pengamatan berulang. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan data dari beberapa periode sensus serta menambah jumlah jalur pada blok yang saat ini hanya memiliki dua hingga empat jalur.

Penguraian keragaman dengan pendekatan jumlah kuadrat masih bersifat deskriptif dan belum dapat menggantikan model campuran yang mengestimasi setiap komponen ragam. Keterkaitan spasial antarjalur juga belum dianalisis karena data koordinat pokok dan jalur tidak tersedia. Selain itu, kode A dan X hanya menggambarkan status pencatatan, sedangkan penyebab agronomis yang mendasarinya tidak tercantum dalam data. Dengan demikian, perbedaan proporsi kedua kode tersebut tidak dapat langsung dianggap sebagai perbedaan kondisi kesehatan tanaman tanpa adanya pemeriksaan lapangan.

Pengembangan penelitian dapat dilakukan melalui pengamatan berulang setiap bulan dengan mempertahankan jalur yang sama sebagai data panel. Variabel tambahan seperti umur tanaman, curah hujan dengan efek tertunda, pemupukan, dan kondisi tanah juga perlu disertakan. Penggunaan data longitudinal akan membantu memisahkan variasi temporal dari variasi spasial, sementara model campuran memungkinkan komponen blok, jalur, dan waktu diestimasi secara bersamaan. Pendekatan tersebut juga dapat digunakan untuk menguji apakah penerapan pembobotan dan jumlah jalur yang direkomendasikan benar-benar meningkatkan ketepatan estimasi produksi pada periode selanjutnya.

KESIMPULAN

Penggunaan jalur sensus sebagai unit inferensi memberikan hasil yang lebih konservatif dibandingkan analisis berbasis pokok. Perbedaan antarblok tetap signifikan ketika pengujian dilakukan terhadap 34 rata-rata jalur ($H(5) = 19,440$; $p = 0,0016$), tetapi setelah penyesuaian Holm, perbedaan nyata hanya ditemukan antara Blok 41B dan 42B. Penguraian keragaman menunjukkan bahwa 81,47% variasi berasal dari perbedaan antarpokok dalam jalur, 6,82% dari perbedaan antarjalur dalam blok, dan 11,71% dari perbedaan antarblok. Blok 41B belum memenuhi batas presisi eksploratif sebesar 10%, sementara keterbatasan jumlah jalur pada Blok 41C belum memungkinkan penilaian presisi yang kuat. Pada Blok 41B, alokasi sampel yang tidak seimbang antara TM8 dan TM6 menyebabkan rata-rata berbobot populasi lebih rendah 4,67% daripada rata-rata tanpa pembobotan. Oleh karena itu, pelaksanaan BBC perlu memperhatikan jumlah dan persebaran jalur, komposisi strata umur, serta pembobotan berdasarkan populasi.

Banyaknya pokok yang diamati saja belum dapat menjamin bahwa sampel mewakili kondisi blok secara keseluruhan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Politeknik Negeri Sriwijaya atas pendanaan Penelitian Dasar Kerja Sama Dosen dan Mahasiswa melalui DIPA Polsri berdasarkan Kontrak Nomor 07012/PL6.2.1/LT/2025 tanggal 26 Juni 2025. Terima kasih juga disampaikan kepada PT Cahya Vidi Abadi atas dukungan lokasi dan data penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Afriani, S. R., Maulana, A., Junainah, J., Yusticia, S. R., Rezky, G. M., dan Bagas, S. 2026. Census Terhadap Realisasi Produksi Tandan Buah Segar Kelapa Sawit. *Jurnal Sains dan terapan Politeknik Hasnur* 10(2), 167–175. <https://doi.org/10.32585/ags.v10i2.8376>
- Fahlevi, M. R., Sepriani, Y., Mustamu, N. E., dan Lestari, W. 2023. Estimasi Produksi Blok A16C dengan Metode Sensus Buah Hitam Black Bunch Cencus (BBC) di Kebun Aek Nabara PT Supra Matra Abadi. *Jurnal Pertanian Agros* 25(3), 2291–2295. <https://doi.org/10.37159/jpa.v25i3.3158>
- Fuller, W. A. 2022. Post-Strata Based on Sample Quantiles. *Journal of the Royal Statistical Society Series A: Statistics in Society*, J185(4), 1504–1521. <https://doi.org/10.1111/rssa.12768>
- Golzarri-Arroyo, L., Dickinson, S. L., Jamshidi-Naeini, Y., Zoh, R. S., Brown, A. W., Owora, A. H., Li, P., Oakes, J. M., and Allison, D. B. 2022. Evaluation of the Type I Error Rate When Using Parametric Bootstrap Analysis of a Cluster Randomized Controlled Trial with Binary Outcomes and a Small Number of Clusters. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 215, 106654. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2022.106654>
- Jamshidi, E. J., Yusup, Y., Hooy, C. W., Kamaruddin, M. A., Hassan, H. M., Muhammad, S. A., Shafri, H. Z. M., Then, K. H., Norizan, M. S., and Tan, C. C. 2024. Predicting Oil Palm Yield Using a Comprehensive Agronomy Dataset and 17 Machine Learning and Deep Learning Models. *Ecological Informatics Journal*, 81. doi:10.1016/j.ecoinf.2024.102595
- Kamil, N. N., Xiao, S., Salleh, S. N. S., Xu, H., and Zhuang, C. C. 2024. Nonlinear Impacts of Climate Anomalies on Oil Palm Productivity. *Heliyon Journal*, 10(15), e35798. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35798>
- Kim, J. K., Rao, J. N. K., and Kwon, Y. 2022. Analysis of Clustered Survey Data Based on Two-Stage Informative Sampling and Associated Two-Level Models. *Journal of the Royal Statistical Society Series A: Statistics in Society*, 185(4), 1522–1540. <https://doi.org/10.1111/rssa.12805>

- Makrup, A., Jamaluddin, dan Jumri. 2021. Perbandingan Estimasi Produksi Metode Sensus Buah Hitam dengan Metode Indeks Musiman. *Buletin Loupe*, 17(02), 127–132. [10.51967/buletinloupe.v17i02.655](https://doi.org/10.51967/buletinloupe.v17i02.655)
- Maulana, A., Afriani, S. R., Yusticia, S. R., Galang, M. R., and Saputra, B. 2025. Comparison of Fresh Palm Fruit Bunch Production Estimates using the Black Bunch Fruit Census Method Between the Costarica and Sriwijaya Varieties. *Jurnal Riset Perkebunan*, 6(2), 85–91. <https://doi.org/10.25077/jrp.6.2.85-91.2025>
- Monzon, J. P., Jabloun, M., Cock, J., Caliman, J., Cou, A., Donough, C. R., Ho, P., Vui, V., Lim, Y. L., Mathews, J., Oberthür, T., Prabowo, N. E., Rattalino, J. I., Sidhu, M., Slingerland, M. A., Sugianto, H., and Grassini, P. 2022. Influence of Weather and Endogenous Cycles on Spatiotemporal Yield Variation in Oil Palm. *Journal Agricultural and Forest Meteorology*, 314. [10.1016/j.agrformet.2021.108789](https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108789)
- Pradiko, I., Hariyadi, and June, T. 2023. Quantification of Climate Factors Contributing to Variation of Oil Palm Yield. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, 31(2), 108–123.
- Robertson, B. L., Ozturk, O., Kravchuk, O., and Brown, J. A. 2022. Spatially Balanced Sampling with Local Ranking. *Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics*, 27(4), 622–639. <https://doi.org/10.1007/s13253-022-00501-6>
- Watson-Hernández, F., Gómez-Calderón, N., and Pereira da Silva, R. 2022. Oil Palm Yield Estimation Based on Vegetation and Humidity Indices Generated from Satellite Images and Machine Learning Techniques. *Agriengineering Journal*, 279–291.