

## Karakteristik Tanah Sawah yang Terbentuk dari Bahan Endapan Aluvium dan Marin di DAS Cimanuk Hilir, Kabupaten Indramayu

### *Paddy Soil Characteristics Developed from Alluvium and Marine Deposits in Cimanuk Hilir Watershed, Indramayu Regency*

Muhammad Hikmat, Edi Yatno

Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Jl. Tentara Pelajar No. 12, Cimanggu, Bogor. 16114

#### INFORMASI ARTIKEL

##### Riwayat artikel:

Diterima: 17 September 2021  
Disetujui: 28 Juli 2022  
Dipublikasi online: 31 Juli 2022

##### Kata Kunci:

Endapan aluvium  
Endapan marin  
Sawah  
Salinitas tanah

##### Keywords:

Alluvium  
Marine deposit  
Paddy soil  
Soil salinity

##### Direview oleh:

I G.M. Subiksa,  
Eni Maftuah

**Abstrak.** Endapan aluvium dan marin merupakan bahan induk utama pembentuk lahan-lahan sawah di daerah pantai utara (Pantura) Kabupaten Indramayu. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik fisika, kimia dan mineralogi tanah sawah yang terbentuk dari bahan aluvium dan marin di DAS Cimanuk Hilir Kabupaten Indramayu. Penelitian dilakukan melalui pengamatan sifat morfologi tanah dan analisis laboratorium terhadap 28 contoh tanah dari 5 profil pada tanah sawah. Sifat-sifat fisika dan kimia tanah yang dianalisis meliputi tekstur tanah, pH tanah, P tersedia, basa-basa dapat tukar (Ca, Mg, K, dan Na), dan salinitas tanah, sedangkan sifat-sifat mineralogi tanah yang dianalisis meliputi mineral fraksi pasir dan liat. Hasil menunjukkan tanah-tanah sawah ini umumnya bersolum dalam, bereaksi agak masam sampai alkalis, dan mempunyai kadar basa-basa dapat tukar yang cukup tinggi. Basa-basa dapat tukar didominasi oleh  $Ca^{2+}$  yang menunjukkan bahannya berasal dari endapan sungai, dan  $Mg^{2+}$  yang mengindikasikan bahannya berasal dari endapan marin. Tingkat salinitas dari tanah-tanah sawah tergolong rendah sampai tinggi. Tingkat salinitas tanah yang tinggi disebabkan tanah sawah yang berkembang dari bahan endapan laut atau akibat intrusi air laut, sedangkan tanah sawah dengan salinitas rendah berkembang dari bahan endapan aluvium dan posisinya agak jauh dari garis pantai. Komposisi mineral fraksi pasir dari tanah-tanah sawah di lokasi penelitian didominasi mineral mudah lapuk dari kelompok feldspar (labradorit, andesin, bitownit) dan piroksen (augit, hiperstin) sehingga sangat menguntungkan sebagai cadangan sumber hara tanah. Komposisi mineral liat tanah-tanahnya didominasi oleh smektit, diikuti kaolinit dan illit dalam jumlah yang sedikit. Penambahan bahan organik dan penggunaan varietas padi yang toleran terhadap salinitas menjadi alternatif dalam mengatasi permasalahan lahan sawah di daerah ini.

**Abstract.** Alluvium and marine deposit are the main parent materials for the formation of paddy fields in the North Coast area (Pantura) of Indramayu Regency. This study aims to determine the physical, chemical and mineralogical characteristics of paddy soils developed from alluvium and marine deposits in the Cimanuk Hilir watershed, Indramayu Regency. The research was conducted by observing the soil morphological characteristics and laboratory analysis of 28 soil samples from 5 profiles of paddy fields. The physical and chemical properties of the soils analyzed included texture, pH, available P, exchangeable bases (Ca, Mg, K, and Na), and salinity, while the mineralogical properties included clay and sand fractions. The results showed that paddy soils have generally deep-solum, react slightly acid to alkaline, and high exchangeable bases. The exchange bases were dominated by  $Ca^{2+}$  and  $Mg^{2+}$  which indicate the material comes from alluvium and marine deposits, respectively. The salinity level of paddy soils is low to high. The high level of soil salinity was caused by paddy fields developed from marine materials or due to sea water intrusion, whereas low salinity paddy soils are developed from alluvium deposits that are far from the coastline. The composition of sand mineral fractions were dominated by easily weathered minerals from feldspar (labradorite, andesine, bitownite) and pyroxene groups (augite, hyperstine), so it is very beneficial as a reserve of soil nutrients. The clay mineral composition is dominated by smectite, followed by kaolinite and illite in small amounts. Organic matter amendment and the use of salinity tolerant rice varieties are alternatives in overcoming the problem of paddy fields in this area.

## Pendahuluan

Daerah Kabupaten Indramayu merupakan daerah lumbung padi dengan luas lahan sawah terbesar di Jawa

Barat. Sebagian besar lahan sawah di Indramayu merupakan sawah irigasi dan lainnya berupa sawah tadah hujan. Berdasarkan peta sawah nasional yang ditetapkan dalam Keputusan Menteri ATR /Kepala BPN Nomor 686/

\* Corresponding author: muhammad\_hikmat@gmail.com

SK-PG.03.03/XII/2019 tanggal 17 Desember 2019 tentang Penetapan Luas Sawah Nasional Tahun 2019, luas sawah di Indramayu adalah 122.920 Ha, terhampar dari daerah pantai utara (Pantura) sampai ke daerah selatan yang elevasinya lebih tinggi.

Sebagian besar lahan sawah di DAS Cimanuk Hilir Kabupaten Indramayu terletak pada landform aluvial dan fluvio-marin. Landform aluvial terbentuk dari bahan endapan aluvium (sungai) yang dibawa dari daerah hulu, sedangkan landform fluvio-marin terbentuk dari bahan endapan sungai dan endapan marin. Menurut Prasetyo dan Setyorini (2008) lahan sawah Jawa Barat di bagian utara dan selatan didominasi bahan aluvial yang berasal dari berbagai bahan hasil erosi dan muncul sebagai hasil pengendapan sungai. Tanah-tanah pada landform aluvial terbentuk dari hasil pengendapan bahan-bahan pada wilayah datar atau agak datar melalui proses fluviasi dan/atau koluviasi yang diendapkan oleh tenaga air atau gravitasi (Prasetyo dan Subardja, 1998). Oleh sebab itu, tanah di daerah demikian memperlihatkan sifat fisika, kimia, dan mineralogi yang beragam, sebagai akibat akumulasi bahan-bahan pembentuk tanah dari berbagai sumber. Menurut Swanson *et al.* (1988) beberapa sifat tanah seperti suhu dan kelembaban tanah, hara dan bahan lain (misalnya polutan) dipengaruhi oleh landform yang terkait dengan segala sifatnya seperti elevasi, arah, bahan induk, dan tingkat kelerengannya. Kesuburan tanah pada landform aluvial biasanya lebih baik dibandingkan dengan tanah bagian atasnya. Hasil riset menunjukkan bahwa kesuburan di landform dataran banjir lebih baik dibandingkan lahan kering (Mfundisi dan Petros 2015). Dalam penelitian lain di 3 landform yang berbeda, Sepehr *et al.* (2022) menunjukkan bahwa di landform kipas aluvial mempunyai parameter kesuburan yang lebih baik dibandingkan dengan terras aluvial dan bukit berlereng.

Tanah sawah adalah tanah yang digunakan untuk bertanam padi sawah, baik secara terus-menerus maupun bergiliran dengan tanaman palawija (Hardjowigeno *et al.* 2004). Adanya penggenangan selama pertumbuhan padi dan pengolahan tanah membuat sifat tanah sawah menjadi unik dan berbeda dengan tanah lahan kering. Proses reduksi dan oksidasi yang merupakan proses-proses utama pada tanah sawah mengakibatkan perubahan pada sifat-sifat kimia, fisika, biologi dan mineralogi tanahnya, yaitu antara lain hancurnya mineral tanah oleh proses ferolisis, terjadinya iluviasi atau eluviasi partikel tanah, dan perubahan sifat fisika dan biologi tanah akibat proses pelumpuran dan perubahan drainase tanah (Hardjowigeno *et al.* 2004; Prasetyo *et al.* 2007).

Kandungan mineral pada tanah sawah berperan sangat

penting sebagai sumber unsur hara dan menentukan sifat muatan tanahnya. Pelapukan mineral dalam tanah akan menghasilkan unsur hara makro seperti Ca, Mg, K, dan Na yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman (Prasetyo *et al.* 2007). Jenis unsur hara tanah yang dilepaskan sebagai hasil pelapukan mineral tergantung pada jenis mineralnya. Grup mineral feldspar (ortoklas dan sanidin) banyak melepaskan unsur K, grup piroksen dan amfibol banyak melepaskan Mg, Fe dan Ca; grup mika (biotit, muskovit) menghasilkan K, Fe dan Mg; sedangkan grup plagioklas banyak menghasilkan unsur Ca, K, dan Na (Mohr *et al.* 1972).

Data komposisi mineral, baik fraksi pasir maupun liat dapat dijadikan indikator sumber asal dan sifat dari bahan induk, sifat muatan tanah, besarnya cadangan mineral mudah lapuk sebagai sumber hara dalam tanah, tingkat pelapukan atau perkembangan tanah, dan ada tidaknya penambahan bahan baru yang diendapkan di lapisan atas (Chendy dan Prasetyo 2001). Semakin tinggi cadangan mineral mudah lapuk, tanah tersebut semakin subur secara alami, karena tanah mempunyai cadangan sumber hara tinggi yang tersedia untuk jangka panjang. Tanah-tanah sawah dapat terbentuk dari berbagai bahan induk yang mempunyai sifat-sifat yang berbeda baik sifat fisik-kimia, maupun susunan mineral. Secara umum penelitian tanah-tanah sawah di Indonesia sudah cukup banyak dilakukan dari aspek karakteristik, produktivitas dan pengelolaan lahannya. Beberapa peneliti telah melakukan penelitian tentang tanah-tanah sawah yang terbentuk dari bahan aluvium dan marin. Dalam penelitian terhadap tanah sawah yang berkembang dari bahan lakustrin, Hikmatullah dan Suparto (2014) mengemukakan bahwa pengaruh bahan induk, terutama bahan volkan telah memberikan dampak positif terhadap sifat-sifat tanah sawah terutama cadangan sumber haranya yang cukup tinggi sehingga kesuburan tanah sawah dapat terpelihara dalam jangka panjang. Prasetyo dan Setyorini (2008) dalam hasil penelitiannya menyimpulkan kendala yang banyak dijumpai pada tanah sawah aluvial adalah kemasaman tanah dan rendahnya kandungan hara atau sumber hara tanah. Pemupukan berimbang yang didasarkan pada uji tanah merupakan cara terbaik mengelola tanah sawah aluvial.

Wilayah Indramayu sejak dulu dikenal sebagai daerah yang rentan terhadap kekeringan dan banjir. Pramudia (2002) menyampaikan bahwa wilayah Kabupaten Indramayu sangat sensitif terhadap kekeringan yang dapat menyebabkan turunnya produksi, terutama pada saat terjadi *el-nino*. Kekeringan ini terjadi pada lahan yang tidak mendapatkan air irigasi. Di sisi lain Indramayu

didominasi oleh wilayah yang memiliki potensi rawan banjir tinggi sampai sangat tinggi (Utomo 2013), terutama pada saat musim penghujan. Salah satu dampak perubahan iklim adalah meningkatnya salinitas tanah. Peningkatan salinitas dapat juga terjadi karena kenaikan muka air laut akibat pasang air laut (banjir rob). Jika air laut masuk ke lahan-lahan pertanian, maka tanah-tanah pertanian tersebut akan menjadi salin. Peningkatan salinitas tanah dapat juga terjadi melalui intrusi air laut yaitu masuknya air laut ke dalam aliran air tanah (Ayolabi *et al.* 2013). Eksploitasi air tanah yang berlangsung secara terus menerus dengan volume penggunaan yang semakin meningkat dari waktu ke waktu dapat menyebabkan terbentuknya ruang kosong di lapisan akuifer yang kemudian dapat diisi oleh air laut (Werner 2013). Pada musim kering, pengisian kembali pori-pori tanah dengan air tawar dari daerah hulu pada lahan-lahan berkurang. Air laut juga dapat menginfiltrasi tanah melalui kanal-kanal, aliran sungai dan rawa-rawa, sehingga menyebabkan salinitas tanah di sekitarnya meningkat. Hal ini menyebabkan terjadinya pergeseran batas lahan-lahan pertanian. Hasil penelitian Boer *et al.* (2011) menunjukkan tingkat salinitas di Indramayu di sekitar pantai berstatus sedang sampai sangat tinggi ( $0,1-11,66 \text{ dSm}^{-1}$ ) di kedalaman 0-30 cm dan 30-70 cm di bawah permukaan tanah. Hal ini dapat berpengaruh terhadap produktivitas padi dan komoditas-komoditas pertanian lainnya. Kepekaan tanaman terhadap tanah berkadar garam tinggi bervariasi. Beberapa tanaman dapat mengatasi kadar garam yang tinggi pada tanah, sedangkan yang lainnya tidak. Padi tergolong tanaman yang peka terhadap salinitas (Zeng *et al.* 2004). Salinitas dapat menjadi masalah utama dalam pertumbuhan tanaman padi, khususnya di daerah kering dan pesisir (Ashraf dan Harris 2004). Besarnya pengaruh yang ditimbulkan pada pertumbuhan tanaman padi tergantung dari besarnya tingkat salinitas tanah.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik mineralogi, fisika, dan kimia tanah sawah yang terbentuk dari bahan endapan aluvium dan marin di sepanjang aliran sungai Cimanuk Hilir Kabupaten Indramayu.

## Bahan dan Metode

### Deskripsi Daerah Penelitian

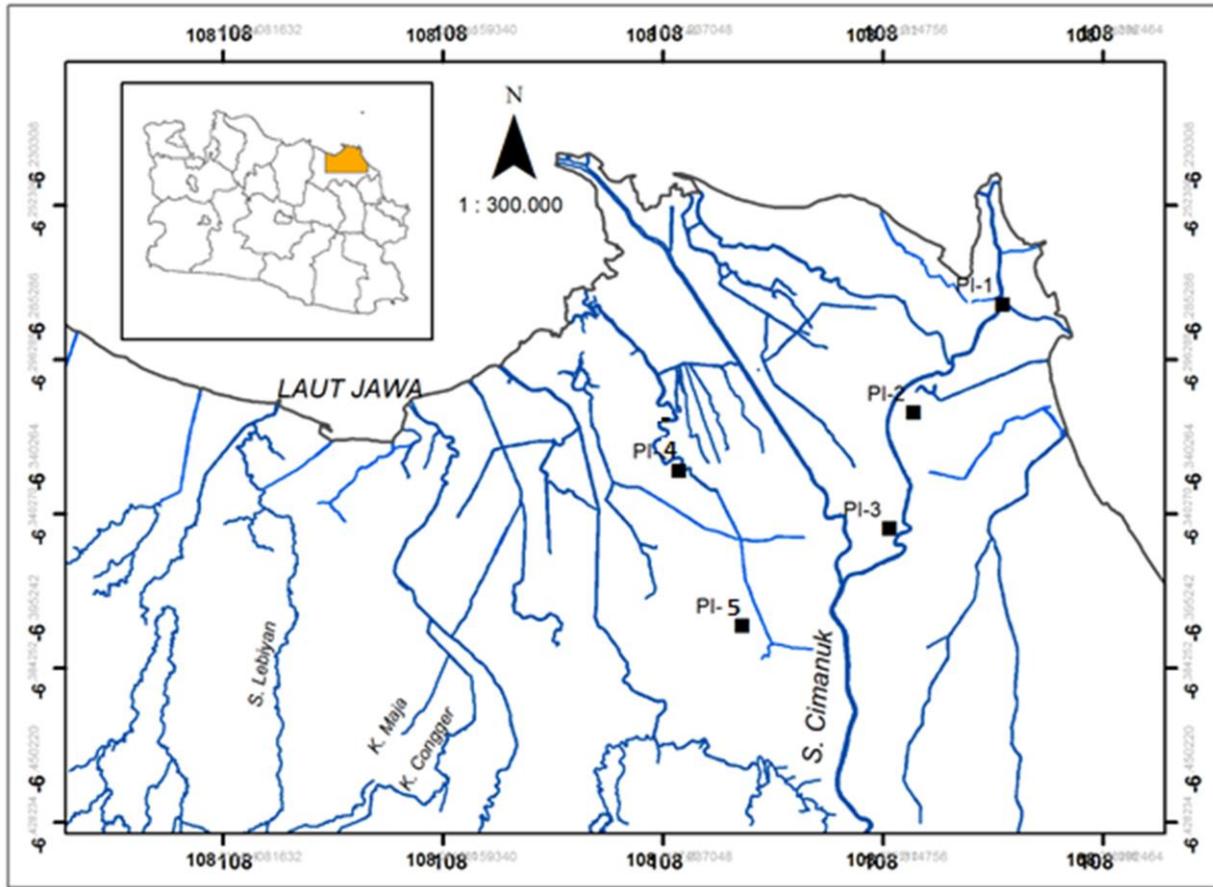
Penelitian dilakukan di lahan sawah yang terletak di DAS Cimanuk Hilir Kabupaten Indramayu. Kabupaten Indramayu memiliki luas wilayah sebesar 204.011 Ha dengan luas sawah sebesar 122.920 Ha. Kabupaten Indramayu terletak pada  $107^{\circ}52'-108^{\circ}36'$  BT dan  $6^{\circ}15'-6^{\circ}40'$ LS. Wilayahnya berbatasan dengan Laut Jawa di

sebelah utara dan timur, Kabupaten Subang di sebelah barat, Kabupaten Sumedang, Majalengka, dan Cirebon di sebelah selatan. Wilayah Kabupaten Indramayu termasuk tipe iklim D (iklim sedang) berdasarkan klasifikasi iklim Schmidt - Ferguson. Suhu udara berkisar antara 26 sampai  $27,6^{\circ}\text{C}$ , curah hujan tahunan berkisar antara 934 sampai 1891 mm.

### Metode

Penelitian dilaksanakan melalui kegiatan karakterisasi dan deskripsi profil, pengambilan sampel tanah, serta analisis karakteristik mineral, sifat fisik dan kimia tanah. Karakterisasi dan deskripsi dilakukan terhadap lima profil tanah sawah yang berkembang dari bahan endapan aluvium dan marin di DAS Cimanuk Hilir, Kabupaten Indramayu. Selanjutnya telah dilakukan pengambilan contoh tanah sebanyak 28 contoh tanah dari kelima profil tanah tersebut untuk dianalisis di laboratorium. Penyebaran profil-profil tanah sawah yang diamati disajikan pada Gambar 1, sedangkan lokasi dan kondisi lingkungannya disajikan dalam Tabel 1. Pembahasan dilakukan secara deskriptif terhadap sifat morfologi tanah dan hasil-hasil analisis mineralogi (fraksi liat dan pasir), kimia, dan fisika tanahnya.

Analisis laboratorium terhadap contoh-contoh tanah meliputi sifat-sifat kimia dan fisika tanah, dan analisis mineralogi (fraksi pasir dan liat). Analisis sifat-sifat kimia dan fisika tanah sawah dilakukan di laboratorium Balai Penelitian Tanah. Analisis mineral fraksi pasir dilakukan di Laboratorium Mineralogi Tanah Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, sedangkan analisis mineral fraksi liat dilakukan di laboratorium Pusat Survei Geologi Bandung. Metode analisis contoh tanah dan penilaian hasil analisis sifat-sifat kimia mengikuti Petunjuk Teknis Analisa Kimia Tanah, Air, Tanaman, dan Pupuk (Eviati dan Suparto 2009). Penetapan tekstur 3 fraksi (pasir, debu, liat) menggunakan metode Pipet, pH ( $\text{H}_2\text{O}$  dan KCl, rasio 1:2.5), kandungan C organik dengan metode Walkley dan Black, N total dengan metode Kjeldahl,  $\text{P}_2\text{O}_5$  tersedia (ekstraksi Olsen), kandungan basa-basa dapat tukar (Ca, Mg, K, dan Na) dan kapasitas tukar kation (KTK) tanah ditetapkan dalam larutan amonium asetat pH 7,0. Salinitas tanah diukur dengan menggunakan alat dengan menggunakan konduktometer. Penilaian sifat-sifat kimia tanah kadar C organik, KTK-tanah, kadar  $\text{P}_2\text{O}_5$  tersedia, dan kejenuhan basa, menurut kriteria Pusat Penelitian Tanah (1983). Klasifikasi tanah berdasarkan sistem Soil Taxonomy (Soil Survey Staff 2003), sedangkan informasi landform berdasarkan Atlas Peta Tanah Semi Detail Skala 1:50.000 Kabupaten Indramayu (BBSDL P 2017).



Gambar 1. Lokasi penelitian, posisi transek, dan pengambilan contoh tanah

Figure 1. Location of the study site, transect position, and soil sampling

Tabel 1. Lokasi profil tanah yang terbentuk dari bahan aluvium dan marin di DAS Cimanuk Hilir, Kabupaten Indramayu

Table 1. Location of paddy soil profiles from alluvium and marine deposit in Cimanuk Hilir Watershed, Indramayu

| Kode Observasi | Koordinat geografis          | Elevasi (m dpl) | Lokasi                                 | Penggunaan lahan  | Landform             |
|----------------|------------------------------|-----------------|--|-------------------|----------------------|
| PI-1           | 108,349822 BT<br>6,284397 LS | 5,2             | Kec. Pasekan<br>Ds. Brondong           | Sawah irigasi     | Delta Estuarin       |
| PI-2           | 108,317737 BT<br>6,323791 LS | 9,1             | Kec. Sindang<br>Ds. Panganjang         | Sawah irigasi     | Dataran aluvial      |
| PI-3           | 108,309106 BT<br>6,366055 LS | 10,2            | Kec. Sindang<br>Ds. Panyindangan Wetan | Sawah irigasi     | Dataran Fluvio marin |
| PI-4           | 108,233061 BT<br>6,344839 LS | 6,1             | Kec. Arahan<br>Ds. Pranggong           | Sawah tadah hujan | Dataran Fluvio marin |
| PI-5           | 108,255951 BT<br>6,401280 LS | 7,4             | Kec. Lohbener<br>Ds. Larangan          | Sawah irigasi     | Dataran Fluvio marin |

Analisis mineral pasir fraksi total menggunakan mikroskop polarisasi dengan metode *line counting*, sedangkan analisis fraksi liat menggunakan difraktometer sinar-X (XRD) dengan metode penjumlahan  $Mg^{2+}$ ,

penjumlahan  $Mg^{2+}$ +gliserol, dan penjumlahan  $K^+$  (Van Reeuwijk 1993). Data hasil analisis mineral pasir dikelompokkan menurut kesamaan jenis mineral untuk menentukan sumber dan sifat bahan induk serta jumlah

Tabel 2. Beberapa sifat morfologi tanah sawah dan klasifikasinya

Table 2. Some morphology characteristics of paddy soils and their classification

| Horison     | Kedalaman (cm) | Warna matrik         | Tekstur | Struktur | Klasifikasi        |
|-------------|----------------|----------------------|---------|----------|--------------------|
| <b>PI-1</b> |                |                      |         |          |                    |
| Ap          | 0-19           | 10YR 4/4             | C       | AB, c, 1 | Vertic Endoaquepts |
| Bg1         | 19-34          | 10YR3/1-10YR4/1      | C       | AB, c, 2 |                    |
| Bg2         | 34-62          | 10YR5/2-5/1- 10YR5/3 | C       | AB, c, 3 |                    |
| Bg3         | 62-85          | 2,5Y 5/1             | C       | -        |                    |
| BCg         | 85-99          | 2,5Y 4/1-5/1         | C       | -        |                    |
| Cg          | 99-150         | 5Y 4/1               | C       | -        |                    |
| <b>PI-2</b> |                |                      |         |          |                    |
| Ap          | 0-21           | 2,Y 5/2              | C       | AB, c, 1 | Vertic Endoaquepts |
| Bg1         | 21-43          | 2,5Y 5/2-5/3         | C       | AB, c, 1 |                    |
| Bg2         | 43-65          | 10YR 4/1             | C       | AB, m, 1 |                    |
| Bg3         | 65-109         | 10YR 4/1             | C       | AB, m, 1 |                    |
| Bg4         | 109-190        | 5Y 5/1               | C       | AB, m, 1 |                    |
| Cg          | 190-220        | 5Y 5/2               | C       | masif    |                    |
| <b>PI-3</b> |                |                      |         |          |                    |
| Ap          | 0-22           | 2,5Y 4/1             | C       | AB, c, 1 | Vertic Endoaquepts |
| Bg1         | 22-45          | 2,5Y 4/110YR 4/2     | C       | AB, c, 1 |                    |
| Bg2         | 45-76          | 2,5Y 5/1 – 4/1       | C       | AB, m, 1 |                    |
| Bg3         | 76-123         | 2,5Y 5/4-2.5Y 6/3    | C       | AB, m, 1 |                    |
| Bg4         | 123-200        | 2,5Y 5/5-2.5Y 5/3    | C       | AB, m, 1 |                    |
| <b>PI-4</b> |                |                      |         |          |                    |
| Ap          | 0-18           | 2,5Y 6/2             | C       | AB, c, 1 | Vertic Endoaquepts |
| Bg1         | 18-48          | 2,5Y 4/1             | C       | AB, c, 1 |                    |
| Bg2         | 48-82          | 2,5Y 5/1             | C       | SB, m, 1 |                    |
| Bg2         | 82-150         | 2,5Y 6/1             | C       | AB, m, 1 |                    |
| Cg          | 150-220        | 5Y 6/1               | C       | masif    |                    |
| <b>PI-5</b> |                |                      |         |          |                    |
| Ap          | 0-15           | 10 YR 5/1            | C       | AB, m, 1 | Vertic Endoaquept  |
| Bg1         | 15-36          | 2,5Y 7/2             | C       | AB, m, 1 |                    |
| Bg2         | 36-83          | 2,5Y 6/1-6/2         | C       | AB, c, 1 |                    |
| Bg3         | 83-145         | 10YR 5/1             | C       | AB, c, 1 |                    |
| BCg         | 145-170        | 7,5YR 5/1            | C       | AB, c, 1 |                    |
| Cg          | 170-220        | 2,5Y 5/1             | C       | masif    |                    |

cadangan mineral mudah lapuk sebagai sumber hara dalam tanah. Jenis dan persentase mineral mudah lapuk mengikuti cara yang dikemukakan oleh Buurman (1990). Data hasil analisis mineral liat digunakan untuk mengetahui jenis dan jumlah relatif mineral liat dan pengaruhnya terhadap sifat-sifat kimia tanah dan pengelolaannya.

## Hasil dan Pembahasan

### Sifat Morfologi Tanah

Hasil deskripsi sifat morfologi dari profil-profil tanah sawah yang diteliti disajikan pada Tabel 2. Kedalaman tanah-tanah sawah di lokasi penelitian tergolong dalam sampai sangat dalam (150-200 cm). Umumnya tekstur dari tiap-tiap profil tanah tergolong liat dengan beberapa horizon yang tergolong berpasir. Kadar liat cukup tinggi

dengan kisaran 27-82%, sedangkan kadar pasirnya berkisar dari 2 sampai 52%. Semua profil tanah yang diamati mempunyai warna glei di dalam penampangnya sebagai akibat kondisi drainase terhambat. Gleysasi yang muncul dari horison yang paling bawah yang ditandai dengan nilai kroma 1 atau 2. Hal ini menunjukkan tanah-tanah ini berada dalam sistem rawa sehingga berada dalam kondisi jenuh air sampai ke bagian atasnya. Gleysasi pada tanah bagian atas dimungkinkan juga karena adanya penggenangan air yang datang dari permukaan tanah.

Tanah sawah di Indramayu yang terbentuk dari endapan aluvium dan marin, secara umum bertekstur liat, baik di lapisan atas (*top soil*) maupun di lapisan bawahnya (*sub soil*). Sebagian besar tanah mempunyai tekstur yang tergolong liat berat, dengan kandungan fraksi liat > 60%.

Tanah-tanah ini didominasi mineral liat smektit yang ditandai dengan munculnya rekahan-rekahan dengan lebar

2–10 cm dalam kondisi kering. Tanah sawah dari Indramayu berkembang dari bahan aluvium halus, mempunyai tekstur liat di seluruh horizon tanahnya yang mempunyai kemampuan megebang dan mengkerut yang tinggi. Perkembangan struktur tanah masih lemah dengan bentuk gumpal bersudut dan tidak ditemukan struktur baji. Berdasarkan Soil Taxonomy (Soil Survey Staff 2014), profil-profil tanah tersebut tergolong Vertic Endoaquepts.

### Sifat-sifat Kimia Tanah

Data hasil analisis sifat-sifat kimia tanah sawah disajikan pada Tabel 3. Tanah-tanah sawah di lokasi penelitian bereaksi agak masam sampai agak alkalis (pH 5,3-8,6). Tanah agak masam (pH 5,3- 6,0) terdapat di sebagian lapisan tanah pada PI-4 dan PI-5, sedangkan yang lainnya mempunyai nilai pH yang tinggi (pH >6,0). Tingkat kemasaman yang tergolong rendah diakibatkan tingginya kadar basa dapat tukar dalam tanah (KB>100%). Tingkat kemasaman rendah ini juga menunjukkan tingkat pelapukan tanah tergolong rendah. Adanya dominasi smektit dalam komposisi mineral liatnya mengindikasikan bahwa pembentukan tanah-tanah ini berada pada kondisi drainase yang buruk. Pada kondisi ini diduga terjadi akumulasi basa-basa terutama  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  dalam tanah yang berpengaruh terhadap tingginya pH tanah. Selain itu adanya interusi air laut turut berpengaruh terhadap tingginya nilai pH tanah.

Nilai Kapasitas Tukar Kation (KTK) tanah sawah di lokasi penelitian tergolong sedang sampai tinggi (19,8-27,99  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ). Sumber nilai KTK tanah berasal dari bahan organik tanah dan mineral liat. Kadar C organik tanah pada tanah-tanah sawah ini rendah (<2%) sehingga faktor yang paling berpengaruh terhadap nilai KTK tanah adalah kadar liatnya. Hasil perhitungan KTK liat menunjukkan bahwa nilai KTK liat pada semua horizon tanah tergolong tinggi dengan kisaran nilai 3,32 – 73,48  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ . Tingginya nilai KTK tanah ini berkaitan dengan jenis mineral liat yang didominasi oleh smektit, di samping campuran lainnya berupa kaolinit dan illit.

Kejenuhan basa sangat tinggi (>100%) di semua horizon dari tanah sawah yang diamati. Hal ini menunjukkan jumlah basa sangat mendominasi, baik dalam kompleks jerapan maupun dalam larutan tanah. Kation  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  adalah jenis-jenis kation yang mendominasi kompleks jerapan maupun larutan tanah. Kation  $\text{Na}^+$  juga mendominasi pada beberapa profil tanah, sedangkan  $\text{K}^+$  jumlahnya paling sedikit.

Kadar  $\text{Ca}^{2+}$  dalam tanah tergolong sedang sampai sangat tinggi dengan nilai berkisar antara 5,61-26,29  $\text{cmol}_c$

$\text{kg}^{-1}$ , sedangkan  $\text{Mg}^{2+}$  tergolong sangat tinggi dengan nilai antara 9,05-16,38  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ . Tingginya kadar  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  dapat pula disebabkan oleh adanya tipe mineral 2:1, seperti smektit (Prasetyo *et al.*, 2000) atau dari hasil rombakan bahan induknya (Parson dan Herriman 1975). Pada PI-1 dan PI-2, bagian atas dari profil tanahnya menunjukkan bahwa  $\text{Ca}^{2+}$  lebih dominan dibandingkan dengan  $\text{Mg}^{2+}$ , sebaliknya di bagian bawahnya  $\text{Mg}^{2+}$  lebih dominan dibandingkan  $\text{Ca}^{2+}$ . Kondisinya berbeda dengan PI-3, PI-4, dan PI-5 yang didominasi  $\text{Ca}^{2+}$  pada seluruh lapisannya. Menurut Anda dan Subardja (2013) adanya dominasi ion-ion Mg di tanah fluvio-marine menjadi indikator yang baik dari bahan induk tanah yang berasal dari endapan marine, sedangkan dominasi ion-ion Ca adalah indikator yang baik bagi bahan induk tanah yang berasal dari endapan aluvium.

Kadar  $\text{K}^+$  dapat tukar tergolong rendah sampai sangat tinggi dengan nilai berkisar antara 0,04-1,78  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ . Rendahnya  $\text{K}^+$  dalam kompleks jerapan maupun larutan tanah dibanding kation-kation lainnya merupakan dampak dari persaingan dengan kation yang bervalensi 2 (Ca dan Mg) yang mempunyai ikatan lebih kuat, serta  $\text{Na}^+$  yang jumlahnya lebih besar daripada  $\text{K}^+$ . Ion  $\text{K}^+$  merupakan kation monovalen yang bersifat mobil dan mudah tercuci. Hal ini yang menyebabkan jumlah  $\text{K}^+$  dalam relatif kecil, meskipun kadar mineral feldspar sebagai penyedia K tergolong tinggi. Kadar  $\text{Na}^+$  dapat tukar tergolong tinggi dengan nilai antara 1,65-25,85  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ . Nilai  $\text{Na}^+$  yang tinggi dapat berasal dari bahan pembentuk tanah endapan marine atau adanya pengaruh intrusi air laut. Kadar  $\text{Na}^+$  dapat menyebabkan tanah terdispersi sehingga secara fisik tanah menjadi keras.

Tanah dengan kejenuhan basa sangat tinggi ini berdampak pemberian hara ke dalam tanah menjadi tidak efektif karena mudah tercuci. Pemberian bahan organik ke dalam tanah sangat penting untuk efisiensi pemupukan K. Keberadaan asam-asam organik yang bermuatan tinggi dapat meningkatkan KTK tanah dan membantu tanah menahan K dari pupuk sehingga tidak mudah tercuci. Pemberian bahan organik juga dapat memperbaiki sifat-fisik tanah yang rusak terdispersi akibat tingginya kadar Na dalam tanah.

Kadar C organik tanah-tanah sawah ini tergolong sangat rendah sampai rendah (0,23-1,95%). Hal ini sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya bahwa sebagian besar tanah sawah di Indonesia mempunyai kadar C organik rendah, yaitu <2% (Kasno *et al.* 2003). Secara umum kadar C organik di lapisan permukaan tanah >1% dan

Tabel 3. Beberapa sifat morfologi tanah sawah dan klasifikasinya

Table 3. Some morphology characteristics of paddy soils and their classification

| Kode Profil | No Hor | Kedalaman | Tekstur (Pipet) |      |      | Ekstrak 1:5         |        |           | Bahan Organik |            |      | P-tersedia | Nilai Tukar kation (NH <sub>4</sub> Acetat 1N, pH7) |       |      |       |       |      |
|-------------|--------|-----------|-----------------|------|------|---------------------|--------|-----------|---------------|------------|------|------------|---|-------|------|-------|-------|------|
|             |        |           | Pasir           | Debu | Liat | pH H <sub>2</sub> O | pH KCl | Salinitas | C             | N Kjeldahl | C/N  | Olsen      | Ca  | Mg    | K    | Na    | KTK   | KB   |
|             |        | cm        | -----%-----     |      |      | mg L <sup>-1</sup>  |        |           | ----- % ----- |            |      | ppm        | cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>                  |       |      |       |       |      |
|             |        |           |                 |      |      |                     |        |           |               |            |      |            |   |       |      |       |       |      |
| PI-1        | I      | 0-19      | 10              | 34   | 56   | 6,6                 | 6,1    | 145,50    | 1,39          | 0,13       | 10,7 | 28         | 13,15   | 12,13 | 0,33 | 8,02  | 23,69 | >100 |
|             | II     | 19-34     | 6               | 27   | 67   | 6,7                 | 6,2    | 255,00    | 1,03          | 0,08       | 12,9 | 21         | 10,22   | 15,50 | 1,35 | 19,17 | 22,94 | >100 |
|             | III    | 24-62     | 5               | 30   | 65   | 7,7                 | 6,9    | 226,00    | 0,75          | 0,05       | 15,0 | 11         | 6,71  | 15,52 | 1,66 | 19,59 | 23,10 | >100 |
|             | IV     | 62-85     | 10              | 26   | 64   | 7,8                 | 7,1    | 299,00    | 0,57          | 0,04       | 14,3 | 11         | 6,39  | 15,59 | 1,78 | 25,85 | 25,59 | >100 |
|             | V      | 85-99     | 20              | 31   | 49   | 8,1                 | 7,3    | 294,00    | 0,57          | 0,05       | 11,4 | 21         | 5,61  | 12,22 | 1,43 | 21,16 | 23,47 | >100 |
|             | VI     | 99-150    | 43              | 20   | 37   | 8,6                 | 7,8    | 241,00    | 0,55          | 0,04       | 13,8 | 19         | 7,42  | 11,47 | 1,63 | 18,98 | 20,10 | >100 |
| PI-2        | I      | 0-21      | 3               | 28   | 69   | 7,6                 | 6,8    | 169,90    | 1,62          | 0,10       | 16,2 | 35         | 20,72   | 12,75 | 0,57 | 9,16  | 23,71 | >100 |
|             | II     | 21-43     | 9               | 30   | 61   | 7,6                 | 6,5    | 92,30     | 0,65          | 0,05       | 13,0 | 30         | 12,96   | 12,77 | 0,33 | 7,91  | 24,78 | >100 |
|             | III    | 43-65     | 9               | 30   | 61   | 7,6                 | 6,5    | 137,50    | 0,60          | 0,04       | 15,0 | 29         | 12,96   | 14,48 | 0,38 | 12,02 | 25,02 | >100 |
|             | IV     | 65-109    | 12              | 28   | 60   | 7,7                 | 6,6    | 138,00    | 0,50          | 0,04       | 12,5 | 28         | 11,72   | 13,82 | 0,42 | 11,91 | 23,67 | >100 |
|             | V      | 109-190   | 4               | 14   | 82   | 7,6                 | 6,7    | 216,00    | 0,47          | 0,04       | 11,8 | 54         | 11,90   | 17,68 | 1,03 | 19,83 | 25,74 | >100 |
|             | VI     | 190-250   | 5               | 18   | 77   | 7,5                 | 6,9    | 278,00    | 1,14          | 0,09       | 12,7 | 41         | 10,32   | 18,48 | 1,14 | 21,88 | 26,06 | >100 |
| PI-3        | I      | 0-22      | 5               | 18   | 77   | 6,4                 | 5,5    | 38,90     | 2,09          | 0,16       | 13,1 | 29         | 23,88   | 8,77  | 0,24 | 1,65  | 27,99 | >100 |
|             | II     | 22-45     | 3               | 18   | 79   | 7,5                 | 6,5    | 29,10     | 0,67          | 0,05       | 13,4 | 28         | 21,32   | 11,01 | 0,14 | 2,25  | 25,07 | >100 |
|             | III    | 45-75     | 3               | 26   | 71   | 7,8                 | 6,6    | 29,20     | 0,67          | 0,05       | 13,4 | 32         | 21,21   | 11,10 | 0,11 | 2,30  | 26,11 | >100 |
|             | IV     | 75-123    | 4               | 28   | 68   | 7,9                 | 6,6    | 22,90     | 0,58          | 0,05       | 11,6 | 14         | 21,65   | 10,92 | 0,10 | 1,97  | 23,20 | >100 |
|             | V      | 123-200   | 5               | 18   | 77   | 8,2                 | 6,7    | 20,90     | 0,50          | 0,05       | 10,0 | 16         | 24,17   | 12,46 | 0,14 | 2,23  | 24,90 | >100 |
| PI-4        | I      | 0-18      | 2               | 29   | 69   | 5,7                 | 5,1    | 191,00    | 1,73          | 0,15       | 11,5 | 56         | 18,32   | 12,05 | 0,28 | 9,13  | 22,61 | >100 |
|             | II     | 18-48     | 22              | 25   | 53   | 7,6                 | 6,3    | 20,70     | 0,49          | 0,04       | 12,3 | 18         | 13,81   | 11,76 | 0,17 | 3,32  | 23,24 | >100 |
|             | III    | 48-82     | 34              | 15   | 51   | 7,6                 | 6,3    | 28,50     | 0,55          | 0,05       | 11,0 | 21         | 14,35   | 12,20 | 0,26 | 3,96  | 21,97 | >100 |
|             | IV     | 82-150    | 8               | 42   | 50   | 7,7                 | 6,4    | 39,20     | 0,55          | 0,05       | 11,0 | 24         | 16,57   | 13,70 | 0,25 | 4,45  | 26,07 | >100 |
|             | V      | 150-200   | 3               | 17   | 80   | 7,7                 | 6,4    | 25,70     | 0,65          | 0,05       | 13,0 | 40         | 14,56   | 15,83 | 0,78 | 6,60  | 26,88 | >100 |
| PI-5        | I      | 0-15      | 5               | 34   | 61   | 6,2                 | 5,6    | 82,70     | 1,42          | 0,11       | 12,9 | 79         | 19,79   | 9,05  | 0,15 | 2,26  | 24,58 | >100 |
|             | II     | 15-36     | 35              | 27   | 38   | 7,2                 | 6,3    | 33,60     | 0,38          | 0,04       | 9,5  | 28         | 16,54   | 10,94 | 0,05 | 2,18  | 21,69 | >100 |
|             | III    | 36-83     | 52              | 21   | 27   | 7,3                 | 6,1    | 35,50     | 0,30          | 0,03       | 10,0 | 30         | 17,78   | 11,45 | 0,04 | 2,41  | 19,84 | >100 |
|             | IV     | 83-145    | 4               | 28   | 68   | 5,8                 | 4,8    | 258,00    | 0,52          | 0,05       | 10,4 | 21         | 26,29   | 15,80 | 0,17 | 10,09 | 25,36 | >100 |
|             | V      | 145-17    | 3               | 13   | 84   | 5,3                 | 3,9    | 298,00    | 0,52          | 0,05       | 10,4 | -          | 23,67   | 14,37 | 0,30 | 7,94  | 26,06 | >100 |

lebih tinggi dibandingkan dengan horison-horison di bawahnya yang umumnya mempunyai kadar C organik < 1%. Kadar C organik tanah di bawah permukaan tanah ini cenderung menurun secara tidak teratur dengan kedalaman. Kondisi ini mengindikasikan bahwa tanah-tanah ini terbentuk melalui proses pengendapan. Rendahnya kadar C organik diduga karena tutupan vegetasi yang jarang, proses dekomposisi bahan organik yang intensif di daerah tropis, dan penggunaan lahan pertanian yang terus menerus dengan sedikit atau tanpa pengembalian sisa-sisa hasil panen.

Kadar P-tersedia (P Olsen) sedang sampai sangat tinggi (11,0-79,0 ppm). Hal ini menunjukkan bahwa pada tanah-tanah sawah yang diteliti tidak ada masalah dengan ketersediaan P. Bahkan kadar P-tersedia di bagian permukaan tanah yang merupakan zona perakaran umumnya lebih tinggi dibandingkan lapisan-lapisan di bawahnya. Tingginya kadar P-tersedia di permukaan tanah ini diduga berasal dari residu pemupukan P yang secara intensif diberikan di setiap pengelolaan lahan sawahnya. Sebaliknya, kadar K tergolong rendah karena hara ini bersifat mobil dan mudah tercuci. Penambahan pupuk K dalam pengelolaan lahan sawah ini masih diperlukan untuk mempertahankan statusnya agar tetap tinggi (Adiningsih *et al.* 2000).

Secara umum salinitas pada profil-profil tanah sawah yang diamati tergolong rendah sampai tinggi dengan nilai 20,7–299,0 mg L<sup>-1</sup>. Tingkat salinitas tanah yang tinggi terdapat pada tanah sawah yang berkembang dari bahan endapan laut atau akibat intrusi air laut. Hal ini tampak pada Profil PI-1 dan P-2 yang posisinya berdekatan dengan garis pantai atau sungai yang terpengaruh air laut dengan salinitas rata-rata >100,0 mg L<sup>-1</sup>. Sedangkan tanah sawah dengan salinitas rendah berkembang dari bahan endapan sungai yang posisinya agak jauh dari garis pantai atau sungai yang terpengaruh air laut, yaitu pada Profil PI-3, PI-4 dengan salinitas <40 mg L<sup>-1</sup>. Pada PI-5 salinitas tanah bagian atas (0-83 cm dpt) relatif rendah (<100,0 mg L<sup>-1</sup>), sedangkan bagian bawahnya lebih tinggi (>100,0 mg L<sup>-1</sup>). Kadar liat yang tinggi di lapisan tersebut diduga mempermudah terjadinya intrusi air laut melalui pipa-pipa kapiler, dimana pada saat musim kering dapat meninggalkan garam-garam yang terbawa bersama air laut sehingga kadar garamnya lebih tinggi.

Berdasarkan sifat-sifat fisik dan kimianya, secara umum tanah-tanah sawah di lokasi penelitian mempunyai potensi kesuburan sedang. Faktor yang paling menentukan adalah kadar K dapat tukar dan C organik yang rendah,

meskipun di sisi lain tanah-tanah ini mempunyai sumber cadangan mineral mudah lapuk cukup tinggi, sehingga dalam jangka panjang sebagian kebutuhan hara dapat disuplai dari mineral tersebut. Pemberian bahan organik ke dalam tanah dapat menjadi alternatif dalam menangani permasalahan pada tanah sawah ini. Penambahan pupuk kandang dapat meningkatkan C organik tanah sehingga diharapkan mampu memperbaiki Kondisi tanah akibat salinitas tinggi dan meningkatkan unsur hara dalam tanah (Pradewa *et al.* 2012). Penambahan bahan organik diketahui mengurangi efek salinitas pada mikroorganisme tanah sehingga secara positif mempengaruhi aktivitas mikroba dan siklus nutrisi (Wichern *et al.* 2020). Selain itu penggunaan varietas padi yang toleran terhadap salinitas tinggi dapat menjadi salah satu alternatif untuk mengatasi cekaman garam.

### Karakteristik Mineral Pasir

Hasil analisis mineral fraksi pasir pada Tabel 4 menunjukkan bahwa tanah-tanah sawah di DAS Cimanuk Hilir Kabupaten Indramayu secara umum didominasi oleh mineral mudah lapuk (*weatherable minerals*), terdiri dari grup feldspar (labradorit, andesin, bitownit), grup piroksen (augit, hiperstin), dan amfibol (*hornblende*). Jenis-jenis mineral tersebut berasal dari sisa bahan induk di daerah hulu dan diendapkan dalam kondisi anaerob di lokasi penelitian. Kondisi anaerob menyebabkan proses pelapukan mineral-mineral di lokasi penelitian berjalan lambat sehingga masih dapat bertahan di dalam tanah. Komposisi mineral fraksi pasir yang dijumpai mencirikan bahan endapan tersebut berasal dari tanah terbentuk dari bahan vulkan bersifat intermedier di daerah hulu. Besarnya presentase mineral mudah lapuk dari seluruh mineral fraksi pasir ini mencerminkan cadangan mineral sebagai sumber hara pada tanah-tanah masih tinggi. Mineral mudah lapuk dapat memperkaya hara tanah sehingga dapat menjaga kesuburan tanah dalam jangka panjang. Grup mineral plagioklas feldspar merupakan sumber unsur Ca, K, dan Na, sedangkan grup piroksen dan amfibol juga sebagai sumber Ca, Mg, Fe (Huang 1989). Sebagian fraksi pasir lain tergolong mineral sukar lapuk (opak, kuarsa, limonit, zeolit) dengan presentase sekitar 5-13%, sedangkan mineral lainnya berupa lapukan mineral dan fragmen batuan, yaitu kumpulan mineral yang tidak dapat diidentifikasi jenisnya, dengan presentase sekitar 6-23%.

Dari kelima profil yang diamati, pada PI-1 dan PI-3 didominasi kelompok piroksen (Augit dan Hiperstin) yang mempunyai presentase yang lebih besar dibandingkan

Tabel 4. Komposisi mineral fraksi pasir tanah-tanah sawah di lokasi penelitian

Table 4. Mineralogical composition of sand fraction of paddy soils in the study Area

| Profil /kedalaman (cm) | Komposisi mineral (%) |        |              |               |               |         |              |        |            |                 |                |                |       |           |         |           |          |         |          |         | Jumlah (%) |          |       |           |                  |        |        |          |           |         |          |
|------------------------|-----------------------|--------|--------------|---------------|---------------|---------|--------------|--------|------------|-----------------|----------------|----------------|-------|-----------|---------|-----------|----------|---------|----------|---------|------------|----------|-------|-----------|------------------|--------|--------|----------|-----------|---------|----------|
|                        | Opak                  | Zirkon | Kuarsa keruh | Kuarsa bening | Konkresi besi | Limonit | SiO2 organik | Zeolit | Hidragilit | Lapukan mineral | Fragmen batuan | Gelas vulkanis | Albit | Oligoklas | Andesin | Labarorit | Bitownit | Anortit | Ortoklas | Sanidin |            | Muskovit | Augit | Hiperstin | Hornblende hijau | Olivin | Epidot | Turmalin | Aktinolit | Diopsid | Enstatit |
| PI-1                   |                       |        |              |               |               |         |              |        |            |                 |                |                |       |           |         |           |          |         |          |         |            |          |       |           |                  |        |        |          |           |         |          |
| I (0-19)               | 1                     | -      | 2            | 1             | -             | 3       | sp           | sp     | -          | 5               | 11             | -              | -     | -         | 7       | 16        | 10       | -       | sp       | sp      | -          | 27       | 10    | 6         | sp               | sp     | sp     | sp       | -         | sp      | 99       |
| II (19-34)             | 2                     | -      | 2            | sp            | -             | 2       | sp           | sp     | -          | 4               | 10             | -              | -     | -         | 6       | 18        | 12       | -       | sp       | sp      | -          | 27       | 11    | 5         | sp               | sp     | sp     | sp       | -         | 1       | 100      |
| III (34-62)            | sp                    | -      | 1            | 1             | -             | 3       | sp           | sp     | -          | 4               | 9              | sp             | -     | -         | 7       | 17        | 12       | -       | sp       | sp      | -          | 28       | 10    | 6         | -                | sp     | sp     | sp       | -         | 1       | 99       |
| IV (62-85)             | 1                     | -      | 1            | sp            | -             | 1       | -            | sp     | -          | 3               | 11             | sp             | -     | -         | 5       | 18        | 11       | -       | -        | -       | -          | 31       | 12    | 6         | -                | -      | -      | -        | -         | sp      | 100      |
| V (85-99)              | 1                     | -      | 2            | sp            | -             | 2       | -            | sp     | -          | 2               | 14             | -              | -     | -         | 6       | 16        | 10       | -       | -        | -       | -          | 29       | 13    | 4         | -                | -      | -      | -        | -         | sp      | 99       |
| VI (99-150)            | 1                     | -      | 1            | 1             | -             | 2       | -            | sp     | -          | 2               | 15             | -              | -     | -         | 5       | 15        | 11       | -       | -        | -       | -          | 30       | 12    | 5         | -                | -      | -      | -        | -         | sp      | 100      |
| PI-2                   |                       |        |              |               |               |         |              |        |            |                 |                |                |       |           |         |           |          |         |          |         |            |          |       |           |                  |        |        |          |           |         |          |
| I (0-21)               | 1                     | -      | 8            | 6             | sp            | sp      | -            | sp     | -          | 5               | 6              | sp             | -     | -         | 1       | 35        | 5        | -       | -        | sp      | -          | 13       | 14    | 5         | -                | -      | -      | -        | -         | sp      | 99       |
| II (21-43)             | 1                     | -      | 8            | 3             | sp            | sp      | -            | sp     | -          | 7               | 5              | sp             | -     | -         | 1       | 36        | 2        | -       | sp       | sp      | -          | 17       | 17    | 3         | -                | sp     | sp     | -        | -         | sp      | 100      |
| III (43-65)            | sp                    | -      | 7            | 4             | -             | sp      | -            | sp     | -          | 7               | 3              | sp             | -     | -         | 2       | 38        | 4        | -       | -        | sp      | -          | 16       | 15    | 2         | -                | sp     | 1      | -        | -         | sp      | 99       |
| IV (65-109)            | 2                     | -      | 7            | 6             | -             | sp      | -            | sp     | -          | 6               | 5              | sp             | -     | -         | 2       | 36        | 5        | -       | sp       | sp      | -          | 14       | 11    | 5         | -                | sp     | sp     | -        | -         | sp      | 99       |
| V (109-190)            | 2                     | -      | 6            | 5             | -             | sp      | -            | sp     | -          | 6               | 6              | sp             | -     | -         | 3       | 38        | 4        | -       | -        | sp      | -          | 14       | 10    | 4         | -                | sp     | 1      | -        | -         | sp      | 99       |
| VI (190-120)           | 2                     | -      | 6            | 6             | -             | sp      | -            | sp     | -          | 4               | 6              | sp             | -     | -         | 5       | 40        | 6        | -       | -        | -       | -          | 13       | 9     | 3         | -                | sp     | sp     | -        | -         | sp      | 100      |
| PI-3                   |                       |        |              |               |               |         |              |        |            |                 |                |                |       |           |         |           |          |         |          |         |            |          |       |           |                  |        |        |          |           |         |          |
| I (0-22)               | 6                     | -      | sp           | sp            | -             | 1       | sp           | -      | -          | 4               | 6              | sp             | -     | -         | 1       | 21        | 5        | -       | sp       | -       | sp         | 27       | 19    | 7         | 1                | sp     | 1      | -        | -         | sp      | 99       |
| II (22-45)             | 9                     | sp     | 1            | 3             | -             | -       | -            | -      | -          | 3               | 4              | -              | -     | -         | 1       | 27        | 1        | -       | -        | sp      | -          | 20       | 21    | 18        | -                | -      | 2      | -        | -         | -       | 110      |
| III (45-76)            | 4                     | -      | 1            | 3             | -             | -       | -            | -      | -          | 1               | 1              | sp             | -     | -         | sp      | 32        | 1        | -       | -        | -       | -          | 21       | 22    | 14        | -                | -      | sp     | -        | -         | sp      | 100      |
| IV (76-123)            | 6                     | sp     | 1            | 2             | -             | sp      | -            | -      | -          | 2               | 2              | -              | -     | -         | sp      | 32        | 3        | -       | sp       | sp      | -          | 21       | 20    | 9         | sp               | -      | 1      | -        | -         | -       | 99       |
| V (123-200)            | 7                     | sp     | 1            | 2             | -             | sp      | -            | -      | -          | 2               | 3              | -              | -     | -         | 1       | 30        | 4        | -       | -        | -       | -          | 19       | 20    | 10        | sp               | -      | 1      | -        | -         | -       | 100      |
| PI-4                   |                       |        |              |               |               |         |              |        |            |                 |                |                |       |           |         |           |          |         |          |         |            |          |       |           |                  |        |        |          |           |         |          |
| I (0-18)               | 4                     | -      | 5            | 2             | -             | -       | -            | sp     | -          | 5               | 4              | -              | -     | -         | 2       | 42        | 3        | sp      | sp       | sp      | -          | 12       | 10    | 9         | -                | 1      | 1      | -        | -         | -       | 100      |
| II (18-48)             | 1                     | -      | 6            | 1             | -             | sp      | -            | sp     | -          | 12              | 2              | -              | -     | -         | 1       | 44        | 6        | sp      | 1        | 1       | -          | 9        | 6     | 10        | -                | sp     | sp     | -        | sp        | -       | 100      |
| III (48-82)            | 3                     | -      | 5            | 2             | -             | -       | -            | -      | -          | 11              | 8              | -              | sp    | -         | sp      | 41        | 4        | sp      | sp       | -       | -          | 8        | 10    | 8         | -                | sp     | sp     | -        | -         | -       | 100      |
| IV (82-150)            | 1                     | -      | 6            | 1             | -             | -       | -            | 1      | -          | 10              | 11             | -              | -     | -         | 1       | 48        | 4        | sp      | sp       | sp      | -          | 7        | 5     | 5         | -                | sp     | sp     | -        | -         | -       | 100      |
| V (150-220)            | 2                     | -      | 6            | 2             | -             | -       | -            | sp     | -          | 8               | 12             | -              | -     | -         | sp      | 49        | 3        | sp      | sp       | sp      | -          | 6        | 6     | 6         | -                | sp     | sp     | -        | -         | -       | 100      |
| PI-5                   |                       |        |              |               |               |         |              |        |            |                 |                |                |       |           |         |           |          |         |          |         |            |          |       |           |                  |        |        |          |           |         |          |
| I (0-15)               | 1                     | -      | 3            | 1             | -             | sp      | sp           | 1      | -          | 17              | 6              | sp             | sp    | -         | 1       | 53        | 6        | sp      | sp       | -       | -          | -        | 10    | sp        | -                | 1      | -      | -        | -         | -       | 100      |
| II (15-36)             | 2                     | -      | 2            | 1             | -             | -       | sp           | sp     | -          | 20              | 5              | 1              | -     | -         | sp      | 52        | 4        | sp      | sp       | sp      | -          | -        | -     | 12        | sp               | -      | 1      | -        | -         | sp      | 100      |
| III (36-83)            | sp                    | -      | 1            | 3             | -             | -       | sp           | 1      | -          | 25              | 4              | sp             | -     | -         | 1       | 55        | 2        | sp      | sp       | sp      | -          | -        | -     | 8         | -                | -      | sp     | -        | -         | -       | 100      |
| IV (83-145)            | 1                     | -      | 2            | 2             | -             | -       | -            | 1      | -          | 20              | 4              | sp             | -     | -         | 1       | 56        | 3        | sp      | sp       | sp      | -          | -        | -     | 10        | -                | -      | sp     | -        | -         | sp      | 100      |
| V (145-170)            | sp                    | -      | 3            | 2             | -             | -       | -            | sp     | -          | 18              | 3              | sp             | -     | -         | sp      | 62        | 2        | sp      | sp       | sp      | -          | -        | -     | 9         | -                | -      | sp     | -        | -         | -       | 100      |
| VI (170-220)           | 1                     | -      | 3            | 1             | -             | -       | -            | 1      | -          | 17              | 3              | sp             | -     | -         | sp      | 60        | 3        | sp      | sp       | sp      | -          | -        | -     | 10        | -                | -      | sp     | -        | -         | sp      | 100      |

Keterangan : sp = sangat sedikit (<1%)

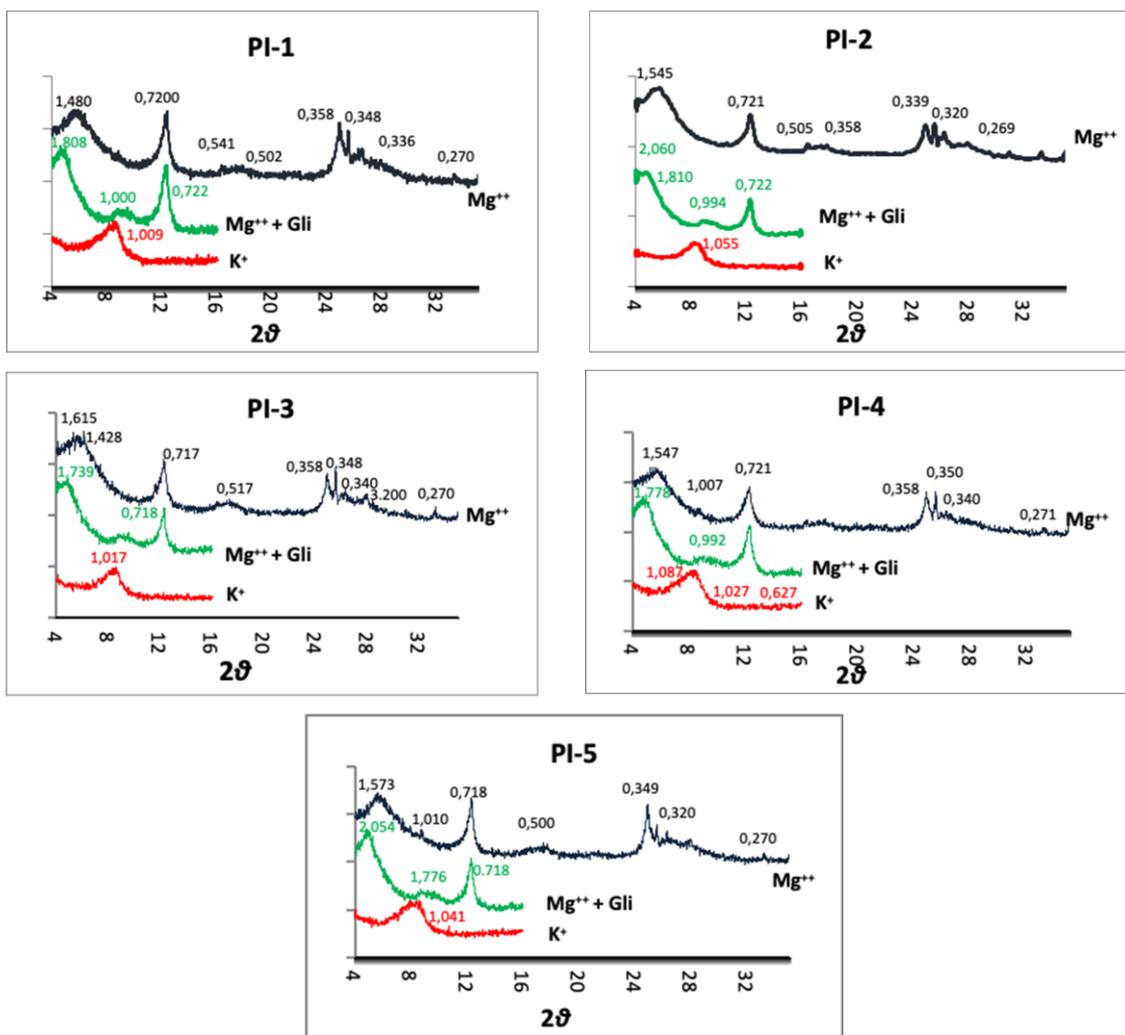
dengan kelompok mineral mudah lapuk lainnya. Pada PI-2, PI-4, dan PI-5, kelompok feldspars mendominasi jumlah mineral mudah lapuk, sedangkan kelompok hornblende merupakan kelompok mineral mudah lapuk yang paling sedikit jumlahnya. Hal ini menunjukkan mineral ini relatif lebih mudah lapuk sehingga jumlah yang tersisa lebih sedikit dibandingkan mineral lainnya. Jumlah mineral sukar lapuk terdapat dalam jumlah yang sedikit (5-23%). Adanya turmalin menunjukkan telah terjadi pelapukan bahan metamorfik. Adanya asosiasi mineral-mineral tersebut menunjukkan bahan endapan berasal dari pencampuran bahan volkan intermedier, masam dan metamorfik. Hal ini sesuai dengan informasi geologi yang menyatakan bahwa bahan endapan yang membentuk tanah sawah ini berasal dari rombakan batu lempung atau batu liat dan bahan-bahan volkan yang berada di bagian

hulunya, yaitu breksi, lava bersifat andesit dan basal, pasir tufan, dan lapili (Djuri 1995).

### Karakteristik Mineral Liat

Hasil analisis difraktogram sinar-X (XRD) tanah-tanah sawah di lokasi penelitian disajikan pada Gambar 2 dan Tabel 5. Secara umum komposisi mineral liat pada tanah-tanah sawah tersebut (PI-1 – PI-5) didominasi oleh jenis mineral liat smektit. Selain itu terdapat juga mineral liat kaolinit dan mineral illit dalam jumlah sedikit. Smektit dicirikan dengan jarak basal antara 12,0 – 15 Å<sup>o</sup> (1,42 – 1,45 nm), kaolinit sekitar 7,13 Å<sup>o</sup> (0,713 nm), sedangkan illit mempunyai jarak basal 9-10 Å<sup>o</sup> (0,9 – 1,0 nm).

Mineral smektit pada tanah-tanah ini pada perlakuan ditandai dengan nilai *peak* 1,420 nm sampai 1,573 nm pada order pertama dengan perlakuan penjujukan Mg<sup>2+</sup>. Hal ini diperkuat dengan munculnya nilai *peak* pada



Gambar 2. Difraktogram sinar X dari lapisan bawah permukaan tanah sawah di lokasi penelitian

Figure 2. X-ray diffractogram of paddy soil subsurface in the study area

perlakuan penjuenan  $Mg^{2+}$ +gliserol dengan kisaran antara 1,73 – 1,810 nm, dan nilai *peak* 1,009 – 1,041 nm pada perlakuan penjuenan  $K^+$ . Nilai *peak* pada perlakuan penjuenan  $K^+$  ini mengindikasikan bahwa mineral smektit tersebut bermuatan tinggi.

Mineral kaolinit dijumpai dalam jumlah yang lebih sedikit. Mineral liat ini ditandai dengan nilai *peak* 0,720 – 0,721 nm pada order pertama dan 0,340 - 0,358 nm pada order kedua. Perlakuan dengan penjuenan  $Mg^{2+}$ +gliserol tidak memberikan nilai *peak* yang berbeda untuk mineral liat kaolinit ini.

Mineral illit pada tanah-tanah ini terdeteksi pada order kedua dengan nilai *peak* antara 0,500 dan 0,517 nm. Keberadaan mineral ini juga terdeteksi pada perlakuan  $Mg^{2+}$ +gliserol dengan nilai *peak* antara 0,992 dan 1,000 nm. Bentuk *peak* yang lemah menunjukkan bahwa jumlah illit pada tanah-tanah ini sedikit (Gambar 2). Bahkan nilai *peak*

pada PI-3 tidak muncul meskipun dalam grafiknya memperlihatkan bentuk yang agak cembung,

Mineral smektit merupakan mineral liat sekunder yang mempunyai kapasitas tukar kation (KTK) yang tinggi. Pembentukan smektit sangat mungkin terjadi secara *in situ*, karena mineral ini terbentuk pada kondisi lingkungan berdrainase jelek, pH netral hingga alkalis, dan adanya akumulasi basa-basa seperti  $Ca^{2+}$  dan  $Mg^{2+}$  serta silika (De Coninck 1974; Van Wambeke 1992). Smektit merupakan mineral liat tipe 2:1 dengan sifat khas yang mempengaruhi sifat fisik-kimia tanahnya. Sifat smektit yang penting adalah mempunyai muatan negatif yang reaktif terhadap lingkungannya, nilai KTK tinggi, mengembang dalam kondisi basah dan mengkerut dalam kondisi kering. Tipe mineral ini sangat dominan dan berperan penting pada tanah ini yang mempunyai sifat-sifat vertis. Tanah-tanah Vertisol atau tanah-tanah yang bersifat vertis biasanya

didominasi mineral liat tipe 2:1, biasanya smektit. Mineral liat lain seperti kaolinit dan illit juga sering dijumpai dalam jumlah yang sedikit (Ristori *et al.* 1992). Mineral smektit dapat juga terbentuk melalui proses pelarutan mineral plagioklas dari pelapukan batuan vulkan plagioklas dari pelapukan batuan vulkan andesit atau augit (Glassmann 1982) atau hasil pelapukan *hornblende* (Rice *et al.* 1985). Di dalam tanah sawah dominasi mineral smektit menyebabkan tanah memberikan respon yang lebih baik pada waktu pemupukan, karena KTK dari smektit yang tinggi. Selain itu, keberadaan smektit juga akan lebih meningkatkan kemampuan tanah dalam menangkap kation-kation yang berasal dari pupuk seperti  $K^+$  atau  $NH_4^+$ , hara makro seperti  $Ca^{2+}$  dan  $Mg^{2+}$  dan hara mikro seperti  $Cu^{2+}$  dan  $Zn^{2+}$  (Borchardt 1989). Tanah-tanah sawah yang didominasi mineral smektit mencirikan terjadinya akumulasi basa-basa, mempunyai nilai pH netral sampai basis, sifat drainase terhambat, dan mempunyai muatan negatif (KTK) tinggi.

Tabel 5. Komposisi mineral liat lapisan atas tanah-tanah sawah dari endapan fluvial dan marin di Indramayu

Table 5. Mineralogical composition of clay fraction in the topsoils of paddy fields from alluvium and marine deposit in Indramayu

| Kode Profil | Kedalaman (cm) | Kaolinit | Smektit | Illit |
|-------------|----------------|----------|---------|-------|
| PI-1        | 19-34          | ++       | +++     | +     |
| PI-2        | 21-43          | ++       | +++     | +     |
| PI-3        | 22-45          | ++       | +++     | +     |
| PI-4        | 18-48          | ++       | +++     | +     |
| PI-5        | 15-36          | ++       | +++     | +     |

Keterangan : +++ = banyak, ++ = sedang, + = sedikit

Kaolinit dapat terbentuk dari hasil pelapukan smektit pada kondisi pH masam atau merupakan hasil pengendapan dari daerah hulu. Dalam kasus ini reaksi tanah-tanah sawah tergolong agak alkalis dengan nilai pH  $H_2O$  umumnya  $> 6.0$ . Kondisi tersebut tidak kondusif untuk pembentukan kaolinit sehingga kaolinit yang ada pada tanah-tanah ini merupakan hasil pengendapan dari daerah hulu. Sedangkan dalam pembentukan illit, salah satu syaratnya adalah lingkungannya mempunyai kandungan  $K^+$  tinggi. Sifat ini tidak tampak pada tanah-tanah di lokasi penelitian yang mempunyai nilai  $K-dd < 2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , sehingga illit yang ada pada tanah-tanah tersebut juga merupakan hasil pengendapan dari daerah hulu. Mineral yang menjadi sumber utama K dalam tanah adalah mineral feldspar, antara lain orthoklas dan sanidin (Prasetyo 2007). Hal ini terlihat dari mineral fraksi pasir

yang tersisa walaupun sangat sedikit. Bentuk *peak* yang lemah serta indikasi *peak* illit yang tidak konsisten pada seluruh perlakuan penjemuran menunjukkan bahwa jumlah illit pada profil-profil tanah ini sangat sedikit.

## Kesimpulan

Tanah-tanah sawah dari endapan fluvio-marin di Indramayu umumnya bersolum dalam, bereaksi agak masam sampai alkalis, mempunyai kadar basa-basa tukar yang cukup tinggi. Basa-basa dapat tukar didominasi oleh  $Ca^{2+}$  dan  $Mg^{2+}$ . Dominasi  $Ca^{2+}$  menunjukkan bahannya berasal dari endapan aluvium, sedangkan dominasi  $Mg^{2+}$  menunjukkan bahannya berasal dari endapan marin.

Tingkat salinitas dari tanah-tanah sawah di Indramayu berkisar dari rendah sampai tinggi. Tingkat salinitas tinggi terdapat pada tanah sawah yang berkembang dari bahan endapan marin atau akibat intrusi air laut. Sedangkan tanah sawah dengan salinitas rendah berkembang dari bahan endapan aluvium yang posisinya agak jauh dari garis pantai sehingga terbebas dari intrusi air laut.

Tanah-tanah sawah dari endapan fluvio-marin di DAS hilir Cimanuk Indramayu mempunyai komposisi mineral liat yang didominasi oleh smektit, diikuti kaolinit dan illit dalam jumlah yang sedikit. Komposisi jenis mineral liat ini berimplikasi terhadap sifat fisik tanahnya. Tanah sawah yang didominasi oleh jenis mineral liat tipe 2:1 (smektit) bersifat keras saat kering atau lengket saat basah.

Tanah-tanah sawah dari endapan fluvio-marin di Indramayu mempunyai kandungan mineral mudah lapuk yang tinggi dari kelompok feldspar dan piroksen. Kondisi ini sangat menguntungkan karena saat melapuk mineral tersebut akan melepaskan unsur hara yang diperlukan tanaman sehingga tingkat kesuburan tanah terpelihara dalam jangka panjang.

## Daftar Pustaka

- Adiningsih JS, Sofyan A, Nursyamsi D. 2000. Lahan sawah dan pengelolaannya. Hlm. 165-196. *Dalam* Adimihardja (Eds.) Sumberdaya Lahan Indonesia dan Pengelolaannya. Puslitbang Tanah dan Agroklimat.
- Anda M, Subardja D. 2013. Assessing soil properties and tidal behaviors as a strategy to avoid environmental degradation in developing new paddy fields in tidal areas. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 181(2013):90-100.
- Ashraf M, Harris JC 2004. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Science* 166(1): 3-16.

- Ayolabi EA, Folorunso AF, Ondukoya AM, Adeniran AE. 2013. Mapping saline water Intrusion into the Coastal Aquifer with Geophysical and Geochemical Techniques. Nigeria.
- BBSDLP. 2017. Atlas Peta Tanah Semidetil skala 1:50000 Kabupaten Indramayu Provinsi Jawa Barat.
- Boer R, Buono A, Sumaryanto A, Surmaini E, Las I, Yelly. 2011. Dampak kenaikan muka air laut pada penggunaan lahan sawah di kawasan pantura. Laporan Akhir Konsorsium Penelitian dan Pengembangan Perubahan Iklim Sektor Pertanian.
- Borchardt GA. 1989. Montmorillonite and othersmectite minerals. pp 293-330. In J.B. Dixon and S.B. Weed (Eds.). Minerals in Soil Environments. Soil Sci. Of Amer., Madison, Wisconsin, USA.
- Buurman P. 1990. Chemical, physical, and mineralogical characteristics for the soil data base. Part 2. Soil Data Base Management. Technical Report No.7, Version 2.1. Land Resource Evaluation and Planing Project. Center for Soil and Agroclimate Research. Bogor.
- Chendy TF, Prasetyo BH. 2001. Peranan data mineral tanah dalam menunjang interpretasi sumber daya tanah. J. Tanah dan Air 2(1):47-56
- De Coninck F. 1974. Physico-chemical aspects of pedogenesis. State University of Ghent, Belgium.
- Djuri. 1995. Peta geologi lembar Arjawinangun, Jawa, skala 1:100.000. Direktorat Geologi Bandung.
- Eviati, Suparto. 2009. Petunjuk teknis analisa kimia tanah, tanaman, air dan pupuk. Edisi-2. Balai Penelitian Tanah, Badan Litbang Pertanian. Bogor. 136 hlm.
- Glasmann JR. 1982. Alteration of andesit in wet, unstable soil of Oregon's western cascades. Clays and Clay Minerals 30:253-263.
- Hardjowigeno S, Subagyo H, Rayes ML. 2004. Morfologi dan klasifikasi tanah sawah. Hlm 1-28. Dalam F. Agus (Eds.) Tanah Sawah dan Teknologi Pengelolannya. Puslitbang Tanah dan Agroklimat. Bogor.
- Hikmatullah, Suparto. 2014. Identifikasi sifat-sifat tanah dari endapan fluvial di Kecamatan Sausu, Kabupaten Parigi Moutong, Sulawesi Tengah. Hlm 53-66. Dalam Subardja *et al.* (Eds.). Pros. Seminar Nasional Sumberdaya Lahan Pertanian. Buku II. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Bogor.
- Huang PM. 1989. Feldspars, olivine, pyroxenes, and amphiboles. In J.B. Dixon and S.B. Weed (Eds.). Minerals in Soil Environments. Soil Sci. of Amer., Madison, Wisconsin, USA. Pp 945-1050.
- Kasno A, Setyorini D, Nurjaya. 2003. Status C-organik lahan sawah di Indonesia. KongresHITI Padang, 21-24 Juli 2003.
- Mfundisi KB, Petros O. 2015. A comparative assessment of soil fertility on flood recession (Molapo) and dryland farms: The case of Xhobe settlement in the Okavango Delta world heritage site. Botswana Notes and Records 47:148-157.
- Mohr EGJ, Van Baren FA, Van Schuylenborgh J. 1972. Tropical Soil. Third Edition. The Hague Paris-Jakarta.
- Parson RB, Herriman RC. 1975. A Lithosequence in the mountains of Southern Oregon. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 39:943-948.
- Pradewa CJ, Sumarno, Kusmiyati F. 2012. Karakteristik fisiologi rumput benggala (*Panicum maximum*) pada tanah salin yang diperbaiki. Animal Agriculture Journal 1:278-285.
- Pramudia A. 2002. Analisis Sensitivitas Tingkat Kerawanan Produksi Padi di Pantai Utara Jawa Barat terhadap Kekeringan dan El-Nino. Tesis. Bogor: Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Prasetyo BH, Subardja D. 1998. Hubungan antara landform, litologi, dan tanah di DAS Citarum Bawah, Jawa Barat. Jurnal Tanah dan Iklim 16:34-42.
- Prasetyo BH, Sosiawan H, Ritung S. 2000. Soil of Pamatikarata, East Sumba: Its suitability and constraints for food cropdevelopment. Indonesian J. of Agric. Sci.1:1-19.
- Prasetyo BH. 2007. Perbedaan sifat-sifat tanah Vertisol dari berbagai bahan induk. Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia 9(1):20-31.
- Prasetyo BH, Suganda H, Kasno A. 2007. Pengaruh bahan vulkan pada sifat tanah sawah. Jurnal Tanah dan Iklim 25:45-58.
- Prasetyo BH, Setyorini D. 2008. Karakteristik tanah sawah dari endapan aluvial dan pengelolaannya. Jurnal Sumberdaya Lahan 2(1):1-14.
- Pusat Penelitian Tanah 1983. Term of ReferenceType A. Publ. P3MT-PPT. Bogor.
- Rachman A, Erfandi D, Ali MN. 2008. Dampak tsunami terhadap sifat-sifat tanah pertanian di NAD dan strategi rehabilitasinya. Jurnal Tanah dan Iklim 28:27-38.
- Rice TJ, Buol SW, Weed SB. 1985. Soil saprolite profiles derived from mafic rock in the North California Piedmont I: Chemical, morphological, and mineralogical characteristics and transformation. Soil Sci. Soc. Am. J. 49:171-178.
- Ristori GG, Sparvalie E, deNobili M, D'Aqui LP. 1992. Characterization of organic matter in particle size fractions of Vertisols. Geoderma 54:295-305.
- Sepehr A, Hosseini A, Naseri K, Gholamhosseinian A. 2022. Biological soil crusts impress vegetation patches and fertile islands over an arid pediment, Iran. Journal of Ecology and Environment 46(1):31-40.
- Soil Survey Laboratory Staff. 1992. Soil survey laboratory methods manual. Soil Survey Investigation Report No. 41. Version 1.0.
- Soil Survey Staff. 2014. Keys to Soil Taxonomy. United

States Departement of Agriculture Natural Research Conservation Service. Twelfth Edition.

Suryani E, Prasetyo BH. 2000. Karakteristik sawah irigasi di daerah Kerawang dan Bekasi. Hlm 35-46. *Dalam* Irsal Las *et al.* (Eds.). Pros. Seminar Nasional Sumber Daya Lahan. Buku II. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.

Swanson FJ, Kratz TK, Caine N, Woodmansee RG. 1988. Landform Effects on Ecosystem Patterns and Processes: Geomorphic features of the earth's surface regulate the distribution of organisms and processes, *BioScience* 38:92–98.

Tan KH. 1998. Principles of Soil Chemistry. Third Edition, Rivise and Expanded. Marcel Dekker Inc. New York-Basel-Hongkong.

Utomo WY. 2013. Analisis Potensi Rawan (Hazard) dan Risiko (Risk) Bencana Banjir dan Longsor (Studi Kasus Provinsi Jawa Barat). Tesis. Bogor: Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.

Van Reeuwijk LP. 1993. Procedures for soil analysis. Fourth edition. Wageningen.

Van Wambeke A. 1992. Soil of the Tropics. Properties and Appraisal. McGraw-Hill. Inc. New York.

Werner AD. 2013. Seawater Intrusion Processes, Investigation and Management: Recent Advance and Future Challenges. Adelaide (AU).

Wichern F, Islam MR, Hemkemeyer M, Watson C, Joergensen RG. 2020. Organic amendments alleviate salinity effects on soil microorganisms and mineralisation processes in aerobic and anaerobic paddy rice soils. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 4:30.

Zeng L, Kwon TR, Liu X, Wilson C, Grieve CM, Gregorio GB. 2004. Genetic diversity analyzed by microsatellite markers among rice (*Oryza sativa* L.) genotypes with different adaptations to saline soils. *Plant Science* (5):1275- 1285.