

TABEL PILAR 1 s.d. PILAR 6 INA-VERITY 2.0

Parameter, Ambang Batas, dan Metodologi Skoring yang Telah Dikoreksi untuk Kondisi Indonesia

PILAR 1: FISIKA TANAH

No.	Judul Data	Mengapa Diperlukan?	Cara Akuisisi Teknis	Cara Analisis	Fungsi Skoring	Rentang/ Ambang Batas Ideal	Cara Skoring	Bobot (%)	Frekuensi Akuisisi Rekomendasi	Metode Sampling Spasial yang Sesuai
1	Tekstur Tanah (% pasir, debu, liat)	Menentukan kapasitas menahan air & nutrisi; mempengaruhi aerasi dan pengolahan.	Lab: Pipet/hidrometer. In-situ: Manual feeling test. Spektroskopi: Vis-NIR, MIR, data satelit hyperspectral.	Klasifikasi segitiga tekstur USDA; analisis distribusi ukuran partikel.	OIB	Liat 20–35%, Debu 30–50%, Pasir 30–50% (rentang lempung berdebu – lempung liat berpasir).	Skor 1 jika dalam rentang optimum; turun linear mendekati 0 jika mendekati 100% pasir atau 100% liat.	15%	Sekali (statis)	Grid atau stratified berdasarkan peta tanah. Composite sample per grid/stratum.
2	Bulk Density (g/cm ³)	Indikator kepadatan tanah; mempengaruhi penetrasi akar, drainase, dan porositas.	Lab: Ring sampel dengan oven-drying. In-situ: Sensor gamma-ray.	Perbandingan berat tanah kering dengan volume total.	LIB (koreksi jenis tanah)	Andisol: 0,8–1,0; Ultisol: 1,2–1,4; Vertisol: 1,0–1,2; Lainnya: 1,0–1,3.	Skor = 1 jika ≤ batas bawah jenis tanah; turun linear menjadi 0 pada batas bawah +0,4 (misal: Andisol skor 1 pada ≤1,0; 0 pada ≥1,4).	12%	Semidinamis (2–3 tahun)	Grid sampling dengan sampel utuh (undisturbed) beberapa kedalaman.

No.	Judul Data	Mengapa Diperlukan?	Cara Akuisisi Teknis	Cara Analisis	Fungsi Skoring	Rentang/ Ambang Batas Ideal	Cara Skoring	Bobot (%)	Frekuensi Akuisisi Rekomendasi	Metode Sampling Spasial yang Sesuai
3	Porositas Total (%)	Menentukan kapasitas menyimpan air dan udara.	Perhitungan dari Bulk Density dan Particle Density (asumsi 2,65 g/cm ³).	Porositas = $(1 - (BD/2,65)) \times 100\%$.	OIB	50–60% ideal; <40% padat; >70% gambut.	Skor 1 di 50–60%; turun linear ke 0 di 40% dan 80%.	10%	Semidinamis (sama dengan BD)	Sama dengan Bulk Density (sampel yang sama).
4	Kapasitas Menahan Air Tersedia (AWC) (cm³/cm³)	Menentukan pasokan air tersedia bagi tanaman; ketahanan kekeringan.	Lab: Pressure plate pada kapasitas lapang (pF 2,54) dan titik layu permanen (pF 4,2). In-situ: Sensor kelembaban terkalibrasi.	Air Tersedia = $\theta(FC) - \theta(PWP)$.	MIB	>0,15 cm ³ /cm ³ baik; 0,10–0,15 sedang; <0,10 rendah.	Skor = (nilai – 0,05) / (0,20 – 0,05), dibatasi 0–1 (asumsi maks 0,20).	10%	Semidinamis (setiap musim tanam)	Stratified berdasarkan tekstur dan bahan organik. Sampel utuh lapisan perakaran.
5	Stabilitas Agregat (% agregat >0,25 mm tahan ayak basah)	Ketahanan struktur terhadap erosi dan kerak; penting untuk infiltrasi.	Lab: Ayak basah (wet sieving) dengan aparat Yoder.	Persentase agregat >0,25 mm tahan ayak basah.	MIB	>60% sangat stabil; 40–60% stabil; <40% tidak stabil.	Skor = nilai / 80%, maks 1.	8%	Semidinamis (tahunan)	Stratified berdasarkan pengelolaan lahan. Sampel terganggu lapisan atas (0–20 cm).
6	Infiltrasi (Laju Infiltrasi Jenuh – Ksat) (cm/jam)	Kecepatan air masuk ke tanah; menentukan limpasan dan efisiensi irigasi.	In-situ: Double ring atau mini disk infiltrometer.	Laju infiltrasi jenuh (Ksat).	OIB	2–10 cm/jam ideal; <0,5 lambat; >20 cepat (miskin hara).	Skor 1 di 2–10; turun linear ke 0 di 0,5 dan 30.	10%	Semidinamis (tahunan)	Stratified berdasarkan tekstur & struktur. Pengukuran in-situ beberapa titik per strata.

No.	Judul Data	Mengapa Diperlukan?	Cara Akuisisi Teknis	Cara Analisis	Fungsi Skoring	Rentang/ Ambang Batas Ideal	Cara Skoring	Bobot (%)	Frekuensi Akuisisi Rekomendasi	Metode Sampling Spasial yang Sesuai
7	Kedalaman Tanah Efektif (cm)	Ruang akar berkembang dan menyerap hara/air.	In-situ: Bor tanah atau profil pit hingga lapisan penghambat. Sensor: GPR.	Pengukuran vertikal hingga lapisan penghambat.	MIB	>100 cm dalam; 50–100 cm sedang; <50 cm dangkal.	Skor = nilai / 150, maks 1.	15%	Sekali (statis)	Grid atau stratified dengan bor tanah.
8	Salinitas (EC) (dS/m)	Parameter kritis untuk lahan pesisir/pasang surut; intrusi air laut.	In-situ: Konduktivimeter. Lab: Ekstrak tanah 1:5.	Pengukuran langsung.	LIB	<2 (padi), <1 (jagung), <0,5 (hortikultura).	Skor = 1 jika ≤ ambang; turun linear ke 0 pada 2× ambang.	5% (kondisional)	Sekali baseline, lalu tahunan jika lahan pesisir	Stratified berdasarkan peta salinitas atau jarak dari pantai.
9	Redox Potential (Eh) (mV)	Penting untuk lahan sawah; menentukan ketersediaan Fe, Mn, dan toksisitas H ₂ S.	In-situ: Elektroda platina, diukur pada kedalaman 10–20 cm.	Pengukuran langsung setelah stabil.	OIB	+200 hingga +400 mV (kondisi reduksi terkendali).	Skor = 1 di 200–400; turun linear ke 0 di <0 atau >700.	5% (kondisional)	Setiap musim tanam (lahan sawah)	Pengukuran di titik-titik perwakilan pada saat genangan.

PILAR 2: KIMIA TANAH

No	Judul Data	Mengapa Diperlukan?	Cara Akuisisi Teknis	Cara Analisis	Fungsi Skoring	Rentang/ Ambang Batas Ideal	Cara Skoring	Bobot (%)	Frekuensi Akuisisi Rekomendasi	Metode Sampling Spasial yang Sesuai
1	pH Tanah	Mengontrol ketersediaan hara dan aktivitas mikroba.	Lab: Elektroda gelas (1:2,5 tanah:air). In-situ: Sensor pH, PUTS.	Pengukuran langsung dalam suspensi.	OIB (koreksi jenis tanah)	Andisol: 5,5–6,5; Ultisol: 5,8–6,8; Vertisol: 6,0–7,5; Lainnya: 6,0–7,0.	Skor 1 di rentang optimum; turun linear menjadi 0 di pH 4,0 dan 8,5.	8%	Semidinamis (setiap musim tanam atau minimal 1–2 tahun)	Grid atau stratified. Pengukuran in-situ dapat dilakukan di banyak titik.
2	C-Organik (%)	Indikator utama bahan organik; sumber energi mikroba, memperbaiki struktur.	Lab: Walkley-Black, spektrofotometri, atau metode loss-on-ignition. In-situ: Sensor Vis-NIR.	Oksidasi karbon organik.	MIB	>2,5% (tinggi); 2,0–2,5% (sedang); <2,0% (rendah) untuk tanah mineral.	Skor = nilai / 4%, dibatasi maks 1.	10%	Semidinamis (setiap 1–2 tahun)	Stratified berdasarkan pengelolaan lahan. Composite sample lapisan atas (0–20 cm).
3	N-Total (%)	Hara makro primer penyusun protein dan klorofil.	Lab: Kjeldahl.	Destruksi, destilasi, titrasi.	MIB	>0,5% (tinggi); 0,2–0,5% (sedang); <0,2% (rendah).	Skor = (nilai – 0,1) / (0,5 – 0,1), dibatasi 0–1.	6%	Semidinamis (setiap musim tanam)	Stratified dengan komposit sampel lapisan olah.
4	P-Tersedia (ppm)	Penting untuk transfer energi, perkembangan akar, pembungaan/pembuahan.	Lab: Bray I (pH<7) atau Olsen (pH>7). In-situ: PUTS kolorimetri.	Ekstraksi, spektrofotometri.	MIB	Bray I: >20 (tinggi), 15–20 (sedang), 10–15 (rendah). Olsen: >16 (tinggi), 12–16 (sedang), 8–12 (rendah).	Skor = (nilai – batas bawah ambang) / (batas atas ideal – batas bawah ambang), dibatasi 0–1.	7%	Semidinamis (setiap musim tanam)	Stratified berdasarkan tekstur dan pH. Sampel komposit lapisan olah.

No	Judul Data	Mengapa Diperlukan?	Cara Akuisisi Teknis	Cara Analisis	Fungsi Skoring	Rentang/ Ambang Batas Ideal	Cara Skoring	Bobot (%)	Frekuensi Akuisisi Rekomendasi	Metode Sampling Spasial yang Sesuai
5	K-Dapat Ditukar (cmol(+)/kg)	Peran dalam metabolisme karbohidrat, ketahanan penyakit/kekeringan.	Lab: NH ₄ OAc pH 7, AAS/Flame Photometer. In-situ: PUTS.	Pengukuran kadar K dalam ekstrak.	MIB	> 1,0 (tinggi); 0,6–1,0 (sedang); 0,4–0,6 (rendah); <0,4 (sangat rendah).	Skor = (nilai – 0,2) / (1,2 – 0,2), dibatasi 0–1.	5%	Semidinamis (setiap musim tanam)	Sama dengan P-tersedia.
6	Ca-Dapat Ditukar (cmol(+)/kg)	Struktur tanah, nodulasi legum, penstabil agregat.	Lab: NH ₄ OAc pH 7, AAS.	Pengukuran dalam ekstrak.	MIB	>4,0 (tinggi); 2,0–4,0 (sedang); <2,0 (rendah).	Skor = nilai / 6, maks 1.	5%	Semidinamis (setiap 2–3 tahun)	Sampel yang sama dengan analisis kation basa.
7	Mg-Dapat Ditukar (cmol(+)/kg)	Komponen klorofil, defisiensi menyebabkan klorosis.	Lab: NH ₄ OAc pH 7, AAS.	Pengukuran dalam ekstrak.	MIB	> 1,0 (tinggi); 0,5–1,0 (sedang); <0,5 (rendah).	Skor = nilai / 2, maks 1.	5%	Semidinamis (setiap 2–3 tahun)	Sama dengan Ca.
8	S-Tersedia (ppm)	Penting untuk padi, kedelai, dan tanaman Cruciferae.	Lab: Ca(H ₂ PO ₄) ₂ ekstraksi, spektrofotometri.	Pengukuran dalam ekstrak.	MIB	> 10 (tinggi); 5–10 (sedang); <5 (rendah).	Skor = nilai / 15, maks 1.	4%	Semidinamis (setiap 2–3 tahun)	Sampel komposit lapisan olah.
9	KTK (cmol(+)/kg)	Kemampuan tanah menahan dan melepaskan kation hara.	Lab: NH ₄ OAc pH 7 (perkolasi/sentrifugasi).	Tanah dijenuhkan NH ₄ ⁺ , kemudian diukur.	MIB	>25 (tinggi); 17–25 (sedang); 5–16 (rendah).	Skor = nilai / 30, dibatasi maks 1.	5%	Semidinamis (setiap 2–3 tahun)	Grid atau stratified. Sampel komposit lapisan olah.
10	Kejenuhan Basa (KB) (%)	Proporsi KTK yang diisi kation basa; indikator keseimbangan hara.	Perhitungan dari jumlah kation basa (Ca, Mg, K, Na) dibagi KTK, dikalikan 100%.	KB = (Jumlah Kation Basa / KTK) × 100%.	MIB	> 50% (tinggi); 35–50% (sedang); 20–35% (rendah); <20% (sangat rendah).	Skor = nilai / 80, dibatasi maks 1.	4%	Semidinamis (setiap 2–3 tahun)	Diukur dari sampel yang sama untuk analisis kation basa dan KTK.

No	Judul Data	Mengapa Diperlukan?	Cara Akuisisi Teknis	Cara Analisis	Fungsi Skoring	Rentang/ Ambang Batas Ideal	Cara Skoring	Bobot (%)	Frekuensi Akuisisi Rekomendasi	Metode Sampling Spasial yang Sesuai
11	Aluminium Dapat Ditukar (Al-dd) (cmol(+)/kg)	Toksik pada tanah masam; menghambat pertumbuhan akar.	Lab: KCl 1N, titrasi atau AAS.	Ekstraksi Al dan H ⁺ tukar, dititrasi.	LIB	<1,0 (tidak toksik); 1,0–2,0 (sedang); >2,0 (toksik).	Skor = 1 untuk ≤0,5; turun linear menjadi 0 pada ≥4,0.	5%	Semidinamis (setiap musim tanam jika pH masam)	Diukur pada sampel dengan pH rendah (masam).
12	C/N Ratio	Mempengaruhi laju mineralisasi N.	Perhitungan dari C-Organik dan N-Total.	Rasio = C-org (%) / N-org (%).	OIB	10–15 (optimal); <10 atau >20 (buruk).	Skor = 1 di 10–15; turun linear ke 0 di 5 dan 30.	3%	Semidinamis (setiap 1–2 tahun)	Sampel komposit lapisan olah.
13	Zn (ppm)	Hara mikro kritis untuk padi, jagung, kedelai.	Lab: DTPA (pH<7,3) atau DTPA+CaCl ₂ (pH>7,3). AAS/ICP.	Ekstraksi, spektrometri.	MIB	>1,0 (cukup); 0,5–1,0 (rendah); <0,5 (defisien).	Skor = nilai / 2, maks 1.	4%	Semidinamis (setiap 2–3 tahun)	Sampel komposit lapisan olah (prioritas di lahan masam dan sawah intensif).
14	Fe (ppm)	Defisiensi pada lahan alkalis (NTT, Sulsel).	Lab: DTPA.	Ekstraksi, AAS/ICP.	MIB	>50 (cukup); 20–50 (rendah); <20 (defisien).	Skor = nilai / 100, maks 1.	3%	Semidinamis (setiap 2–3 tahun)	Prioritas di lahan alkalis.
15	Mn (ppm)	Penting untuk kelapa sawit, tebu.	Lab: DTPA.	Ekstraksi, AAS/ICP.	MIB	>20 (cukup); 10–20 (rendah); <10 (defisien).	Skor = nilai / 40, maks 1.	3%	Semidinamis (setiap 2–3 tahun)	Prioritas di lahan masam dan perkebunan.
16	Cu (ppm)	Penting untuk hortikultura.	Lab: DTPA.	Ekstraksi, AAS/ICP.	MIB	>0,5 (cukup); 0,3–0,5 (rendah); <0,3 (defisien).	Skor = nilai / 1, maks 1.	2%	Semidinamis (setiap 2–3 tahun)	Prioritas di lahan hortikultura.
17	B (ppm)	Kritis untuk kelapa sawit, kentang.	Lab: Hot water extraction, spektrofotometri.	Ekstraksi, pengukuran.	MIB	>0,3 (cukup); 0,2–0,3 (rendah); <0,2 (defisien).	Skor = nilai / 0,5, maks 1.	3%	Semidinamis (setiap 2–3 tahun)	Prioritas di lahan perkebunan sawit.

No	Judul Data	Mengapa Diperlukan?	Cara Akuisisi Teknis	Cara Analisis	Fungsi Skoring	Rentang/ Ambang Batas Ideal	Cara Skoring	Bobot (%)	Frekuensi Akuisisi Rekomendasi	Metode Sampling Spasial yang Sesuai
18	Mo (ppm)	Penting untuk kedelai, kacang-kacangan.	Lab: Ekstraksi dengan amonium oksalat, spektrofotometri.	Ekstraksi, pengukuran.	MIB	>0,2 (cukup); 0,1–0,2 (rendah); <0,1 (defisien).	Skor = nilai / 0,3, maks 1.	2%	Semidinamis (setiap 2–3 tahun)	Prioritas di lahan kedelai/kacang-kacangan.

PILAR 3: BIOLOGI TANAH

No.	Judul Data	Mengapa Diperlukan?	Cara Akuisisi Teknis	Cara Analisis	Fungsi Skoring	Rentang/Ambang Batas Ideal	Cara Skoring	Bobot (%)	Frekuensi Akuisisi Rekomendasi	Metode Sampling Spasial yang Sesuai
1	POXC (Karbon Aktif) (mg/kg)	Fraksi bahan organik labil; indikator sensitif perubahan manajemen.	Lab: Oksidasi dengan KMnO_4 0,02M, spektrofotometri 550 nm.	Perubahan warna KMnO_4 setelah bereaksi dengan C tanah.	MIB	>700 (tinggi); 500–700 (sedang); <500 (rendah).	Skor = nilai / 1000, dibatasi maks 1.	20%	Semidinamis (tahunan)	Stratified berdasarkan pengelolaan lahan. Sampel segar, kedalaman 0–20 cm.
2	Respirasi Tanah (mg CO_2 /kg/hari)	Aktivitas metabolik mikroba; indikator dekomposisi.	Lab: Inkubasi tertutup 7 hari, NaOH jerap, titrasi.	Laju pelepasan CO_2 per satuan waktu.	MIB	>200 (sangat tinggi); 100–200 (tinggi); 50–100 (sedang); <50 (rendah).	Skor = nilai / 300, dibatasi maks 1.	15%	Dinamis/Semidinamis (pengukuran musiman)	Stratified, dengan kondisi kelembaban tanah relatif seragam.
3	Nitrogen Terpotensial Mineralisasi (mg N/kg/minggu)	Prediksi N yang akan tersedia dari dekomposisi bahan organik.	Lab: Inkubasi anaerobik 7 hari, ekstraksi NH_4^+ , spektrofotometri.	Selisih NH_4^+ sebelum dan sesudah inkubasi.	MIB	>50 (tinggi); 20–50 (sedang); <20 (rendah).	Skor = nilai / 80, dibatasi maks 1.	15%	Semidinamis (setiap musim tanam)	Stratified, sampel komposit lapisan olah (0–20 cm).
4	Aktivitas Fosfatase Asam (μg PNP/g/jam)	Kemampuan tanah melepaskan P organik.	Lab: Inkubasi dengan p-NPP (pH 6,5), spektrofotometri 405 nm.	Laju pembentukan p-nitrofenol.	MIB	>200 (tinggi); 100–200 (sedang); <100 (rendah).	Skor = nilai / 300, maks 1.	10%	Semidinamis (tahunan)	Stratified, sampel segar.
5	Aktivitas Urease (μg NH_4 /g/jam)	Kemampuan mengurai urea menjadi NH_3 .	Lab: Inkubasi dengan urea, ekstraksi NH_4^+ , spektrofotometri.	Laju pembentukan NH_4^+ .	MIB	>100 (tinggi); 50–100 (sedang); <50 (rendah).	Skor = nilai / 150, maks 1.	8%	Semidinamis (tahunan)	Stratified, sampel segar.

No.	Judul Data	Mengapa Diperlukan?	Cara Akuisisi Teknis	Cara Analisis	Fungsi Skoring	Rentang/Ambang Batas Ideal	Cara Skoring	Bobot (%)	Frekuensi Akuisisi Rekomendasi	Metode Sampling Spasial yang Sesuai
6	Aktivitas Dehidrogenase (μg TPF/g/24 jam)	Indikator aktivitas mikroba total.	Lab: Inkubasi dengan TTC, ekstraksi, spektrofotometri 485 nm.	Laju pembentukan triphenyl formazan (TPF).	MIB	> 100 (tinggi); 50–100 (sedang); < 50 (rendah).	Skor = nilai / 150, maks 1.	8%	Semidinamis (tahunan)	Stratified, sampel segar.
7	Populasi Bakteri Pelarut Fosfat (CFU/g)	Kemampuan mikroba melarutkan P terikat.	Lab: Plate count pada media Pikovskaya.	Perhitungan koloni per gram tanah kering.	MIB	> 10^5 (tinggi); 10^4 – 10^5 (sedang); < 10^4 (rendah).	Skor = $\log(\text{nilai})/6$, maks 1.	7%	Semidinamis (setiap musim)	Sampel segar, analisis dalam 48 jam.
8	Populasi Bakteri Penambat Nitrogen (CFU/g)	Kemampuan fiksasi N atmosfer.	Lab: Plate count pada media N-free (Ashby/Jensen).	Perhitungan koloni per gram tanah kering.	MIB	> 10^4 (tinggi); 10^3 – 10^4 (sedang); < 10^3 (rendah).	Skor = $\log(\text{nilai})/5$, maks 1.	7%	Semidinamis (setiap musim)	Sampel segar, analisis dalam 48 jam.
9	Soil Health Index (SHI)	Indeks komposit yang merangkum data biologi menjadi skor tunggal.	Perhitungan dari POXC, respirasi, aktivitas enzim, dan populasi mikroba.	Algoritma berbobot yang telah divalidasi.	MIB	> 0,8 (sangat baik); 0,6–0,8 (baik); 0,4–0,6 (sedang); < 0,4 (buruk).	Skor = nilai (sudah 0–1).	10%	Semidinamis (tahunan)	Sama dengan POXC.

PILAR 4: JENIS TANAH DAN TOPOGRAFI

No.	Judul Data	Mengapa Diperlukan?	Cara Akuisisi Teknis	Cara Analisis	Fungsi Skoring	Rentang/Ambang Batas Ideal	Cara Skoring	Bobot (%)	Frekuensi Akuisisi Rekomendasi	Metode Sampling Spasial yang Sesuai
1	Klasifikasi Tanah (Sub-Grup)	Setiap sub-grup memiliki potensi kesuburan inheren dan kendala spesifik.	Pemetaan: Peta tanah skala 1:50.000. Survei lapangan: Profil pit, deskripsi horizon. Lab: Analisis pendukung.	Klasifikasi USDA Soil Taxonomy atau PPT 2014 hingga sub-grup.	Skor berbasis potensi	Tabel acuan (lihat dokumen lampiran).	Skor berdasarkan tabel: Typic Hapludands=1,0; Typic Hapludults=0,4; Typic Haplosaprists=0,3; dst.	25%	Sekali (statis)	Stratified berdasarkan peta tanah. Pembuatan profil pit di setiap unit peta.
2	Bahan Induk	Menentukan komposisi mineral dan potensi kesuburan awal.	Survei lapangan: Identifikasi batuan dasar. Peta geologi.	Deskripsi jenis batuan/mineral dominan.	Skor berbasis mineralogi	Vulkanik intermedier > vulkanik basa > aluvial > sedimen > metamorf/batuan pasir.	Skor: Vulkanik intermedier=1,0; Vulkanik basa/Aluvial=0,8; Batu kapur=0,6; Batu pasir=0,4; Batuan metamorf/asam=0,2.	15%	Sekali (statis)	Stratified berdasarkan peta geologi. Observasi singkapan batuan.
3	Kedalaman Solum (cm)	Ketebalan lapisan tanah yang dapat diakari.	Profil pit atau bor tanah hingga horizon C/batuan dasar.	Pengukuran vertikal dari permukaan hingga batas bawah horizon B.	MIB	> 150 cm (sangat dalam); 100–150 cm (dalam); 60–100 cm (sedang); 30–60 cm (dangkal); <30 cm (sangat dangkal).	Skor = nilai / 150, dibatasi maks 1.	15%	Sekali (statis)	Grid sampling dengan bor tanah pada grid jarang (misal 500 m) untuk verifikasi.

No.	Judul Data	Mengapa Diperlukan?	Cara Akuisisi Teknis	Cara Analisis	Fungsi Skoring	Rentang/Ambang Batas Ideal	Cara Skoring	Bobot (%)	Frekuensi Akuisisi Rekomendasi	Metode Sampling Spasial yang Sesuai
4	Drainase Alami	Tingkat aerasi dan redoks; mempengaruhi ketersediaan hara.	Pengamatan warna tanah, kedalaman muka air, bercak reduksi.	Klasifikasi kelas drainase (cepat – sangat terhambat).	OIB	Drainase baik hingga agak terhambat paling sesuai untuk kebanyakan tanaman pangan.	Skor: Baik/agak terhambat=1,0; Agak cepat/terhambat=0,6; Cepat/sangat terhambat=0,2.	15%	Sekali (statis, dapat berubah jika ada drainase buatan)	Stratified berdasarkan posisi lereng dan topografi. Pengamatan profil pada musim hujan dan kemarau.
5	Kemiringan Lereng (%)	Mempengaruhi mekanisasi, erosi, dan kesesuaian lahan.	DEM/SRTM atau clinometer lapangan.	Klasifikasi kemiringan.	LIB	<8% (datar–landai) ideal untuk mekanisasi; 8–15% (agak curam) perlu konservasi; >30% tidak cocok untuk pertanian mekanis.	Skor: 0–3%=1,0; 3–8%=0,9; 8–15%=0,7; 15–30%=0,5; 30–45%=0,2; >45%=0,0.	15%	Sekali (statis)	Stratified berdasarkan peta topografi/DEM. Verifikasi lapangan.
6	Batuan Permukaan (%)	Menghambat mekanisasi, mengurangi volume tanah efektif.	Line transect atau point intercept. Estimasi visual dengan citra satelit resolusi tinggi.	Persentase luas permukaan tertutup batuan/kerikil.	LIB	<5% (tidak ada hambatan); 5–15% (sedikit); 15–40% (sedang); 40–80% (berbatu); >80% (sangat berbatu).	Skor = 1 untuk <5%; turun linear menjadi 0 pada >80%.	15%	Sekali (statis, dapat berubah jika pembersihan lahan)	Grid sampling dengan plot pengamatan (misal 10×10 m) pada setiap grid.

PILAR 5: KEBERSIHAN TANAH (KONTAMINASI)

No.	Judul Data	Mengapa Diperlukan?	Cara Akuisisi Teknis	Cara Analisis	Fungsi Skoring	Rentang/Ambang Batas Ideal	Cara Skoring	Bobot (%)	Frekuensi Akuisisi Rekomendasi	Metode Sampling Spasial yang Sesuai
1	Cd Total (mg/kg)	Toksik, masuk ke rantai makanan.	Lab: Destruksi asam, ICP-MS/AAS.	Perbandingan dengan baku mutu.	LIB	<0,3 (aman).	Skor = 1 jika $\leq 0,3$; turun linear ke 0 di 0,9.	12%	Sekali baseline, lalu periodik 2–3 tahun jika ada sumber pencemar	Stratified berdasarkan sumber polusi potensial (dekat industri, jalan raya, area input tinggi).
2	Pb Total (mg/kg)	Toksik, akumulasi.	Lab: Destruksi asam, ICP-MS/AAS.	Perbandingan dengan baku mutu.	LIB	<80 (aman).	Skor = 1 jika ≤ 80 ; turun linear ke 0 di 240.	12%	Sama seperti Cd.	Sama seperti Cd.
3	As Total (mg/kg)	Karsinogenik, dapat dari air tanah geogenik.	Lab: Destruksi, AFS/ICP-MS.	Perbandingan dengan baku mutu.	LIB	<25 (aman).	Skor = 1 jika ≤ 25 ; turun linear ke 0 di 75.	12%	Sama seperti Cd.	Sama seperti Cd.
4	Hg Total (mg/kg)	Neurotoksik, dari tambang emas/industri.	Lab: Destruksi, AFS.	Perbandingan dengan baku mutu.	LIB	<0,3 (aman).	Skor = 1 jika $\leq 0,3$; turun linear ke 0 di 0,9.	8%	Sama seperti Cd.	Sama seperti Cd.
5	Logam Berat Bioavailable (mg/kg)	Fraksi yang benar-benar dapat diserap tanaman.	Lab: Ekstraksi DTPA/CaCl ₂ , ICP-MS/AAS.	Perbandingan dengan ambang toksitas.	LIB	Cd <0,1; Pb <5; As <2.	Skor = 1 jika \leq ambang; turun cepat ke 0	12%	Semidinamis (tahunan)	Sama dengan logam total, pada titik dengan risiko tinggi.

No.	Judul Data	Mengapa Diperlukan?	Cara Akuisisi Teknis	Cara Analisis	Fungsi Skoring	Rentang/Ambang Batas Ideal	Cara Skoring	Bobot (%)	Frekuensi Akuisisi Rekomendasi	Metode Sampling Spasial yang Sesuai
							pada 2–5× ambang.			
6	Residu Pestisida (mg/kg)	Gangguan biota tanah, risiko kesehatan.	Lab: QuEChERS, GC-MS/MS, LC-MS/MS.	Perbandingan dengan BMR.	LIB	<0,01 (tidak terdeteksi) hingga BMR.	Skor = 1 jika <LOD; 0,5 jika <BMR; 0 jika >BMR.	12%	Periodik (setiap musim tanam atau setelah aplikasi intensif)	Stratified berdasarkan riwayat aplikasi pestisida. Sampel lapisan atas (0–20 cm).
7	Mikroplastik (partikel/kg)	Gangguan struktur tanah, absorpsi polutan.	Lab: Ekstraksi densitas, digesti, identifikasi FTIR/Raman.	Perhitungan jumlah partikel per kg.	LIB	<500 (rendah); 500–2000 (sedang); >2000 (tinggi).	Skor = 1 untuk <500; turun linear menjadi 0 pada >3000.	8%	Sekali baseline, lalu periodik 2–3 tahun di area dengan mulsa plastik intensif.	Stratified berdasarkan penggunaan mulsa, aplikasi sludge, irigasi limbah.
8	Hidrokarbon Petroleum (TPH) (mg/kg)	Toksik bagi tanaman dan mikroba.	Lab: Ekstraksi, GC-FID.	Perbandingan dengan ambang.	LIB	<100 (rendah); 100–1000 (sedang); >1000 (tinggi).	Skor = 1 untuk <100; turun linear ke 0 pada >2000.	8%	Sekali baseline, lalu jika ada indikasi tumpahan.	Targeted sampling di area rawan (SPBU, bengkel, industri).
9	Indikator Biologis Kontaminasi (% penurunan aktivitas enzim)	Deteksi dini dampak kontaminasi pada biota.	Lab: Aktivitas enzim dibandingkan dengan kontrol lokal.	Persentase penurunan aktivitas.	MIB untuk aktivitas (karena kontaminasi menurunkan aktivitas)	Aktivitas >80% dari kontrol (tidak terhambat); 60–80% (terhambat ringan); <60% (terhambat berat).	Skor = (aktivitas sampel / aktivitas kontrol), maks 1.	8%	Semidinamis (tahunan atau respons cepat jika dicurigai)	Sampel berpasangan: lokasi tercemar dan lokasi referensi

No.	Judul Data	Mengapa Diperlukan?	Cara Akuisisi Teknis	Cara Analisis	Fungsi Skoring	Rentang/Ambang Batas Ideal	Cara Skoring	Bobot (%)	Frekuensi Akuisisi Rekomendasi	Metode Sampling Spasial yang Sesuai
										dengan jenis tanah sama.

PILAR 6: AGROKLIMAT DAN MANAJEMEN (PILAR BARU)

No.	Judul Data	Mengapa Diperlukan?	Cara Akuisisi Teknis	Cara Analisis	Fungsi Skoring	Rentang/Ambang Batas Ideal	Cara Skoring	Bobot (%)	Frekuensi Akuisisi Rekomendasi	Metode Sampling Spasial yang Sesuai
A. AGROKLIMAT										
1	Curah Hujan Tahunan (mm/th)	Menentukan ketersediaan air bagi tanaman tanpa irigasi.	BMKG, CHIRPS, stasiun hujan terdekat.	Data tahunan, rata-rata 10 tahun.	OIB	1000–3000 (optimal); <500 sangat kering; >4000 sangat basah.	Skor = 1 di 1500–2500; turun linear ke 0 di 500 dan 4000.	10%	Sekali (dapat diperbarui setiap 5 tahun)	Grid berdasarkan peta curah hujan.
2	Jumlah Bulan Kering (bulan)	Risiko kekeringan untuk tanaman semusim.	BMKG, data bulan dengan curah hujan <60 mm.	Hitung bulan kering per tahun.	LIB	<3 bulan (optimal); 3–6 bulan (sedang); >6 bulan (kering ekstrem).	Skor = 1 jika ≤2; turun linear ke 0 di 6.	8%	Sekali (dapat diperbarui setiap 5 tahun)	Sama dengan curah hujan.
3	Suhu Rata-rata Tahunan (°C)	Mempengaruhi laju pertumbuhan dan fotosintesis.	BMKG, data stasiun terdekat.	Rata-rata tahunan.	OIB	20–30 (optimal); <15 atau >35 tidak cocok untuk banyak tanaman.	Skor = 1 di 22–28; turun linear ke 0 di 10 dan 40.	8%	Sekali (dapat diperbarui setiap 5 tahun)	Grid berdasarkan peta suhu.
4	Kelembaban Relatif (%)	Mempengaruhi evapotranspirasi dan serangan penyakit.	BMKG, data stasiun.	Rata-rata tahunan.	OIB	60–80 (optimal).	Skor = 1 di 65–75; turun linear ke 0 di 30 dan 95.	5%	Sekali (dapat diperbarui setiap 5 tahun)	Sama dengan suhu.
5	Radiasi Matahari (MJ/m ² /hari)	Energi untuk fotosintesis.	BMKG, satelit (CERES, MODIS).	Rata-rata tahunan.	MIB	>15 (cukup).	Skor = nilai / 25, maks 1.	5%	Sekali (dapat diperbarui setiap 5 tahun)	Grid berdasarkan peta radiasi.

No.	Judul Data	Mengapa Diperlukan?	Cara Akuisisi Teknis	Cara Analisis	Fungsi Skoring	Rentang/Ambang Batas Ideal	Cara Skoring	Bobot (%)	Frekuensi Akuisisi Rekomendasi	Metode Sampling Spasial yang Sesuai
6	Elevasi (mdpl)	Mempengaruhi suhu dan kesesuaian tanaman (kopi, teh, dll).	DEM/SRTM, GPS.	Ketinggian tempat.	OIB (berbasis tanaman)	Tergantung komoditas.	Skor berbasis persyaratan tanaman (misal: kopi arabika >800 mdpl).	4%	Sekali (statis)	Stratified berdasarkan peta DEM.
B.MANAJEMEN LAHAN										
7	Sistem Pengolahan Tanah	Mempengaruhi struktur tanah, erosi, dan emisi gas rumah kaca.	Wawancara petani, observasi.	Klasifikasi kualitatif.	Subjektif (0–1)	Zero-tillage > minimum tillage > konvensional > over-tillage.	Zero-tillage = 1,0; Minimum tillage = 0,8; Konvensional = 0,6; Over-tillage = 0,3.	8%	Sekali baseline, lalu diperbarui setiap perubahan pola tanam	Stratified berdasarkan praktik pengelolaan.
8	Penggunaan Bahan Organik (ton/ha/th)	Meningkatkan kesuburan, aktivitas mikroba, dan struktur tanah.	Wawancara, catatan petani.	Estimasi dosis tahunan.	MIB	>10 ton/ha/th (sangat baik); 5–10 (baik); 2–5 (cukup); <2 (kurang).	Skor: >10=1,0; 5–10=0,8; 2–5=0,6; <2=0,3; tidak pernah=0,0.	10%	Tahunan	Stratified berdasarkan praktik pengelolaan.
9	Rotasi Tanaman	Mencegah penumpukan hama/penyakit, meningkatkan keanekaragaman.	Wawancara, catatan tanam 5 tahun.	Klasifikasi.	Subjektif (0–1)	Diversifikasi tinggi > rotasi sederhana > monokultur.	Diversifikasi tinggi = 1,0; Rotasi sederhana = 0,7;	8%	Setiap 2–3 tahun	Stratified berdasarkan pola tanam.

No.	Judul Data	Mengapa Diperlukan?	Cara Akuisisi Teknis	Cara Analisis	Fungsi Skoring	Rentang/Ambang Batas Ideal	Cara Skoring	Bobot (%)	Frekuensi Akuisisi Rekomendasi	Metode Sampling Spasial yang Sesuai
							Monokultur = 0,4.			
10	Penggunaan Pestisida	Risiko gangguan biota tanah dan kontaminasi.	Wawancara, catatan aplikasi.	Frekuensi dan jenis.	LIB	IPM/Organik > minimal > intensif.	IPM/Organik = 1,0; Minimal (2–3x/tahun) = 0,7; Intensif (>5x/tahun) = 0,3.	8%	Tahunan	Stratified berdasarkan praktik.
11	Akses Irigasi	Menjamin ketersediaan air saat musim kering.	Observasi, wawancara.	Klasifikasi.	Subjektif (0–1)	Irigasi teknis > sederhana > tadah hujan > tidak ada.	Irigasi teknis = 1,0; Sederhana = 0,7; Tadah hujan = 0,4; Tidak ada = 0,0.	6%	Sekali, diperbarui jika ada perubahan infrastruktur	Stratified berdasarkan akses irigasi.

Catatan:

- **Bobot (%)** pada setiap parameter merupakan bobot dalam pilar masing-masing (total per pilar = 100%). Bobot antar pilar untuk indeks agregasi (IKT, IKL, dll) dihitung terpisah.
- **Fungsi skoring** menggunakan pendekatan linear piecewise untuk kemudahan implementasi; nilai tengah dan titik kritis telah disesuaikan dengan kondisi Indonesia berdasarkan kajian pakar.
- **Frekuensi akuisisi** bersifat rekomendasi; dapat disesuaikan dengan tujuan monitoring (penelitian, komersial, kebijakan) dan ketersediaan sumber daya.
- Untuk parameter kondisional (EC, Eh, hara mikro, kontaminan tertentu), pengukuran hanya dilakukan jika ada indikasi risiko atau pada lahan dengan tipologi tertentu.

Dokumen tabel ini merupakan acuan teknis untuk implementasi INA-VERITY 2.0. Dengan integrasi yang cermat dari seluruh dokumen perbaikan, tabel ini menyediakan landasan yang komprehensif, praktis, dan sesuai dengan kondisi Indonesia.

Penjelasan Level Prasyarat dan Sifat Setiap Parameter per Pilar

PILAR 1 – FISIKA TANAH

No.	Parameter	Level Prasyarat	Alasan Level Prasyarat	Frekuensi Update	Sifat Parameter	Metode Agregasi Data
1	Tekstur Tanah	Wajib	Menentukan kapasitas menahan air & hara; berpengaruh pada hampir semua sifat fisika-kimia.	Sekali (statis)	Spasial (variasi dalam lahan)	Mean (persentase pasir, debu, liat dihitung rata-rata dari beberapa titik)
2	Bulk Density	Wajib	Indikator kepadatan; mempengaruhi akar, aerasi, dan porositas.	Semidinamis (2–3 tahun)	Spasial (variasi akibat pemadatan lokal)	Mean (dengan catatan outlier dikaji)
3	Porositas Total	Sangat Penting	Kapasitas menyimpan air & udara; dapat dihitung dari BD jika tidak diukur langsung.	Semidinamis (sama dengan BD)	Spasial (berkorelasi dengan BD)	Mean (dari BD yang diukur)
4	Kapasitas Menahan Air Tersedia (AWC)	Sangat Penting	Menentukan pasokan air bagi tanaman; penting untuk ketahanan kekeringan.	Semidinamis (setiap musim tanam)	Spasial (bervariasi dengan tekstur dan bahan organik)	Mean
5	Stabilitas Agregat	Penting	Indikator ketahanan terhadap erosi dan pembentukan kerak.	Semidinamis (tahunan)	Spasial (dipengaruhi oleh pengelolaan lokal)	Mean
6	Infiltrasi (Ksat)	Penting	Menentukan risiko limpasan dan efisiensi irigasi.	Semidinamis (tahunan)	Spasial (variasi struktur dan porositas)	Mean
7	Kedalaman Efektif	Wajib	Ruang tumbuh akar; sangat membatasi produktivitas jika dangkal.	Sekali (statis)	Homogen (dalam satu unit lahan relatif seragam)	Min (kedalaman terkecil yang membatasi akar)
8	Salinitas (EC)	Nilai Tambah (kondisional)	Hanya diperlukan untuk lahan pesisir/pasang surut atau daerah dengan risiko salinitas tinggi.	Sekali baseline, lalu tahunan jika lahan pesisir	Spasial (variasi akibat intrusi lokal)	Mean (atau Max untuk identifikasi hotspot)
9	Redox Potential (Eh)	Nilai Tambah (kondisional)	Hanya untuk lahan sawah atau lahan tergenang.	Setiap musim tanam (lahan sawah)	Spasial (variasi topografi mikro)	Mean

PILAR 2 – KIMIA TANAH

No.	Parameter	Level Prasyarat	Alasan Level Prasyarat	Frekuensi Update	Sifat Parameter	Metode Agregasi Data
1	pH Tanah	Wajib	Mengontrol ketersediaan hara dan toksisitas; sangat dinamis.	Semidinamis (setiap musim tanam)	Spasial (variasi akibat pemupukan, pengapuran)	Median (karena sering ada outlier akibat pengapuran spot)
2	C-Organik	Wajib	Indikator utama bahan organik; sumber energi mikroba, perbaikan struktur.	Semidinamis (1–2 tahun)	Spasial (variasi residu tanaman, erosi)	Mean
3	N-Total	Sangat Penting	Hara makro primer; tetapi dapat diestimasi dari C-org dan manajemen jika tidak diukur.	Semidinamis (setiap musim tanam)	Spasial (variasi pemupukan)	Mean
4	P-Tersedia	Wajib	Fosfor sering menjadi pembatas produktivitas; sangat penting untuk akar dan generatif.	Semidinamis (setiap musim tanam)	Spasial (variasi pemupukan)	Mean (dengan perhatian pada nilai ekstrem)
5	K-Dapat Ditukar	Wajib	Kalium penting untuk metabolisme dan ketahanan tanaman; defisiensi umum.	Semidinamis (setiap musim tanam)	Spasial	Mean
6	Ca-Dapat Ditukar	Penting	Struktur tanah, nodulasi; diperlukan untuk kejenuhan basa.	Semidinamis (2–3 tahun)	Spasial (berkorelasi dengan tekstur dan kapur)	Mean
7	Mg-Dapat Ditukar	Penting	Komponen klorofil; defisiensi umum di tanah masam.	Semidinamis (2–3 tahun)	Spasial	Mean
8	S-Tersedia	Normal	Penting untuk padi dan legum; umumnya tercukupi dari pupuk.	Semidinamis (2–3 tahun)	Spasial	Mean
9	KTK	Sangat Penting	Kapasitas penyimpanan hara; dipengaruhi oleh tekstur dan C-org.	Semidinamis (2–3 tahun)	Spasial (berkorelasi dengan tekstur)	Mean
10	Kejenuhan Basa (KB)	Penting	Menunjukkan keseimbangan kation basa; dihitung dari Ca, Mg, K, Na.	Semidinamis (2–3 tahun)	Spasial	Mean
11	Aluminium Dapat Ditukar (Al-dd)	Wajib (untuk tanah masam)	Toksistas Al merupakan pembatas utama di lahan masam.	Semidinamis (setiap musim tanam jika pH masam)	Spasial (variasi topografi mikro)	Max (karena satu titik dengan Al tinggi dapat meracuni akar)

No.	Parameter	Level Prasyarat	Alasan Level Prasyarat	Frekuensi Update	Sifat Parameter	Metode Agregasi Data
12	C/N Ratio	Penting	Menentukan laju mineralisasi N; dihitung dari C-org dan N-total.	Semidinamis (1–2 tahun)	Spasial (berkorelasi dengan C-org)	Mean
13	Zn, Fe, Mn, Cu, B, Mo	Nilai Tambah (prioritas bertahap)	Hara mikro penting untuk tanaman tertentu; prioritas di lahan dengan gejala defisiensi atau tanaman sensitif.	Semidinamis (2–3 tahun)	Spasial (variasi alami dan pemupukan)	Mean (atau Median jika ada outlier)

PILAR 3 – BIOLOGI TANAH

No.	Parameter	Level Prasyarat	Alasan Level Prasyarat	Frekuensi Update	Sifat Parameter	Metode Agregasi Data
1	POXC (Karbon Aktif)	Wajib	Indikator sensitif perubahan manajemen; pengganti C-biomassa yang murah.	Tahunan	Spasial (dipengaruhi sebaran bahan organik)	Mean
2	Respirasi Tanah	Sangat Penting	Aktivitas mikroba total; mencerminkan potensi dekomposisi.	Tahunan (atau musiman)	Spasial	Mean
3	Nitrogen Terpotensial Mineralisasi	Sangat Penting	Prediksi N yang akan tersedia bagi tanaman.	Setiap musim tanam	Spasial	Mean
4	Aktivitas Fosfatase	Penting	Kemampuan melepaskan P organik.	Tahunan	Spasial	Mean
5	Aktivitas Urease	Penting	Kemampuan mengurai urea.	Tahunan	Spasial	Mean
6	Aktivitas Dehidrogenase	Penting	Indikator aktivitas mikroba total.	Tahunan	Spasial	Mean
7	Populasi Bakteri Pelarut Fosfat	Normal	Potensi ketersediaan P dari mikroba.	Setiap musim	Spasial	Mean (log transformasi)
8	Populasi Bakteri Penambat N	Normal	Potensi fiksasi N.	Setiap musim	Spasial	Mean (log transformasi)

No.	Parameter	Level Prasyarat	Alasan Level Prasyarat	Frekuensi Update	Sifat Parameter	Metode Agregasi Data
9	Soil Health Index (SHI)	Sangat Penting	Ringkasan kesehatan tanah yang mudah dikomunikasikan.	Tahunan	Spasial (dari agregasi parameter lain)	Mean

PILAR 4 – JENIS TANAH DAN TOPOGRAFI

No.	Parameter	Level Prasyarat	Alasan Level Prasyarat	Frekuensi Update	Sifat Parameter	Metode Agregasi Data
1	Klasifikasi Tanah (Sub-Grup)	Wajib	Menentukan potensi dan kendala bawaan tanah.	Sekali (statis)	Homogen (dalam satu unit pemetaan)	Mode (jenis tanah dominan)
2	Bahan Induk	Sangat Penting	Menentukan komposisi mineral.	Sekali (statis)	Homogen (dalam satu unit geomorfologi)	Mode
3	Kedalaman Solum	Wajib	Ketebalan tanah yang dapat diakari.	Sekali (statis)	Homogen (dalam satu unit)	Min (kedalaman terkecil yang membatasi akar)
4	Drainase Alami	Sangat Penting	Menentukan aerasi dan risiko genangan.	Sekali (statis)	Homogen (dalam satu unit topografi)	Mode (kelas drainase dominan)
5	Kemiringan Lereng	Wajib	Mempengaruhi mekanisasi, erosi, dan kesesuaian lahan.	Sekali (statis)	Homogen (dapat diwakili rata-rata)	Mean (dari DEM)
6	Batuan Permukaan	Penting	Menghambat pengolahan tanah.	Sekali (statis)	Spasial (tidak merata)	Mean (persentase tutupan)

PILAR 5 – KEBERSIHAN TANAH (KONTAMINASI)

No.	Parameter	Level Prasyarat	Alasan Level Prasyarat	Frekuensi Update	Sifat Parameter	Metode Agregasi Data
1	Logam Berat Total (Cd, Pb, As, Hg)	Wajib untuk lahan prioritas	Keamanan pangan; toksik akumulatif.	Sekali baseline, lalu periodik jika ada sumber pencemar	Spasial (terkonsentrasi di hotspot)	Median (lebih tahan terhadap outlier) dan Max (untuk identifikasi hotspot)
2	Logam Berat Bioavailable	Sangat Penting	Fraksi yang dapat diserap tanaman; lebih relevan untuk risiko.	Tahunan	Spasial	Median
3	Residu Pestisida	Wajib untuk lahan intensif pestisida	Risiko kesehatan dan gangguan biota.	Setiap musim tanam (jika aplikasi intensif)	Spasial (spot aplikasi)	Max (karena satu titik melebihi BMR dapat membahayakan)
4	Mikroplastik	Nilai Tambah	Kontaminan emerging; relevan di lahan dengan mulsa plastik atau irigasi limbah.	Sekali baseline, lalu periodik 2–3 tahun	Spasial (terakumulasi di area tertentu)	Mean (atau Max untuk identifikasi akumulasi)
5	Hidrokarbon Petroleum (TPH)	Nilai Tambah (kondisional)	Hanya di lahan dekat industri, bengkel.	Sekali baseline, lalu jika ada tumpahan	Spasial (spot kontaminasi)	Max
6	Indikator Biologis Kontaminasi	Sangat Penting	Deteksi dini dampak kontaminasi pada biota.	Tahunan (atau respons cepat)	Spasial	Mean (perbandingan dengan kontrol)

PILAR 6 – AGROKLIMAT DAN MANAJEMEN

No.	Parameter	Level Prasyarat	Alasan Level Prasyarat	Frekuensi Update	Sifat Parameter	Metode Agregasi Data
1	Curah Hujan Tahunan	Wajib	Menentukan ketersediaan air dan kesesuaian tanaman.	Sekali (dapat diperbarui 5 tahun)	Homogen (data area)	Mean (dari data stasiun/satelit)
2	Jumlah Bulan Kering	Wajib	Risiko kekeringan.	Sekali (diperbarui 5 tahun)	Homogen	Mean
3	Suhu Rata-rata Tahunan	Wajib	Mempengaruhi laju pertumbuhan.	Sekali (diperbarui 5 tahun)	Homogen	Mean

No.	Parameter	Level Prasyarat	Alasan Level Prasyarat	Frekuensi Update	Sifat Parameter	Metode Agregasi Data
4	Kelembaban Relatif	Normal	Mempengaruhi evapotranspirasi.	Sekali (diperbarui 5 tahun)	Homogen	Mean
5	Radiasi Matahari	Normal	Energi untuk fotosintesis.	Sekali (diperbarui 5 tahun)	Homogen	Mean
6	Elevasi	Wajib	Menentukan zona iklim mikro dan kesesuaian tanaman tertentu.	Sekali (statis)	Homogen (dari DEM)	Mean
7	Sistem Pengolahan Tanah	Sangat Penting	Mempengaruhi struktur, erosi, dan emisi GRK.	Tahunan (atau setiap perubahan)	Homogen (dalam satu lahan)	Mode (praktik dominan)
8	Penggunaan Bahan Organik	Sangat Penting	Sumber hara dan perbaikan tanah.	Tahunan	Homogen (dalam satu lahan)	Mean (dosis rata-rata)
9	Rotasi Tanaman	Penting	Mempengaruhi hama, penyakit, dan kesuburan.	Setiap 2–3 tahun	Homogen	Mode (pola dominan)
10	Penggunaan Pestisida	Penting	Risiko kontaminasi dan gangguan biota.	Tahunan	Homogen (dalam satu lahan)	Mode (frekuensi dominan)
11	Akses Irigasi	Wajib	Menjamin ketersediaan air.	Sekali (diperbarui jika ada perubahan)	Homogen	Mode

Catatan:

- **Level Prasyarat** mengacu pada kebutuhan minimum untuk penilaian komprehensif. Untuk survei tingkat dasar (tier 1), parameter *Wajib* dan *Sangat Penting* harus diukur. Parameter *Normal* dan *Nilai Tambah* dapat ditambahkan bertahap sesuai anggaran dan prioritas.
- **Sifat Parameter** membedakan mana yang cukup satu sampel per lahan (*Homogen*) dan mana yang memerlukan grid sampling (*Spasial*) untuk menangkap variabilitas.
- **Metode Agregasi** dipilih untuk menghasilkan nilai representatif lahan sekaligus mempertahankan informasi tentang faktor pembatas dan variabilitas.

Penjelasan Fungsi Skoring dalam Tabel Pilar INA-VERITY 2.0

Pendahuluan

Dalam framework INA-VERITY 2.0, setiap parameter tanah, agroklimat, dan manajemen diukur dalam satuan asli (misal: pH, ppm, cmol/kg, dll). Agar semua parameter dapat dibandingkan dan diagregasi menjadi skor pilar serta indeks, nilai asli tersebut harus dikonversi ke dalam **skor standar** berkisar antara **0 hingga 1**, di mana 1 menunjukkan kondisi sangat baik/ideal dan 0 menunjukkan kondisi sangat buruk/tidak sesuai.

Proses konversi ini dilakukan dengan **fungsi skoring**. Tiga fungsi utama yang digunakan adalah **MIB (More is Better)**, **LIB (Less is Better)**, dan **OIB (Optimum is Better)**. Selain itu, terdapat fungsi khusus seperti **skoring subjektif** untuk parameter manajemen, serta **koreksi berdasarkan jenis tanah** untuk parameter yang sensitif terhadap karakteristik bawaan tanah.

Berikut penjelasan rinci masing-masing fungsi.

1. MIB – More is Better

Prinsip: Semakin tinggi nilai asli parameter, semakin baik kondisi tanah. Skor = 1 pada nilai tinggi tertentu, dan menurun secara linear hingga 0 pada nilai rendah yang ditetapkan sebagai ambang batas terbawah.

Rumus dasar (linear piecewise):

- Jika nilai \geq batas atas (ideal), skor = 1
- Jika nilai \leq batas bawah (terburuk), skor = 0
- Jika nilai di antara keduanya:
Skor = $(\text{nilai} - \text{batas_bawah}) / (\text{batas_atas} - \text{batas_bawah})$

Parameter yang menggunakan MIB:

Parameter	Batas Bawah	Batas Atas (Ideal)	Keterangan
C-Organik	1% (rendah)	4% (sangat tinggi)	Skor = 1 jika $\geq 4\%$, turun hingga 0 di 1%
N-Total	0,1%	0,5%	
P-Tersedia	5 ppm	25 ppm	
K-Dapat Ditukar	0,2 cmol/kg	1,2 cmol/kg	
Ca-Dapat Ditukar	0 cmol/kg	6 cmol/kg	
Mg-Dapat Ditukar	0 cmol/kg	2 cmol/kg	
POXC	0 mg/kg	1000 mg/kg	
Respirasi Tanah	0 mg/kg/hari	300 mg/kg/hari	

Contoh:

Nilai C-Organik = 2,5%

$$\text{Skor} = (2,5 - 1) / (4 - 1) = 1,5 / 3 = 0,5$$

2. LIB – Less is Better

Prinsip: Semakin rendah nilai asli parameter, semakin baik. Skor = 1 pada nilai rendah (ideal), dan menurun hingga 0 pada nilai tinggi yang ditetapkan sebagai ambang batas maksimum yang masih dapat ditoleransi.

Rumus dasar (linear piecewise):

- Jika nilai \leq batas bawah (ideal), skor = 1
- Jika nilai \geq batas atas (terburuk), skor = 0
- Jika nilai di antara keduanya:

$$\text{Skor} = 1 - (\text{nilai} - \text{batas_bawah}) / (\text{batas_atas} - \text{batas_bawah})$$

Parameter yang menggunakan LIB:

Parameter	Batas Bawah (Ideal)	Batas Atas (Buruk)	Keterangan
Bulk Density (dengan koreksi jenis tanah)	Tergantung jenis tanah (misal Andisol $\leq 1,0$)	Tergantung jenis tanah (misal Andisol $\geq 1,4$)	Semakin kecil BD semakin baik
Al-dd	$\leq 0,5$ cmol/kg	$\geq 4,0$ cmol/kg	
Cd Total	$\leq 0,3$ mg/kg	$\geq 0,9$ mg/kg	
Pb Total	≤ 80 mg/kg	≥ 240 mg/kg	
Kemiringan Lereng	$\leq 3\%$	$\geq 45\%$	
Batuan Permukaan	$\leq 5\%$	$\geq 80\%$	
Jumlah Bulan Kering	≤ 2 bulan	≥ 6 bulan	

Contoh:

Bulk Density Andisol = $1,2 \text{ g/cm}^3$ (batas ideal $1,0$, batas buruk $1,4$)

$$\text{Skor} = 1 - (1,2 - 1,0) / (1,4 - 1,0) = 1 - 0,2/0,4 = 1 - 0,5 = 0,5$$

3. OIB – Optimum is Better

Prinsip: Terdapat rentang nilai ideal (optimum). Di dalam rentang tersebut skor = 1. Di luar rentang, skor menurun secara linear menuju 0 pada batas yang ditetapkan (bisa batas bawah kiri dan batas atas kanan).

Rumus dasar (linear piecewise dengan dua sisi):

- Jika nilai dalam rentang optimum [Opt_min, Opt_max], skor = 1
- Jika nilai < Opt_min:
Skor = (nilai - Batas_min) / (Opt_min - Batas_min)
- Jika nilai > Opt_max:
Skor = 1 - (nilai - Opt_max) / (Batas_max - Opt_max)
- Jika nilai ≤ Batas_min atau ≥ Batas_max, skor = 0

Parameter yang menggunakan OIB:

Parameter	Batas Min (Skor 0)	Opt Min	Opt Max	Batas Max (Skor 0)	Keterangan
Tekstur Tanah	100% pasir atau 100% liat	Rentang lempung berdebu – lempung liat berpasir			Fungsi khusus, tidak linear sederhana
Porositas Total	40%	50%	60%	80%	
Ksat	0,5 cm/jam	2 cm/jam	10 cm/jam	30 cm/jam	
pH (dengan koreksi jenis tanah)	4,0	Tergantung jenis tanah	Tergantung jenis tanah	8,5	Misal Ultisol: Opt 5,8–6,8
C/N Ratio	5	10	15	30	
Redox Potential (Eh)	0 mV	200 mV	400 mV	700 mV	
Curah Hujan	500 mm/th	1500 mm/th	2500 mm/th	4000 mm/th	
Suhu Rata-rata	10°C	22°C	28°C	40°C	

Contoh:

pH Ultisol = 5,2 (Opt 5,8–6,8; Batas min 4,0)

Skor = $(5,2 - 4,0) / (5,8 - 4,0) = 1,2 / 1,8 = 0,667$

4. Fungsi Skoring dengan Koreksi Jenis Tanah

Beberapa parameter memiliki ambang batas yang **berbeda menurut jenis tanah** karena karakteristik fisik dan kimia alami yang sangat bervariasi. Dalam tabel pilar, hal ini dinyatakan dengan keterangan "koreksi jenis tanah" pada kolom fungsi skoring.

Parameter yang menggunakan koreksi jenis tanah:

- **Bulk Density** – nilai ideal berbeda antara Andisol (0,8–1,0), Ultisol (1,2–1,4), Vertisol (1,0–1,2), dan lainnya (1,0–1,3).
- **pH Tanah** – rentang optimum disesuaikan: Andisol 5,5–6,5; Ultisol 5,8–6,8; Vertisol 6,0–7,5; lainnya 6,0–7,0.

Penerapan:

Saat menghitung skor, sistem terlebih dahulu mengidentifikasi jenis tanah (sub-grup) dari data Pilar 4, lalu menggunakan ambang batas yang sesuai.

5. Fungsi Skoring Subjektif (untuk Parameter Manajemen)

Parameter manajemen (Pilar 6) tidak diukur secara numerik objektif, melainkan diklasifikasikan berdasarkan hasil wawancara atau observasi. Setiap kelas diberikan skor subjektif 0–1 berdasarkan praktik terbaik yang diketahui secara ilmiah.

Contoh:

Kategori	Skor
Zero-tillage	1,0
Minimum tillage	0,8
Konvensional	0,6
Over-tillage	0,3
Penggunaan Bahan Organik (ton/ha/th)	Skor
>10	1,0
5–10	0,8
2–5	0,6
<2	0,3

Kategori	Skor
Tidak pernah	0,0

Skor ini kemudian digunakan langsung dalam perhitungan agregasi pilar Agroklimat dan Manajemen (SA).

6. Agregasi Skor dalam Pilar

Setelah setiap parameter memiliki skor 0–1, skor-skor tersebut digabungkan dalam pilar masing-masing menggunakan **rata-rata tertimbang** sesuai bobot yang telah ditetapkan (lihat tabel kolom “Bobot (%)”).

Contoh:

Skor Pilar Kimia (SK) = $(0,08 \times \text{pH}) + (0,10 \times \text{C-org}) + (0,06 \times \text{N-Total}) + \dots$ (dst hingga 100%)

Hasil SK, SF, SB, SJ, SC, SA kemudian digunakan dalam perhitungan indeks strategis (IKT, IKL, IPP, IPR) dengan bobot antar pilar yang telah ditentukan.

7. Fungsi Skoring Khusus untuk Kontaminasi

Pada Pilar 5 (Kebersihan Tanah), skor awal setiap parameter kontaminasi dihitung dengan fungsi LIB (atau MIB untuk indikator biologis). Namun, untuk menentukan **faktor koreksi kontaminasi** yang akan mengalikan IKT, digunakan pendekatan bertingkat (tiered) yang tidak linear, berdasarkan skor terendah dari semua parameter kontaminasi (C_{\min}):

- Jika $C_{\min} \geq 0,8 \rightarrow \text{Faktor} = 1,0$
- Jika $0,5 \leq C_{\min} < 0,8 \rightarrow \text{Faktor} = 0,7 + 0,3 \times (C_{\min} - 0,5)/0,3$
- Jika $0,2 \leq C_{\min} < 0,5 \rightarrow \text{Faktor} = 0,3 + 0,4 \times (C_{\min} - 0,2)/0,3$
- Jika $C_{\min} < 0,2 \rightarrow \text{Faktor} = 0,0$ (tanah tidak layak untuk pangan)

Pendekatan ini mencegah penalti terlalu agresif pada kontaminasi ringan yang masih dapat diremediasi.

Kesimpulan

Fungsi skoring dalam INA-VERITY 2.0 dirancang agar:

- **Ilmiah** – berdasarkan ambang batas yang diperoleh dari literatur, standar nasional/internasional, dan kajian pakar.
- **Kontekstual** – disesuaikan dengan kondisi tanah Indonesia (koreksi jenis tanah, parameter spesifik tropika).
- **Praktis** – menggunakan fungsi linear piecewise yang mudah diimplementasikan dalam perangkat lunak.
- **Komprehensif** – mencakup MIB, LIB, OIB, serta skoring subjektif untuk manajemen.

Dengan pemahaman yang baik tentang fungsi-fungsi ini, pengguna dapat menginterpretasikan skor pilar dan indeks secara lebih mendalam serta mengetahui parameter mana yang menjadi faktor pembatas utama pada suatu lahan.

Penjelasan Teknis Skoring Pilar INA-VERITY 2.0

Latar Belakang, Teori, Rumusan, dan Penanganan Data Tidak Tersedia

1. Pendahuluan: Filosofi Skoring

Dalam INA-VERITY 2.0, setiap parameter tanah, agroklimat, dan manajemen diukur dalam satuan aslinya. Agar dapat diagregasi menjadi skor pilar dan selanjutnya menjadi indeks strategis, nilai asli harus dikonversi ke skala standar 0–1. Proses ini dilakukan melalui **fungsi skoring** yang didasarkan pada pengetahuan agronomi, pedoman internasional (FAO, USDA), serta kajian pakar yang disesuaikan dengan kondisi tropika Indonesia.

Skor 0–1 diartikan sebagai:

- **1** = kondisi sangat baik/ideal.
- **0** = kondisi sangat buruk/tidak sesuai.

Tiga fungsi dasar digunakan: **MIB (More is Better)**, **LIB (Less is Better)**, dan **OIB (Optimum is Better)**. Selain itu, terdapat **skoring subjektif** untuk parameter manajemen dan **koreksi berdasarkan jenis tanah** untuk parameter yang sangat dipengaruhi oleh karakteristik tanah bawaan.

2. Dasar Teori Fungsi Skoring

2.1. MIB – More is Better

Digunakan ketika nilai yang lebih tinggi mencerminkan kondisi yang lebih baik.

Rumus linear piecewise:

$$Skor = \begin{cases} 1 & \text{jika } X \geq X_{ideal} \\ \frac{X - X_{min}}{X_{ideal} - X_{min}} & \text{jika } X_{min} < X < X_{ideal} \\ 0 & \text{jika } X \leq X_{min} \end{cases}$$

Skor = 1 , jika $X \geq X_{ideal}$

Skor = $(X - X_{min}) / (X_{ideal} - X_{min})$, jika $X_{min} < X < X_{ideal}$

Skor = 0 , jika $X \leq X_{min}$

Contoh parameter: C-Organik, N-Total, KTK, POXC.

2.2. LIB – Less is Better

Digunakan ketika nilai yang lebih rendah mencerminkan kondisi yang lebih baik.

Rumus linear piecewise:

$$Skor = \begin{cases} 1 & \text{jika } X \leq X_{ideal} \\ 1 - \frac{X - X_{ideal}}{X_{maks} - X_{ideal}} & \text{jika } X_{ideal} < X < X_{maks} \\ 0 & \text{jika } X \geq X_{maks} \end{cases}$$

Skor = 1 , jika $X \leq X_{ideal}$

Skor = $1 - \frac{X - X_{ideal}}{X_{maks} - X_{ideal}}$, jika $X_{ideal} < X < X_{maks}$

Skor = 0 , jika $X \geq X_{maks}$

Contoh parameter: Bulk Density, Al-dd, logam berat, kemiringan lereng.

2.4. Skoring Subjektif (Kualitatif)

Untuk parameter manajemen (Pilar 6) yang tidak dapat diukur secara numerik, skor ditetapkan berdasarkan kategori praktik terbaik yang diketahui secara ilmiah. Contoh:

- Zero-tillage → 1,0
- Minimum tillage → 0,8
- Konvensional → 0,6
- Over-tillage → 0,3

2.5. Koreksi Berdasarkan Jenis Tanah

Parameter seperti pH dan Bulk Density memiliki ambang batas ideal yang berbeda menurut jenis tanah (sub-grup). Sistem terlebih dahulu mengidentifikasi jenis tanah dari Pilar 4, lalu menerapkan ambang batas yang sesuai.

3. Rumusan Skoring per Pilar

Setiap pilar memiliki kumpulan parameter dengan bobot yang telah ditentukan (total bobot per pilar = 100%). Skor pilar dihitung sebagai **rata-rata tertimbang** dari skor parameter yang tersedia, dengan penanganan data tidak tersedia seperti dijelaskan pada bagian 4.

3.1. Pilar 1 – Fisika Tanah

Parameter	Bobot (%)	Fungsi	Keterangan
Tekstur	15	OIB	Rentang ideal segitiga tekstur.
Bulk Density	12	LIB	Ambang tergantung jenis tanah.
Porositas Total	10	OIB	50–60% ideal.
AWC	10	MIB	>0,15 cm ³ /cm ³ ideal.
Stabilitas Agregat	8	MIB	>60% ideal.
Ksat	10	OIB	2–10 cm/jam ideal.
Kedalaman Efektif	15	MIB	>100 cm ideal.

Parameter	Bobot (%)	Fungsi	Keterangan
EC (kondisional)	5	LIB	Hanya untuk lahan pesisir/pasang surut.
Eh (kondisional)	5	OIB	Hanya untuk lahan sawah.

3.2. Pilar 2 – Kimia Tanah

Parameter	Bobot (%)	Fungsi	Keterangan
pH	8	OIB	Koreksi jenis tanah.
C-Organik	10	MIB	>2,5% ideal.
N-Total	6	MIB	
P-Tersedia	7	MIB	Bray I atau Olsen.
K-Dapat Ditukar	5	MIB	
Ca-Dapat Ditukar	5	MIB	
Mg-Dapat Ditukar	5	MIB	
S-Tersedia	4	MIB	
KTK	5	MIB	
Kejenuhan Basa	4	MIB	
Al-dd	5	LIB	
C/N Ratio	3	OIB	
Zn, Fe, Mn, Cu, B, Mo	3–4 each	MIB	Bobot total hara mikro sekitar 20%.

3.3. Pilar 3 – Biologi Tanah

Parameter	Bobot (%)	Fungsi	Keterangan
POXC	20	MIB	>700 mg/kg ideal.
Respirasi	15	MIB	
N-Mineralisasi	15	MIB	
Aktivitas Fosfatase	10	MIB	
Aktivitas Urease	8	MIB	
Aktivitas Dehidrogenase	8	MIB	
Bakteri Pelarut P	7	MIB	
Bakteri Penambat N	7	MIB	
Soil Health Index (SHI)	10	MIB	Indeks komposit.

3.4. Pilar 4 – Jenis Tanah dan Topografi

Parameter	Bobot (%)	Fungsi	Keterangan
Klasifikasi Sub-Grup	25	Skor berbasis	Tabel skor potensi kesuburan.
Bahan Induk	15	Skor mineralogi	
Kedalaman Solum	15	MIB	
Drainase Alami	15	OIB	
Kemiringan Lereng	15	LIB	
Batuan Permukaan	15	LIB	

3.5. Pilar 5 – Kebersihan Tanah

Parameter	Bobot (%)	Fungsi	Keterangan
Cd, Pb, As, Hg total	12 each	LIB	Ambang sesuai baku mutu.
Logam Berat Bioavailable	12	LIB	Lebih sensitif.
Residu Pestisida	12	LIB	BMR sebagai acuan.
Mikroplastik	8	LIB	
TPH	8	LIB	
Indikator Biologis	8	MIB	Aktivitas enzim relatif.

Faktor koreksi kontaminasi untuk IKT dihitung dari skor terendah (C_min) dengan pendekatan bertingkat (tiered).

3.6. Pilar 6 – Agroklimat dan Manajemen

Parameter	Bobot (%)	Fungsi	Keterangan
Curah Hujan Tahunan	10	OIB	
Jumlah Bulan Kering	8	LIB	
Suhu Rata-rata	8	OIB	
Kelembaban Relatif	5	OIB	
Radiasi Matahari	5	MIB	
Elevasi	4	OIB (tanaman)	
Sistem Pengolahan Tanah	8	Subjektif	
Penggunaan Bahan Organik	10	MIB	Kuantitatif dengan kelas.
Rotasi Tanaman	8	Subjektif	

Parameter	Bobot (%)	Fungsi	Keterangan
Penggunaan Pesticida	8	LIB	
Akses Irigasi	6	Subjektif	

4. Penanganan Data Tidak Tersedia (Missing Data)

Dalam survei skala nasional, tidak semua parameter dapat diukur pada setiap titik sampel karena keterbatasan biaya, akses lapangan, atau karena parameter tersebut tidak relevan (misal EC di lahan non-pesisir). Penanganan missing data harus dilakukan secara sistematis agar skor pilar tetap dapat dihitung tanpa bias.

4.1. Prinsip Dasar

- **Tidak menggunakan nilai nol** – missing data tidak boleh diberi skor 0, karena akan mengartikan kondisi sangat buruk padahal data tidak tersedia.
- **Tidak menghapus seluruh kontribusi** – jika parameter tidak diukur, kontribusi bobotnya tidak diikutsertakan. Skor pilar dihitung hanya dari parameter yang tersedia, dengan bobot yang diproporsionalkan ulang agar total bobot yang digunakan menjadi 100%.

4.2. Metode Proporsionalisasi Bobot

Misalkan dalam suatu pilar terdapat n parameter dengan bobot asli w_i (total 100%). Dari n parameter, hanya m parameter yang tersedia ($m \leq n$). Maka bobot yang digunakan untuk parameter yang tersedia adalah:

$$w'_i = \frac{w_i}{\sum_{j \in \text{tersedia}} w_j} \times 100\%$$

Skor pilar dihitung sebagai:

$$\text{Skor Pilar} = \sum_{i \in \text{tersedia}} w'_i \times \text{Skor}_i$$

4.3. Aturan Batas Minimum Data Tersedia

Agar skor pilar tetap representatif, perlu ditetapkan ambang minimal proporsi bobot yang harus tersedia. Jika terlalu banyak data hilang, skor pilar dinyatakan **tidak dapat dihitung (null)** dan tidak digunakan dalam agregasi indeks.

Rekomendasi untuk INA-VERITY 2.0:

- **Pilar 1, 2, 3, 5** – minimal 70% dari total bobot wajib tersedia.
- **Pilar 4** – karena sifatnya statis dan umumnya diukur sekaligus, minimal 80% bobot tersedia.
- **Pilar 6** – parameter manajemen dapat diperoleh melalui wawancara; jika ada yang tidak diketahui, tetap diikutsertakan dengan nilai default sesuai praktik umum di daerah tersebut (dengan catatan).

4.4. Penanganan Parameter Kondisional

Parameter kondisional (misal EC, Eh, hara mikro tertentu, kontaminan spesifik) hanya diukur jika lahan memiliki tipologi yang relevan. Untuk lahan yang tidak termasuk tipologi tersebut, parameter tersebut **tidak dimasukkan dalam perhitungan pilar**, dan bobotnya didistribusikan ke parameter lain yang bersifat wajib. Hal ini sudah tercermin dalam desain tabel pilar dengan kolom “kondisional”.

4.5. Dampak pada Agregasi Indeks

Skor pilar yang null karena kekurangan data tidak dapat digunakan untuk menghitung indeks (IKT, IKL, IPP, IPR). Dalam laporan, sistem harus memberikan peringatan (warning) bahwa data tidak lengkap dan rekomendasi untuk melakukan pengukuran ulang pada parameter yang hilang.

4.6. Studi Kasus Ilustrasi

Misal pada Pilar 2 (Kimia), parameter pH, C-org, N, P, K, Ca, Mg, S, KTK, KB, Al-dd, C/N, dan hara mikro diukur. Bobot asli total 100%. Jika hara mikro tidak diukur (total bobot 20% tidak tersedia), maka bobot parameter yang tersedia (80%) diproporsionalkan menjadi 100% baru. Contoh: pH yang asli 8% menjadi $8/80 \times 100 = 10\%$ dalam perhitungan sementara. Skor pilar dihitung dari parameter yang tersedia dengan bobot proporsional.

Dengan pendekatan ini, ketiadaan data tidak secara otomatis menurunkan skor pilar, tetapi tetap memberikan informasi yang sebaik mungkin dari data yang ada.

5. Kesimpulan

Metodologi skoring INA-VERITY 2.0 didasarkan pada fungsi MIB, LIB, OIB, skoring subjektif, dan koreksi jenis tanah. Penanganan data tidak tersedia dilakukan dengan proporsionalisasi bobot sehingga skor pilar tetap dapat dihitung secara representatif selama data yang ada mencukupi (minimal 70–80% bobot). Hal ini menjaga fleksibilitas penerapan di lapangan tanpa mengorbankan validitas ilmiah.

Penjelasan Klasifikasi Data Berdasarkan Sifat Spasial dan Metode Agregasi dalam INA-VERITY 2.0

Dalam penilaian lahan pertanian, setiap parameter memiliki tingkat variabilitas spasial yang berbeda. Untuk menghasilkan data yang representatif, framework INA-VERITY 2.0 membedakan dua kategori data berdasarkan sifat sebarannya di dalam satu unit lahan (misalnya satu petak sawah, satu blok perkebunan, atau satu unit pemetaan). Berikut penjelasan masing-masing kategori dan metode agregasi yang digunakan.

1. Kategori Data Homogen – Cukup Satu Sampel per Lahan

1.1. Definisi

Data homogen adalah parameter yang nilainya relatif seragam di seluruh lahan, tidak bervariasi secara signifikan dalam jarak puluhan hingga ratusan meter. Satu kali pengukuran pada titik yang representatif sudah dapat mewakili keseluruhan lahan.

1.2. Contoh Parameter Homogen

Pilar	Parameter	Alasan Homogenitas
Pilar 4	Klasifikasi tanah (sub-grup)	Ditentukan dari profil tanah utama; perubahan hanya terjadi pada skala beberapa ratus meter hingga kilometer.
Pilar 4	Bahan induk	Ditentukan oleh peta geologi; homogen dalam satu satuan geomorfologi.
Pilar 4	Drainase alami	Ditentukan oleh topografi dan posisi lereng; relatif homogen dalam satu unit lahan.
Pilar 4	Kemiringan lereng	Berubah bertahap; dapat diwakili oleh nilai rata-rata dari DEM dengan resolusi yang sesuai.
Pilar 4	Batuan permukaan	Jika ada, biasanya tersebar tidak merata tetapi untuk penilaian lahan skala petak cukup diwakili oleh estimasi visual.

Pilar	Parameter	Alasan Homogenitas
Pilar 6	Agroklimat (curah hujan, suhu, dll)	Data dari stasiun atau satelit sudah merupakan nilai area.

1.3. Metode Pengambilan Data

- **Profil tanah** – Satu profil utama (kedalaman 1,5–2 m) di lokasi yang mewakili lahan (misal di tengah atau pada posisi lereng dominan).
- **Peta tematik** – Menggunakan peta tanah, peta geologi, dan data DEM yang tersedia.
- **Observasi lapangan** – Untuk drainase dan batuan permukaan, dilakukan pengamatan di beberapa titik namun hasil akhir ditetapkan secara kualitatif untuk seluruh lahan.

2. Kategori Data Heterogen – Perlu Grid Sampling

2.1. Definisi

Data heterogen adalah parameter yang nilainya dapat bervariasi secara signifikan dalam satu lahan karena pengaruh praktik pengelolaan, aplikasi pupuk yang tidak merata, variasi mikro-topografi, atau sifat tanah yang berubah dalam jarak pendek. Untuk mendapatkan nilai representatif, diperlukan pengambilan sampel pada banyak titik (grid sampling) yang kemudian diagregasi.

2.2. Contoh Parameter Heterogen

Pilar	Parameter	Alasan Variabilitas
Pilar 1	Tekstur	Dapat berubah dalam jarak puluhan meter karena proses sedimentasi atau erosi.
Pilar 1	Bulk Density	Sangat dipengaruhi oleh pemadatan lokal akibat lalu lalang alat atau hewan.
Pilar 1	Stabilitas agregat	Variabel dalam lahan karena perbedaan pengelolaan dan riwayat tanaman.
Pilar 2	pH	Bervariasi karena aplikasi kapur yang tidak merata atau variasi alami.

Pilar	Parameter	Alasan Variabilitas
Pilar 2	C-Organik	Sangat sensitif terhadap residu tanaman dan erosi.
Pilar 2	N, P, K, dan hara mikro	Sangat bervariasi akibat pemupukan yang tidak merata.
Pilar 2	Al-dd	Bervariasi pada tanah masam karena mikro-topografi.
Pilar 3	POXC, respirasi, aktivitas enzim	Dipengaruhi oleh sebaran bahan organik dan aktivitas mikroba lokal.
Pilar 5	Logam berat, pestisida	Biasanya terkonsentrasi di titik-titik tertentu (misal bekas aplikasi).

2.3. Desain Sampling untuk Data Heterogen

a. Jumlah Titik Minimal

Rekomendasi jumlah titik sampel per hektar:

- **Pertanian intensif (sawah, hortikultura)** – minimal 15–20 titik per hektar untuk sampel komposit.
- **Perkebunan skala luas** – minimal 1 titik per 2–5 hektar, dengan stratifikasi berdasarkan peta tanah dan topografi.
- **Lahan dengan variabilitas tinggi** (misal bekas tambak, lahan reklamasi) – tingkatkan kerapatan menjadi 1 titik per 0,5–1 hektar.

b. Metode Penempatan Titik

- **Grid teratur** – Titik ditempatkan pada grid dengan jarak tetap (misal 50 m × 50 m).
- **Grid acak berlapis (stratified random)** – Lahan dibagi menjadi zona berdasarkan peta tanah atau citra satelit, lalu dalam setiap zona diambil titik secara acak.
- **Zig-zag pattern** – Untuk lahan yang relatif homogen, dapat diambil sampel komposit dengan pola zig-zag.

3. Metode Agregasi Data Heterogen

Setelah diperoleh kumpulan nilai dari beberapa titik sampel (n titik), langkah selanjutnya adalah mengagregasinya menjadi satu nilai yang mewakili lahan tersebut. Metode agregasi dipilih berdasarkan tujuan penilaian dan sifat sebaran data.

3.1. Rata-rata Aritmatika (Mean)

Digunakan untuk parameter yang **diinginkan nilai pusat** dan distribusi datanya **simetris** (tidak banyak outlier). Contoh:

- C-Organik, tekstur (persentase), bulk density, porositas, AWC, Ksat, KTK, kejenuhan basa, aktivitas enzim, populasi mikroba.

Rumus:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

3.2. Median

Digunakan jika data memiliki **distribusi miring** atau terdapat **outlier** yang dapat mempengaruhi rata-rata secara tidak wajar. Contoh:

- **Kontaminasi logam berat** – seringkali terkonsentrasi di satu titik, sehingga rata-rata bisa bias. Median lebih stabil.
- **pH** – pada lahan yang sebagian telah dikapur, median lebih menggambarkan kondisi dominan.
- **P dan K** – jika ada spot pemupukan berlebih, median lebih representatif.

Rumus: Nilai tengah setelah data diurutkan.

3.3. Nilai Minimum (Min)

Digunakan untuk parameter yang **bersifat pembatas (limiting factor)**. Dalam penilaian kesesuaian lahan, satu titik dengan nilai sangat buruk dapat membatasi penggunaan lahan secara keseluruhan. Contoh:

- **Al-dd** – satu titik dengan Al tinggi dapat meracuni akar tanaman meskipun rata-rata rendah.
- **Salinitas (EC)** – satu titik dengan EC tinggi dapat menyebabkan gagal panen pada area tersebut.
- **Kontaminan berat** – satu titik tercemar dapat membuat seluruh lahan tidak layak untuk pangan.

3.4. Nilai Maksimum (Max)

Digunakan untuk parameter yang **menunjukkan potensi terbaik** atau untuk mendeteksi anomali yang menguntungkan (misal cadangan hara tinggi). Jarang digunakan sebagai agregat utama, lebih sering sebagai informasi pendukung.

3.5. Persentil (Misal Persentil 90 atau 10)

Digunakan untuk menangkap **nilai ekstrem** tanpa terlalu dipengaruhi outlier tunggal. Contoh:

- **pH** – persentil 10 (nilai terendah) untuk mengetahui tingkat keasaman terparah.
- **C-Organik** – persentil 90 untuk melihat potensi tertinggi.

3.6. Standar Deviasi (SD) dan Koefisien Variasi (CV)

Meskipun tidak digunakan untuk menentukan nilai representatif, SD dan CV sangat penting untuk menggambarkan **heterogenitas lahan**. Nilai CV > 30% menandakan variabilitas tinggi, yang berarti perlu pengelolaan berbeda dalam satu lahan (misal zona pengelolaan).

Rumus:

$$CV = \frac{SD}{\bar{x}} \times 100\%$$

4. Penerapan dalam Tabel Pilar INA-VERITY 2.0

Setiap parameter dalam tabel pilar perlu dilengkapi informasi tentang **cara agregasi** untuk data heterogen. Berikut rekomendasi agregasi per parameter:

Pilar	Parameter	Agregasi Utama	Agregasi Pendukung (untuk variabilitas)
1	Tekstur	Rata-rata (persentase)	SD, peta sebaran tekstur
1	Bulk Density	Rata-rata	SD, CV
1	Stabilitas Agregat	Rata-rata	SD
2	pH	Median (atau rata-rata jika simetris)	Min, Max, SD

Pilar	Parameter	Agregasi Utama	Agregasi Pendukung (untuk variabilitas)
2	C-Organik	Rata-rata	SD, CV
2	N, P, K, Ca, Mg	Rata-rata	SD, CV, peta sebaran untuk zonasi
2	Hara Mikro	Rata-rata (atau median jika outlier)	Min, Max
2	Al-dd	Minimum (faktor pembatas)	Rata-rata, SD
3	POXC, Respirasi	Rata-rata	SD, CV
3	Aktivitas Enzim	Rata-rata	SD
5	Logam Berat	Median (untuk risiko)	Maks (untuk hotspot), persentil 95
5	Residu Pestisida	Maks (karena satu titik melebihi BMR dapat membahayakan)	Rata-rata, median

5. Implementasi dalam Sistem

5.1. Penyimpanan Data

Sistem INA-VERITY 2.0 harus menyimpan **data mentah per titik sampel** beserta koordinatnya. Hal ini memungkinkan:

- Perhitungan ulang agregasi dengan metode berbeda (misal dari rata-rata menjadi minimum) jika diperlukan.
- Pembuatan peta sebaran parameter untuk analisis lanjutan.

5.2. Alur Agregasi dalam Software

1. Pengguna mengunggah data dari beberapa titik sampel dalam satu lahan.
2. Sistem mengidentifikasi parameter mana yang memerlukan agregasi khusus (berdasarkan metadata parameter).
3. Sistem menghitung nilai agregat sesuai metode yang ditentukan (mean, median, min, dll).
4. Nilai agregat digunakan untuk menghitung skor parameter, skor pilar, dan indeks.
5. Sistem juga menghitung dan menyimpan **indikator variabilitas** (SD, CV, min, max) untuk ditampilkan dalam laporan.

5.3. Rekomendasi untuk Lahan dengan Variabilitas Tinggi

Jika CV suatu parameter melebihi 30%, sistem harus memberikan peringatan bahwa lahan tersebut **heterogen** dan merekomendasikan:

- Pembagian lahan menjadi zona pengelolaan (management zones) berdasarkan parameter pembatas.
- Pengambilan sampel lebih banyak pada zona yang lebih detail.
- Perlakuan yang berbeda antar zona (misal pemupukan berbeda).

6. Kesimpulan

Pembedaan data homogen dan heterogen dalam INA-VERITY 2.0 memungkinkan efisiensi survei tanpa mengorbankan akurasi. Parameter homogen cukup diwakili satu nilai per lahan, sedangkan parameter heterogen memerlukan grid sampling dan agregasi dengan metode yang tepat (rata-rata, median, minimum, dll) tergantung sifat parameter dan tujuan penilaian. Sistem juga perlu mencatat variabilitas spasial untuk mendukung rekomendasi pengelolaan presisi. Dengan pendekatan ini, framework dapat diterapkan secara fleksibel baik untuk lahan kecil maupun perkebunan besar.

