

STUDI SOIL HIDROLOGY

untuk Penanggulangan Banjir
di PT Cipta Davia Mandiri (CDM)



Fakultas Teknologi Pertanian IPB



Bogor
Maret 2025

STUDI SOIL HIDROLOGY

untuk Penanggulangan Banjir
di PT Cipta Davia Mandiri (CDM)

Yuli Suharnoto

Fakultas Teknologi Pertanian IPB



Bogor
Maret 2025

Kata Pengantar

Kami sampaikan terima kasih kepada REA Group atas kepercayaannya kepada kami untuk melaksanakan penelitian Pengelolaan Banjir di Area Perkebunan PT CDM dengan luas izin lokasi 5,454 Ha yang berlokasi di Kecamatan Long Mesangat dan Muara Ancalong, Kabupaten Kutai Timur, Propinsi Kalimantan Timur.

Ini adalah laporan hasil **Studi *Soil Hydrology*** yang survei lapangnya dilaksanakan dari tanggal 24-29 Februari 2025. Kegiatan survei yang dilakukan pada periode ini meliputi studi tentang tanah, pengukuran debit, pengukuran batimetri, pengukuran muka air sungai. Sebelumnya, tim hidrologi dan tim tanah juga telah mengadakan survei pendahuluan dari tanggal 15-16 Oktober 2024. Hal ini telah dimuat dalam Laporan Survei Pendahuluan.

Kepada semua pihak yang telah terlibat dan membantu dalam pelaksanaan survei dan studi ini, kami menyampaikan ucapan terima kasih. Semoga laporan hasil studi ini dapat dimanfaatkan dengan baik.

Bogor, Maret 2025
Ketua Tim Peneliti Fateta IPB

Yuli Suharnoto

Daftar Isi

1	Pendahuluan	1
1.1	Latar Belakang	1
1.2	Tujuan Penelitian	2
2	Metodologi	3
2.1	Lokasi dan Desain Penelitian	3
2.2	Pengambilan Sampel Tanah	5
2.3	Karakteristik Tanah yang Dianalisis	7
3	Hasil dan Pembahasan	9
3.1	Data Analisa Sampel Tanah	9
3.1.1	Tekstur	9
3.1.2	Kandungan Air Tanah	11
3.1.3	Bulk Density (BD)	15
3.1.4	Permeabilitas	16
3.1.5	Kandungan Bahan Organik	17
3.2	Pembahasan Hasil	18
3.2.1	Permeabilitas	18
3.2.2	<i>Available Water Content</i> (AWC)	33
3.2.3	Hubungan antara Permeabilitas (K) dan <i>Available Water Content</i> (AWC)	48
3.2.4	Clustering	52
3.3	Implikasi Terhadap Studi Banjir	55
4	Kesimpulan	58
	Bibliografi	60
A	Lokasi Pengambilan Sampel Tanah	63
B	Rekapitulasi Parameter Fisik Tanah	71

Daftar Gambar

2.1	Karakteristik tanah di areal kebun sawit PT CDM	4
2.2	Sebaran plot sampel tanah di wilayah kajian	6
3.1	Sebaran sampel tanah dalam Plot Segitiga tekstur	10
3.2	Distribusi Pasir, Debu, dan Liat untuk semua Zona Banjir	11
3.3	Distribusi Field Capacity (FC)	12
3.4	Distribusi Wilting Point (WP)	13
3.5	Distribusi Saturation (SAT)	14
3.6	Distribusi Kapasitas Menahan Air (AWC)	15
3.7	Distribusi Bulk Density (BD) Berdasarkan Zona Banjir	16
3.8	Distribusi Organik Material (OM) Berdasarkan Zona Banjir	17
3.9	Distribusi Permeabilitas Berdasarkan Zona Banjir	18
3.10	Sebaran Permeabilitas (K) di daerah studi	19
3.11	Hubungan Linear antara Permeabilitas (K) dan Wilting Point (WP)	20
3.12	Hubungan Polynomial antara Permeabilitas (K) dan Wilting Po- int (WP)	21
3.13	Hubungan Logarithmic antara Permeabilitas (K) dan Wilting Po- int (WP)	22
3.14	Hubungan Linear antara Permeabilitas (K) dan Field Capacity (FC)	23
3.15	Hubungan Polynomial antara Permeabilitas (K) dan Field Capa- city (FC)	24
3.16	Hubungan Logarithmic antara Permeabilitas (K) dan Field Ca- pacity (FC)	25
3.17	Hubungan Linear antara Permeabilitas (K) dan Saturation (SAT)	27
3.18	Hubungan Polynomial antara Permeabilitas (K) dan Saturation (SAT)	28
3.19	Hubungan Logarithmic antara Permeabilitas (K) dan Saturation (SAT)	29
3.20	Hubungan Linear antara Permeabilitas (K) dan Field Capacity (BD)	31
3.21	Hubungan Polynomial antara Permeabilitas (K) dan Field Capa- city (BD)	32

3.22 Hubungan Logarithmic antara Permeabilitas (K) dan Field Capacity (BD)	33
3.23 Sebaran Available Water Content (AWC) di daerah studi	34
3.24 Hubungan Linear antara Available Water Content (AWC) dan Wilting Point (WP)	35
3.25 Hubungan Polynomial antara Available Water Content (AWC) dan Wilting Point (WP)	36
3.26 Hubungan Logarithmic antara Available Water Content (AWC) dan Wilting Point (WP)	37
3.27 Hubungan Linear antara Available Water Content (AWC) dan Field Capacity (FC)	38
3.28 Hubungan Polynomial antara Available Water Content (AWC) dan Field Capacity (FC)	39
3.29 Hubungan Logarithmic antara Available Water Content (AWC) dan Field Capacity (FC)	40
3.30 Hubungan Linear antara Available Water Content (AWC) dan Saturation (SAT)	42
3.31 Hubungan Polynomial antara Available Water Content (AWC) dan Saturation (SAT)	43
3.32 Hubungan Logarithmic antara Available Water Content (AWC) dan Saturation (SAT)	44
3.33 Hubungan Linear antara Available Water Content (AWC) dan Bulk Density (BD)	46
3.34 Hubungan Polynomial antara Available Water Content (AWC) dan Bulk Density (BD)	47
3.35 Hubungan Logarithmic antara Available Water Content (AWC) dan Bulk Density (BD)	48
3.36 Hubungan Linear antara Available Water Content (AWC) dan Permeability (K)	50
3.37 Hubungan Polynomial antara Available Water Content (AWC) dan Permeability (K)	51
3.38 Hubungan Logarithmic antara Available Water Content (AWC) dan Permeability (K)	52
3.39 Soil Clustering	53
3.40 Soil Clustering berdasarkan 'AWC' dan 'BD'	54
3.41 Soil Clustering berdasarkan 'WP', 'FC', 'SAT'	55

Daftar Tabel

2.1	Distribusi plot sampel tanah berdasarkan zona banjir	5
B.1	Rekapitulasi Parameter Fisik Tanah Hasil Analisa Sampel Tanah	72

Bab 1

Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Kebun sawit PT CDM (REA Group) berada di sekitar dataran banjir (jalur sabuk meander) Sungai Kelinjau dan Sungai Telen. Sebelah barat Sungai Kelinjau merupakan Buaya Estate dan Sebelah Timur merupakan Long Mesangat Estate. Kedua sungai ini terhubung dengan Sungai Mahakam melalui Sungai Kedangkepala. Daerah tangkapan air Sungai Telen dan Sungai Kelinjau ini lebih dari 500 Km² sehingga tergolong sungai yang besar. Kondisi pasang Sungai Mahakam akan berpengaruh terhadap kenaikan muka air di Rawa Mesangat dan Suwi yang berada di sekitar area kebun sawit PT CDM. Hal ini akan berdampak juga terhadap kondisi di dalam areal kebun sawit PT CDM.

Studi tanah memiliki peranan yang sangat penting dalam memahami dan mengelola risiko banjir terutama di areal PT CDM, yang rentan terhadap bencana hidrometeorologi. Karakteristik tanah, seperti tekstur, permeabilitas, dan struktur, secara langsung mempengaruhi kemampuan tanah dalam menyerap atau melimpaskan air hujan sehingga mempengaruhi risiko genangan banjir ketika curah hujan tinggi. Selain itu, analisis karakteristik tanah juga membantu dalam penentuan daerah rawan banjir dan merumuskan strategi mitigasi yang tepat. Oleh karena itu, studi tanah tidak hanya penting untuk memahami dinamika hidrologi tetapi juga untuk perencanaan tata ruang dan pengelolaan sumber daya alam secara berkelanjutan.

Dengan demikian, integrasi data karakteristik tanah ke dalam model prediksi banjir dapat meningkatkan akurasi peringatan dini dan respons terhadap bencana. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengeksplorasi hubungan antara karakteristik tanah dan pola aliran air di berbagai kondisi cuaca, sehingga dapat dihasilkan rekomendasi yang lebih efektif untuk pengelolaan risiko banjir di masa depan.

Berdasarkan hasil scoping studi banjir ini ada dua faktor utama penyebab banjir di area kebun PT CDM, yaitu faktor internal dan eksternal. Faktor internal berkaitan dengan pengelolaan drainase di dalam areal kebun, termasuk

kondisi inlet dan outlet saluran drainase serta topografi wilayah. Ketidaknormalan dalam saluran drainase dapat menyebabkan akumulasi air yang berlebih, terutama saat curah hujan tinggi. Di sisi lain, faktor eksternal melibatkan banjir kiriman dari sungai-sungai terdekat seperti Sungai Kelinjau, Sungai Telen, Sungai Belisuh, Sungai Seggoy, Long Mesangat, dan Sungai Senyun. Kombinasi antara kedua faktor ini menciptakan kondisi yang rentan terhadap banjir, mengancam produktivitas kebun serta kehidupan masyarakat sekitar.

Dampak dari banjir tidak hanya terbatas pada kerugian ekonomi akibat kerusakan tanaman dan infrastruktur, tetapi juga berpengaruh pada kualitas hidup masyarakat sekitar area terdampak mengalami kerugian signifikan akibat genangan air yang berkepanjangan. Hal ini dapat mengganggu siklus pertumbuhan tanaman kelapa sawit dan mengurangi hasil panen serta mengancam mata pencaharian masyarakat yang bergantung pada pertanian. Oleh karena itu, pemahaman mendalam tentang karakteristik tanah dan pengelolaan sumber daya air sangat penting untuk merumuskan strategi mitigasi risiko banjir di area perkebunan ini.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari pengambilan sampel tanah dalam studi ini adalah untuk memahami karakteristik hidrologi tanah yang berkontribusi terhadap dinamika banjir di area perkebunan kelapa sawit. Dengan mengambil sampel dari 16 plot yang tersebar di 6 zona banjir. Setiap zona banjir memiliki karakteristik unik yang dapat mempengaruhi pola aliran air dan potensi terjadinya genangan, sehingga analisis yang mendalam diperlukan untuk merumuskan strategi mitigasi yang efektif.

Analisis yang dilakukan mencakup beberapa parameter penting, yaitu kandungan bahan organik tanah dan tekstur tanah. Tekstur tanah diukur dengan membagi tanah menjadi tiga fraksi utama: pasir, debu, dan liat. Tekstur tanah berpengaruh besar terhadap kadar air tanah pada kondisi field capacity, wilting point, saturation, permeability dan kapasitas retensi air. Parameter ini membantu dalam memahami seberapa banyak air yang dapat disimpan oleh tanah dan kemampuan tanah dalam mengalirkan air.

Pengambilan sampel di setiap zona banjir dirancang untuk memastikan representativitas data yang diperoleh. Dengan demikian, hasil analisis dapat digunakan untuk membandingkan karakteristik hidrologi antar zona banjir, memberikan wawasan tentang bagaimana faktor-faktor ini berkontribusi terhadap risiko banjir. Data yang diperoleh tidak hanya akan membantu dalam memahami kondisi saat ini tetapi juga akan menjadi dasar bagi pengembangan model prediksi banjir dan perencanaan pengelolaan lahan yang lebih baik di masa depan.

Bab 2

Metodologi

2.1 Lokasi dan Desain Penelitian

Penempatan plot sampel tanah berdasarkan informasi tanah dari peta landsystem. Areal kebun sawit PT CDM terbagi menjadi 3 jenis karakteristik tanah (Gambar 1), yaitu tanah mineral non pasir, tanah mineral dan tanah organik. Tanah organik yang lebih dikenal dengan tanah gambut (ordo Histosol) sebagian besar berada di areal Buaya Estate yang sering terendam dalam jangka waktu lama dengan kedalaman yang bervariasi. Tanah gambut ini berada di atas tanah berpasir. Tanah mineral non pasir sebagian besar tersebar di areal Long Mesangat Estate, yaitu ordo Ultisol dan Inseptisol. Tanah mineral non pasir yang sering tergenang (sekitar daerah rawa Mesangat dan Suwi, dan dataran banjir Sungai Kelinjau) tergolong tanah ordo Entisol. Tanah mineral pasir banyak tersebar di Buaya Estate (Divisi 5-Divisi 7), tergolong dalam ordo Spodosol. Untuk plot sampel tanah yang diambil Sebagian besar tersebar di daerah daerah yang sering tergenang banjir



(a) Tanah spodosol yang memiliki lapisan padas di Divisi 5 Buaya Estate



(b) Kebun sawit di Tanah gambut (histosol) di Divisi 7 Buaya Estate



(c) Kebun sawit di tanah mineral non pasir di Divisi 4 Long Mesangat Estate

Gambar 2.1: Karakteristik tanah di areal kebun sawit PT CDM

Pengambilan sampel tanah dilakukan untuk mengetahui karakteristik hidrologi tanah secara spesifik. Karakteristik hidrologi tanah seperti tekstur tanah (3 fraksi: pasir, debu, liat); kandungan air tanah pada kondisi kapasitas lapang, titik layu permanen, kondisi jenuh; kapasitas menahan air; bulk density; dan permeabilitas tanah. Sekitar 16 plot sampel tanah yang mewakili zona banjir wilayah kajian telah diambil (Gambar 2 dan Tabel 1). Lokasi Zona banjir 1, 3, 5 dan 6 diambil masing-masing 3 plot sampel, zona banjir 2 dan 4 diambil masing-masing 2 plot sampel.

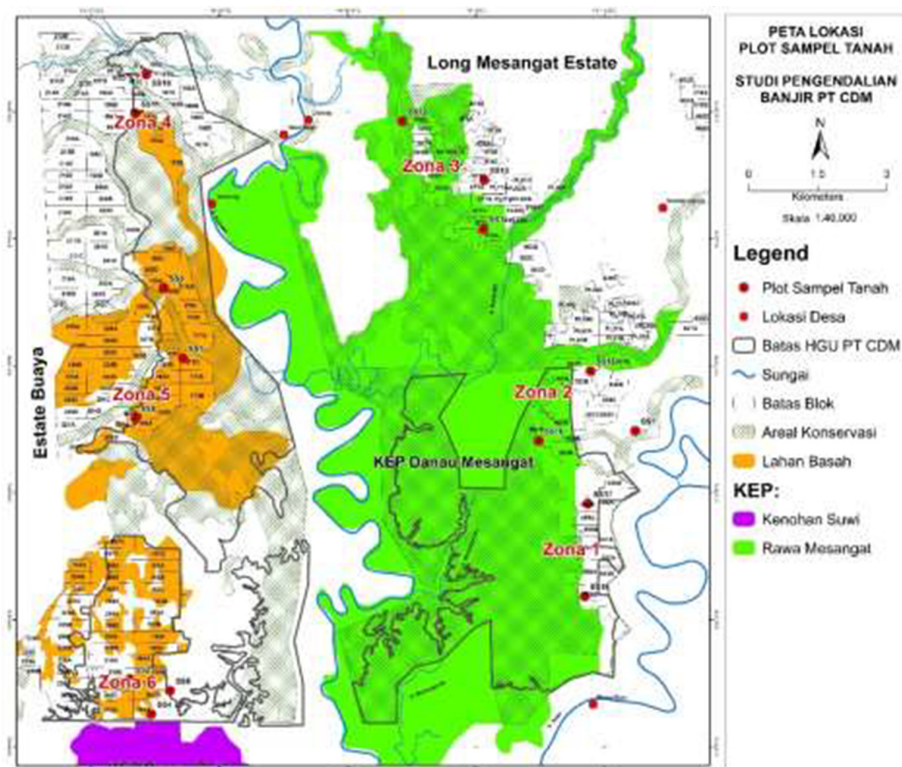
Tabel 2.1: Distribusi plot sampel tanah berdasarkan zona banjir

No	Zona Banjir	Lokasi	Plot Sampel Tanah	Jumlah plot
1	Zona 1	Areal kebun sawit Divisi 10, yang berbatasan dengan rawa mesangat dan Sungai Telen	SS 16, SS 17, SS 18	3
2	Zona 2	Areal kebun sawit Divisi 3 dan Divisi 1 sekitar Sempadan Sungai Senyun	SS 1, SS 15	2
3	Zona 3	Areal kebun sawit Divisi 4 bagian barat dan selatan	SS 12, SS 13, SS 14	3
4	Zona 4	Divisi 5, bagian timur: <ul style="list-style-type: none"> • Areal kebun sawit di lahan gambut sekitar Muara Sungai Temaring, yaitu Blok 182C, 182D, 183A, 183B di Divisi 5 yang sering banjir • Areal kebun sawit di tanah mineral sekitar muara Sungai Belesuh 	SS 10, SS 11	2
5	Zona 5	Divisi 6 bagian timur dan Divisi 7, Sebagian besar merupakan Areal kebun sawit di Lahan gambut	SS 4, SS 5, SS 6	3
6	Zona 6	Divisi 8 & 9, bagian selatan: lahan gambut sebagai Areal kebun sawit	SS 7, SS 8, SS 2	3
Jumlah total plot				16

2.2 Pengambilan Sampel Tanah

Metode pengambilan sampel tanah yang digunakan dalam studi ini adalah pengambilan **sampel tanah komposit** dengan menggunakan **bor auger**. Teknik ini dipilih karena kemampuannya untuk mengambil sampel yang representatif dari berbagai kedalaman dan kondisi tanah. Bor auger adalah alat yang dirancang khusus untuk menggali dan mengumpulkan sampel tanah dengan cara memutar dan mengangkat material tanah dari lokasi yang ditentukan. Proses ini memungkinkan peneliti untuk mendapatkan sampel yang mencakup lapisan tanah atas serta lapisan di bawahnya, memberikan gambaran yang lebih lengkap tentang karakteristik hidrologi tanah di area kajian.

Pengambilan sampel dilakukan dengan cara menentukan lokasi plot berdasarkan zonasi banjir yang telah ditetapkan sebelumnya. Di setiap plot, bor auger digunakan untuk mengebor ke dalam tanah hingga kedalaman tertentu,



Gambar 2.2: Sebaran plot sampel tanah di wilayah kajian

biasanya mencapai lapisan tanah yang relevan untuk analisis hidrologi. Setelah bor mencapai kedalaman 50-70 cm, sampel tanah diambil dan dikumpulkan dalam wadah bersih untuk mencegah kontaminasi. Sampel komposit dihasilkan dengan menggabungkan beberapa sub-sampel dari kedalaman yang berbeda dalam satu lokasi, sehingga menghasilkan representasi yang lebih akurat dari kondisi tanah secara keseluruhan.

Setelah pengambilan sampel, setiap wadah diberi label dengan informasi terkait lokasi, kedalaman, dan tanggal pengambilan untuk memudahkan pengolahan data selanjutnya. Sampel kemudian dibawa ke laboratorium untuk analisis lebih lanjut, termasuk pengujian tekstur, kandungan air, kapasitas menahan air, bulk density, dan permeabilitas. Dengan menggunakan metode ini, diharapkan data yang diperoleh dapat memberikan wawasan mendalam tentang karakteristik tanah yang berkontribusi terhadap dinamika banjir di area perkebunan kelapa sawit. Penggunaan bor auger sebagai alat utama dalam pengambilan sampel juga memastikan efisiensi dan akurasi dalam proses pengumpulan data, sehingga hasil penelitian dapat diandalkan untuk perencanaan dan mitigasi risiko banjir di masa depan.

2.3 Karakteristik Tanah yang Dianalisis

Dalam studi tanah yang dilakukan untuk mendukung analisis banjir, beberapa parameter kunci diukur untuk memahami karakteristik hidrologi tanah. Salah satu parameter utama adalah **tekstur tanah**, yang terdiri dari tiga fraksi: pasir, debu, dan liat. Tekstur tanah berpengaruh besar terhadap kemampuan tanah dalam menyimpan dan mengalirkan air. Pasir, dengan ukuran partikel yang lebih besar, memiliki kemampuan drainase yang baik namun kapasitas retensi air yang rendah. Sebaliknya, tanah liat, yang terdiri dari partikel lebih kecil, dapat menyimpan air lebih banyak tetapi memiliki permeabilitas yang rendah. Debu berada di antara keduanya dan dapat mempengaruhi keseimbangan antara retensi dan drainase air.

Selanjutnya, **kandungan air tanah** diukur dalam beberapa kondisi, yaitu kapasitas lapang, titik layu permanen, dan kondisi jenuh. Kapasitas lapang adalah jumlah maksimum air yang dapat disimpan oleh tanah setelah kelebihan air mengalir keluar, sedangkan titik layu permanen adalah kondisi di mana tanaman tidak dapat lagi mengambil air dari tanah. Kondisi jenuh menggambarkan keadaan ketika semua pori-pori tanah terisi penuh dengan air. Pemahaman tentang ketiga kondisi ini sangat penting untuk mengevaluasi ketersediaan air bagi tanaman serta potensi genangan saat terjadi hujan lebat.

Kapasitas menahan air juga diukur untuk menilai seberapa banyak air yang dapat ditahan oleh tanah dalam jangka waktu tertentu. Parameter ini sangat relevan untuk menentukan seberapa efektif tanah dapat mendukung pertumbuhan tanaman selama periode kekeringan. Selain itu, **bulk density** atau kepadatan massa tanah diukur untuk memberikan informasi tentang kompaksi tanah. Kepadatan tinggi dapat mengurangi porositas dan memperlambat infiltrasi air, sehingga meningkatkan risiko genangan saat hujan.

Terakhir, **permeabilitas tanah** diukur untuk menentukan seberapa cepat air dapat bergerak melalui profil tanah. Parameter ini penting dalam konteks banjir karena permeabilitas yang rendah dapat menyebabkan akumulasi air di permukaan, meningkatkan risiko genangan. Sebaliknya, permeabilitas yang tinggi memungkinkan air mengalir lebih cepat ke dalam tanah, mengurangi potensi banjir. Dengan menganalisis semua parameter ini secara komprehensif, penelitian ini bertujuan untuk memberikan wawasan yang lebih baik tentang bagaimana karakteristik tanah berkontribusi terhadap dinamika banjir di area perkebunan kelapa sawit.

Bab 3

Hasil dan Pembahasan

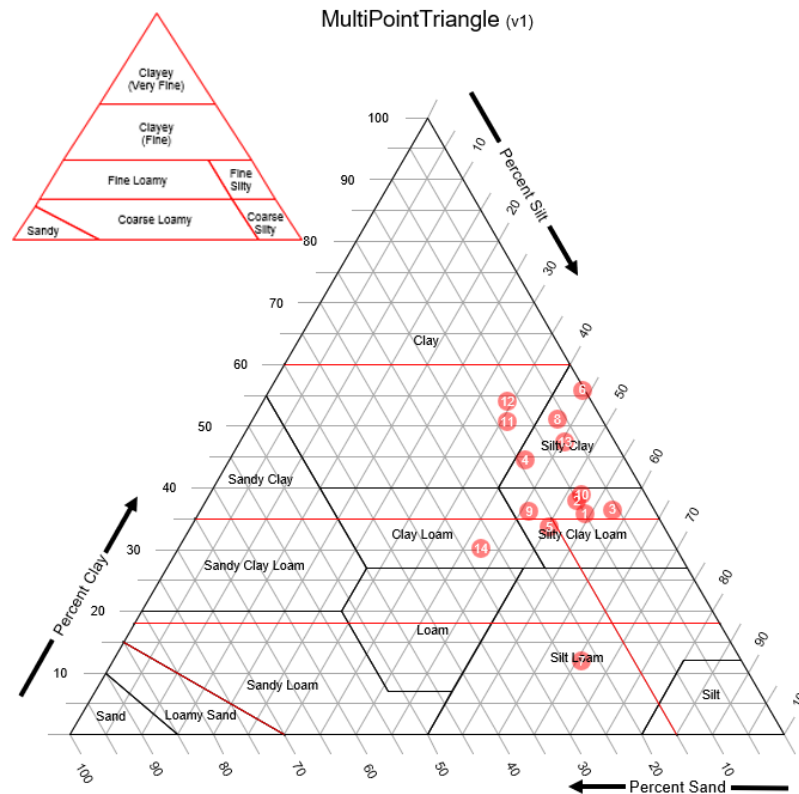
3.1 Data Analisa Sampel Tanah

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan wawasan yang lebih baik tentang bagaimana karakteristik tanah yang sering terdampak oleh dinamika banjir di area kebun sawit PT CDM. Parameter ini akan dianalisa secara komprehensif sehingga memberikan informasi yang penting untuk mendukung rencana aksi pengendalian dampak banjir. Dari sampel tanah yang diambil, terdapat tanah mineral dan tanah gambut (organik). Dalam analisa fisik tanah dibatasi oleh kandungan C organik tanah sebesar 12%. Untuk tanah mineral memiliki kandungan C organik tanah kurang dari 12% sehingga dapat dianalisa sifat fisik nya (komposisi tekstur). Sedangkan tanah gambut yang memiliki kandungan C organik tanah lebih besar dari 12% tidak bisa dilanjutkan analisa fisik tanahnya. Untuk sampel tanah gambut terdapat do zona banjir 5 dan 6 (sampel 2 dan 8). Foto lokasi plot sampel tanah di lapangan disajikan Lampiran A dan hasil analisa sampel tanah selengkapnya disajikan di Lampiran B.

3.1.1 Tekstur

Tekstur tanah dinilai dari distribusi kandungan pasir (*sand*), debu (*silt*), dan liat (*clay*). Kondisi tekstur tanah ini akan menentukan karakteristik respon hidrologinya, seperti sifat drainase tanah; permeabilitas tanah; kandungan air tanah pada kondisi jenuh, kapasitas lapang, dan titik layu permanen.

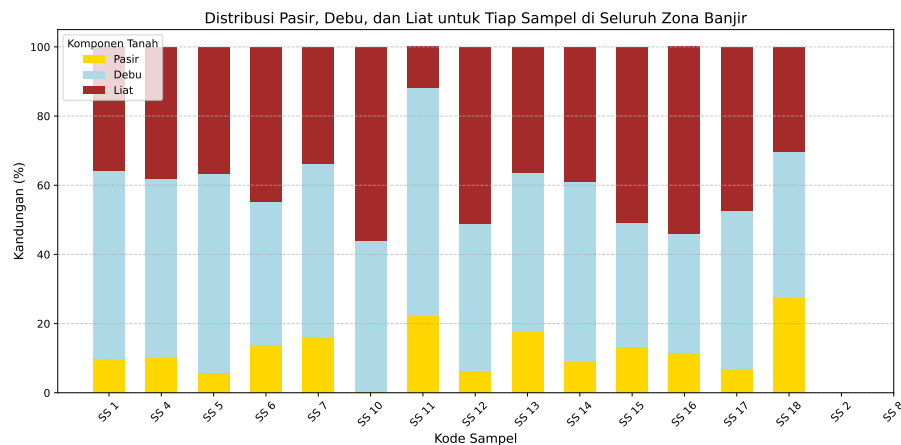
Berdasarkan hasil plotting sampel tanah mineral pada segitiga tekstur (Figure 3.1), hasil sampel tanah berada pada kelas tekstur lempung berdebu (silty loam), liat berdebu (silty clay), lempung liat berdebu (silty clay lloam), lempung berliat (clay loam) dan liat (clay). Berdasarkan ukuran partikel tanah, kelas tekstur ini tergolong sedang hingga sangat halus; dimana kandungan fraksi debu dan liat lebih dominan dibandingkan fraksi pasir.



Gambar 3.1: Sebaran sampel tanah dalam Plot Segitiga tekstur

Berdasarkan data-data komposisi tekstur tanah tersebut, dapat dilihat bahwa secara *pedogenesis* tanah di wilayah kajian merupakan daerah yang sering terdampak banjir yang sudah berlangsung sangat lama sehingga menjadi penciri tanah¹ utamanya. Begitu juga landformnya merupakan *river valey* sabuk meander dari sungai sungai besar (Sungai Kelinjau dan Sungai Telen). Hal tersebut berdampak terhadap karakteristik hidrologinya, yaitu memiliki permeabilitas tanah yang sangat rendah (drainase buruk). Tanah yang liat tidak memiliki ruang pori makro sehingga drainasenya lambat - sangat lambat. Jika terjadi genangan di tanah ini akan lama sekali keringnya, karena itu harus di drainase ke luar lokasi. Figure 3.2 menyajikan distribusi komposisi pasir, debu, dan liat untuk tiap sampel di semua zona banjir. Kode sampel SS 2 dan SS 8 adalah tanah organik sehingga tidak mempunyai kandungan fraksi pasir dan liat.

¹Pembedanya adalah warnanya, semakin sering terendam air, tanah liat semakin gelap (abu-abu hingga hitam). Semakin jarang terendam air, tanah liat berwarna semakin cerah

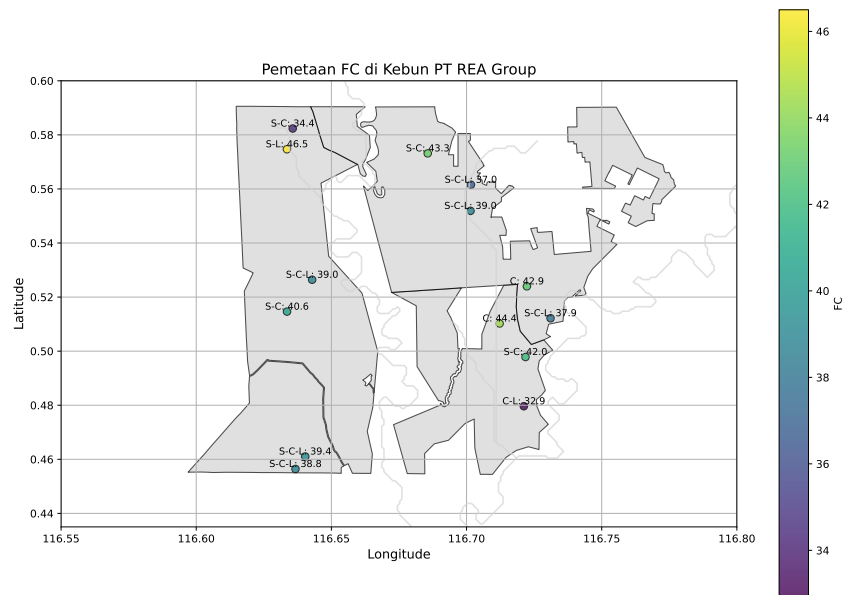


Gambar 3.2: Distribusi Pasir, Debu, dan Liat untuk semua Zona Banjir

3.1.2 Kandungan Air Tanah

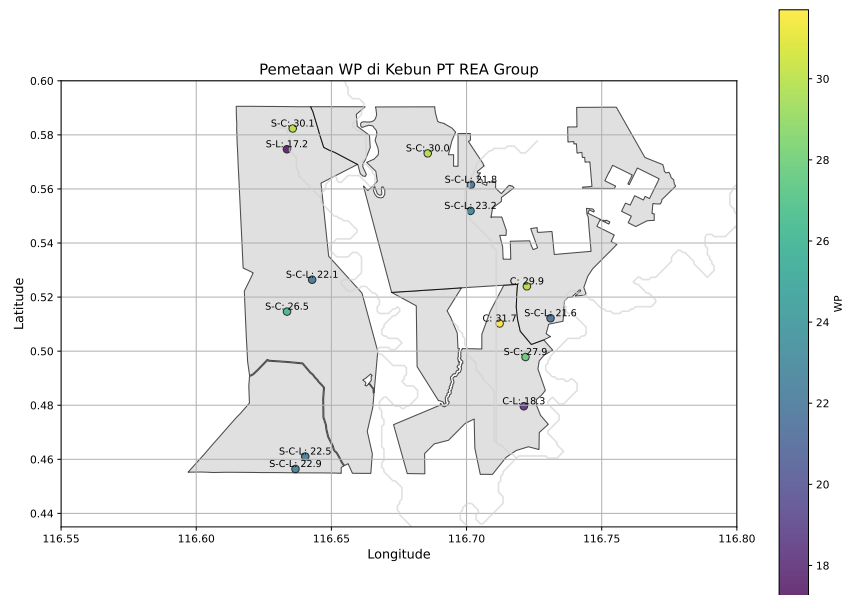
Parameter kandungan air tanah diukur pada 3 kondisi, yaitu kapasitas lapang atau *field capacity* (pF 2), titik layu permanen atau *wilting point* (pF 4.2), dan kondisi jenuh atau *saturation* (pF 0). Kapasitas lapang adalah jumlah maksimum air yang dapat disimpan oleh tanah setelah kelebihan air di pori makro mengalir keluar karena gravitasi. Titik layu permanen adalah kondisi di mana airtanah terikat di pori mikro tanah sehingga tanaman tidak dapat lagi mengambil air dari tanah yang menyebabkan layu permanen. Kondisi jenuh menggambarkan keadaan tanah ketika semua pori-pori tanah terisi penuh dengan air. Biasanya, kondisi jenuh tercapai pada saat tanah tergenang. Pada kondisi airtanah jenuh, air yang tersimpan dalam tanah tidak stabil karena akan terjadi perkolasi ke lapisan tanah di bawahnya. Jika terdapat di lahan yang berlereng (slope lebih dari 3° atau 5%) maka akan terjadi *lateral flow* (aliran air secara mendatar). Pemahaman tentang ketiga kondisi ini sangat penting untuk mengetahui kapasitas maksimum tanah dalam menyimpan air. Selisih kadar airtanah pada kondisi jenuh dengan kondisi titik layu permanen merupakan kapasitas maksimum penyimpanan air dalam tanah.

Figure 3.3 menunjukkan bahwa kadar air tanah pada *field capacity* berkisar antara 32.9% - 46.5%. Rata-rata nilai kapasitas lapang di zona banjir 2 dan 4 relatif lebih tinggi dari zona banjir lainnya (40.4%), selanjutnya zona banjir 1,2 dan 5 (39.8%) dan zona banjir 6 (39.1%).



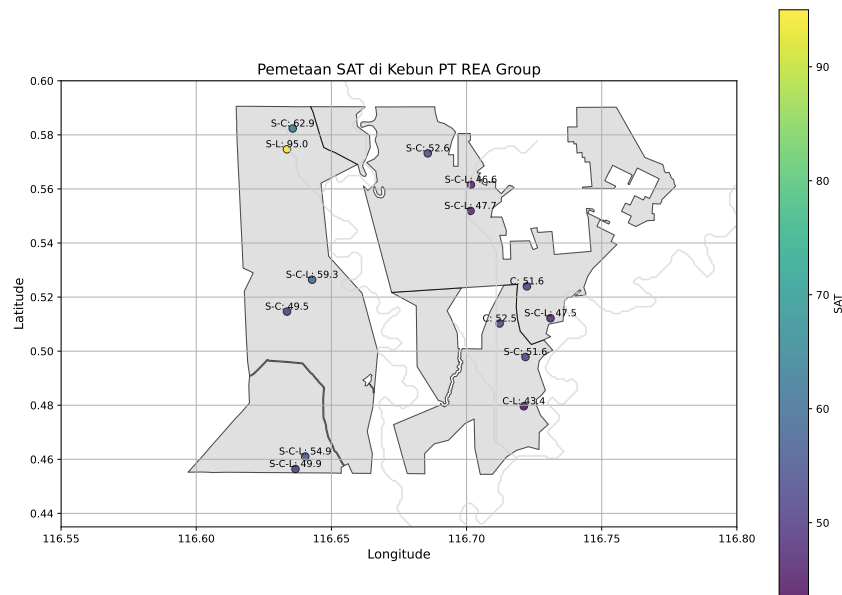
Gambar 3.3: Distribusi Field Capacity (FC)

Figure 3.4 menunjukkan bahwa kadar air tanah pada *wilting point* berkisar antara 17.2% - 31.7%. Seperti halnya nilai *field capacity*, sebaran nilai *wilting point* tidak berbeda signifikan antar wilayah zona banjir. Rata-rata nilai *wilting Point* di zona banjir 1 relatif lebih tinggi dari zona banjir lainnya (26%). Selanjutnya; zona banjir 2 (25.8%), zona banjir 3 (25.0%), zona banjir 5 (24.3%), zona banjir 4 (23.7%) dan zona banjir 6 (22.7%).



Gambar 3.4: Distribusi Wilting Point (WP)

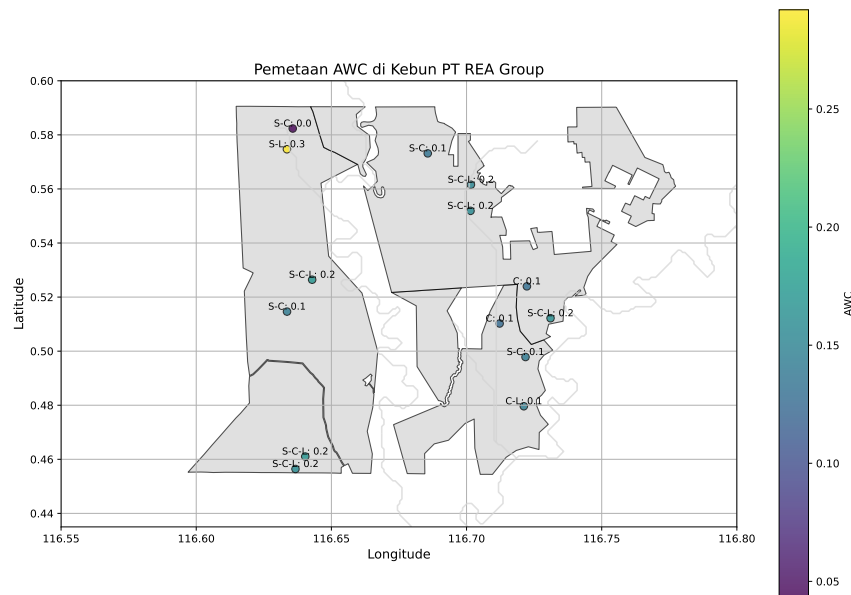
Figure 3.5 menunjukkan bahwa kadar air tanah pada *saturation* berkisar antara 43.4% - 95%. Seperti halnya nilai *field capacity*, sebaran nilai *saturation* tidak berbeda signifikan antar wilayah zona banjir. Rata-rata nilai *saturation* di zona banjir 4 relatif lebih tinggi dari zona banjir lainnya (78.95%). Selanjutnya; zona banjir 5 (54.40%), zona banjir 6 (52.40%), zona banjir 2 (49.55%), zona banjir 1 (49.17%) dan zona banjir 3 (48.97%).



Gambar 3.5: Distribusi Saturation (SAT)

Parameter kapasitas menahan air tersedia (*Available Waterholding Capacity* / AWC) juga dihitung untuk mengetahui seberapa banyak air yang dapat disimpan tanah dalam jangka waktu tertentu. Besarnya AWC tergantung dari selisih antara kondisi kapasitas lapang (FC) dengan kondisi titik layu permanen (WP) yang dipengaruhi oleh tekstur tanah, struktur tanah, dan kedalaman tanah. Dalam konteks hidrologi, AWC memiliki hubungan yang erat dengan proses-proses siklus air, seperti infiltrasi, perkolasi, dan evaporasi. AWC merupakan salah satu parameter penting dalam mengelola air tanah dan memahami bagaimana air bergerak dan tersimpan di dalam tanah.

Berdasarkan hasil analisa sampel tanah, dapat dilihat bahwa besarnya AWC berkisar antara 4.3% - 29.3%. Seperti halnya nilai *field capacity*, sebaran nilai AWC tidak berbeda signifikan antar wilayah zona banjir (**Figure 3.6**). Nilai AWC pada zona 1 dan 4 adalah 10.7% dan 17%, selanjutnya zona banjir 5 dan 6 (16%). Nilai AWC paling rendah di zona banjir 2 (9.3%). Zona banjir 3 relatif hampir sama (15%)



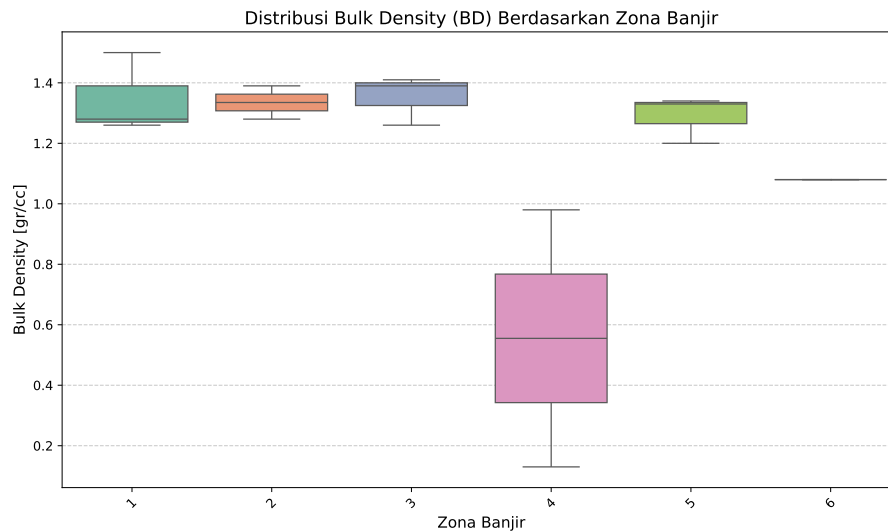
Gambar 3.6: Distribusi Kapasitas Menahan Air (AWC)

3.1.3 Bulk Density (BD)

Bulk density atau kepadatan massa tanah adalah massa per volume total tanah, termasuk pori-pori udara dan air di dalamnya. Parameter ini dihitung dengan membagi massa tanah kering dengan volume sampel tanah (termasuk ruang kosong). *Bulk density* menggambarkan seberapa padat atau rapat tanah tersebut (kompaksi tanah) yang berpengaruh pada pergerakan air, perakaran tanaman, dan kapasitas tanah untuk menyimpan air. Nilai *bulk density* yang tinggi menunjukkan tanah yang padat dan kurang porous akan memperlambat infiltrasi air sehingga meningkatkan risiko genangan saat hujan. Nilai *bulk density* untuk tanah mineral umumnya berkisar antara 1.0 – 1.6 g/cm³, tergantung pada jenis tanah. Untuk tanah gambut, umumnya kurang dari 0.5 g/cm³, tergantung pada tingkat pelapukan gambutnya (*saprist*, *hemist*, *fibrist*).

Distribusi *bulk density* (BD) untuk tiap zona banjir disajikan pada Figure 3.7; terlihat bahwa besarnya BD hasil analisa sampel tanah berkisar antara 0.13% - 1.5%. Plot sampel tanah di lahan gambut (SS2 dan SS18) dan di tanah mineral dengan bahan organik dominan memiliki nilai *bulk density* yang rendah (kurang dari 0.5%). Sampel tanah di SS10 dan 11 sebenarnya di lahan gambut namun dangkal sehingga tanah di lapisan bawahnya terbawa untuk kedalaman 100 cm (pasir dominan). Seperti halnya nilai *field capacity*, sebaran nilai AWC tidak berbeda signifikan antar wilayah zona banjir. Rata-rata nilai BD di zona banjir 1,2 dan 3 relatif tidak berbeda signifikan, yaitu sebesar 1.3%. Begitu

juga untuk zona banjir 5 dan 6, yaitu sebesar 1.2%. Nilai BD paling rendah di zona banjir 4 (0.56%). Sebaran nilai BD paling lebar di zona banjir 4-6 karena sampelnya berada di tanah mineral dan tanah gambut.



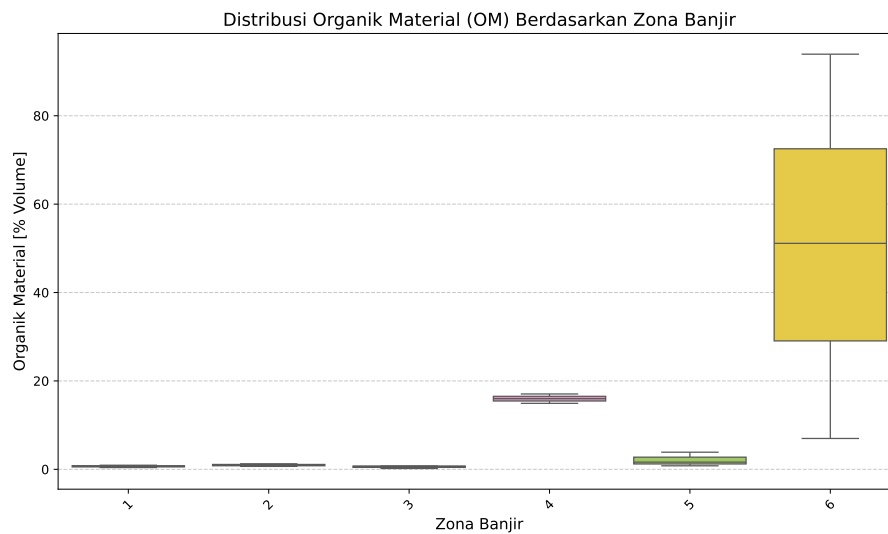
Gambar 3.7: Distribusi Bulk Density (BD) Berdasarkan Zona Banjir

Berdasarkan data-data tersebut, dapat dilihat bahwa kepadatan tanah di Estate Long Mesangat relatif lebih tinggi dari zona banjir yang berada di Estate Buaya. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi BD akan semakin padat tanah dan semakin rendah tingkat porositas tanah.

3.1.4 Permeabilitas

Permeabilitas tanah diukur untuk menentukan seberapa cepat air dapat bergerak melalui profil tanah. Parameter ini penting dalam konteks banjir karena permeabilitas yang rendah dapat menyebabkan akumulasi air di permukaan, meningkatkan risiko genangan. Sebaliknya, permeabilitas yang tinggi memungkinkan air mengalir lebih cepat ke dalam tanah, mengurangi potensi banjir. Besarnya nilai permeabilitas tanah dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti tekstur tanah (ukuran butir), struktur tanah, dan kadar bahan organik.

Hasil pengukuran di setiap plot sampel tanah menunjukkan variasi yang sangat tinggi. Tanah mineral dengan kandungan bahan organik yang rendah memiliki permeabilitas yang sangat rendah 1.3-9.4 mm/jam. Namun dari tanah mineral yang mengandung bahan organik yang cukup besar memiliki permeabilitas 47 – 266 mm/jam (Gambar 10). Selain itu juga, Secara khusus hal ini ditunjukkan oleh kondisi tekstur tanah dengan fraksi yang halus yang sehingga permeabilitasnya tergolong sangat lambat. Gambar



Gambar 3.8: Distribusi Organik Material (OM) Berdasarkan Zona Banjir

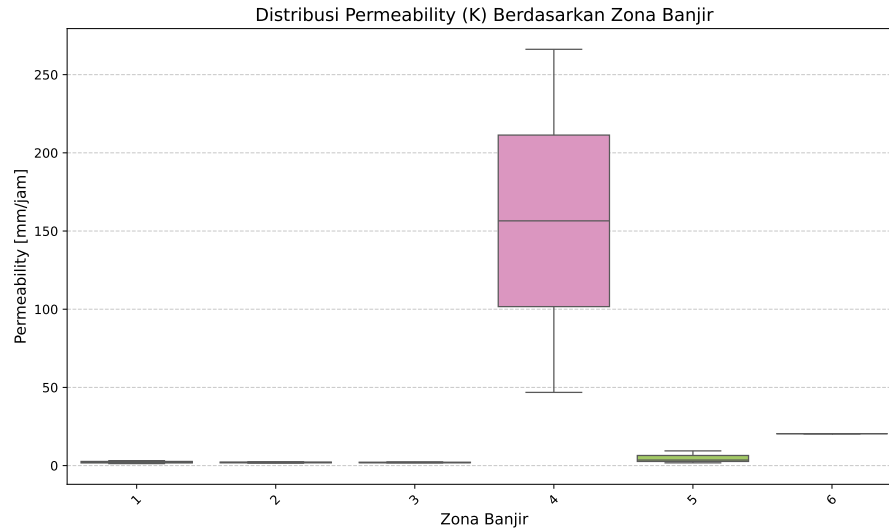
3.1.5 Kandungan Bahan Organik

Bahan organik memiliki peran yang sangat penting bagi permeabilitas tanah. Meskipun bahan organik sendiri tidak langsung mengalirkan air, keberadaannya dapat mempengaruhi struktur tanah, sifat fisik, dan kemampuan tanah untuk menyerap serta mengalirkan air. Bahan organik (seperti humus, sisa tanaman, dan mikroorganisme tanah) membantu meningkatkan struktur tanah. Tanah yang kaya bahan organik cenderung memiliki struktur yang lebih baik, dengan agregat tanah yang lebih besar dan lebih stabil. Agregat ini membentuk ruang pori yang lebih besar sehingga menciptakan lebih banyak ruang udara dalam tanah, memungkinkan air untuk lebih mudah meresap dan bergerak melalui tanah dan meningkatkan permeabilitas tanah. Secara umum, bahan organik meningkatkan permeabilitas tanah, tetapi pengaruhnya sangat tergantung pada jumlah, jenis bahan organik, dan interaksi dengan komponen tanah lainnya.

Hasil analisa sampel tanah menunjukkan bahwa kandungan bahan organik tanah (soil organic matter / SOM) bervariasi antara 0.19 – 17.05% (Figure 3.8). Plot sampel tanah yang memiliki kandungan bahan organik yang tinggi merupakan tanah gambut namun memiliki kedalaman yang dangkal, sebagian besar di zona banjir 4, 5 dan 6. Untuk plot sampel SS2 (Zona Banjir 6) dan SS8 (Zona Banjir 5) yang berada di lahan gambut yang cukup dalam memiliki kandungan bahan organik masing-masing 53% dan 94%; sangat tinggi.

Kandungan bahan organik plot-plot sampel tanah di Buaya Estate relatif jauh lebih tinggi dibandingkan plot-plot sampel tanah di Estate Long Mesangat. Kandungan bahan organik antar zona banjir di estate long mesangat relatif tidak

berbeda signifikan. Rata-rata kandungan bahan organik di plot Zona banjir 1 sekitar 0.67%, zona banjir 2 sekitar 0.96% dan zona banjir 3 sekitar 0.54%. Untuk di estate buaya, kandungan bahan organik di zona 4 paling tinggi di antara zona banjir yang lainnya, sebesar 16%. Kandungan bahan organik di zona 5 hanya 3.89% sedangkan di zona 6 hanya 2.75%.



Gambar 3.9: Distribusi Permeabilitas Berdasarkan Zona Banjir

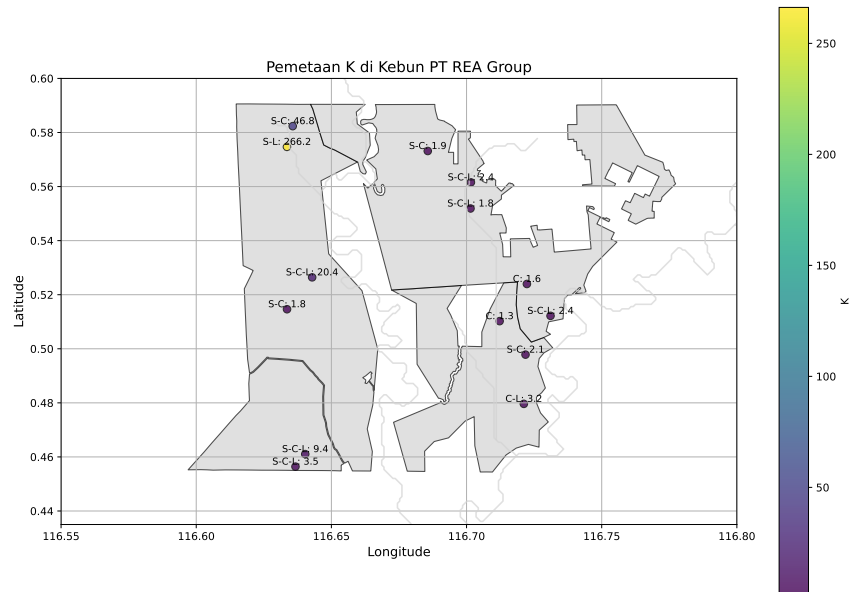
Berdasarkan data-data tersebut, dapat dilihat bahwa terdapat lahan gambut di zona banjir 4-6 (Estate Buaya) sejalan dengan landformnya sebagai daerah rawa balik punggung Sungai Kelinjau di sebelah lembah sungai jalur sabuk meander. Kandungan bahan organik tanah di tanah mineral masih dalam kisaran normal. Untuk parameter permeabilitas tanah, semua zona banjir tergolong sangat lambat sehingga memiliki sifat drainase yang buruk (sangat rentan tergenang).

3.2 Pembahasan Hasil

3.2.1 Permeabilitas

Sub bab ini akan membahas hubungan antara permeabilitas (K) dengan Titik Layu Permanen atau *Wilting Point* (WP), Kapasitas Lapang atau *Field Capacity* (FC), Kejenuhan atau *Saturation* (SAT), dan *Bulk Density* (BD). Sebaran

plot sampel tanah berdasarkan besarnya permeabilitas dan kelas teksturnya (S: *Silty*, C: *Clay*, L: *Loam*) disajikan pada Figure 3.10:



Gambar 3.10: Sebaran Permeabilitas (K) di daerah studi

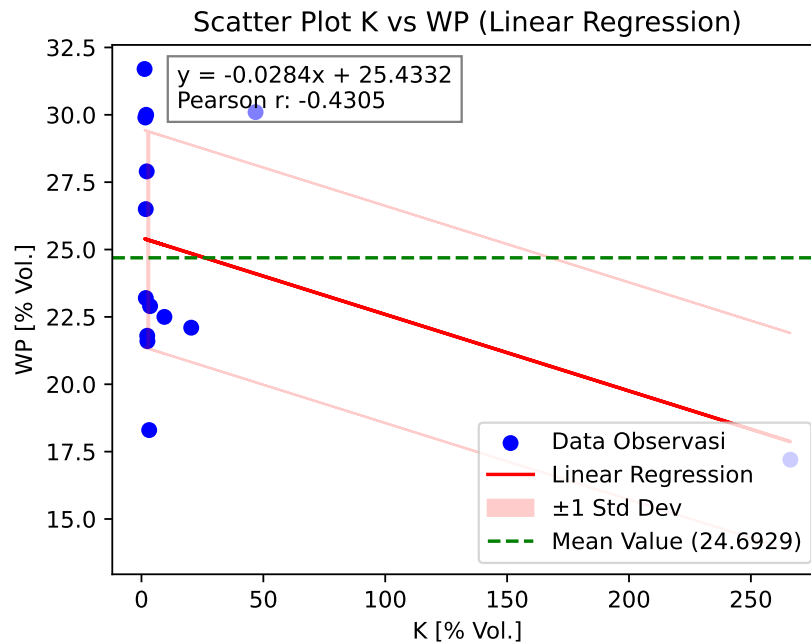
Hubungan antara Permeabilitas (K) dan *Wilting Point* (WP)

Permeabilitas (K) dan *Wilting Point* (WP) adalah dua sifat tanah yang berhubungan dengan pergerakan air, tetapi mereka mengukur hal yang berbeda dan memiliki pengaruh yang berbeda terhadap bagaimana air berinteraksi dengan tanah.

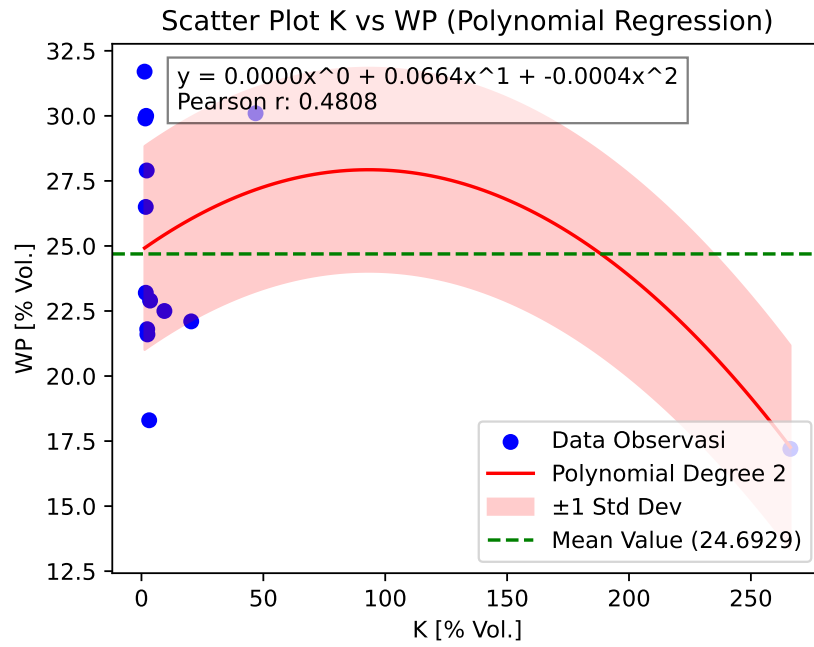
Berdasarkan hasil analisa sampel tanah, tanah di wilayah kajian memiliki tekstur lempung berdebu (*silty loam*), liat berdebu (*silty clay*), lempung liat berdebu (*silty clay loam*), lempung berliat (*clay loam*) dan liat (*clay*). Kelas tekstur tanah ini memiliki kandungan fraksi liat dan debu yang lebih dominan. Tanah liat, yang memiliki partikel sangat kecil dan banyak ruang pori mikro, memiliki permeabilitas rendah, yang berarti pergerakan air dalam tanah ini lebih lambat. Air bergerak dengan sangat perlahan dan mudah tertahan dalam tanah. Tanah liat memiliki kapasitas penyimpanan air yang lebih besar, sehingga dapat menyimpan lebih banyak air daripada tanah berpasir. Kandungan airtanah tanah bertekstur liat pada kondisi *Wilting Point* lebih tinggi (lebih dari 30%), karena tanah ini dapat menahan lebih banyak air dalam pori-porinya yang lebih kecil. Namun, meskipun tanah liat memiliki kapasitas penyimpanan air yang lebih tinggi, air yang tersisa setelah mencapai *Wilting Point* lebih sulit diakses oleh tanaman karena air terikat lebih kuat pada partikel tanah liat.

Tanah yang permeabel tinggi, seperti pasir, memiliki kemampuan yang baik untuk memungkinkan air mengalir melalui tanah, yang berarti air mudah masuk dan keluar dari lapisan tanah. Namun, *Wilting Point* pada tanah pasir cenderung terjadi pada kandungan airtanah yang lebih rendah karena pasir memiliki kapasitas penyimpanan air yang rendah. Meskipun air dapat mengalir cepat melalui pasir, air yang tertahan (terikat secara kuat pada butiran pasir) lebih sedikit. Dengan kata lain, meskipun tanah ini cepat kering, air yang tersisa setelah tanah mencapai *Wilting Point* mungkin tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan tanaman.

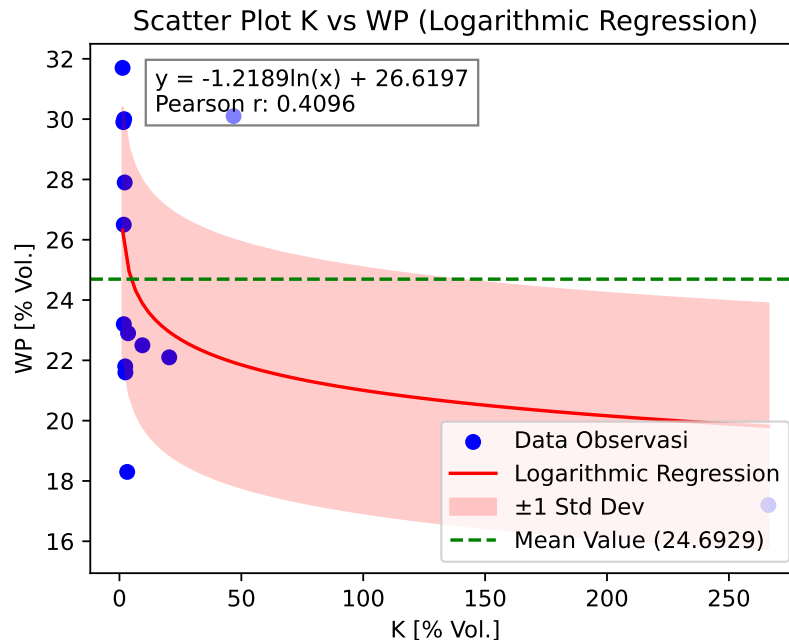
Figure 3.11, Figure 3.12, dan Figure 3.13 menunjukkan hubungan antara Permeabilitas (K) dan *Wilting Point* (WP) dalam bentuk linear, polynomial, dan logarithmic. Diantara ke-3 pola tersebut yang paling besar nilai koefisien determinasi (R^2) adalah hubungan polynomial (ordo 2) sebesar 0.23; artinya parameter *Wilting Point* hanya sebagian kecil mempengaruhi kondisi permeabilitas tanah. Ada factor lain yang lebih dominan mempengaruhi nilai permeabilitas tanah (misalnya komposisi tekstur tanah). Berdasarkan hubungan polynomial ini, peningkatan permeabilitas tanah sampai titik tertentu akan menaikkan nilai *Wilting Point* sampai nilai maksimumnya, setelahnya akan menyebabkan penurunan nilai *Wilting Point*.



Gambar 3.11: Hubungan Linear antara Permeabilitas (K) dan Wilting Point (WP)



Gambar 3.12: Hubungan Polynomial antara Permeabilitas (K) dan Wilting Point (WP)



Gambar 3.13: Hubungan Logarithmic antara Permeabilitas (K) dan Wilting Point (WP)

Hubungan antara Permeabilitas (K) dan *Field Capacity* (FC)

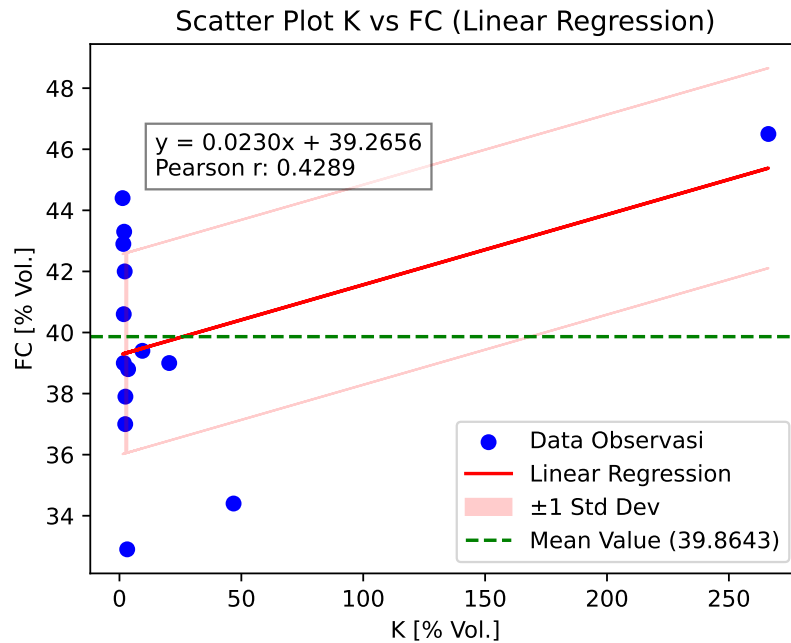
Permeabilitas dan *Field Capacity* adalah dua konsep penting dalam hidrologi tanah yang berhubungan dengan pergerakan dan penyimpanan air, meskipun mereka menggambarkan sifat tanah yang berbeda. Hubungannya antara permeabilitas dan *Field Capacity* berkaitan dengan bagaimana tanah menyerap, menyimpan, dan mengalirkan air, yang mempengaruhi ketersediaan air bagi tanaman.

Tanah yang memiliki nilai permeabilitas rendah artinya air bergerak lebih lambat melalui tanah. Tanah liat (tanah dengan fraksi liat dominan), yang memiliki banyak pori kecil, memiliki permeabilitas yang rendah, yang berarti pergerakan air lebih lambat dan air cenderung tetap berada di dekat permukaan lebih lama. *Field Capacity* pada tanah liat cenderung lebih tinggi karena tanah ini memiliki kapasitas penyimpanan air yang lebih besar. Dengan banyaknya ruang pori mikroskopis, tanah liat dapat menyimpan air lebih lama meskipun pergerakan airnya lambat. Tanah dengan permeabilitas rendah biasanya memiliki FC lebih tinggi, karena air cenderung tertahan lebih lama di tanah yang lebih padat atau lebih halus.

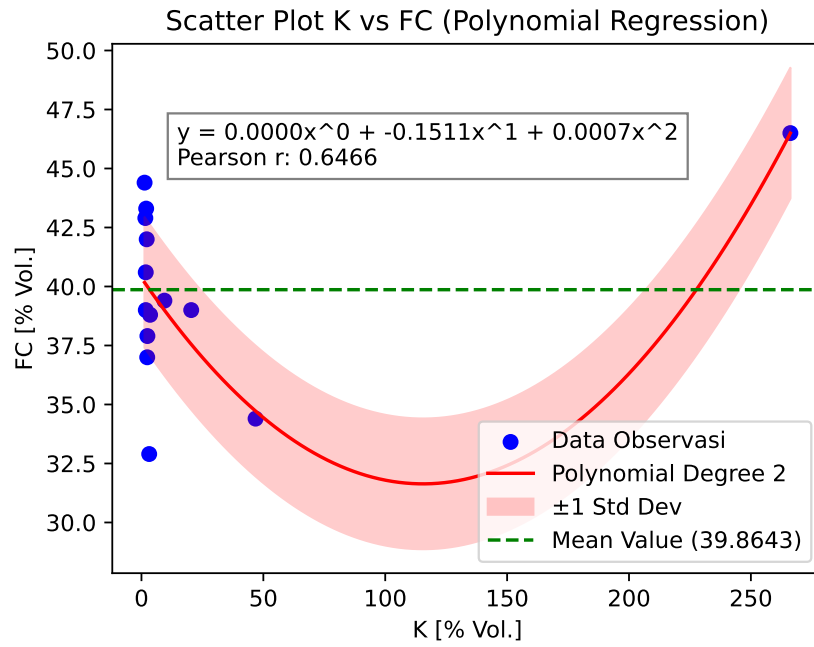
Tanah yang memiliki nilai permeabilitas tinggi artinya air mengalir cepat

melalui tanah. Tanah pasir, misalnya, memiliki permeabilitas yang sangat tinggi, yang berarti air cepat meresap ke dalam tanah dan mengalir lebih cepat ke bawah. *Field Capacity* pada tanah pasir cenderung lebih rendah karena tanah ini memiliki kapasitas penyimpanan air yang terbatas. Pasir cepat mengalirkan air, sehingga tidak mampu menahan banyak air pada kapasitas gravitasi, dan air lebih cepat mengalir keluar setelah perendaman. Tanah yang sangat permeabel memiliki *Field Capacity* rendah, meskipun mampu mengalirkan air dengan cepat, tanah ini tidak dapat menyimpan banyak air untuk jangka waktu lama.

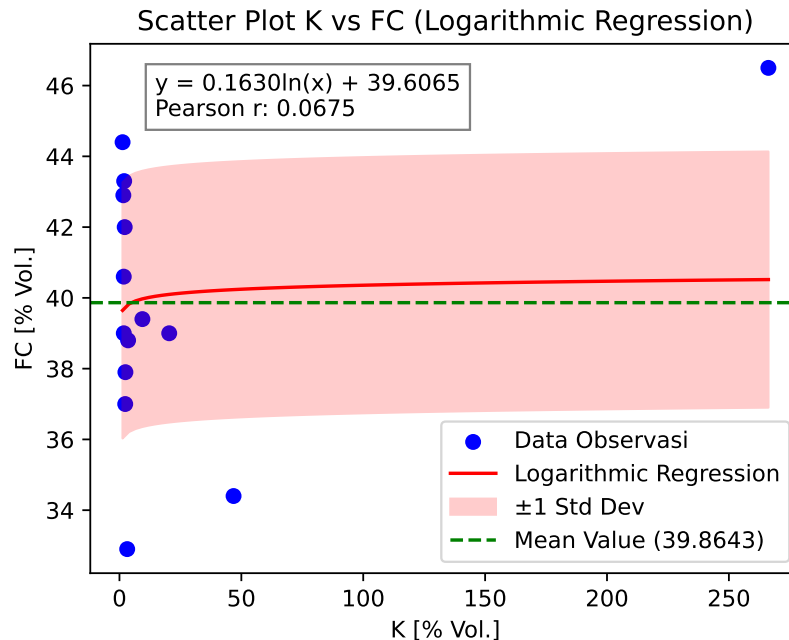
Figure 3.14, Figure 3.15, Figure 3.16 menunjukkan pola hubungan antara Permeabilitas (K) dan *Field Capacity* (FC); yaitu linear, polynomial dan logaritmik. Dari ke-3 hubungan tersebut yang paling besar nilai koefisien determinasi (R^2) adalah hubungan polynomial dengan nilai 0.42; artinya parameter *Field Capacity* hanya sebagian kecil mempengaruhi kondisi permeabilitas tanah. Ada factor lain yang lebih dominan mempengaruhi nilai permeabilitas tanah (misalnya komposisi tekstur tanah). Berdasarkan hubungan polynomial ini, peningkatan permeabilitas tanah sampai titik tertentu akan menurunkan nilai *Field Capacity* sampai nilai minimumnya, setelahnya akan menyebabkan peningkatan nilai *Field Capacity*.



Gambar 3.14: Hubungan Linear antara Permeabilitas (K) dan Field Capacity (FC)



Gambar 3.15: Hubungan Polynomial antara Permeabilitas (K) dan Field Capacity (FC)



Gambar 3.16: Hubungan Logarithmic antara Permeabilitas (K) dan Field Capacity (FC)

Hubungan antara Permeabilitas (K) dan *Saturation* (SAT)

Permeabilitas dan *saturation* adalah dua konsep yang berkaitan dengan pergerakan air dalam tanah dan distribusinya, tetapi mengukur aspek yang berbeda dari tanah. Meskipun keduanya berhubungan dengan air dalam tanah, hubungan mereka lebih berkaitan dengan bagaimana air bergerak melalui tanah dan sejauh mana tanah dapat menahan air dalam kondisi jenuh (saturated).

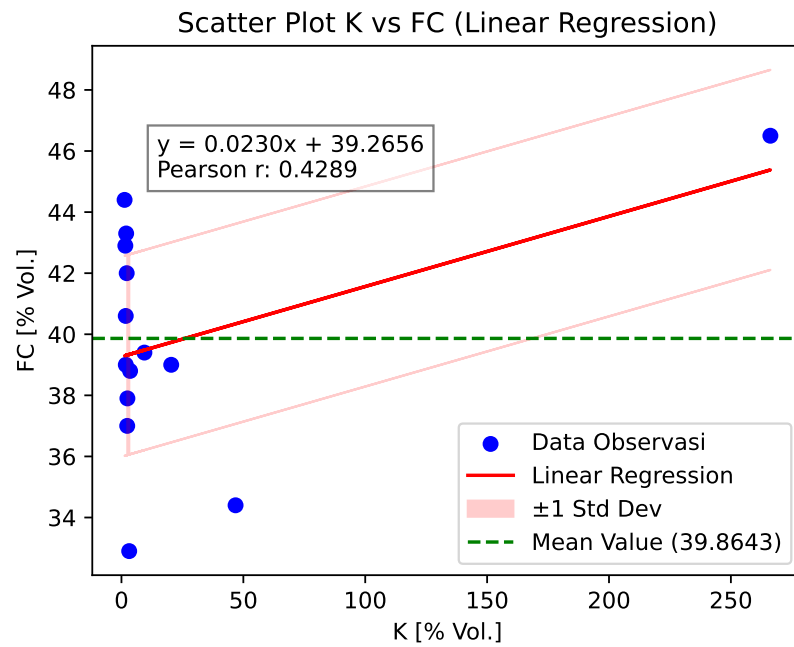
- Permeabilitas tanah (K) adalah kemampuan tanah untuk mengalirkan air. Ini dipengaruhi oleh tekstur tanah (misalnya pasir, lempung, atau tanah liat), struktur tanah, dan ukuran serta distribusi pori dalam tanah. Tanah dengan permeabilitas tinggi (seperti pasir) memungkinkan air mengalir lebih cepat, sementara tanah dengan permeabilitas rendah (seperti tanah liat) memperlambat pergerakan air.
- *Saturation* mengacu pada keadaan ketika semua pori dalam tanah terisi penuh oleh air, dan tanah berada dalam kondisi jenuh air. Dalam kondisi saturasi semua ruang pori tanah diisi oleh air (baik pori mikro maupun makro); tidak ada ruang pori yang tersisa untuk udara, dan air terikat dalam tanah hanya akan bergerak karena pengaruh gravitasi atau tekanan.

Saturation (SAT) adalah titik di mana tanah memiliki kelembaban maksimal (volume air terbesar yang dapat ditahan oleh tanah dalam kondisi jenuh).

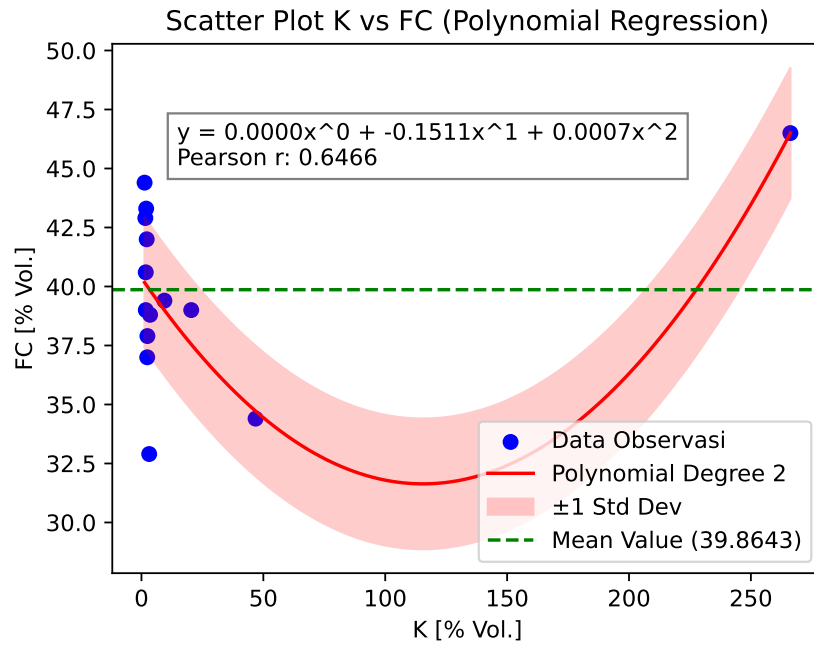
Sistem drainase tanah sangat bergantung pada permeabilitas tanah. Dalam kondisi saturasi, tanah yang lebih permeabel akan memungkinkan air keluar lebih cepat, sementara tanah dengan permeabilitas rendah akan memerlukan waktu lebih lama untuk mengurangi kelembaban dan kembali ke kondisi tidak jenuh. Sistem drainase pada tanah berpasir (permeabilitas tinggi) lebih cepat mengalirkan air keluar dari tanah yang jenuh, sedangkan pada tanah liat (permeabilitas rendah), air akan lebih lama tergenang dalam kondisi saturasi.

Saturation menunjukkan sejauh mana tanah dapat menyimpan air dalam kondisi jenuh, dan ini dipengaruhi oleh permeabilitas. Tanah dengan permeabilitas tinggi mungkin menyerap dan mengalirkan air lebih cepat, tetapi kapasitas penyimpanan airnya tidak sebanyak tanah yang lebih padat dan tidak permeabel. Tanah dengan permeabilitas rendah dapat menyimpan lebih banyak air dalam kondisi saturasi karena ruang pori yang lebih kecil, tetapi air bergerak sangat lambat.

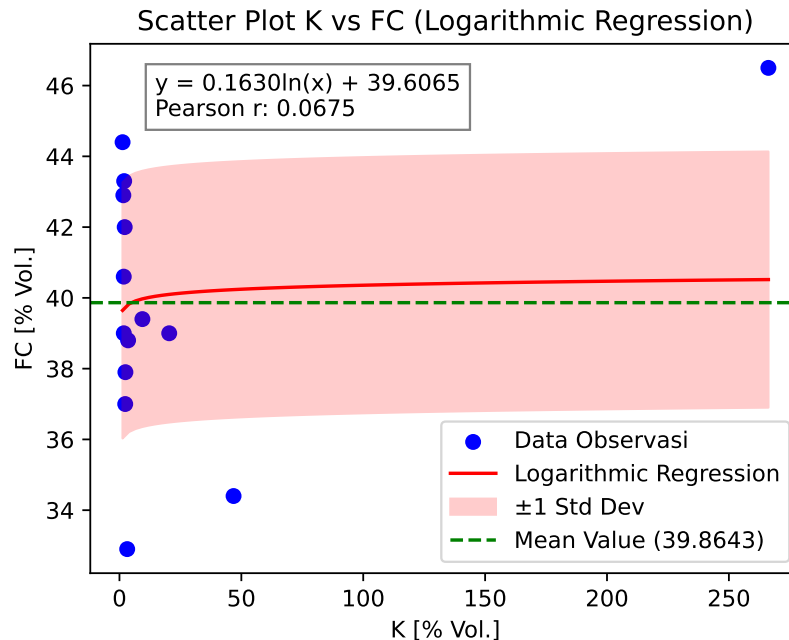
Figure 3.17, Figure 3.18, Figure 3.19 menunjukkan pola hubungan antara Permeabilitas (K) dan *Saturation* (SAT); yaitu linear, polynomial dan logaritmik. Dari ke-3 hubungan tersebut yang paling besar nilai koefisien determinasi (R^2) adalah hubungan polynomial dengan nilai 0.94; artinya parameter *Saturation* sebagian besar mempengaruhi kondisi permeabilitas tanah. Berdasarkan hubungan polynomial ini, peningkatan permeabilitas tanah sampai titik tertentu akan meningkatkan nilai *Saturation* sampai nilai maksimumnya, setelahnya akan menyebabkan penurunan nilai *Saturation*.



Gambar 3.17: Hubungan Linear antara Permeabilitas (K) dan Saturation (SAT)



Gambar 3.18: Hubungan Polynomial antara Permeabilitas (K) dan Saturation (SAT)



Gambar 3.19: Hubungan Logarithmic antara Permeabilitas (K) dan Saturation (SAT)

Hubungan antara Permeabilitas (K) dan *Bulk Density* (BD)

Hubungan antara permeabilitas tanah dan *Bulk Density* saling berkaitan karena keduanya dipengaruhi oleh tekstur tanah, kandungan bahan organik, porositas tanah, ukuran pori-pori, dan struktur tanah; sebagai berikut:

- Peningkatan *Bulk Density* menunjukkan tanah menjadi lebih padat sehingga porositas menurun (ruang pori-pori tanah berkurang). Jumlah pori makro menurun, sedangkan pori mikro meningkat. Aliran air melalui tanah menjadi lebih sulit dan permeabilitas tanah menurun. Tanah yang dipadatkan oleh alat berat atau terinjak-injak akan memiliki BD tinggi dan K rendah.
- Tanah yang memiliki *Bulk Density* rendah menunjukkan tanah lebih gembur sehingga porositas meningkat (lebih banyak ruang pori untuk aliran air dan udara). Pori makro lebih banyak, memungkinkan air bergerak lebih cepat dan permeabilitas meningkat. Tanah yang kaya bahan organik biasanya memiliki *Bulk Density* rendah dan permeabilitas tinggi.
- Tanah berpasir memiliki *Bulk Density* yang cenderung lebih tinggi tetapi tetap memiliki permeabilitas tinggi karena dominasi pori makro. Tanah

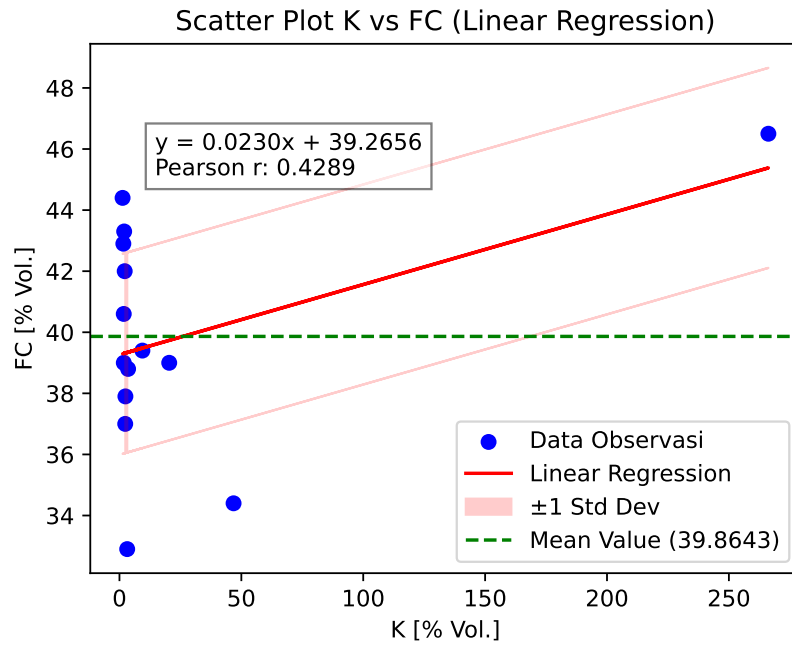
liat dengan *Bulk Density* tinggi memiliki permeabilitas yang sangat rendah karena dominasi pori mikro.

- Penambahan bahan organik dapat menurunkan *Bulk Density* (tanah lebih gembur), meningkatkan porositas, dan memperbaiki permeabilitas

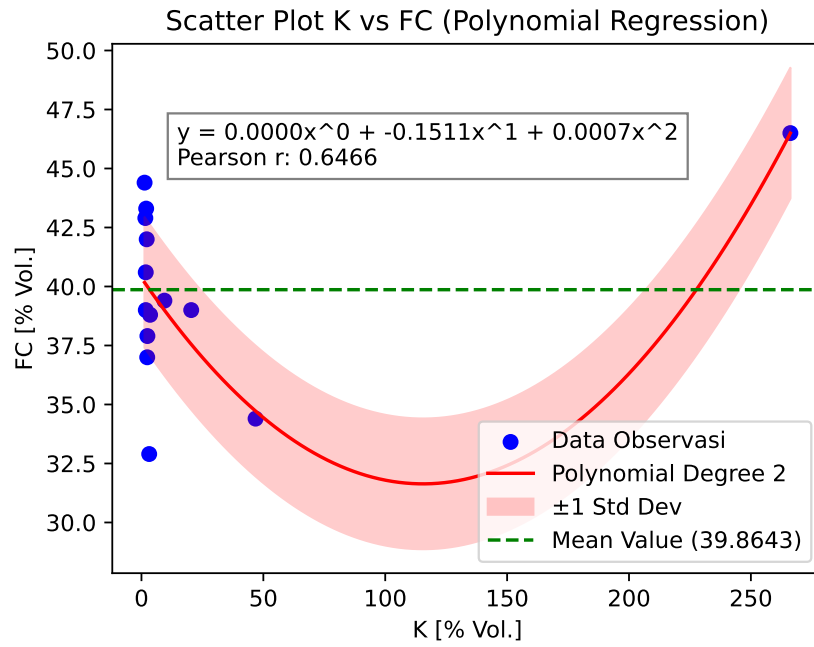
figure 3.20, menunjukkan bahwa nilai koefisien determinasi (R^2) hubungan antara permeabilitas dan *Bulk Density* relatif sangat rendah, hanya 0.08; artinya parameter *Bulk Density* hanya sebagian kecil mempengaruhi kondisi permeabilitas tanah. Ada faktor lain yang lebih dominan mempengaruhi nilai permeabilitas tanah (misalnya tekstur tanah, kandungan bahan organik, porositas, struktur tanah). Secara umum korelasi antara permeabilitas dan *Bulk Density* rendah dan bersifat positif, semakin besar nilai *Bulk Density* maka nilai permeabilitasnya akan meningkat.

Figure 3.20, Figure 3.21, Figure 3.22 menunjukkan pola hubungan antara Permeabilitas (K) dan *Bulk Density* (BD); yaitu linear, polynomial dan logaritmik. Dari ke-3 hubungan tersebut yang paling besar nilai koefisien determinasi (R^2) adalah hubungan polynomial dengan nilai 0.95; artinya parameter *Bulk Density* sebagian besar mempengaruhi kondisi permeabilitas tanah. Berdasarkan hubungan polynomial ini, peningkatan permeabilitas tanah sampai titik tertentu akan menurunkan nilai *Bulk Density* sampai nilai minimumnya, setelahnya akan menyebabkan peningkatan nilai *Bulk Density*.

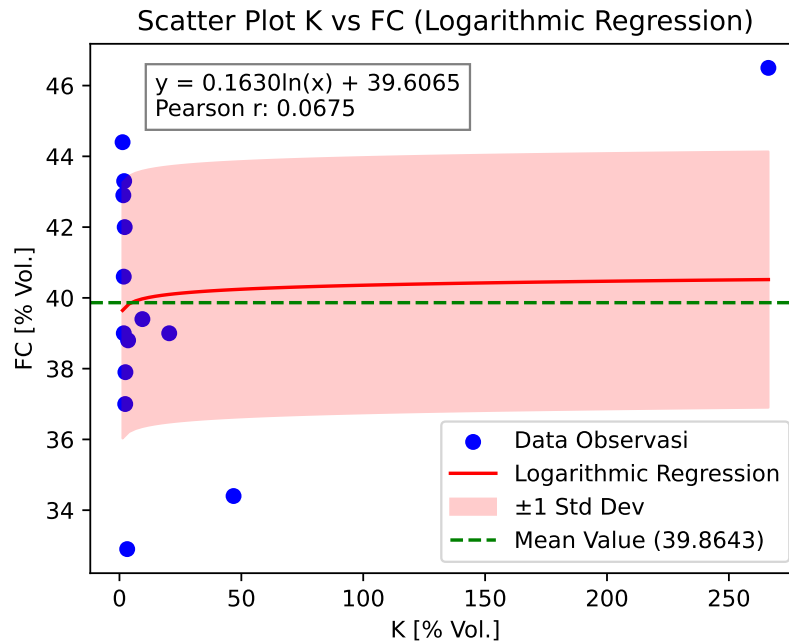
Berdasarkan dari penjelasan tersebut, parameter permeabilitas tanah dengan parameter *Field Capacity*, *Wilting Point* dan *Saturation*, *Bulk Density* saling berkaitan (berhubungan dengan karakteristik hidrologi) karena keduanya dipengaruhi oleh tekstur tanah, kandungan bahan organik, porositas tanah, ukuran pori-pori, dan struktur tanah karakteristik dasar sifat fisik dan biologi tanah.



Gambar 3.20: Hubungan Linear antara Permeabilitas (K) dan Field Capacity (BD)



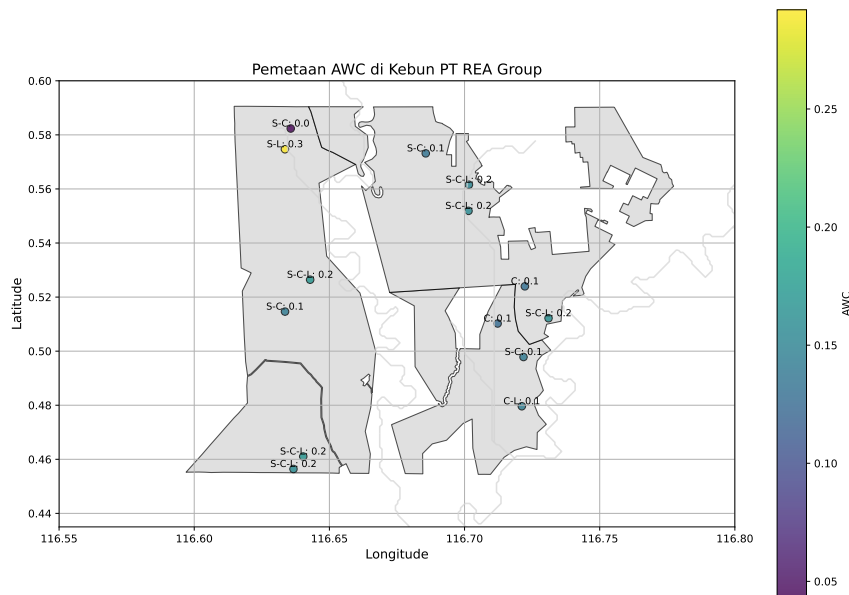
Gambar 3.21: Hubungan Polynomial antara Permeabilitas (K) dan Field Capacity (BD)



Gambar 3.22: Hubungan Logarithmic antara Permeabilitas (K) dan Field Capacity (BD)

3.2.2 Available Water Content (AWC)

Sub bab ini akan membahas hubungan antara Kemampuan Menahan Air atau *Available Water Content* (AWC) dengan Titik Layu Permanen atau *Wilting Point* (WP), Kapasitas Lapang atau *Field Capacity* (FC), Kejenuhan atau *Saturation* (SAT), dan *Bulk Density* (BD). Sebaran plot sampel tanah berdasarkan besarnya *Available Water Content* (AWC) dan kelas teksturnya (S: *Silty*, C: *Clay*, L: *Loam*) disajikan figure 3.23.



Gambar 3.23: Sebaran Available Water Content (AWC) di daerah studi

Hubungan antara *Available Water Content* (AWC) dan *Wilting Point* (WP)

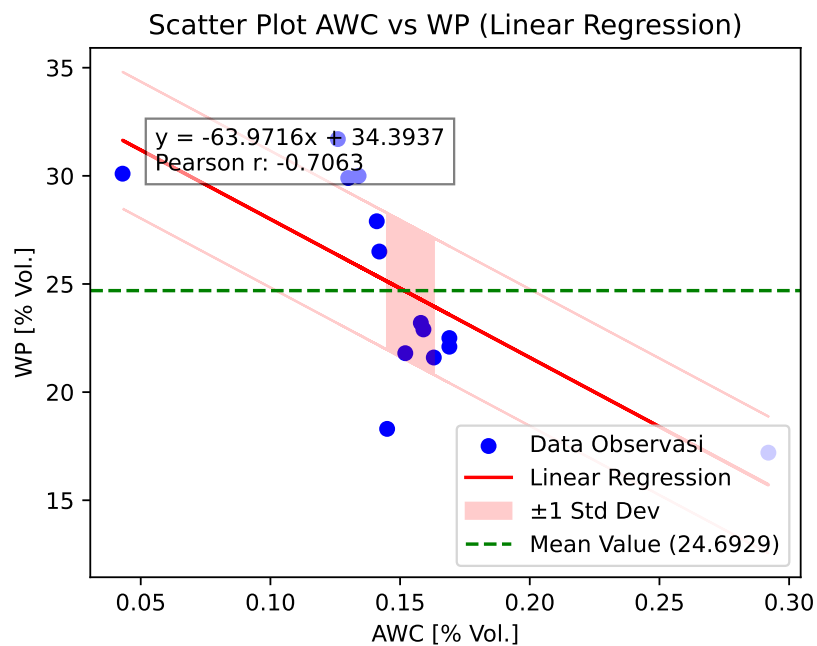
Hubungan antara *Available Water Content* dan *Wilting Point* terkait dengan kapasitas tanah untuk menyimpan air yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman. Definisi parameter tersebut sebagai berikut:

- *Available Water Content* atau ketersediaan air tersedia adalah jumlah air yang dapat digunakan oleh tanaman dalam tanah. Ini adalah selisih antara kapasitas lapang dan titik layu permanen
- *Wilting Point* atau Titik Layu Permanen adalah kondisi tanah di mana tanaman tidak lagi mampu menyerap air dari tanah. Pada titik ini, kekuatan hisap air oleh akar tanaman lebih lemah dibandingkan dengan kekuatan adhesi air pada partikel tanah.

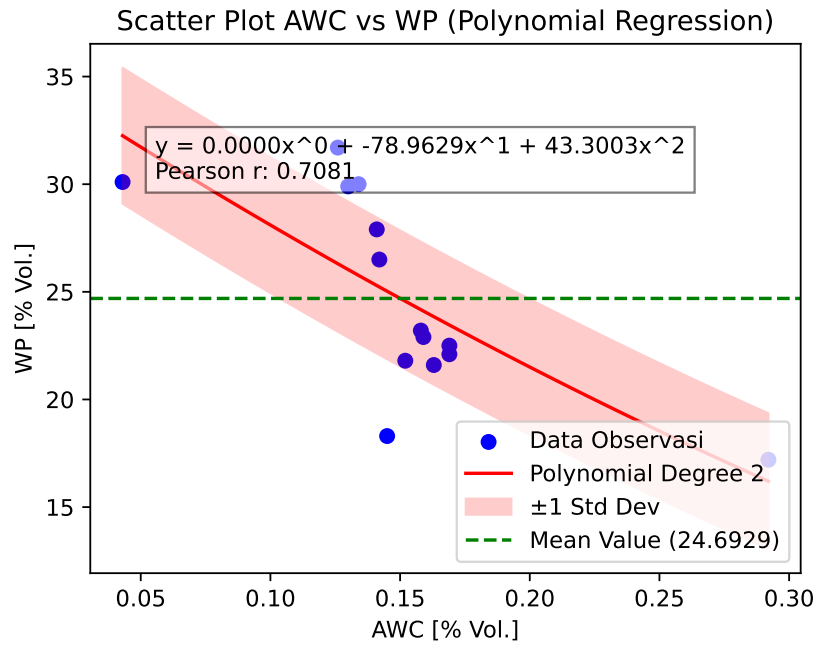
Available Water Content ditentukan oleh *Wilting Point*. Nilai *Wilting Point* secara langsung mempengaruhi besarnya AWC. Semakin rendah nilai *Wilting Point*, semakin besar *Available Water Content* yang tersedia bagi tanaman. Ini karena rentang kadar air yang dapat digunakan tanaman akan semakin luas. *Wilting Point* sebagai Batas Bawah *Available Water Content*. WP menjadi batas bawah dari kisaran kadar air yang dapat dimanfaatkan tanaman. Di bawah *Wilting Point*, tanaman akan mengalami layu dan pertumbuhannya terhambat.

Faktor yang Mempengaruhi *Wilting Point* dan *Available Water Content* adalah Tekstur Tanah, Struktur Tanah dan Materi Organik. Tanah bertekstur halus (liat) umumnya memiliki *Wilting Point* P yang lebih rendah dan kapasitas menahan air yang lebih tinggi dibandingkan tanah bertekstur kasar (pasir). Struktur tanah yang baik (berpori) akan meningkatkan aerasi dan drainase, sehingga dapat menurunkan *Wilting Point* dan meningkatkan *Available Water Content*. Kandungan bahan organik yang tinggi akan meningkatkan kapasitas menahan air tanah, sehingga dapat meningkatkan *Available Water Content*.

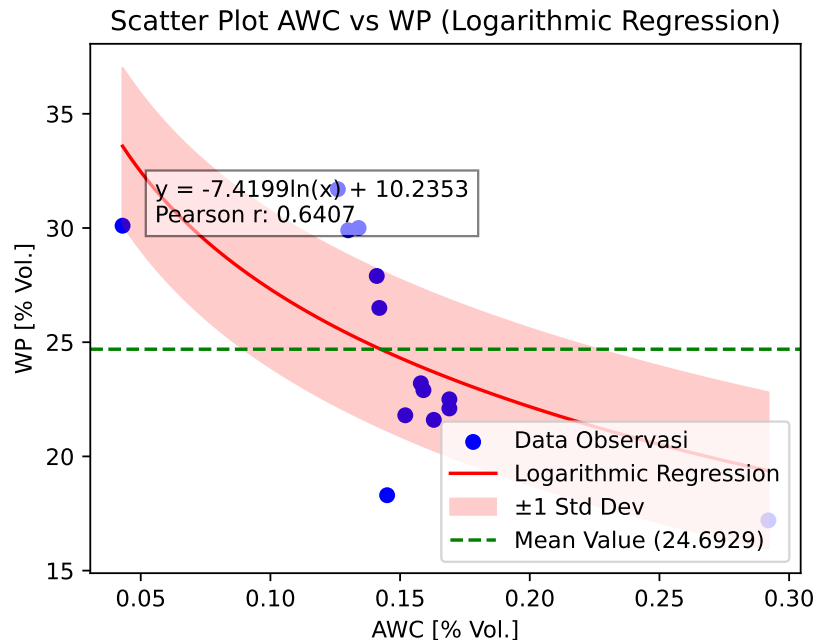
Figure 3.24, Figure 3.25, Figure 3.26 menunjukkan pola hubungan antara *Available Water Content* dan *Wilting Point*; yaitu linear, polynomial dan logaritmik. Dari ke-3 hubungan tersebut yang paling besar nilai koefisien determinasi (R^2) adalah polynomial, sebesar 0.5; artinya parameter *Wilting Point* salah satu variabel dominan yang mempengaruhi kondisi *Available Water Content*. Namun demikian, masih ada faktor lain yang mempengaruhi nilai *Available Water Content* (misalnya kandungan bahan organik, porositas, struktur tanah). Secara umum korelasi antara *Available Water Content* dan *Wilting Point* tinggi dan bersifat negatif, semakin besar nilai *Wilting Point* maka nilai *Available Water Content* akan menurun.



Gambar 3.24: Hubungan Linear antara Available Water Content (AWC) dan Wilting Point (WP)



Gambar 3.25: Hubungan Polynomial antara Available Water Content (AWC) dan Wilting Point (WP)



Gambar 3.26: Hubungan Logarithmic antara Available Water Content (AWC) dan Wilting Point (WP)

Hubungan antara *Available Water Content* dan *Field Capacity*

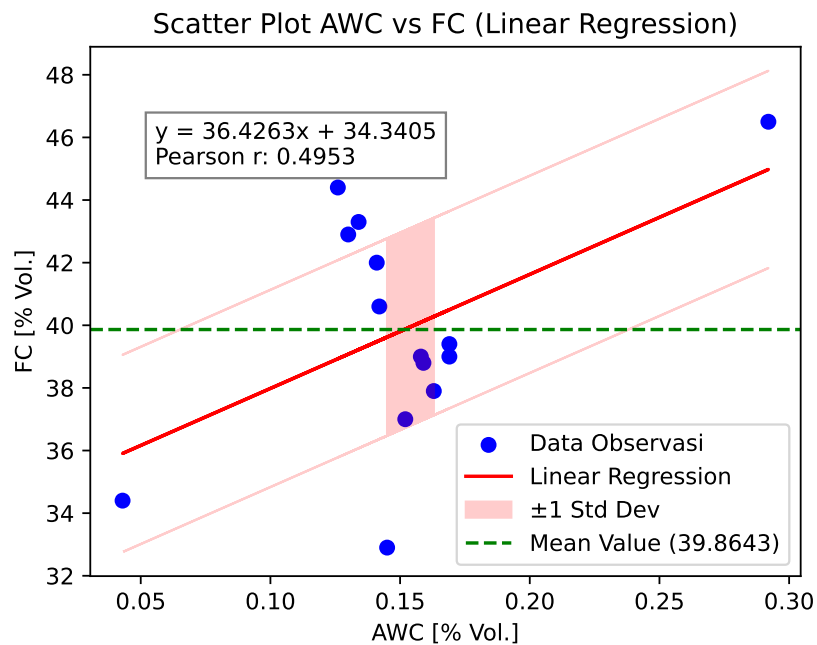
Hubungan antara *Available Water Content* dan *Field Capacity* saling terkait, karena *Field Capacity* adalah salah satu komponen yang menentukan jumlah air yang tersedia bagi tanaman. Berikut penjelasannya:

- *Available Water Content* atau Ketersediaan Air Tersedia adalah jumlah air yang dapat digunakan oleh tanaman dalam tanah. Seperti yang telah kita bahas sebelumnya, *Available Water Content* adalah selisih antara *Field Capacity* dan *Wilting Point*
- *Field Capacity* atau Kapasitas Lapang adalah kondisi tanah di mana pori-pori tanah telah terisi air secara maksimal setelah drainase bebas terjadi. Dengan kata lain, *Field Capacity* adalah jumlah maksimum air yang dapat ditahan oleh tanah setelah kelebihan air meresap ke bawah.

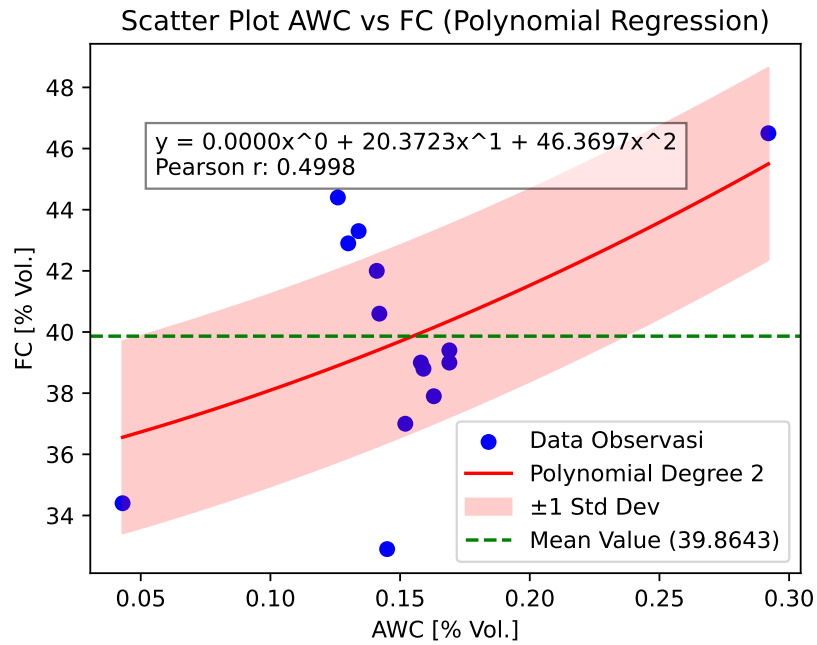
Field Capacity merupakan batas atas dari kisaran kadar air yang dapat dimanfaatkan tanaman. Setelah mencapai *Field Capacity*, kelebihan air akan mengalir keluar dari profil tanah (melalui perkolasi atau lateral flow). Besarnya *Available Water Content* sangat dipengaruhi oleh nilai *Field Capacity*. Semakin tinggi nilai *Field Capacity*, potensi *Available Water Content* juga semakin besar. Ini

berarti tanah dengan *Field Capacity* tinggi memiliki kapasitas penyimpanan air yang lebih besar, sehingga dapat menyediakan lebih banyak air bagi tanaman.

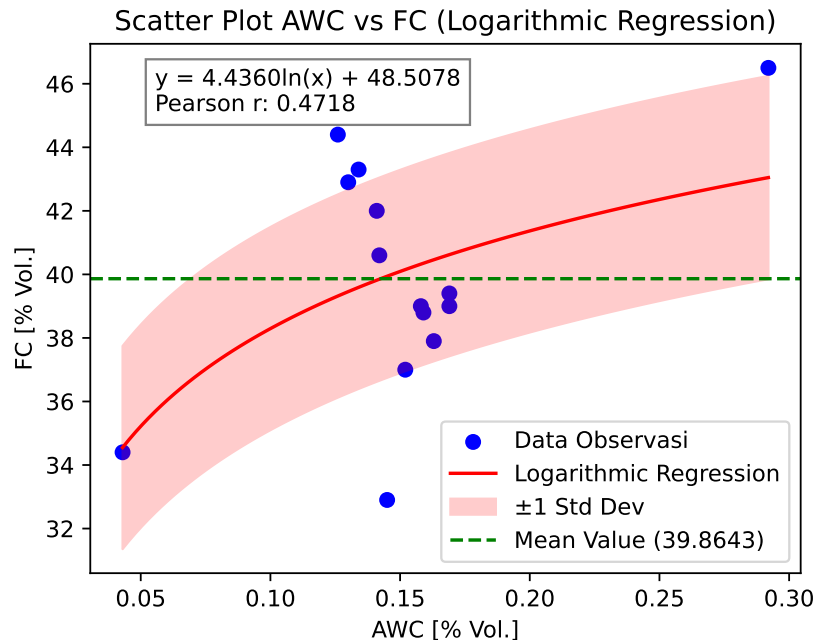
Figure 3.27, Figure 3.28, Figure 3.29 menunjukkan pola hubungan antara *Available Water Content* dan *Field Capacity*; yaitu linear, polynomial dan logaritmik. Dari ke-3 hubungan tersebut yang paling besar nilai koefisien determinasi (R^2) adalah polynomial, sebesar 0.50; artinya parameter *Field Capacity* salah satu variabel dominan yang mempengaruhi kondisi *Available Water Content*. Namun demikian, masih ada faktor lain yang mempengaruhi nilai *Available Water Content* (misalnya kandungan bahan organik, porositas, struktur tanah). Secara umum korelasi antara *Available Water Content* dan *Field Capacity* cukup tinggi dan bersifat positif, semakin besar nilai *Field Capacity* maka nilai *Available Water Content* akan meningkat.



Gambar 3.27: Hubungan Linear antara Available Water Content (AWC) dan Field Capacity (FC)



Gambar 3.28: Hubungan Polynomial antara Available Water Content (AWC) dan Field Capacity (FC)



Gambar 3.29: Hubungan Logarithmic antara Available Water Content (AWC) dan Field Capacity (FC)

Faktor yang mempengaruhi hubungan ini adalah tekstur tanah, struktur tanah dan kandungan bahan organik. Tanah bertekstur kasar (seperti tanah berpasir) memiliki *Field Capacity* rendah, *Wilting Point* rendah, sehingga *Available Water Content* kecil. Tanah bertekstur lempung memiliki *Field Capacity* tinggi, *Wilting Point* tinggi, sehingga *Available Water Content* sedang. Tanah dengan kandungan bahan organik tinggi memiliki *Field Capacity* tinggi, *Wilting Point* rendah, sehingga *Available Water Content* besar. Tanah dengan struktur yang baik memiliki *Field Capacity* yang optimal dan *Wilting Point* yang rendah, sehingga *Available Water Content* lebih besar. Penambahan bahan organik akan meningkatkan *Field Capacity* tanpa meningkatkan *Wilting Point* secara signifikan, sehingga *Available Water Content* bertambah.

Hubungan antara *Available Water Content* dan *Saturation*

Hubungan antara *Available Water Content* dan *Saturation* berkaitan dengan kapasitas tanah untuk menyimpan air, tetapi keduanya mencerminkan kondisi tanah yang berbeda. Berikut penjelasannya:

- *Saturation* atau kejenuhan / saturasi adalah kondisi tanah di mana semua pori-pori tanah terisi air secara penuh, tidak ada ruang untuk udara dalam

tanah. Saturasi terjadi sesaat setelah hujan besar atau irigasi berlebihan. Ini adalah titik tertinggi kandungan air dalam tanah.

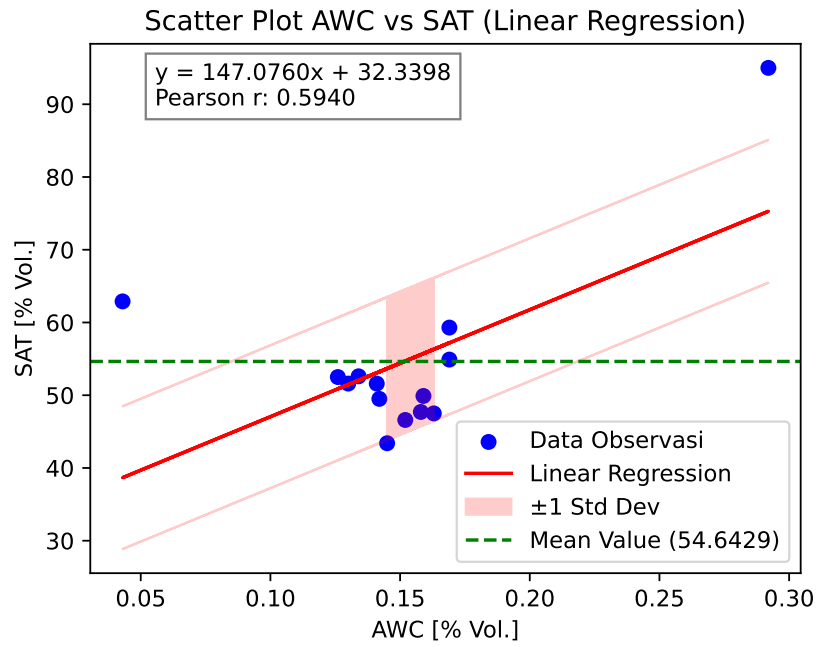
- *Available Water Content* atau ketersediaan airtanah adalah jumlah air yang tersimpan di pori mikro-makro yang dapat digunakan oleh tanaman dalam tanah. *Available Water Content* berada di antara kapasitas lapang *Field Capacity* dan *Wilting Point*

Saturasi sebagai batas maksimum kandungan airtanah. Pada saat tanah tercapai kondisi jenuh, total air yang terkandung dalam tanah meliputi air gravitasi (yang akan hilang ke bawah karena gaya gravitasi), air yang akan tersisa di tanah sebagai *Field Capacity* setelah air gravitasi mengalir keluar dan air yang sangat kuat tertahan oleh partikel tanah, tidak tersedia bagi tanaman (*Wilting Point*).

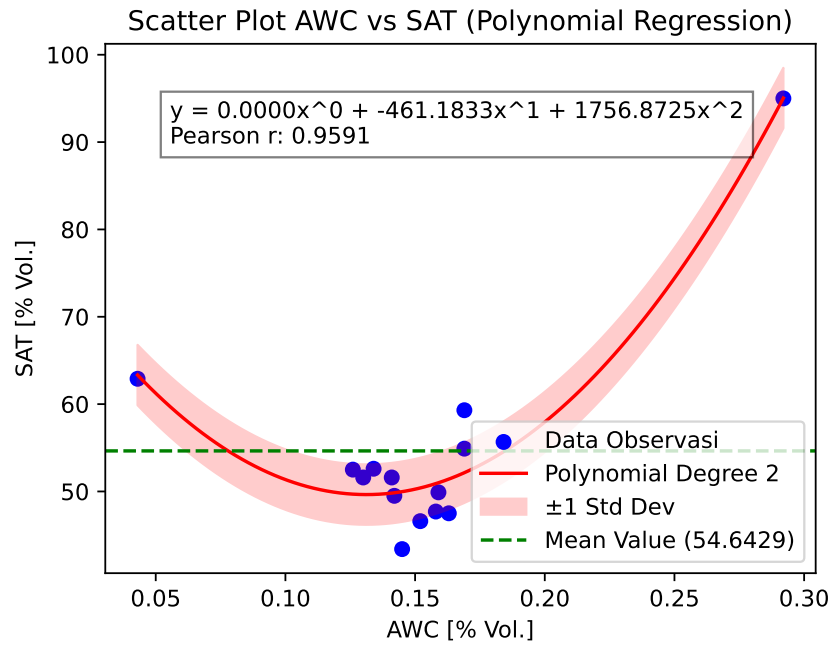
Available Water Content Sebagai bagian dari *Saturation*. *Available Water Content* adalah bagian kecil dari air yang awalnya berada dalam kondisi jenuh (saturasi). Setelah air gravitasi hilang, sisa air yang dapat dimanfaatkan tanaman adalah bagian dari air jenuh yang tersisa di antara kondisi *Field Capacity* dan *Wilting Point*

Figure 3.30, Figure 3.31, Figure 3.32 menunjukkan pola hubungan antara *Available Water Content* dan *Saturation*; yaitu linear, polynomial dan logaritmik. Dari ke-3 hubungan tersebut yang paling besar nilai koefisien determinasi (R^2) adalah pola polynomial, sebesar 0.92; artinya parameter *Saturation* merupakan salah satu variabel yang mempengaruhi kondisi *Available Water Content* yang cukup dominan. Secara umum, korelasi antara *Available Water Content* dan *Saturation* dengan pola hubungan polynomial sangat bagus. Dengan peningkatan *Available Water Content* akan menyebabkan penurunan nilai *Saturation* tanah sampai ke nilai minimumnya, selanjutnya nilai *Saturation* tanah akan meningkat kembali dengan terus peningkatan *Available Water Content*.

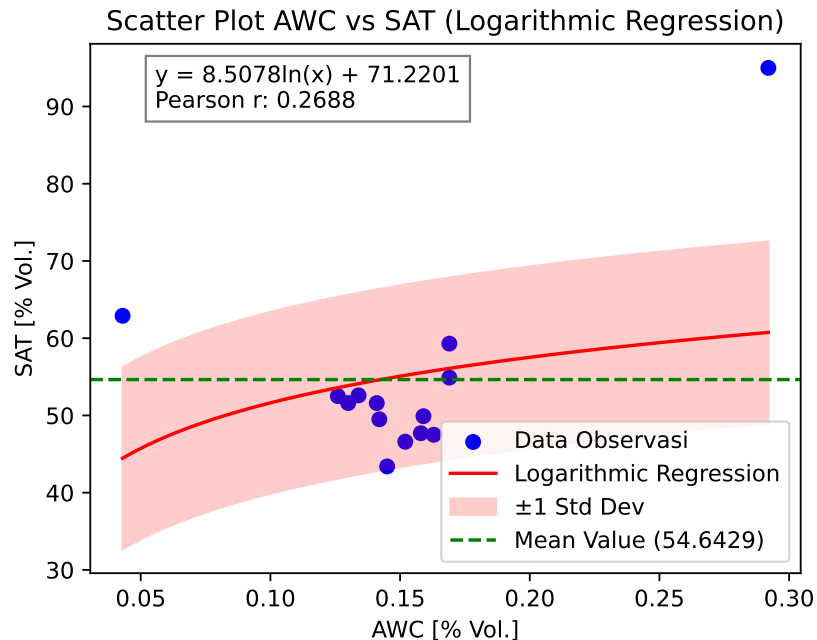
Figure 3.30, menunjukkan bahwa nilai koefisien determinasi (R^2) hubungan antara *Available Water Content* dan *Saturation* cukup bagus, sebesar 0.41; artinya parameter *Saturation* adalah salah satu variabel yang mempengaruhi kondisi *Available Water Content* yang cukup dominan. Namun demikian, masih ada faktor lain yang mempengaruhi nilai *Available Water Content* yang lebih dominan (misalnya kandungan bahan organik, struktur tanah). Secara umum korelasi antara *Available Water Content* dan *Saturation* cukup bagus dan bersifat negatif, semakin besar nilai *Saturation* maka nilai *Available Water Content* akan menurun.



Gambar 3.30: Hubungan Linear antara Available Water Content (AWC) dan Saturation (SAT)



Gambar 3.31: Hubungan Polynomial antara Available Water Content (AWC) dan Saturation (SAT)



Gambar 3.32: Hubungan Logarithmic antara Available Water Content (AWC) dan Saturation (SAT)

Faktor-faktor yang mempengaruhi hubungan ini adalah tekstur & struktur tanah dan kandungan Bahan organik. Tanah bertekstur kasar (misalnya tanah berpasir) memiliki Saturasi rendah karena porositas total rendah. Setelah air gravitasi mengalir, *Available Water Content* kecil karena *Wilting Point* juga rendah. Tanah bertekstur lempung memiliki saturasi tinggi karena tanah memiliki porositas total yang besar. Namun, *Wilting Point* juga tinggi, sehingga *Available Water Content* bisa lebih kecil dibandingkan tanah lempung berpasir. Tanah dengan struktur yang baik memiliki pori-pori yang memungkinkan pergerakan air gravitasi cepat keluar, meninggalkan *Available Water Content* yang optimal. Penambahan bahan organik akan meningkatkan porositas dan kapasitas tanah menyimpan air tanpa meningkatkan *Wilting Point* secara signifikan, sehingga meningkatkan *Available Water Content* relatif terhadap saturasi.

Hubungan antara *Available Water Content* dan *Bulk Density*

Hubungan antara *Available Water Content* dan *Bulk Density* sangat erat karena *Bulk Density* mencerminkan kepadatan tanah, yang memengaruhi porositas tanah dan kapasitas tanah untuk menyimpan air. Berikut adalah penjelasan:

- *Bulk Density* menunjukkan kepadatan tanah dalam keadaan kering, dihi-

tung sebagai massa tanah per unit volume (termasuk pori-pori). *Bulk Density* yang tinggi menunjukkan tanah lebih padat dan porositas lebih rendah, sedangkan *Bulk Density* yang rendah menunjukkan tanah lebih gembur dan porositas lebih tinggi.

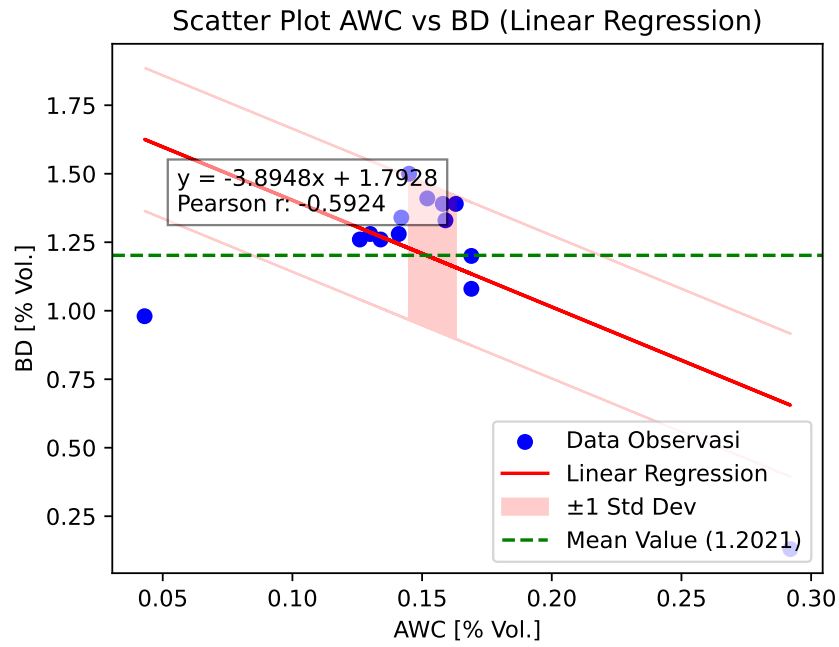
- *Available Water Content* atau ketersediaan airtanah adalah jumlah air yang tersimpan di pori mikro-makro yang dapat digunakan oleh tanaman dalam tanah. *Available Water Content* berada di antara kapasitas lapang *Field Capacity* dan *Wilting Point*

Tanah yang padat memiliki *Bulk Density* tinggi, sehingga porositas tanah berkurang khususnya pori-pori makro. *Field Capacity* relatif menurun karena lebih sedikit ruang untuk menyimpan air. *Wilting Point* cenderung meningkat karena air tertahan lebih kuat di pori-pori mikro. Akibatnya, AWC menurun karena selisih antara *Field Capacity* dan *Wilting Point* menjadi kecil.

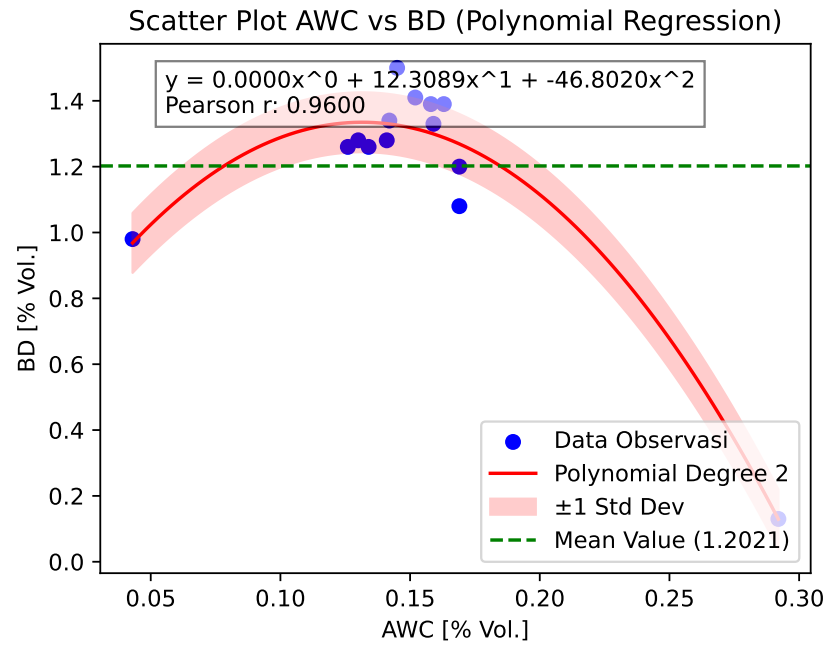
Tanah yang gembur memiliki *Bulk Density* rendah sehingga porositas tanah meningkat dengan lebih banyak pori-pori makro dan mikro. *Field Capacity* meningkat karena tanah dapat menyimpan lebih banyak air. *Wilting Point* tetap rendah karena air lebih mudah tersedia bagi tanaman. Akibatnya, *Available Water Content* meningkat karena perbedaan antara *Field Capacity* dan *Wilting Point* lebih besar.

Figure 3.33, Figure 3.34, Figure 3.35 menunjukkan pola hubungan antara *Available Water Content* dan *Bulk Density*; yaitu linear, polynomial dan logaritmik. Dari ke-3 hubungan tersebut yang paling besar nilai koefisien determinasi (R^2) adalah pola polynomial, sebesar 0.92; artinya parameter *Bulk Density* adalah salah satu variabel yang mempengaruhi kondisi *Available Water Content* yang cukup dominan. Secara umum korelasi antara *Available Water Content* dan *Bulk Density* sangat bagus. Dengan peningkatan *Available Water Content* akan menyebabkan peningkatan nilai *Bulk Density* tanah sampai ke nilai maksimumnya, selanjutnya nilai *Bulk Density* tanah akan menurun kembali dengan AWC yang terus meningkat.

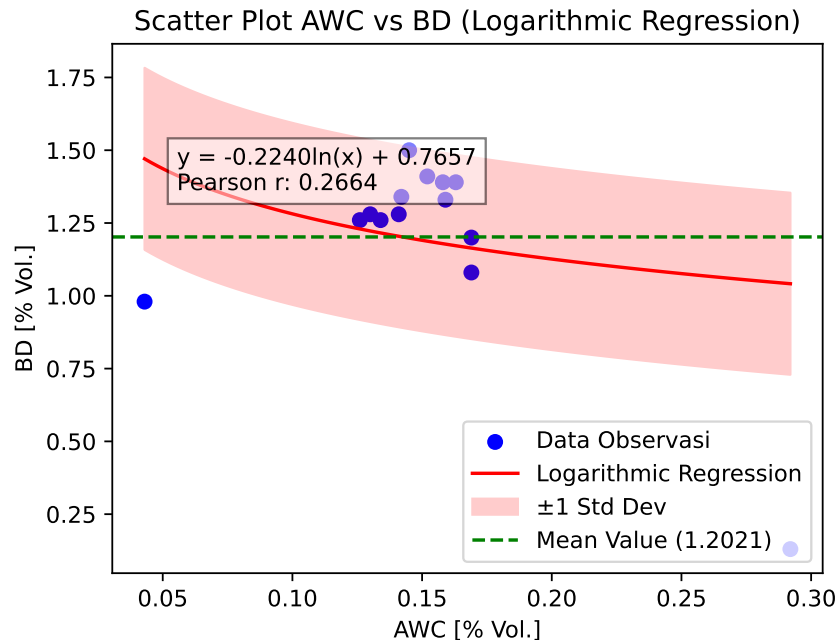
Berdasarkan dari penjelasan tersebut; parameter *Available Water Content* dengan parameter *Field Capacity*, *Wilting Point*, *Saturation*, dan *Bulk Density* saling berhubungan karena semuanya sama-sama dipengaruhi oleh kondisi tekstur tanah, kandungan bahan organik, porositas tanah, dan struktur tanah. Kondisi tanah ini akan mempengaruhi karakteristik dasar fisik dan biologi tanah. Tingkat korelasi yang paling tinggi ditunjukan hubungan polynomial *Available Water Content* dengan *Saturation* dan hubungan *Available Water Content* dengan *Bulk Density*.



Gambar 3.33: Hubungan Linear antara Available Water Content (AWC) dan Bulk Density (BD)



Gambar 3.34: Hubungan Polynomial antara Available Water Content (AWC) dan Bulk Density (BD)



Gambar 3.35: Hubungan Logarithmic antara Available Water Content (AWC) dan Bulk Density (BD)

3.2.3 Hubungan antara Permeabilitas (K) dan *Available Water Content* (AWC)

Permeabilitas tanah dan *Available Water Content* memiliki hubungan tidak langsung. Hubungan tersebut Sebagai berikut:

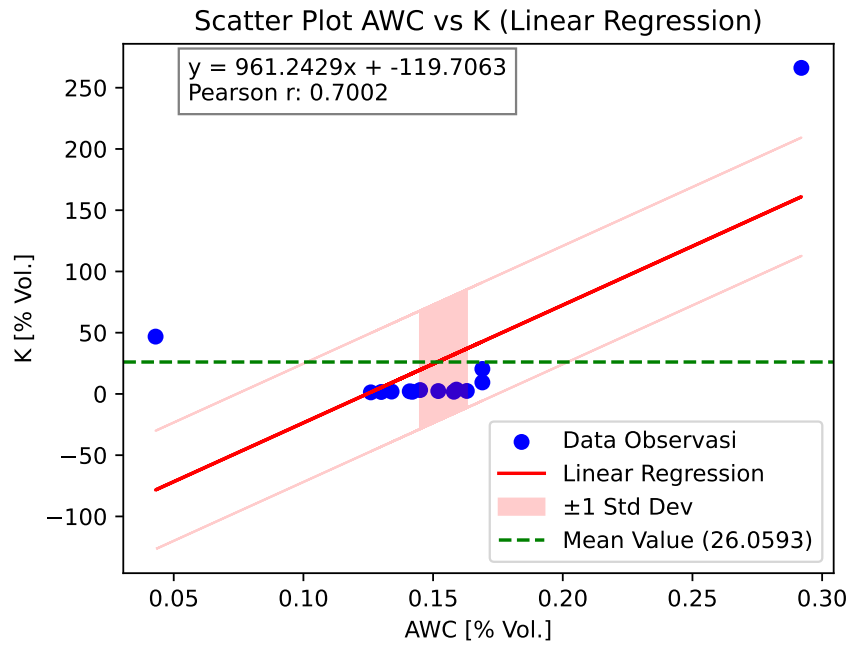
- Tanah bertekstur kasar (ex: tanah berpasir) yang memiliki permeabilitas tinggi akan cepat mengalirkan air gravitasi dari tanah melalui perkolasi atau lateral flow, memiliki *Field Capacity* rendah karena hanya sedikit air yang dapat disimpan dalam tanah, memiliki *Wilting Point* juga rendah, tetapi perbedaan antara *Field Capacity* dan *Wilting Point* kecil (*Available Water Content* rendah)
- Tanah bertekstur sedang (ex: tanah lempung berpasir) memiliki permeabilitas sedang. Kombinasi *Field Capacity* yang moderat dan *Wilting Point* yang rendah menghasilkan *Available Water Content* yang tinggi, karena tanah ini dapat menyimpan air dengan baik tanpa menahannya terlalu kuat.

- Tanah bertekstur halus (ex: tanah lempung atau liat) memiliki permeabilitas rendah. Air lebih lama tertahan dalam tanah, meningkatkan *Field Capacity*. Namun, *Wilting Point* juga tinggi karena air tertahan kuat oleh partikel tanah. *Available Water Content* dapat sedang atau rendah, tergantung pada tekstur tanah.

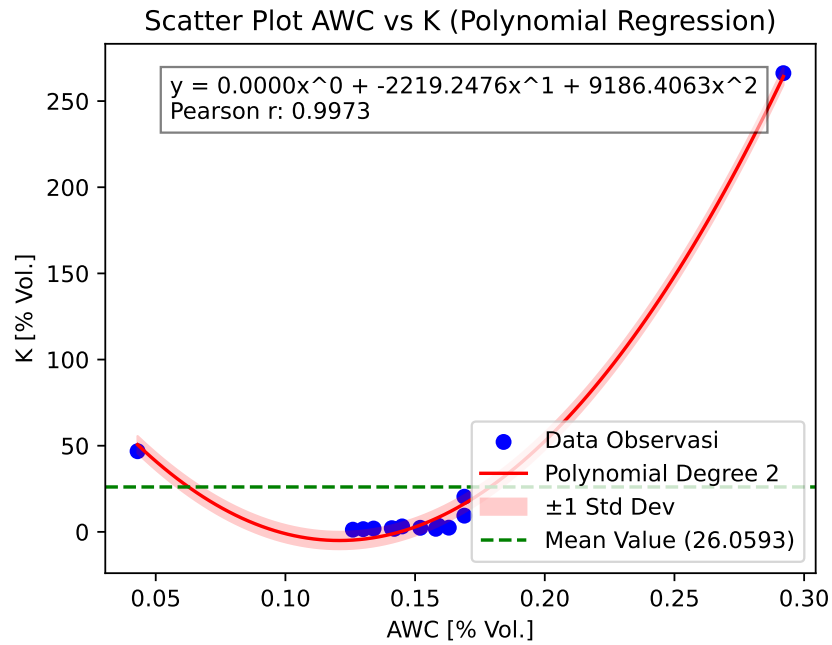
Namun, perlu diingat bahwa hubungan antara permeabilitas tanah dan *Available Water Content* tidak selalu linier dan dapat dipengaruhi oleh faktor lain; yaitu:

- Ukuran dan Distribusi Pori: Tanah dengan pori-pori yang sangat besar dan sangat kecil dapat memiliki permeabilitas yang rendah meskipun total pori-porinya banyak.
- Materi Organik: Materi organik dapat meningkatkan kapasitas menahan air tanah, sehingga meningkatkan AWC, meskipun tidak selalu meningkatkan permeabilitas.
- Struktur Tanah: Struktur tanah yang baik (beragregat) dapat meningkatkan baik permeabilitas maupun kapasitas menahan air.

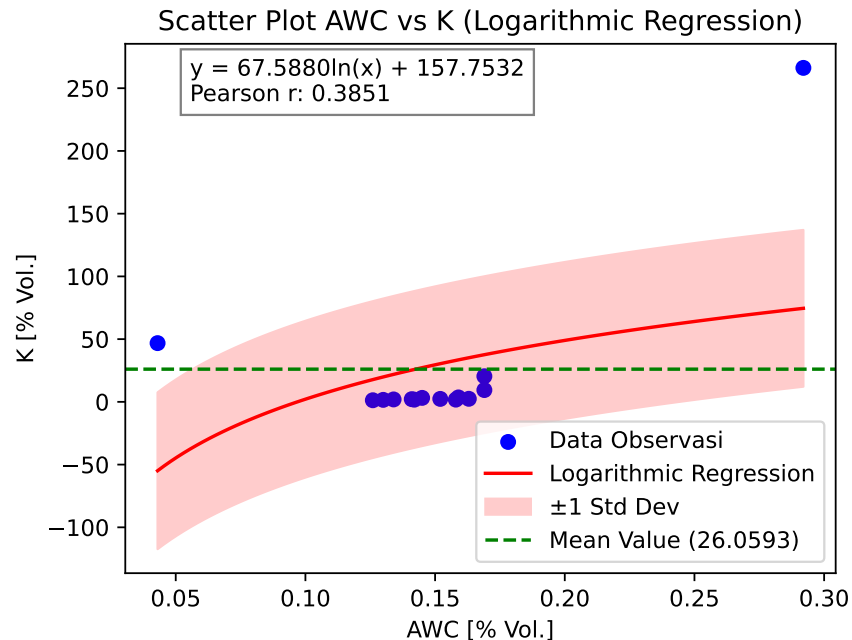
Figure 3.36, figures 3.37, Figure 3.38 menunjukkan pola hubungan antara *Available Water Content* dan Permeabilitas tanah; yaitu linear, polynomial dan logaritmik. Dari ke-3 hubungan tersebut yang paling besar nilai koefisien determinasi (R^2) adalah pola polynomial, sebesar 0.99; artinya parameter *Available Water Content* adalah salah satu variabel yang mempengaruhi kondisi permeabilitas tanah yang dominan. Secara umum korelasi antara permeabilitas tanah dan *Available Water Content* relatif sangat kuat dengan pola polynomial. Dengan peningkatan *Available Water Content* akan menyebabkan penurunan nilai permeabilitas tanah sampai ke nilai minimumnya, selanjutnya nilai permeabilitas tanah akan meningkat kembali dengan terus peningkatan *Available Water Content*.



Gambar 3.36: Hubungan Linear antara Available Water Content (AWC) dan Permeability (K)



Gambar 3.37: Hubungan Polynomial antara Available Water Content (AWC) dan Permeability (K)



Gambar 3.38: Hubungan Logarithmic antara Available Water Content (AWC) dan Permeability (K)

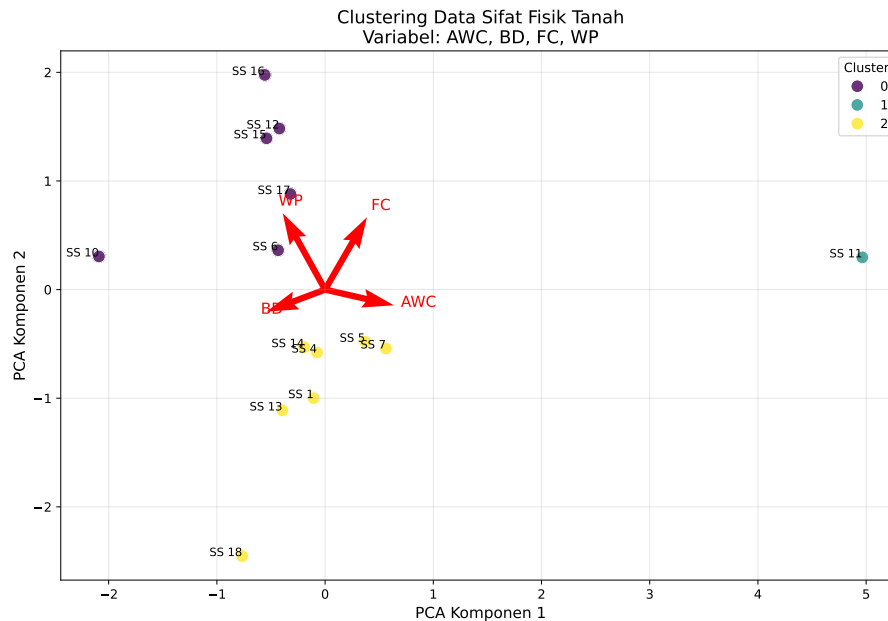
3.2.4 Clustering

PCA (Principal Component Analysis) merupakan salah satu metode yang biasa dipakai untuk mereduksi dimensi data suatu variabel (dalam hal ini sifat fisik tanah) tanpa kehilangan terlalu banyak informasi penting. Seperti penjelasan sebelumnya, antar parameter fisik tanah itu saling berkolasi. PCA akan membantu menyederhanakan hal tersebut, dengan menggabungkan informasi dari variabel-variabel tersebut ke dalam variabel baru yang disebut Principal Components (PC).

Clustering plot sampel tanah: variabel AWC, BD, FC dan WP

Figure 3.39 menunjukkan hasil clustering plot sampel tanah berdasarkan 4 variabel AWC, BD, FC dan WP. Tanda panah merah (Vektor Variabel) menunjukkan arah dan kekuatan kontribusi tiap variabel asli. Hasil PCA menunjukkan ada 3 cluster, yaitu Warna Ungu (plot SS17, SS16, SS15, SS12, , SS6 dan SS10); Warna Kuning (plot SS1, SS4, SS5, SS7, SS13, SS14 dan SS18); dan Warna biru

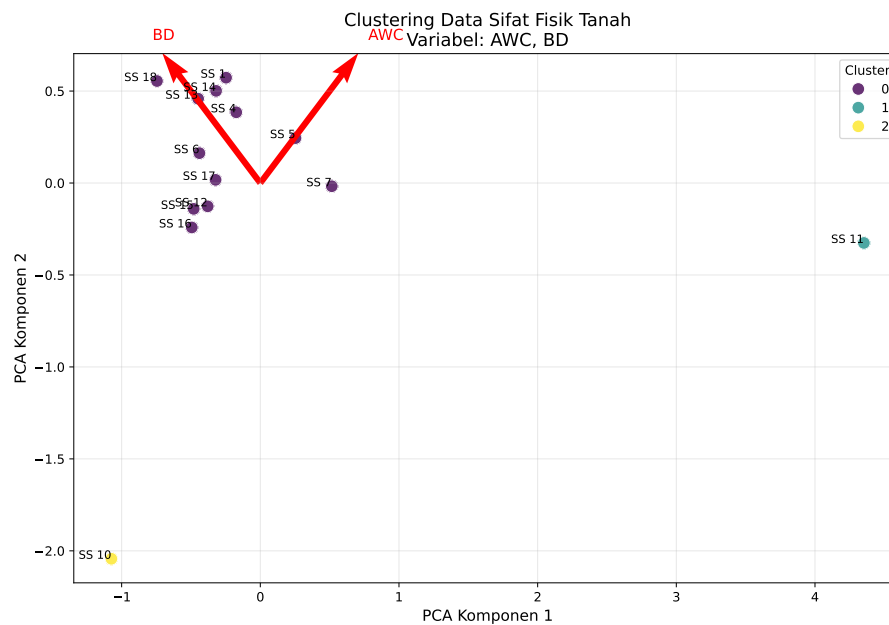
muda (SS11). Cluster warna kuning cenderung terkumpul di bagian bawah, kemungkinan punya kombinasi BD rendah, AWC lebih tinggi. Cluster warna ungu mengelompok ke atas, kemungkinan lebih dipengaruhi oleh WP dan FC. Cluster warna biru muda terpencar jauh kemungkinan lebih dipengaruhi oleh AWC dan FC., jadi sampel ini beda sendiri, kemungkinan outlier (pencilan).



Gambar 3.39: Soil Clustering

Clustering plot sampel tanah: variabel AWC dan BD

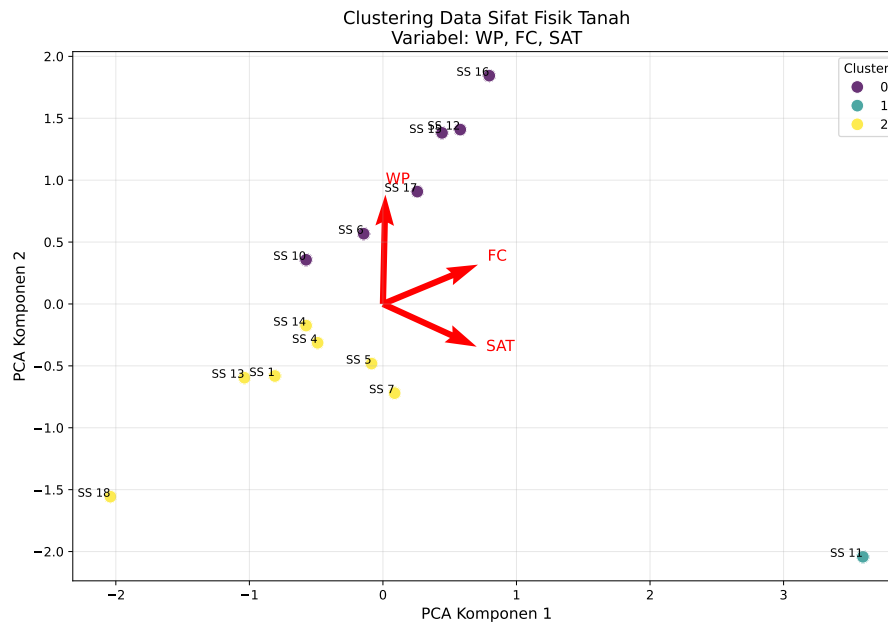
Figure 3.40 menunjukkan hasil clustering plot sampel tanah berdasarkan 2 variabel AWC dan BD. Hasil PCA menunjukkan ada 3 cluster, yaitu Warna Ungu (plot SS17, SS16, SS15, SS12, SS1, SS4, SS5, SS7, SS13, SS14, SS18, dan SS6); Warna Kuning (plot SS10); dan Warna biru muda (SS11). Cluster warna kuning dan warna biru muda cenderung terpencar jauh (pencilan / outlier) kemungkinan lebih dipengaruhi oleh nilai maksimum atau minimum AWC dan BD (bagian dari sampel tanah gambut / tanah organik). Cluster warna ungu mengelompok ke kiri atas, kemungkinan lebih dipengaruhi oleh kemiripan nilai BD (tanah mineral).



Gambar 3.40: Soil Clustering berdasarkan 'AWC' dan 'BD'

Clustering plot sampel tanah: variabel FC, WP, dan SAT

Figure 3.41 menunjukkan hasil clustering plot sampel tanah berdasarkan 4 variabel FC, WP dan SAT. Hasil PCA menunjukkan ada 3 claster, yaitu Warna Ungu (plot SS17, SS16, SS15, SS12, , SS6 dan SS10); Warna Kuning (plot SS1, SS4, SS5, SS7, SS13, SS14 dan SS18); dan Warna biru muda (SS11). Cluster warna kuning cenderung terkumpul di bagian kiri bawah, kemungkinan sedikit dipengaruhi oleh FC, WP dan SAT (ada parameter fisik tanah lain yang lebih mendominasi kemiripan). Cluster warna ungu mengelompok ke atas, kemungkinan lebih dipengaruhi oleh 41 kemiripan nilai WP. Cluster warna biru muda terpencar jauh kemungkinan lebih dipengaruhi oleh SAT, jadi sampel ini beda sendiri kemungkinan outlier (pencilan), sampel dari tanah mineral yang mengandung bahan organik tinggi.



Gambar 3.41: Soil Clustering berdasarkan 'WP', 'FC', 'SAT'

3.3 Implikasi Terhadap Studi Banjir

Pengetahuan tentang parameter fisik tanah memiliki implikasi besar dalam studi banjir, terutama dalam memahami, menganalisis, dan mengelola risiko banjir. Parameter fisik tanah yang berkaitan adalah tekstur (3 fraksi), permeabilitas, bulk density (BD), dan Available Water Content (AWC), saturation, dan wilting point. Parameter-parameter ini berperan penting dalam menentukan bagaimana suatu wilayah merespon curah hujan yang tinggi dan potensi terjadinya banjir. Selain itu sangat memengaruhi cara tanah menyerap, menyimpan, dan mengalirkan air selama peristiwa curah hujan ekstrem.

Implikasi yang penting dari pengetahuan akan parameter fisik tanah tersebut terhadap Studi Banjir adalah sebagai berikut:

1. Prediksi risiko limpasan permukaan (surface runoff): Jika tanah memiliki permeabilitas rendah (tanah liat atau tanah yang padat), curah hujan berlebih tidak dapat diserap tanah, menghasilkan limpasan permukaan yang besar. Pengetahuan tentang parameter seperti permeabilitas dan bulk density memungkinkan identifikasi area rawan limpasan.
2. Penilaian kapasitas infiltrasi tanah: Kapasitas infiltrasi yang rendah meningkatkan kemungkinan banjir kilat. Studi banjir dapat memanfaatkan data tekstur dan struktur tanah untuk menilai kapasitas infiltrasi.

3. Pemodelan hidrologi dan sistem drainase: Data fisik tanah diperlukan untuk memodelkan aliran air di permukaan dan di bawah permukaan (drainase tanah). Dengan memasukkan parameter tanah (porositas, tekstur, dan BD) ke dalam model banjir, prediksi volume banjir dan durasinya dapat ditingkatkan.
4. Desain infrastruktur dan mitigasi banjir: Parameter tanah membantu menentukan desain sistem mitigasi banjir seperti bio-retensi, sumur resapan, atau pengelolaan tanggul. Misalnya, di area dengan permeabilitas rendah, diperlukan saluran drainase tambahan untuk mengatasi limpasan.
5. Identifikasi area rentan genangan air: Daerah dengan tanah yang memiliki permeabilitas rendah atau sering berada dalam kondisi jenuh berisiko lebih besar terkena genangan selama banjir.
6. Efek perubahan tata guna lahan: Pengelolaan areal kebun sawit secara intensif akan meningkatkan bulk density karena pemadatan tanah dan pengurangan infiltrasi alami. Pengetahuan fisik tanah membantu mengevaluasi dampak perubahan ini terhadap aliran air dan risiko banjir.

Pengetahuan akan parameter fisik tanah tersebut selain berimplikasi terhadap Studi Banjir juga berimplikasi terhadap penyusunan rencana aksi untuk pengelolaan mengatasi dampak atau resiko banjir tersebut, yaitu sebagai berikut:

1. Strategi konservasi air dan tanah:
 - (a) Meningkatkan bahan organik untuk menurunkan bulk density dan meningkatkan porositas, AWC, serta permeabilitas.
 - (b) Teknik seperti terasering, penggunaan penutup tanah, dan agroforestri membantu meningkatkan kapasitas tanah dalam menyerap air.
 - (c) Pilihan menerapkan rekayasa teknis sipil berbasis lahan (parit buntu, kolam detensi, tanggul) atau alur drainase (gully plug, dam penahan) untuk mengelola limpasan permukaan dari bagian hulu atau Lokasi setempat
2. Pengelolaan lahan gambut::
 - (a) Estate Buaya yang memiliki lahan gambut yang cukup luas telah mengalami perubahan (konversi ke kebun sawit dan dibuat parit-parit drainase yang buntu) dapat dilakukan pengelolaan air yang lebih optimal lagi
 - (b) Pembangunan pintu-pintu air di parit-parit drainase untuk mengatur kedalaman muka air yang optimal
 - (c) Terdapat parit primer yang menghubungkan dengan Sungai di luar areal kebun melalui pintu air yang dapat di kelola

3. Perencanaan pembangunan tanggul: Informasi fisik tanah digunakan untuk menyesuaikan rencana pembangunan tanggul agar efektif dan efisien (misalnya, keberadaan tanah liat dengan BD tinggi untuk penimbunan tanggul).

Bab 4

Kesimpulan

Ringkasan temuan utama dari studi tanah, adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan data-data komposisi tekstur tanah, dapat dilihat bahwa secara *pedogenesis* tanah di lokasi plot sampel tanah merupakan daerah yang sering terdampak banjir yang berlangsung sangat lama sehingga menjadi penciri tanah utamanya. Begitu juga *landform* nya merupakan *river valey* sabuk meander dari sungai sungai besar (Sungai Kelinjau dan Sungai Telen). Hal tersebut berdampak terhadap karakteristik hidrologinya, yaitu memiliki permeabilitas tanah yang sangat rendah (drainase buruk).
2. Kadar airtanah dari tanah mineral pada kondisi kapasitas lapang berkisar antara 32.9% - 46.5%. Sebaran nilai kapasitas lapang tidak berbeda signifikan antar wilayah zona banjir.
3. Berdasarkan hasil analisa sampel tanah tersebut, dapat dilihat bahwa besarnya kapasitas menahan air tersedia (*Available Waterholding Capacity* / AWC) hasil analisa plot sampel tanah berkisar antara 4.3% - 29.3%.
4. *Bulk Density* (BD) atau kepadatan massa tanah hasil analisa sampel tanah berkisar antara 0.13% - 1.5%.
5. Untuk permeabilitas, hasil pengukuran di setiap plot sampel tanah menunjukkan variasi yang sangat tinggi. Tanah mineral dengan kandungan bahan organik yang rendah memiliki permeabilitas yang sangat rendah 1.3 - 9.4 mm/jam. Namun dari tanah mineral yang mengandung bahan organik yang cukup besar memiliki permeabilitas 47 – 266 mm/jam.
6. Karakteristik tanah menunjukkan wilayah studi adalah area yang sering mengalami limpasan. Karena itu mitigasi genangan yang dapat direkomendasikan berdasarkan sifat fisik tanahnya antara lain: parit buntu, kolam detensi, tanggul atau alur drainase (*gully plug*, dam penahan) untuk mengelola limpasan permukaan dari bagian hulu atau lokasi setempat.

7. Area limpasan air pada kebun sawit di tanah gambut sangat rentan tergenang banjir karena sifat drainase yang buruk sehingga memerlukan perhatian lebih dalam pengelolaan tata airnya.

Bibliografi

- [Aiken & Cotsaris, 1995] Aiken, G. & Cotsaris, E. (1995). Soil and hydrology: their effect on nom. *Journal-American Water Works Association*, 87(1), 36–45.
- [Basche & DeLonge, 2017] Basche, A. & DeLonge, M. (2017). The impact of continuous living cover on soil hydrologic properties: A meta-analysis. *Soil Science Society of America Journal*, 81(5), 1179–1190.
- [Bastardie et al., 2005] Bastardie, F., Ruy, S., & Cluzeau, D. (2005). Assessment of earthworm contribution to soil hydrology: a laboratory method to measure water diffusion through burrow walls. *Biology and fertility of soils*, 41, 124–128.
- [Bauser et al., 2018] Bauser, H. H., Berg, D., Klein, O., & Roth, K. (2018). Inflation method for ensemble kalman filter in soil hydrology. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(9), 4921–4934.
- [Bauser et al., 2016] Bauser, H. H., Jaumann, S., Berg, D., & Roth, K. (2016). Enkf with closed-eye period—towards a consistent aggregation of information in soil hydrology. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(12), 4999–5014.
- [Bengough, 2012] Bengough, A. (2012). Water dynamics of the root zone: rhizosphere biophysics and its control on soil hydrology. *Vadose Zone Journal*, 11(2), vzj2011–0111.
- [Bohne, 2005] Bohne, K. (2005). *An introduction into applied soil hydrology*. Catena Reiskirchen, Germany.
- [Brooks et al., 2004] Brooks, S., Crozier, M., Glade, T., & Anderson, M. (2004). Towards establishing climatic thresholds for slope instability: use of a physically-based combined soil hydrology-slope stability model. *Pure and Applied Geophysics*, 161, 881–905.
- [Cerdà & Doerr, 2005] Cerdà, A. & Doerr, S. H. (2005). Influence of vegetation recovery on soil hydrology and erodibility following fire: an 11-year investigation. *International Journal of Wildland Fire*, 14(4), 423–437.


- [Cheruy et al., 2013] Cheruy, F., Campoy, A., Dupont, J.-C., Ducharne, A., Hourdin, F., Haefelin, M., Chiriaco, M., & Idelkadi, A. (2013). Combined influence of atmospheric physics and soil hydrology on the simulated meteorology at the sirta atmospheric observatory. *Climate Dynamics*, 40, 2251–2269.
- [Ducharne et al., 1998] Ducharne, A., Laval, K., & Polcher, J. (1998). Sensitivity of the hydrological cycle to the parametrization of soil hydrology in a gcm. *Climate dynamics*, 14, 307–327.
- [Eldridge et al., 1997] Eldridge, D., Tozer, M., & Slangen, S. (1997). Soil hydrology is independent of microphytic crust cover: further evidence from a wooded semiarid australian rangeland. *Arid Land Research and Management*, 11(2), 113–126.
- [Guimberteau et al., 2014] Guimberteau, M., Ducharne, A., Ciais, P., Boisier, J.-P., Peng, S., De Weirtdt, M., & Verbeeck, H. (2014). Testing conceptual and physically based soil hydrology schemes against observations for the amazon basin. *Geoscientific Model Development*, 7(3), 1115–1136.
- [Jirka et al., 2007] Jirka, S., McDonald, A. J., Johnson, M. S., Feldpausch, T. R., Couto, E. G., & Riha, S. J. (2007). Relationships between soil hydrology and forest structure and composition in the southern brazilian amazon. *Journal of Vegetation Science*, 18(2), 183–194.
- [Johnson et al., 2016] Johnson, J. M., Strock, J. S., Tallaksen, J. E., & Reese, M. (2016). Corn stover harvest changes soil hydrology and soil aggregation. *Soil and Tillage Research*, 161, 106–115.
- [Keefer et al., 2008] Keefer, T., Moran, M., & Paige, G. (2008). Long-term meteorological and soil hydrology database, walnut gulch experimental watershed, arizona, united states. *Water Resources Research*, 44(5).
- [Kutílek & Nielsen, 1994] Kutílek, M. & Nielsen, D. R. (1994). *Soil hydrology: textbook for students of soil science, agriculture, forestry, geoecology, hydrology, geomorphology and other related disciplines*.
- [Mahrt & Pan, 1984] Mahrt, L. & Pan, H. (1984). A two-layer model of soil hydrology. *Boundary-Layer Meteorology*, 29, 1–20.
- [O’Geen et al., 2010] O’Geen, A. T., Dahlgren, R. A., Swarowsky, A., Tate, K. W., Lewis, D. J., & Singer, M. J. (2010). Research connects soil hydrology and stream water chemistry in california oak woodlands. *California Agriculture*, 64(2).
- [Olsson et al., 2009] Olsson, M. T., Erlandsson, M., Lundin, L., Nilsson, T., Nilsson, Å., Stendahl, J., et al. (2009). Organic carbon stocks in swedish podzol soils in relation to soil hydrology and other site characteristics. *Silva Fennica*, 43(2), 209–222.

- [Pachepsky et al., 2004] Pachepsky, Y., Smettem, K., Vanderborght, J., Herbst, M., Vereecken, H., & Wösten, J. (2004). Reality and fiction of models and data in soil hydrology. *Unsaturated-Zone Modeling: Progress, Challenges and Applications*, (pp. 3–5).
- [Shein, 2010] Shein, E. (2010). Soil hydrology: stages of development, current state, and nearest prospects. *Eurasian Soil Science*, 43, 158–167.
- [Smith et al., 2020] Smith, W., Grant, B., Qi, Z., He, W., VanderZaag, A., Drury, C. F., & Helmers, M. (2020). Development of the dndc model to improve soil hydrology and incorporate mechanistic tile drainage: A comparative analysis with rzwqm2. *Environmental Modelling & Software*, 123, 104577.
- [Vepraskas et al., 2012] Vepraskas, M., Lindbo, D., & Lin, H. (2012). Redoximorphic features as related to soil hydrology and hydric soils. *Hydropedology: synergistic integration of soil science and hydrology*, (pp. 143–172).
- [Vereecken et al., 2022] Vereecken, H., Amelung, W., Bauke, S. L., Bogaen, H., Brüggemann, N., Montzka, C., Vanderborght, J., Bechtold, M., Blöschl, G., Carminati, A., Javaux, M., Konings, A. G., Kusche, J., Neuweiler, I., Or, D., Steele-Dunne, S., Verhoef, A., Young, M., & Zhang, Y. (2022). Soil hydrology in the earth system. *Nature Reviews Earth & Environment*, 3(9), 573–587.
- [Vereecken et al., 2015] Vereecken, H., Huisman, J. A., Hendricks Franssen, H. J., Brüggemann, N., Bogaen, H. R., Kollet, S., Javaux, M., van der Kruk, J., & Vanderborght, J. (2015). Soil hydrology: Recent methodological advances, challenges, and perspectives. *Water Resources Research*, 51(4), 2616–2633.
- [Vidon & Cuadra, 2010] Vidon, P. & Cuadra, P. (2010). Impact of precipitation characteristics on soil hydrology in tile-drained landscapes. *Hydrological processes*, 24(13), 1821–1833.
- [Vogel, 2019] Vogel, H.-J. (2019). Scale issues in soil hydrology. *Vadose Zone Journal*, 18(1), 1–10.
- [Yazdanpanah et al., 2016] Yazdanpanah, N., Mahmoodabadi, M., & Cerdà, A. (2016). The impact of organic amendments on soil hydrology, structure and microbial respiration in semiarid lands. *Geoderma*, 266, 58–65.
- [Zobler, 1988] Zobler, L. (1988). A world soil hydrology file for global climate modelling. In *International Geographic Information Systems (IGIS) Symposium: Overview of research needs and the research agenda*, volume 1 (pp. 12).: NASA.


Lampiran A

Lokasi Pengambilan Sampel Tanah

Lampiran 1. Lokasi Pengambilan Sampel Tanah

	Kegiatan	Sampel tanah komposit
	Kode Sampel	SS1
	Bujur Timur	116.21084
	Lintang Utara	0.29201
	Keterangan	Lahan bekas ladang, sekarang tumbuh rumput ilalang, bagain permukaan lempung berpasir, semakin ke bawah semakin berliat


	Kegiatan	Sampel tanah komposit
	Kode Sampel	SS2
	Bujur Timur	116.21180
	Lintang Utara	0.32701
	Keterangan	Dalam areal kebun sawit, sempadan Loa wen, tanah perrmukaan lembab, tanah lempung berpasir di permukaan, ke bawah semakin liat dan berwarna coklat terang

	Kegiatan	Sampel tanah komposit
	Kode Sampel	SS3
	Bujur Timur	116.30059
	Lintang Utara	0.26366
	Keterangan	Dalam areal kebun sawit, sempadan anak Sungai Lurah, lempung berliat di permukaan, ke bawah semakin liat dan berwarna abu-abu terang


	Kegiatan	Sampel tanah komposit
	Kode Sampel	SS4


	Bujur Timur	116.22022
	Lintang Utara	0.29214
	Keterangan	Dalam areal kebun sawit, sekitar daerah rentan banjir, tanah permukaan lembab, tanah lempung berliat di permukaan, ke bawah semakin liat dan berwarna abu-abu gelap
	Kegiatan	Sampel tanah komposit
	Kode Sampel	SS5
	Bujur Timur	116.26754
	Lintang Utara	0.19856
	Keterangan	Lahan yang sering tergenang banjir, bagian permukaan hingga bawah merupakan bahan organik (tanah gambut)
	Kegiatan	Sampel tanah komposit
	Kode Sampel	SS6
	Bujur Timur	116.24343
	Lintang Utara	0.20406
	Keterangan	Lahan yang sering tergenang banjir, bagian permukaan hingga bawah merupakan bahan organik (tanah gambut)
	Kegiatan	Sampel tanah komposit
	Kode Sampel	SS7
	Bujur Timur	116.27610
	Lintang Utara	0.19142
	Keterangan	Lahan yang sering tergenang, bagian permukaan merupakan bahan organik dominan,


		semakin ke bawah tanah berliat dominan
--	--	--


	Kegiatan	Sampel tanah komposit
	Kode Sampel	SS8
	Bujur Timur	116.23901
	Lintang Utara	0.22895
	Keterangan	Di lahan Kebun sawit; Tanah lempung berliat di permukaan, semakin ke bawah liat dominan dan berwarna coklat campur abu-abu cerah

	Kegiatan	Sampel tanah komposit
	Kode Sampel	SS9
	Bujur Timur	116.19056
	Lintang Utara	0.32482
	Keterangan	Dalam areal kebun sawit, tanah permukaan lembab (berlumut), tanah lempung berpasir sampai bawah

	Kegiatan	Sampel tanah komposit
	Kode Sampel	SS10
	Bujur Timur	116.20042
	Lintang Utara	0.31142
	Keterangan	Dalam areal kebun sawit, tanah permukaan lembab (agak berlumut), tanah lempung berpasir di permukaan, ke bawah semakin liat

	Kegiatan	Sampel tanah komposit
	Kode Sampel	SS11
	Bujur Timur	116.29298
	Lintang Utara	0.24571
	Keterangan	Dalam areal kebun sawit, sempadan anak Sungai Lurah, lempung berliat di permukaan, ke bawah semakin liat dan berwarna coklat terang

	Kegiatan	Sampel tanah komposit
	Kode Sampel	SS12
	Bujur Timur	116.15924
	Lintang Utara	0.37167
	Keterangan	Tutupan lahan sekitar Semak belukar di sekitar kebun sawit Masyarakat, tanah agak berpasir

	Kegiatan	Sampel tanah komposit
	Kode Sampel	SS13
	Bujur Timur	116.17031
	Lintang Utara	0.32031
	Keterangan	Tutupan lahan sekitar Semak belukar, berada di sekitar sempadan Sungai belayan (muara Long Seng); Tanah lempung berliat di permukaan, semakin ke bawah semakin liat dan berwarna abu-abu cerah

	Kegiatan	Sampel tanah komposit
--	----------	-----------------------




Kode Sampel	SS14
Bujur Timur	116.32213
Lintang Utara	0.18989
Keterangan	Lahan bekas Semak belukar, sempadan Sungai Belayan, daerah sering banjir; tanah lempung berliat di bagian permukaan dan semakin ke bawah dominan liat





Kegiatan	Sampel tanah komposit
Kode Sampel	SS15
Bujur Timur	116.13796
Lintang Utara	0.26461
Keterangan	Lahan bekas Semak belukar, sempadan Sungai Sentekan, daerah sering tergenang; tanah lempung berliat di bagian permukaan dan semakin ke bawah dominan liat



Kegiatan	Sampel tanah komposit
Kode Sampel	SS16
Bujur Timur	116.13368
Lintang Utara	0.27562
Keterangan	Dalam kebun sawit, sempadan Sungai Sentekan, daerah sering tergenang; tanah lempung berliat di bagian permukaan dan semakin ke bawah dominan liat

	Kegiatan	Sampel tanah komposit
	Kode Sampel	SS17
	Bujur Timur	116.25803
	Lintang Utara	0.23948
	Keterangan	Semak belukar, Sempadan Belayan, permukaan lempung berpasir semakin ke bawah liat berlempung

	Kegiatan	Sampel tanah komposit
	Kode Sampel	SS18
	Bujur Timur	116.23639
	Lintang Utara	0.25023
	Keterangan	Kebun sawit Masyarakat Sempadan S. Niruk bagian hilir, permukaan lempung berpasir semakin ke bawah liat berlempung

	Kegiatan	Sampel tanah komposit
	Kode Sampel	SS19
	Bujur Timur	116.15592
	Lintang Utara	0.32269
	Keterangan	Tutupan lahan sekitar Semak belukar, di permukaan lempung berpasir basah semakin ke bawah semakin liat dan menggumpal keras

	Kegiatan	Sampel tanah komposit
	Kode Sampel	SS20

	Bujur Timur	116.14726
	Lintang Utara	0.34403
	Keterangan	Tutupan lahan kebun sawit Masyarakat, tanah agak berpasir; pinggir Sungai belayan

	Kegiatan	Sampel tanah komposit
	Kode Sampel	SS21
	Bujur Timur	116.20905
	Lintang Utara	0.26194
	Keterangan	Lahan kebun durian Masyarakat, sempadan Sungai belayan, lempung berpasir, berwarna coklat gelap

	Kegiatan	Sampel tanah komposit
	Kode Sampel	SS22
	Bujur Timur	116.196051
	Lintang Utara	0.265293
	Keterangan	Lahan kebun sawit Masyarakat, sempadan Sungai belayan, lempung berpasir, berwarna coklat gelap

Lampiran B

Rekapitulasi Parameter Fisik Tanah

Tabel B.1: Rekapitulasi Parameter Fisik Tanah Hasil Analisa Sampel Tanah

No	Kode Sampel	C-Organik	OM*	ClayTekstur (dalam persen)				WP	FC	SAT	AWC	K	BD	Keterangan
		(%)	(%)	Pasir	Debu	Liat	Kelas	%V	%V	%V	%V	mm/jam	gr/cm3	
1	SS 1	0.73	1.26	4	26	70	Clay	40.1	48.9	58.4	8.8	1.9	1.10	Mineral
2	SS 2	0.73	1.26	16	30	54	Clay	31.7	44.0	51.8	12.3	1.1	1.28	Mineral
3	SS 3	0.72	1.24	1	51	48	Silty Clay	28.2	42.4	53.1	14.2	3.0	1.24	Mineral
4	SS 4	4.04	6.97	1	29	70	Clay	38.0	41.1	54.3	3.1	4.7	1.21	Mineral
5	SS 5	5.29	9.12	12	24	64	Clay	35.5	40.4	51.1	4.9	2.5	1.29	Mineral
6	SS 6	37.92	65.37	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Gambut
7	SS 7	2.62	4.52	2	18	80	Clay	43.8	45.7	55.7	1.9	2.0	1.17	Mineral
8	SS 8	0.54	0.93	13	36	51	Clay	30.0	43.1	51.5	13.1	1.4	1.29	Mineral
9	SS 9	0.52	0.90	8	39	53	Clay	31.0	43.9	52.9	12.9	1.8	1.25	Mineral
10	SS 10	0.52	0.89	13	22	65	Clay	37.7	48.5	55.3	10.7	0.7	1.18	Mineral
11	SS 11	0.57	0.98	4	28	68	Clay	39.1	48.6	58.0	9.5	1.9	1.11	Mineral
12	SS 12	0.97	1.67	14	49	37	Silty Clay Loam	22.5	38.1	49.1	15.6	3.6	1.35	Mineral
13	SS 13	0.79	1.36	3	33	64	Clay	36.8	46.9	56.9	10.1	2.3	1.14	Mineral
14	SS 14	0.53	0.92	8	36	56	Clay	32.7	44.9	53.8	12.2	1.6	1.22	Mineral
15	SS 15	1.17	2.02	0	26	74	Clay	41.8	48.3	59.5	6.5	2.9	1.07	Mineral
16	SS 16	0.32	0.54	6	36	58	Clay	33.8	45.8	54.7	12.0	1.6	1.20	Mineral
17	SS 17	0.71	1.22	10	56	34	Silty Clay Loam	20.7	37.4	48.2	16.7	3.4	1.37	Mineral
18	SS 18	0.68	1.17	7	52	41	Silty Clay	24.5	40.0	50.2	15.5	2.8	1.32	Mineral
19	SS 19	0.41	0.70	20	41	39	Silty Clay Loam	23.4	37.9	47.0	14.5	2.0	1.40	Mineral
20	SS 20	1.40	2.41	14	56	30	Silty Clay Loam	18.9	36.2	49.7	17.3	6.7	1.33	Mineral
21	SS 21	0.75	1.29	15	45	40	Silty Clay	24.0	38.9	48.9	14.9	2.6	1.35	Mineral
22	SS 22	0.72	1.24	6	44	50	Silty Clay	29.3	42.8	52.7	13.5	2.4	1.25	Mineral