

## II. LANDASAN TEORI

### A. Tinjauan Pustaka

#### 1. Ekofisiologi Kelapa Sawit

Asal usul kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) berasal dari daerah Afrika dan Amerika Selatan. Kelapa sawit mulai diuji coba ditanam di Kebun Raya Bogor tahun 1848 (2 tanaman dari Bourbon/Mauritius dan 2 tanaman dari Hortus Botanicus Amsterdam), pada tahun 1853 dilaporkan tanaman ini tumbuh subur, dan kelak menjadi induk tanaman kelapa sawit di Indonesia. Hallet (pengusaha Belgia) tahun 1910 membuka perkebunan kelapa sawit di Sumatera Utara (Pulau Raja, Deli Muda dan Sungai Liput). Dalam waktu 100 tahun kemudian, kelapa sawit menjadi komoditas andalan yang menjadikan Indonesia sebagai negara produsen minyak sawit terbesar dunia.

Kelapa sawit termasuk klas monokotil yang mempunyai umur produktif hingga 25 tahun. Tanaman ini tumbuh baik di areal yang mempunyai curah hujan 1.750-2.500 mm per tahun dengan sebaran yang merata sepanjang tahun (maksimum 3 bulan kering) (Corley & Tinker, 2015). Hasil tanaman kelapa sawit tergantung pada beberapa faktor, seperti bahan tanam, masukan agronomi, aktivitas fotosintesis dan kondisi iklim musiman (Taiz & Zeiger, 2003).

Corley & Tinker (2015) dan Turner (1974) menyatakan bahwa anasir iklim yang mempengaruhi produksi bahan kering kelapa sawit meliputi :

##### a. Curah Hujan

Tanaman kelapa sawit tumbuh dengan baik di areal dengan curah hujan tahunan antara 1.750 – 3.000 mm dan menyebar merata sepanjang tahun (Pahan, 2015). Penyebaran curah hujan merata yang dimaksud adalah tidak terdapat perbedaan mencolok dari satu bulan ke bulan berikutnya dan tidak terdapat curah hujan bulanan di bawah 60 mm sehingga tanaman tidak mengalami cekaman. Berdasarkan pengamatan yang dilakukan pada perkebunan-perkebunan kelapa sawit di Indonesia, telah diketahui curah hujan tahunan minimal untuk tanaman kelapa sawit adalah 1.250 mm tanpa bulan kering (curah hujan bulanan kurang dari

60 mm). Penyebaran curah hujan juga merupakan faktor penting untuk perkembangan bunga dan produksi tandan. Pada umumnya sewaktu musim hujan terbentuk lebih banyak bunga betina, sedang pada musim kemarau terbentuk lebih banyak bunga jantan (Turner, 1974).

Selanjutnya telah diketahui bahwa sebagian besar dari produksi tandan pada tahun sedang berjalan sebenarnya sangat ditentukan oleh keadaan 24 - 42 bulan sebelumnya. Keadaan ini disebabkan adanya hubungan yang erat antara curah hujan maupun radiasi matahari dengan nisbah seks (Corley & Tinker, 2015). Penyebaran curah hujan yang mencolok terdapat pada perkebunan kelapa sawit di Afrika Barat di mana selama 2 - 4 bulan terjadi kekeringan, cenderung untuk mempertajam fluktuasi produksi tandan buah dari tahun ke tahun dengan hasil yang sangat rendah secara siklikal terjadi setiap 4 - 6 tahun (Ng *et al.*, 2011). Berdasarkan data tersebut di atas anasir iklim yang sangat penting terhadap pertumbuhan, perkembangan dan produktivitas kelapa sawit adalah curah hujan (air). Curah hujan berpengaruh terhadap: produksi pelepah, polinasi, pelepasan polen, viabilitas polen (polen berkecambah untuk terjadinya pembuahan, diferensiasi seks (bunga jantan atau betina), aborsi bunga, dan jumlah tandan.

Kekurangan air pada kelapa sawit dapat menyebabkan hal-hal berikut: buah lambat masak, bobot tandan buah berkurang dan hasil ekstraksi CPO menurun, jumlah tandan buah menurun hingga sembilan bulan kemudian, dan jumlah bunga jantan meningkat sedangkan bunga betina menurun (Murti Laksono & Darmosarkoro, 2007).

Perhitungan keseimbangan (defisit dan surplus) air pada tanaman kelapa sawit untuk keperluan praktis di lapangan dilakukan dengan perhitungan metode Surre (1968) dan Tailliez (1973). Perhitungan tersebut dilakukan dengan menggunakan asumsi umum bahwa keseimbangan air merupakan jumlah air dari curah hujan ditambah dengan cadangan awal air dalam tanah kemudian dikurangi dengan evapotranspirasi. Evapotranspirasi diasumsikan bernilai 150 mm/bulan jika hari hujan  $\leq 10$  hari/bulan dan bernilai 120 mm/bulan jika hari hujan  $> 10$  hari/bulan. Asumsi lain yang digunakan adalah kemampuan tanah dalam menyimpan air/cadangan air dalam tanah maksimum 200 mm. Nilai keseimbangan air

menunjukkan tingkat ketersediaan air per bulan. Keseimbangan air dengan nilai  $< 0$  mm menunjukkan adanya defisit air, sedangkan keseimbangan air dengan nilai  $> 0$  mm menunjukkan tidak adanya defisit air. Bila keseimbangan air dalam perhitungan tersebut bernilai  $0 - 200$  mm, maka kelebihan air akan disimpan dalam tanah sebagai cadangan awal untuk bulan berikutnya. Kemudian bila keseimbangan air dalam perhitungan tersebut bernilai  $> 200$  mm, maka kelebihan air setelah cadangan air tanah maksimum  $200$  mm merupakan surplus atau drainase.

Defisit air per bulan dapat dijumlahkan untuk memperoleh nilai defisit air pada periode tertentu, misalnya periode satu tahun. Pada pengamatan secara umum di perkebunan kelapa sawit defisit air  $< 200$  mm belum berpengaruh terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman, sebaliknya  $> 200$  mm mulai berpengaruh. Penentuan kecukupan air bagi tanaman kelapa sawit dengan cara perhitungan defisit air dapat merupakan salah satu indikator penyebaran curah hujan bulanan dalam setahun yang merupakan hal penting dalam keseimbangan air. Jumlah hujan tahunan yang tidak menyebar merata dapat menimbulkan adanya defisit air. (Corley & Tinker, 2015) menyebutkan bahwa di Nigeria dengan curah hujan melebihi  $2000$  mm/tahun defisit air terjadi akibat penyebaran hujan bulanan yang tidak merata.

Tabel 1. Klasifikasi dan kriteria tingkat cekaman kekeringan pada tanaman kelapa sawit

Stadia	Kisaran Defisit air (mm/tahun)	Jumlah daun tombak *	Jumlah pelepah tua patah **	Kisaran penurunan produktivitas (%)***
I	200 – 300	3-4	1-8	0 - 15
II	300 – 400	4-5	8 - 12	5 - 20
III	400 – 500	4-5	12 - 16	10 - 25
IV	$> 500$	4 – 5 ****	12 - 16	15 - $> 30$ (45)

\* pelepah daun muda (pupus) mengumpul/ tidak membuka pada TBM dan TM, serta dapat patah pada stadia IV

\*\* pelepah daun tua patah (sengkleh) dan mengering pada TM

\*\*\* satu tahun setelah cekaman kekeringan

\*\*\*\* disertai dengan pucuk patah

Beberapa metode pendekatan dan analisis kuantitatif data iklim mulai dikembangkan pada perkebunan kelapa sawit. Pada umumnya keadaan curah hujan sebelumnya berpengaruh nyata terhadap fluktuasi produksi pada bulan sedang berjalan dan berikutnya. Besarnya produksi tandan buah segar dihubungkan dengan curah hujan 11 dan 12 bulan sebelumnya (*Lag* 11, 12)

Tabel 2. Kriteria faktor pembatas hujan untuk kelapa sawit

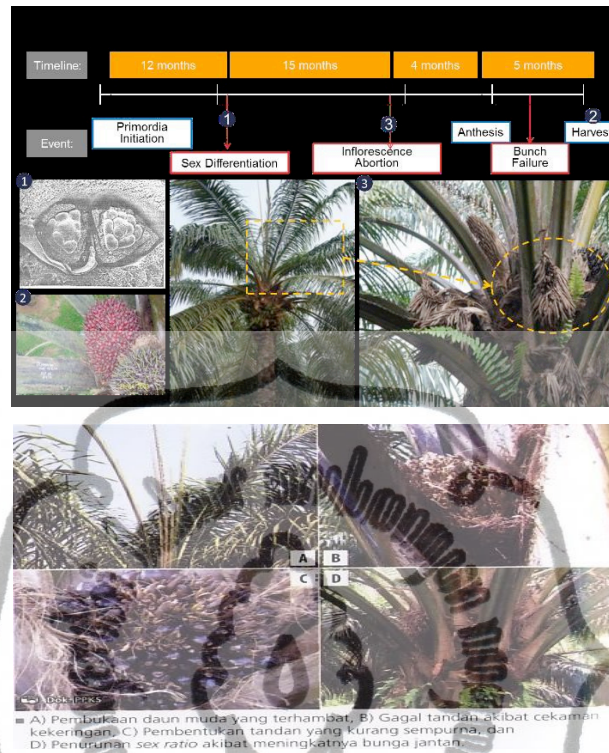
Komponen Hujan	Intensitas Faktor Pembatas			
	Bukan Pembatas	Pembatas Ringan	Pembatas Sidang	Pembatas Berat
Curah Hujan (mm/tahun)	1700-3000	1450-1700 dan > 3000	1250-1450	< 1250
Bulan Kering (bulan/tahun)	< 1	1 - 2	2 - 3	>3

Pengaruh air terhadap pertumbuhan, perkembangan dan produksi tanaman (kelapa sawit), dibedakan atas pengaruh langsung sebagai: komponen biomolekul (H dan O), KH, lemak dan protein. Pengaruh tidak langsung, sebagai: pelarut dan pertukaran ion, media transportasi, pengatur tekanan turgor dan *heat balancing*.

Pengaruh air terhadap produksi sangat luas dan kompleks dan interaksi ketiga kelompok faktor tersebut di atas sangat berpengaruh terhadap ketersediaan air bagi tanaman kelapa sawit. Oleh karena itu defisit air yang menyebabkan cekaman rutin dalam agroklimat di Indonesia berpengaruh luas dengan durasi yang bervariasi sesuai dengan pertumbuhan dan perkembangan siklus vegetatif dan generatif kelapa sawit. Dalam identifikasi sistem produksi dan konseptualisasi model, dikaji pengaruh cekaman lengas terhadap produksi dalam hubungan dengan penggunaan tandan kosong sebagai bahan pembenah tanah untuk tanah pasir.

Pengaruh tersebut terjadi melalui mekanisme siklus fitomer kelapa sawit sebagaimana disajikan pada Gambar 1.





Gambar 1. Fase perkembangan bunga yang peka terhadap CH rendah

Ketersediaan air pada tanaman kelapa sawit merupakan faktor penting yang dapat mempengaruhi produksi. Tanaman kelapa sawit yang mengalami cekaman air dapat dilihat dari karakter morfologi dan fisiologinya. Secara morfologi, tanaman kelapa sawit yang mengalami cekaman air akan merespons dengan perpanjangan daerah perakaran, penurunan luas daun, rusaknya pelepah dan pucuk yang patah hingga penurunan produksi. Sementara secara fisiologi, tanaman kelapa sawit yang mengalami cekaman air akan mempunyai respons penghindaran dan toleransi. Respons penghindaran dapat dilihat dari menutupnya stomata untuk mengurangi laju transpirasi melalui peningkatan asam absisat pada tanaman, akibatnya penyerapan  $\text{CO}_2$  menjadi terhambat sehingga mengurangi laju fotosintesis. Sedangkan respons toleran dapat dilihat dari kandungan prolin yang meningkat. Prolin merupakan salah satu senyawa osmoregulator organik yang terbentuk di dalam sel ketika tanaman mengalami cekaman air (Muhdan, 2015).

### b. Kelembapan

Tanaman kelapa sawit tumbuh dengan baik di daerah tropis dengan kelembapan relatif 75 - 80% (Corley & Tinker, 2015), di mana kelembapan optimal untuk pertumbuhan dan perkembangan kelapa sawit adalah sekitar 75% (Ferwerda, 1977; Hartley, 1977). Kelembapan udara yang cukup tinggi ini berkaitan dengan radiasi sinar dan suhu udara yang cenderung rendah dan curah hujan yang relatif tinggi. Kelembapan udara erat kaitannya dengan pertumbuhan dan perkembangan hama dan penyakit kelapa sawit. Kelembapan yang terlalu tinggi akan menyebabkan tanaman menjadi rentan terhadap serangan hama penyakit khususnya penyakit busuk buah *Marasmius*. Fluktuasi dan distribusi kelembapan udara menurut waktu serta tempat mengikuti fluktuasi unsur-unsur suhu, curah hujan dan radiasi matahari.

### c. Radiasi Cahaya Matahari (CM)

Pertumbuhan dan produksi kelapa sawit dipengaruhi oleh lama penyinaran, lama penyinaran yang ideal 5-7 jam per hari. Penyinaran yang kurang dapat mengurangi produksi bunga betina yang akhirnya menurunkan nisbah seks.

Henson & Chang (2000) menyebutkan bahwa model yang menggambarkan produksi tanaman kelapa sawit dari energi sinar matahari melibatkan 4 faktor utama, dengan rumus :  $Y = S.f.e.P$

S: Energi sinar matahari yang sampai di kanopi tanaman

f : Fraksi dari S yang masuk ke dalam kanopi

e : efisiensi konversi sinar matahari yang masuk ke dalam kanopi yang diubah menjadi bahan kering

P: Fraksi bahan kering yang dipartisi menjadi produk yang bernilai ekonomi (tandan atau minyak) .

Radiasi CM digunakan untuk fotosintesis mencakup  $\frac{1}{2}$  dari total sinar matahari, meskipun porsi tepatnya tergantung pada musim, lama penyinaran dan kondisi atmosfer. Tanaman kelapa sawit membutuhkan penyinaran matahari yang optimum untuk fotosintesis, karena kelapa sawit merupakan jenis tanaman heliofit (penyuka CM).

Penyinaran matahari dibutuhkan sedikitnya 4 jam/hari, sumber lain menyatakan bahwa kelapa sawit dapat tumbuh optimal dengan lama penyinaran 5 – 7 jam/hari atau 1.800 – 2.200 jam/tahun (Verheye, 2010). Lama penyinaran erat kaitannya dengan energi radiasi sinar yang tersedia untuk fotosintesis tanaman. Semakin pendek lama penyinaran, energi radiasi sinar yang diabsorpsi tanaman akan semakin sedikit. Apabila hal ini berlangsung secara terus-menerus akan menyebabkan terganggunya pertumbuhan dan perkembangan tanaman.

Selain itu lama penyinaran yang kurang dapat menyebabkan penurunan produksi bunga betina (Verheye, 2010). Penurunan jumlah bunga betina akan berimbas pada penurunan sex ratio. Pengaruh radiasi matahari akan semakin besar apabila curah hujan dalam keadaan optimal. Selain lama penyinaran, intensitas radiasi matahari terutama dari spektrum panjang gelombang 400 – 700 nm mengikuti fluktuasi unsur-unsur suhu, curah hujan dan radiasi matahari.

#### **d. Intersepsi Cahaya Matahari**

Intersepsi CM yang sampai di atas tanaman, dan CM yang mencapai tanah di bawah kanopi tanaman. Pada kelapa sawit umur 10 tahun, 15% dari total CM dipantulkan, 70% diserap, dan 15% sampai di permukaan tanah. Proporsi CM yang melintasi kanopi adalah fungsi dari indeks luas daun yang merupakan hasil dari rerata luas daun per pelepah, banyaknya pelepah per pohon dan populasi tanaman per hektar. Kondisi kanopi yang baik dapat diperkirakan dari jumlah pelepah optimum yang bervariasi sesuai dengan umur tanaman (Henson & Chang, 2000).

Menurut Corley & Tinker (2016) bahwa konsep *resource capture* dapat dipergunakan untuk membicarakan tanaman dalam hubungan dengan intersepsi dan penggunaan sinar matahari dan partisi fotosintat. Intersepsi sinar matahari tergantung pada indeks luas daun, tetapi hubungannya tidak linier, penggunaan fraksi sinar matahari yang diserap oleh kanopi lebih besar daripada indeks luas daun dan konversi fotosintesis lebih besar daripada *net assimilation rate*.

Fotosintesis dan produktivitas kelapa sawit tergantung pada proporsi lamanya sinar matahari, sinar matahari yang diserap tanaman, *light saturation*, dan kehilangan akibat respirasi gelap (*dark respiration losses*). Selanjutnya hal ini

tergantung pada karakteristik pertumbuhan vegetatif, seperti jumlah pelepah, panjang pelepah dan populasi tanaman (jarak tanam) yang menentukan indeks luas daun (Othman *et al.*, 2010). Selanjutnya dinyatakan bahwa variasi produktivitas dapat dijelaskan dari intersepsi sinar matahari dalam kanopi tanaman dan efisiensi penggunaannya sehingga luas jaringan yang aktif melakukan fotosintesis perlu mendapat perhatian dalam melakukan pemeliharaan tanaman kelapa sawit. Hal ini berhubungan dengan jumlah pelepah dalam kanopi kelapa sawit (Goh *et al.*, 2016).

#### e. Suhu Udara

Tahapan perkembangan tanaman secara umum dipengaruhi oleh suhu udara. Konsep *thermal time* sering digunakan untuk menganalisis hal tersebut. Meskipun konsep *thermal time* masih belum banyak dikembangkan pada pertanaman kelapa sawit. Suhu udara pada batas-batas tertentu berpengaruh terhadap metabolisme sel pada organ tanaman yang akhirnya mempengaruhi pertumbuhan dan produksi. Perkebunan kelapa sawit dengan hasil yang tinggi terdapat pada kawasan-kawasan yang mempunyai variasi suhu udara bulanan yang kecil. Tanaman kelapa sawit tumbuh dan berkembang baik pada kawasan yang mempunyai suhu udara rata-rata tahunan 24 - 28°C (Ferwerda, 1977). Untuk produksi yang tinggi dibutuhkan suhu udara maksimum rata-rata pada kisaran 29 - 32°C dan suhu udara minimum rata-rata pada kisaran 22 - 24°C (Hartley, 1977). Batas suhu udara minimum rata-rata untuk syarat pertumbuhan dan perkembangan kelapa sawit adalah 18°C, bila kurang akan menghambat pertumbuhan dan mengurangi hasil. Temperatur udara yang rendah pada bulan-bulan tertentu akan menghambat penyerbukan bunga yang akan menjadi buah. Temperatur udara rendah akan meningkatkan aborsi bunga betina sebelum antesis dan memperlambat pematangan buah (Ferwerda, 1977). *Thermal time* merupakan akumulasi selisih antara suhu rata-rata harian dengan suhu dasar (T dasar) untuk perkembangan tanaman dan dapat dirumuskan dengan persamaan:

$$\text{Thermal time (}^{\circ}\text{C hari)} = \sum (\text{T rata-rata harian} - \text{T dasar})$$



#### f. Angin

Kecepatan angin yang tinggi dapat menyebabkan kerusakan fisik pada pertanaman kelapa sawit. Angin mempengaruhi laju transpirasi air, terutama pada kanopi. Ketersediaan air dan kemampuan akar menyerap air akan menentukan status air dalam tanaman. Kelembapan dan suhu udara akan mempengaruhi transpirasi dan aktivitas serangga penyerbuk (*Eladobius kamerunicus*). Kelapa sawit tumbuh baik pada kelembapan udara 75-80% (Corley & Tinker, 2015).

Kanopi pohon kelapa sawit terdiri atas pelepah daun yang panjangnya 7-8 m. *Filotaksis* (duduk daun pada batang) dengan rumus  $3/8$  (tiga kali putaran dijumpai 8 pelepah). Produksi pelepah baru terjadi berurutan. Diferensiasi dan maturasi pelepah terjadi ke arah basipetal. Ukuran kanopi meningkat cepat hingga 8-10 tahun setelah tanam dan bisa berlangsung lebih lama jika kondisi pertumbuhannya baik. Peningkatan luas daun yang bersamaan dengan bertambahnya umur pohon karena bertambahnya jumlah pelepah dan ukuran pelepah (Corley & Gray, 1982). Berdasarkan produk pertama hasil fotosintesis yang stabil, kelapa sawit termasuk tanaman C3 dan hal ini lebih responsif terhadap faktor pembatas yang berhubungan dengan fotosintesis (Corley, 1976).

Laju produksi pelepah bervariasi antar umur pohon. Produksi pelepah maksimum dapat mencapai 40 pelepah per tahun pada umur 1-2 tahun, secara bertahap turun antara 18-24 pelepah per tahun. Selama musim kemarau membukanya daun tombak tertunda, walaupun pelepah terus mengalami pertumbuhan panjang dan tetap tinggal dalam tahap *spear* (tunas). Jika mulai hujan, daun tombak membuka dan pertumbuhannya normal (Corley, 1976). Umur pelepah tergantung pada intensitas cahaya matahari yang melintasi kanopi sampai di pelepah tersebut.

## 2. Cekaman Air dan Pertumbuhan Kelapa Sawit

Defisit air dapat menimbulkan cekaman air, yang sering kali terjadi selama musim kemarau dan frekuensinya meningkat karena perubahan iklim (Pemanasan Global). Sebagai sistem biologi, metabolisme tanaman mempunyai sensitivitas yang berbeda terhadap faktor cekaman. Respon terhadap faktor tersebut dan

kemampuan pulih pasca cekaman berbeda antara monokotil dan dikotil dan antar-spesies, bahkan antar tahap pertumbuhan tanaman dalam satu spesies (Seki *et al.*, 2007). Sebagai tanaman monokotil tahunan dengan usia produktif 25 tahun, dampak cekaman akibat marginalitas lahan mempunyai durasi yang panjang dan berpengaruh besar terhadap siklus vegetatif dan generatif tanaman yang selanjutnya mempengaruhi produksi tandan buah segar dan minyak. Gomes & Prado (2007) menyebutkan bahwa kekeringan merupakan faktor cekaman yang multidimensi yang mempengaruhi tanaman pada berbagai aras, dari sel ke organ dan ke individu tanaman. Pengaruh cekaman air bersifat langsung (air sebagai bagian dari penyusun komponen organik biomolekul) dan tidak langsung (sebagai media pengangkutan, media pertukaran ion, penstabil suhu tanaman), sehingga berdampak luas terhadap beragam metabolisme yang selanjutnya mempengaruhi interaksi tanaman-tanah-iklim yang menjadi titik masuk pengelolaan perkebunan kelapa sawit melalui pengaruhnya terhadap pertumbuhan, perkembangan dan produksi tanaman.

Respon tanaman terhadap cekaman kekeringan sangat kompleks, melibatkan perubahan adaptif dan atau berpengaruh buruk, perubahan tersebut bisa sinergistik atau antagonistik (Chaves *et al.*, 2002). Reaksi tanaman terhadap cekaman berbeda, tergantung pada jenis dan tahap pertumbuhan tanaman (Farooq *et al.*, 2009). Cekaman tersebut menekan pertumbuhan tanaman dengan mempengaruhi berbagai proses biokimia dan fisiologi, seperti fotosintesis, respirasi, translokasi, penyerapan ion, karbohidrat, metabolisme nutrien, dan fitohormon (Farooq *et al.*, 2009), degradasi klorofil, dan perubahan aktivitas enzim yang berperan dalam proses antioksidasi dan metabolisme karbohidrat (Mattos & Moretti, 2016). Pemahaman tentang respon tersebut menjadi bagian penting dalam pengembangan bahan tanam toleran.

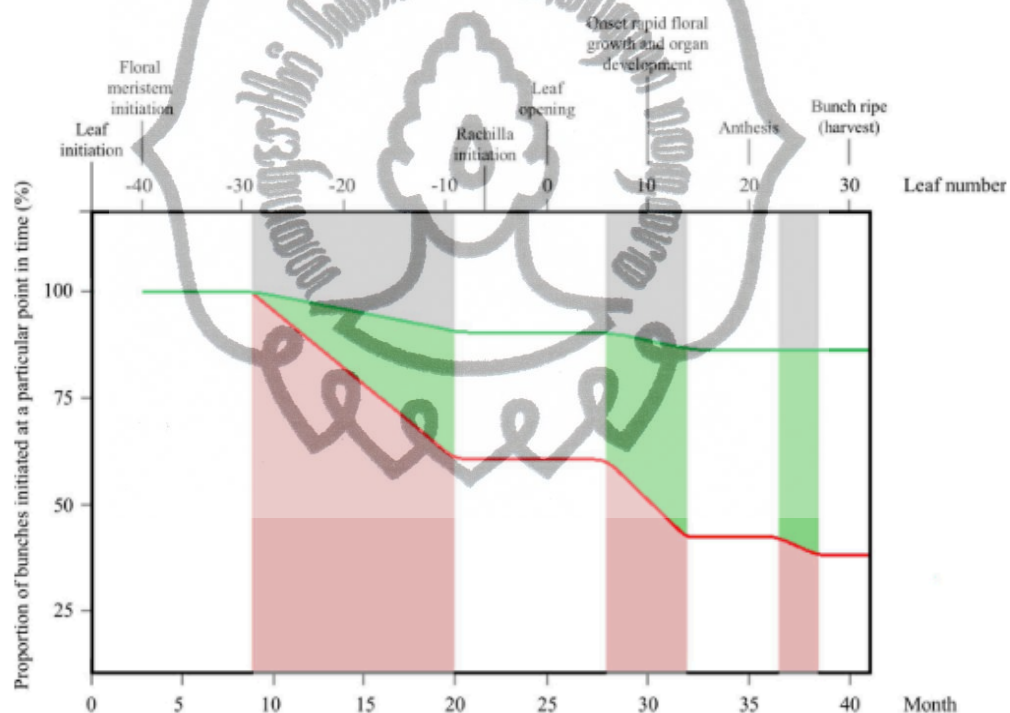
Tanaman dapat mengembangkan 2 strategi yaitu : toleransi dan resistensi terhadap keadaan tersebut (Thatikunta, 2012). Beberapa bentuk adaptasi fisiologi pada tanaman toleran adalah penurunan fungsi metabolisme, mempertahankan fungsi fisiologinya pada *water potential* rendah, membatasi kehilangan air melalui pengaturan membuka-menutupnya stomata oleh asam absisat. Keadaan ini dapat menimbulkan ketidakseimbangan energi yang memacu terbentuknya *reactive*

*oxygen species* (ROS) dan proses oksidasi (Ramirez-Ortega *et al.*, 2010). Mekanisme fotosintesis melibatkan berbagai komponen, termasuk pigmen dan fotosistem, sistem transpor elektron, dan jalur reduksi CO<sub>2</sub>; defisit air menekan kapasitas fotosintesis (Chaves *et al.*, 2018).

Defisit air dapat menyebabkan defisiensi hara akibat sifat fisika-kimia tanah yang menyebabkan menurunnya mobilitas dan penyerapan hara. Hal ini disebabkan oleh berkurangnya aktivitas akar dan melambatnya difusi ion dan pergerakan air dalam tanah. Berkurangnya penyerapan hara dan transportasi dari akar ke tajuk disebabkan oleh menurunnya transpirasi selama defisit air (da Silva *et al.*, 2011).

Cekaman kekeringan (*drought stress*) terjadi apabila terdapat salah satu dari parameter berikut: jumlah curah hujan < 1.250 mm/tahun, defisit air > 200 mm, bulan kering >3 bulan, lama tidak hujan > 20 hari. Di samping itu, kelembapan udara dan konsentrasi karbondioksida juga menjadi faktor penting (Paramanathan, 2003). Defisit air tanah sebesar 24 mm pada kedalaman 80 cm sudah dapat menyebabkan tertutupnya stomata, kecuali apabila akar mampu memperoleh air pada lapisan tanah yang lebih dalam. Menutupnya stomata berakibat pada penurunan laju fotosintesis yang selanjutnya akan menekan biosintesis minyak dalam tandan buah. Menurut (R. Corley, 1976), defisit air menurunkan tekanan turgor sel daun dan mempengaruhi diferensiasi seks, reduksi bunga jantan (sekitar 2 tahun sebelum panen), mempengaruhi kemasakan tandan dan akumulasi minyak dalam tandan. Cekaman kekeringan dapat menurunkan nisbah seks (bunga betina/jumlah bunga) yang selanjutnya menurunkan produksi 19-22 bulan berikutnya. Cekaman kekeringan yang kuat menyebabkan aborsi bunga betina. Pasokan air yang cukup diperlukan selama periode pematangan buah dan pembentukan tandan buah. Passioura (2006) menyatakan bahwa kekeringan dapat menyebabkan polen menjadi steril dan kandungan asam absisat meningkat, sehingga memicu senesensi jaringan tanaman. Penelitian (Rivera-Mendes *et al.*, 2016) menunjukkan bahwa cekaman akibat defisit air tingkat sedang (moderat) nyata mempengaruhi konduktansi stomata, fotosintesis, transpirasi dan pertumbuhan tanaman.

Kelapa sawit sangat sensitif terhadap kekeringan dan hal ini dipengaruhi oleh semakin meningkatnya frekuensi anomali iklim yang menimpa wilayah Asia Tenggara, mengakibatkan fluktuasi produksi bulanan maupun musiman (Legros, *et al.*, 2009). Defisit air mempengaruhi produktivitas kelapa sawit dalam jangka panjang (*time lag*) yang durasinya bervariasi tergantung pada aras defisit, jenis tanah, umur tanaman, fase perkembangan bunga, faktor genetik, dan manajemen. Tahapan perkembangan bunga yang rentan terhadap cekaman kekeringan yang berpengaruh langsung terhadap produksi kelapa sawit (Fairhurst & Griffiths, 2014) disajikan pada Gambar 1.



Gambar 2. Tahapan perkembangan bunga pada kondisi cekaman kekeringan

Di samping cekaman kekeringan, *waterlogging (flooding)* merupakan bentuk lain dari cekaman air. Frekuensi *waterlogging* semakin tinggi sebagai akibat dari perubahan iklim dengan adanya curah hujan ekstrem. Kondisi tersebut dapat terjadi dengan durasi hingga tiga minggu dan berpengaruh besar terhadap fungsi sistem perakaran kelapa sawit. Kondisi anaerob menyebabkan respirasi akar terganggu dan dapat memperpendek *life-span* organ tersebut. Analisis *homologous events* (IPNI,

2017) mengungkapkan bahwa produktivitas kelapa sawit mengalami penurunan akibat curah hujan yang tinggi yang terjadi dua tahun sebelumnya. Hal ini mengungkapkan bahwa pengaruh *waterlogging* hampir sama dengan pengaruh defisit air, meskipun tingkat penurunan produksinya berbeda (*waterlogging* menurunkan produksi TBS 5,5 ton/ha/tahun dan 6,1 ton/ha/tahun untuk defisit air).

### 3. Kesesuaian Lahan Pekebunan Kelapa Sawit

Perluasan areal kelapa sawit tersebut tentu memerlukan ketersediaan lahan yang mempunyai produktivitas yang tinggi seperti kelas kesesuaian lahan S1 dan S2. Lahan S1 merupakan lahan yang tidak mempunyai faktor pembatas yang besar untuk pengelolaan yang diberikan atau hanya mempunyai pembatas yang tidak secara nyata berpengaruh terhadap produksi dan tidak akan menaikkan masukan yang telah biasa diberikan. Lahan S2 merupakan lahan yang mempunyai pembatas-pembatas yang agak besar untuk mempertahankan tingkat pengelolaan yang harus diterapkan (Hardjowigeno dan Widiatmaka, 2011). Namun ketersediaan lahan yang produktif semakin terbatas sehingga perluasan areal perkebunan kelapa sawit menjangkau lahan-lahan dengan kelas kesesuaian lahan yang rendah seperti S3 bahkan kelas N1 yang mempunyai faktor pembatas yang semakin berat. Lahan S3 merupakan lahan yang mempunyai pembatas-pembatas yang besar untuk mempertahankan tingkat pengelolaan yang harus diterapkan, pembatas akan mengurangi produksi dan keuntungan atau lebih meningkatkan masukan yang diperlukan. Lahan N1 merupakan lahan yang mempunyai pembatas yang lebih besar, masih memungkinkan diatasi tetapi tidak dapat diperbaiki dengan tingkat pengelolaan dengan normal (Hardjowigeno dan Widiatmaka, 2011). Semakin rendah kelas lahan tentu memerlukan pengorbanan yang lebih berat atau besar untuk menghasilkan produksi yang sama atau mendekati kelas S1 atau S2, sehingga input yang harus ditambahkan juga semakin tinggi yang berdampak pada biaya pengelolaan yang juga semakin besar atau semakin rendah efisiensinya.

Kelas kesesuaian lahan ditetapkan berdasarkan jumlah dan intensitas faktor pembatasnya. Kelas lahan menurut FAO (1976) dibagi menjadi dua yaitu sesuai (S) dan tidak sesuai (N). Kelas sesuai dibagi menjadi tiga sub kelas yaitu sangat sesuai (S1), sesuai (S2), dan agak sesuai (S3). Kelas tidak sesuai dibagi 2 subkelas yaitu



tidak sesuai bersyarat (N1), dan tidak sesuai permanen (N2). Setiap subkelas terdiri satu atau lebih unit kesesuaian yang lebih menjelaskan tentang jumlah dan intensitas faktor pembatas. Segala tindakan pengelolaan tanah dan tanaman harus didasarkan pada sifat atau penyebaran dari unit kesesuaian lahan tersebut (Wulandari *et al.*, 2011), sebagaimana disajikan dalam Tabel 3. Faktor iklim, sifat fisi dan sifat kimia tanah yang menentukan kelas kesesuaian lahan untuk perkebunan kelapa sawit di tanah mineral disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Karakteristik kesesuaian lahan untuk tanaman kelapa sawit.

Kelas kesesuaian lahan	Kriteria
Kelas S1 (Sangat sesuai)	Unit lahan yang memiliki tidak lebih dari satu pembatas
Kelas S2 (Sesuai)	Unit lahan yang memiliki tidak lebih dari satu pembatasan ringan dan atau tidak memiliki lebih dari satu pembatas sedang
Kelas S3 (Agak sesuai)	Unit lahan yang memiliki lebih dari satu pembatasan sedang dan/atau tidak memiliki lebih dari satu pembatas berat
Kelas N1 (Tidak sesuai bersyarat)	Unit lahan yang memiliki dua atau lebih pembatasan berat yang masih dapat diperbaiki
Kelas N2 (Tidak sesuai permanen)	Unit lahan yang memiliki dua atau lebih pembatasan berat yang tidak dapat diperbaiki

Klasifikasi kesesuaian lahan untuk perkebunan kelapa sawit dibedakan untuk tanah mineral dan tanah gambut dengan karakteristik yang berbeda namun substansinya sama (komponen iklim dan tanah). Kelas kesesuaian lahan menjadi pertimbangan utama dalam pemilihan lahan untuk bisnis kelapa sawit, karena akan menentukan besaran biaya *land preparation (LP)* dan pilihan teknologi untuk LP dan pemeliharaan, biaya pemeliharaan, dan efektivitas lahan yang ditanam. Ada 4 masalah berkenaan dengan tanah untuk perkebunan kelapa sawit, yaitu: tanah yang drainasinya buruk (tanah rendahan), tanah sulfat masam, tanah organik (gambut), tanah tergenang dan tanah pasir (Paramanathan, 2011; Simeh, 2005). Problem

tersebut akan menentukan tingkat marginalitas tanah. Di pihak lain, adanya kebijakan pelarangan pembukaan perkebunan kelapa sawit di tanah gambut untuk mendukung pelaksanaan *Sustainable Palm Oil* sebagaimana yang dipersyaratkan dalam perdagangan minyak sawit, sehingga upaya peningkatan produktivitas lahan marginal perlu diupayakan.

Lahan marginal dibedakan atas: *physical marginal land*, *production land marginal*, dan *economic marginal land*. Marginalitas dalam arti fisik dan produksi di dasarkan kesesuaian dan faktor pembatas yang ada pada tanah, dan konsep ini lebih banyak dipergunakan di pertanian dan perencanaan tata guna lahan. Lahan marginal umumnya mengacu pada tanah yang produksinya rendah dan mempunyai faktor pembatas yang menyebabkan tanah tersebut tidak layak untuk aktivitas pertanian dan fungsi ekosistem (Pirker *et al.*, 2016).

Pengelolaan lahan marginal memerlukan pendekatan *interdisipliner* dalam pemetaan dan klasifikasi masalah yang memerlukan terobosan, dalam hal penyediaan air dengan menjaga drainase yang berlebihan dan mempertahankan muka air tanah. Diperlukan juga penelitian untuk memprediksi pengaruh faktor pembatas terhadap produksi kelapa sawit yang hasilnya akan menjadi piranti dalam mengelola lahan marginal (lahan bermasalah) (Weng, 2001).

Perkebunan kelapa sawit banyak dikembangkan pada lahan yang didominasi oleh fraksi pasir (tanah pasiran). Kemampuan tanah pasiran menahan air sangat rendah, sehingga tanah ini mudah mengalami cekaman air. Infiltrasi air berlangsung cepat, hara mudah tercuci, perkembangan akar tersier dan kuarterer terhambat. Akibatnya kelapa sawit di tanah ini memerlukan pupuk dalam jumlah banyak (Paramanathan, 2011). Produktivitas kelapa sawit di tanah ini jauh di bawah potensinya. Sementara itu, musim kemarau cenderung semakin lama dan semakin kering (akibat pemanasan global), maka usaha komoditas ini menghadapi ancaman yang besar dan berpotensi mereduksi keuntungan bisnis kelapa sawit. Oleh karena itu, diperlukan upaya agronomis untuk mengurangi *production gap* pada tanah pasiran.

Tanah merupakan lapisan permukaan bumi yang berasal dari bebatuan dan telah mengalami serangkaian pelapukan oleh proses alam sehingga membentuk

regolit (lapisan partikel halus). Tanah pasir dapat juga dikatakan tanah berukuran pasir antara 0,2-2,0 mm dan sebagian besar tanah didominasi oleh fraksi pasir. Tanah pasir banyak mengandung pori-pori makro, sedikit pori-pori sedang dan pori-pori mikro. Tipe tanah seperti ini sulit untuk menahan air, tetapi mempunyai aerasi dan drainase yang baik. Pada umumnya tanah pasir banyak didominasi mineral primer jenis kwarsa ( $\text{SiO}_2$ ) yang tahan terhadap pelapukan dan sedikit mineral sekunder. Mineral kwarsa mempunyai sifat "inert" atau sulit bereaksi dengan senyawa lain dan sukar mengalami pelapukan. Kondisi ini menjadikan tanah pasir merupakan tanah yang tidak subur, kandungan unsur hara rendah dan tidak produktif untuk pertumbuhan tanaman (Saptiningsih, 2019)

Tanah pasir merupakan salah satu substrat bagi pertumbuhan tanaman. Tanaman memerlukan kondisi tanah tertentu untuk menunjang pertumbuhannya yang optimum. Kondisi tanah tersebut meliputi faktor kandungan air, udara, unsur hara dan penyakit. Apabila salah satu faktor tersebut berada dalam kondisi kurang menguntungkan maka akan mengakibatkan terhambatnya pertumbuhan tanaman (Sinulingga & Darmanti, 2007).

Tabel 4. Karakteristik Kesesuaian Lahan untuk kelapa sawit pada tanah mineral

No	Karakteristik lahan	Simbol	Intensitas faktor pembatas			
			Tanpa (0)	Ringan (1)	Sedang (2)	Berat (3)
1	Curah hujan (Mm)	H	1.750-3.000	1.750-1.500	1.500-1.250	<1.250
2	Bulan kering (bln)	K	0-1	1-2	2-3	>3
3	Ketinggian tempat (m) dpl	I	<1	200-300	300-400	>400
4	Bentuk wilayah/kemiringan lereng (%)	W	Datar-berombak <8	Berombak-bergelombang	Bergelombang-berbukit 15-30	Berbukit-bergung >30
5	Batuan di permukaan dan di dalam tanah (%-volume)	B	<3	3-15	15-40	>40
6	Kedalaman efektif (cm)	S	>100	100-75	75-40	<50

No	Karakteristik lahan	Simbol	Intensitas faktor pembatas			
			Tanpa (0)	Ringan (1)	Sedang (2)	Berat (3)
7	Tekstur tanah	T	Lempung berdebu; lempung liat berpasir; lempung liat berdebu; lempung berliat	Liat; liat berpasir; lempung; berpasir; lempung	Pasir berlempung; debu	Liat; pasir
8	Kelas drainase	D	Baik; sedang	Agak terhambat; agak cepat	Cepat; terhambat	Sangat cepat; sangat terhambat; tergenang
9	Kemasaman tanah (pH)	A	5,0-6,0	4,0-5,0 6,0-7,0	3,5-4,0 6,5-7,0	<3,5 >7,0

Tanah regosol memiliki tekstur kasar, struktur kersai atau remah, dengan konsistensi lepas sampai gembur dan pH 6 sampai 7. Semakin tua umur tanah semakin padat struktur dan konsistensinya. Bahkan sering sekali membentuk padas dengan drainase dan porositas yang terhambat. Umumnya jenis tanah ini belum membentuk agregat sehingga peka terhadap erosi, dan masih mengandung unsur P dan K dalam jumlah yang cukup namun belum siap untuk diserap tanaman (Darmawijaya, 2013).

Tanah regosol memiliki tekstur kasar dan kandungan bahan organik yang rendah sehingga tanah ini memiliki kemampuan menyimpan air yang rendah, dengan teksturnya yang kasar tanah ini memiliki permeabilitas yang tinggi, namun aerasinya baik karena memiliki pori makro dalam jumlah yang banyak. Agregasi tanah regosol sangat rendah sehingga mudah terjadi erosi (Sutanto, 2005).

Pertumbuhan dan produktivitas tanaman kelapa sawit di tanah pasiran cukup beragam bergantung pada kondisi lahan dan tingkat pengelolaan yang dilakukan. Produktivitas tanaman kelapa sawit umur 5 tahun di tanah pasiran 18,2

ton/ha. Sementara itu, berat tandan rata-rata (BJR) di tanah pasiran pada umur 3-5 tahun adalah 6,4 kg/tandan. Kandungan bahan organik pada tanah pasiran sangat rendah, sehingga diperlukan pemupukan dengan dosis tinggi, agar unsur hara tanaman terpenuhi. Kelas kesesuaian lahan untuk perkebunan kelapa sawit menunjukkan perbedaan produktivitas (Tabel 5).

Tabel 5. Produktivitas kelapa sawit pada berbagai kelas kesesuaian lahan

Umur (Th)	KKL S1			KKL S2			KKL S3		
	Ton TBS	RBT	RJT/ phn	Ton TBS	RBT	RJT/ phn	Ton TBS	RBT	RJT/ phn
3	9,0	3,2	21,6	7,3	3,1	18,1	6,2	3,0	17,9
4	15,0	6,0	19,2	13,5	5,9	17,6	12,0	5,3	17,4
5	18,0	7,5	18,5	16,0	7,1	17,3	14,5	6,7	16,6
6	21,1	10,0	16,2	18,5	9,4	15,1	17,0	8,5	15,4
7	26,0	12,5	16,0	23,0	11,8	15,0	22,0	10,0	15,7
8	30,0	15,1	15,3	25,5	13,2	14,9	24,5	12,7	14,8
9	31,0	17,0	14,0	28,0	16,5	13,1	26,0	15,5	12,9
10	31,0	18,5	12,9	28,0	17,5	12,3	26,0	16,0	12,5
11	31,0	19,6	12,2	28,0	18,5	11,6	26,0	17,4	11,5
12	31,0	20,5	11,6	28,0	19,5	11,0	26,0	18,5	10,8
13	31,0	21,1	11,3	28,0	20,0	10,8	26,0	19,5	10,3
14	30,0	22,5	10,3	27,0	20,5	10,1	25,0	20,0	9,6
15	27,9	23,0	9,3	26,0	21,8	9,2	24,5	20,6	9,1
16	27,1	24,5	8,5	25,5	23,1	8,5	23,5	21,8	8,3
17	26,0	25,0	8,0	24,5	24,1	7,8	22,0	23,0	7,4
18	24,9	26,0	7,4	23,5	25,2	7,2	21,0	24,2	6,7
19	24,1	27,5	6,7	22,5	26,4	6,6	20,0	25,5	6,0
20	23,1	28,5	6,2	21,5	27,8	5,9	19,0	26,6	5,5
21	21,9	29,0	5,8	21,0	28,6	5,6	18,0	27,4	5,1
22	19,8	30,0	5,1	19,0	29,4	5,0	17,0	28,4	4,6
23	18,8	30,5	4,8	18,0	30,1	4,6	16,0	29,4	4,2
24	18,1	31,9	4,4	17,0	31,0	4,2	15,0	30,4	3,8
25	17,1	32,4	3,9	16,0	32,0	3,8	14,0	31,2	3,6
jml	552,9	481,8	249,2	505,3	462,5	235,3	461,2	441,6	229,7
rerata	24,0	20,9	10,8	22,0	20,1	10,2	20,1	19,2	10,0

Keterangan: TBS: tandan buah segar (ton/ha/th)  
 RBT: rerata berat tandan (kg/tandan)  
 RJT: rerata jumlah tandan (tandan/pohon)



Produktivitas potensial semua kelas kesesuaian lahan tersebut semakin sukar dicapai seiring dengan peningkatan frekuensi cekaman lingkungan, terutama yang disebabkan oleh Perubahan Iklim. Cekaman lingkungan yang berhubungan dengan ketersediaan air dalam tanah memiliki pengaruh luas terhadap pertumbuhan dan produksi kelapa sawit (Paterson *et al.*, 2015; Paterson & Lima, 2018b).

#### **4. Pengelolaan Bahan Organik di Perkebunan Kelapa Sawit**

Tanah berpengaruh terhadap dinamika agroekosistem, keanekaragaman hayati, infiltrasi air, keamanan pangan global, bahan bakar nabati, pengendalian dan respon terhadap perubahan global, dan kualitas air (Paul, 2016). Tanah dalam mempengaruhi berbagai ekosistem melalui beberapa fungsi, antara lain mendukung pertumbuhan tanaman. Dukungan untuk pertumbuhan tanaman tersebut mencakup ketersediaan hara mineral bagi perakaran tanaman; retensi air dalam jumlah yang cukup dan dengan energi yang tersedia untuk penyerapan akar; adanya jejaring pori yang saling terhubung yang memungkinkan akar memperoleh oksigen dan membuang gas karbondioksida. Semua fungsi tersebut sangat dipengaruhi oleh kandungan bahan organik dalam tanah. Kandungan bahan organik yang tinggi dihubungkan dengan reduksi erosi dan aliran air permukaan, memperbaiki agregasi tanah dan siklus nutrient, memperbaiki infiltrasi, pergerakan dan retensi air (Magdoff & Weil, 2004a).

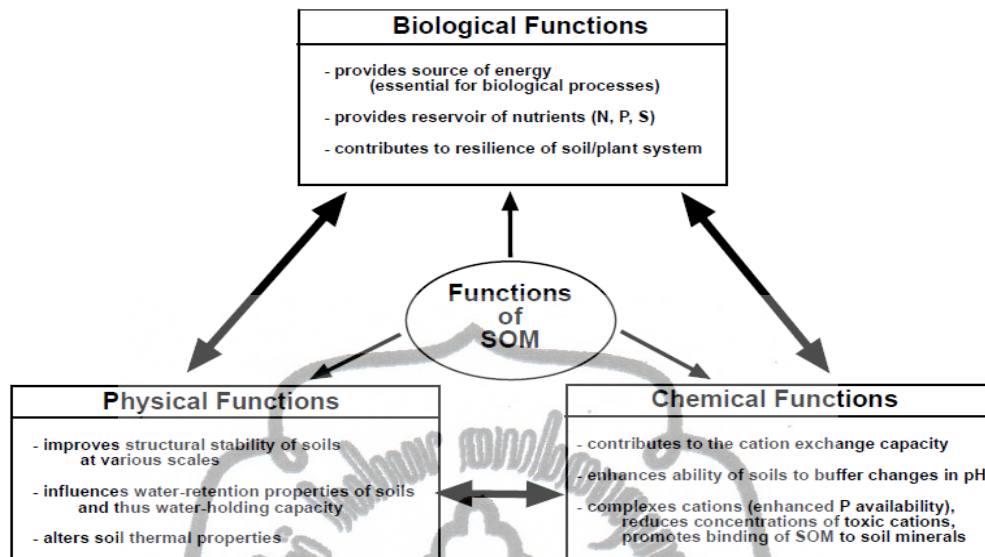
Kultur teknis pengelolaan tanaman mempunyai implikasi terhadap bahan organik tanah. Kultur teknis tersebut meliputi pengolahan tanah dan penanaman, cara penanganan residu tanaman, aplikasi bahan pembenah tanah, rotasi tanaman, dan penggunaan tanaman penutup tanah. Bahan organik tanah secara keseluruhan terdiri atas organisme tanah, senyawa organik sederhana, substansi humat kompleks, dan berbagai residu pada berbagai tingkat dekomposisi.

Pengelolaan bahan organik tanah yang lebih baik pada dasarnya merupakan pendekatan preventif bagi kesehatan agroekosistem. Kultur teknis pengelolaan bahan organik untuk meningkatkan kesehatan tanah umumnya dilakukan dengan cara-cara berikut: 1) meningkatkan bahan organik yang diberikan ke tanah, 2) mempergunakan berbagai macam bahan organik, 3) menurunkan laju kehilangan

bahan organik. Pada banyak kondisi tanah, paling tepat meningkatkan kandungan bahan organik tanah atau mempertahankan kandungannya yang telah tinggi. Namun, untuk tekstur tanah yang kersai (*coarse*) diperlukan masukan sumber bahan organik dalam jumlah besar untuk memasok nutrien, senyawa yang dapat memperbaiki agregasi tanah; dan bahan organik sebagai substrat bagi pertumbuhan beragam mikroorganisme tanah (Magdoff & Weil, 2004a).

Bahan organik tanah tersusun dari beragam residu organik dengan beragam ukuran dari molekul monomer sederhana sampai senyawa polimer kompleks bahkan potongan residu tumbuhan. Komponen tersebut terdapat dalam berbagai tingkat dekomposisi yang berbeda dalam sifat fisik dan kimia dari sumber asalnya. Kualitas bahan organik ditentukan berdasarkan nisbah C/N. Nisbah C/N bahan organik untuk tanah pertanian sekitar 12-20. Nisbah yang tinggi menunjukkan bahwa bahan organik bersangkutan belum terdekomposisi sempurna.

Bahan organik tanah mempunyai peran dalam peningkatan kesuburan hayati, fisik dan kimia yang saling berinteraksi satu sama lain sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 3 (Jones, 2012). Bahan organik tanah berkorelasi dengan beberapa sifat fisik, seperti *soil bulk density*, retensi air, sifat-sifat yang berhubungan dengan transfer cairan, dan ketahanan tanah terhadap cekaman. Bahan organik tanah banyak sekali dihubungkan dengan *bulk density* dan porositas tanah (Johannes *et al.*, 2017). Kandungan bahan organik tanah bersifat dinamis, sehingga peranannya terhadap kesuburan tanah berfluktuasi tergantung kandungan, tingkat dekomposisi dan jenis tanah. Kandungan bahan organik dalam tanah berkisar 1-5%, namun umumnya berkisar 1-2%. Fluktuasi kandungan bahan organik tergantung pada pola tanam, pengelolaan residu tanaman, pengolahan tanah dan kultur teknis yang berhubungan dengan kesuburan tanah (Krull *et al.*, 2009).

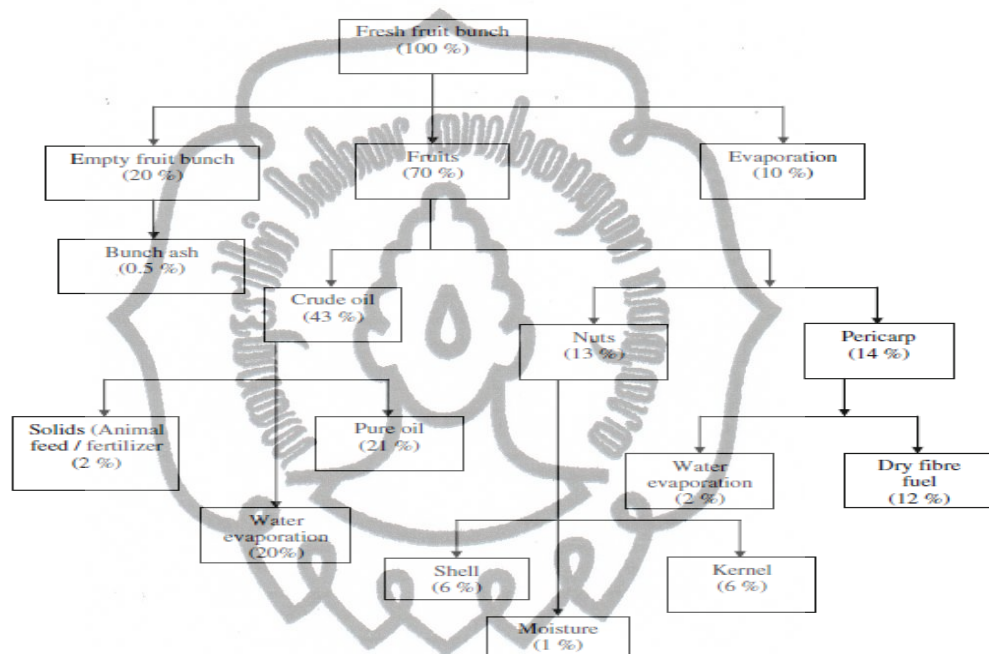


Gambar 3. Pengaruh bahan organik terhadap kesuburan biologi, fisik dan kimia serta interaksinya satu sama lain.

Upaya mempertahankan dan memperbaiki kualitas tanah penting sekali untuk menjaga produktivitas pertanian dan kualitas lingkungan agar tetap lestari, untuk generasi mendatang. Peningkatan masukan dan teknologi dalam sistem produksi pertanian modern sering mengakibatkan penurunan produktivitas yang berhubungan dengan reduksi kualitas tanah. Bahan organik tanah berperan kunci dalam produktivitas tanaman dan perlindungan terhadap lingkungan (Reeves, 1997). Kandungan air dalam tanah mengalami peningkatan karena pengelolaan vegetasi tergantung pada aliran air permukaan, pengatusan (drainase) dan evapotranspirasi. Beberapa faktor yang mempengaruhi hal tersebut adalah jenis vegetasi, laju perkolasi air dalam profil tanah, dan curah hujan (Jhonson, 2009).

Perkebunan kelapa sawit dikelola sesuai dengan prinsip-prinsip Kelapa Sawit Berkelanjutan (*Sustainable Oil Palm*) sehingga upaya-upaya peningkatan produksi selalu dihubungkan dengan peningkatan kualitas lingkungan. Menurut Bessou *et al.* (2017) tanaman penutup tanah, manajemen vegetasi bawah dan penggunaan produk samping (*co-product*) menjadi alternatif utama dalam pengelolaan perkebunan kelapa sawit dewasa ini sebagaimana secara tersurat dalam kriteria

RSPO maupun ISPO. Dalam produksi minyak sawit, tandan buah segar (TBS) menghasilkan beragam produk samping yang hingga saat ini dapat dimanfaatkan untuk berbagai industri turunan, di antaranya tandan kosong sekitar 20% dari berat TBS atau setiap ton minyak sawit akan menghasilkan satu ton tandan kosong (Caliman *et al.*, 2001). Produk samping dari TBS kelapa sawit disajikan pada Gambar 3 (Lorestani, 2006 *cit.* Singh *et al.*, 2010).



Gambar 4. Diagram *Material Balance* Proses Pengolahan TBS

Aplikasi tandan kosong sebagai bahan organik pembenah tanah (*organic amendment*) semakin mengalami peningkatan seiring dengan upaya peningkatan efisiensi produksi minyak sawit. Tandan kosong dapat diberikan sebagai mulsa permukaan tanah yang diaplikasikan di gawangan mati (*path*) yang telah diketahui memberikan pengaruh positif terhadap kualitas tanah (Bakar *et al.*, 2011) karena menurut Revees (1997) bahan organik berperan kunci dalam perbaikan sifat-sifat yang menentukan kualitas tanah. Disamping itu, aplikasi tandan kosong dapat mensubstitusi penggunaan pupuk anorganik yang besarnya berkisar 46-85% dari biaya produksi (Pardon *et al.*, 2016 dan Goh & Poh, 2005). Pupuk anorganik yang diberikan sebagian hilang dan berpotensi menimbulkan pengaruh negatif terhadap

lingkungan seperti eutrofikasi dan asidifikasi (Yusoff & Hansen, 2005) dan pengurangan sumber bahan bakar fosil (Papong *et al.*, 2010).

Aplikasi tandan kosong dapat memperbaiki sifat kimia tanah, terutama kandungan nutrient, dosis aplikasi berkisar 30-100 ton per tahun dengan rerata 40 ton per tahun. Satu ton tandan kosong mempunyai kandungan yang ekuivalen setara 6-7 kg urea; 1,7 ton kg TSP atau 2,8 kg batuan fosfat, 16,3 kg KCl atau 19,3 kg MOP dan 3-4,4 kg kieserite (Caliman *et al.*, 2001). Di samping itu, aplikasi tandan kosong dapat memperbaiki sifat fisika tanah, seperti permeabilitas tanah, retensi air yang lebih besar pada kapasitas lapang, stabilitas agregat yang lebih baik dan erodibilitas rendah (Zaharah & Lim, 2000). Diketahui juga, diversitas bakteri, terutama yang terlibat dalam siklus hara dalam tanah dan fauna tanah mengalami peningkatan setelah aplikasi tandan kosong (Tao *et al.*, 2016).

Aplikasi tandan kosong kelapa sawit sebagai mulsa pada tanah, terutama tanah pasir dapat memperbaiki pertumbuhan vegetatif, nutrisi tanaman dan hasil. Hal ini disebabkan oleh perbaikan lengas tanah, struktur tanah, kandungan bahan organik dan aktivitas mikrobial, dan mengurangi erosi tanah dan kehilangan nutrisi, dan suhu permukaan tanah. Pada umumnya dosis aplikasi tandan kosong 35,5 ton/ha/tahun. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi tandan kosong dan pupuk N dan K (0,735 kg/pohon N dan 1,75 kg/pohon K) dapat memperbaiki sifat kimia tanah dan hasil kelapa sawit sebagaimana ditunjukkan oleh kandungan N dan K jaringan, jumlah tandan, berat tandan; tetapi menekan kandungan Mg dalam daun. Aplikasi tandan kosong juga meningkatkan K, Ca dan Mg yang dapat dipertukarkan serta pH tanah (Lim & Zaharah, 2002).

Pengaruh positif aplikasi tandan kosong pada sifat-sifat tanah menstimulasi pertumbuhan sistem perakaran kelapa sawit yang berpengaruh besar terhadap efektivitas penyerapan hara tanah. Menurut Corley & Tinker (2003), volume perakaran kelapa sawit sangat mudah berubah. Volume akar pada tanah berpasir rendah, karena perkembangan akar ke arah lapisan dalam di mana terdapat air. Perakaran yang ideal berada pada sebaran mencapai kedalaman 30 cm dari permukaan tanah. Penyerapan efektif berlangsung pada 82% dari total panjang akar. Sistem perakaran akan cepat mati pada kondisi cekaman kekeringan.



Aneka flora terdapat sebagai *understorey* di perkebunan kelapa sawit, di antaranya adalah paku-pakuan yang semakin mendominasi seiring dengan bertambahnya umur tanaman kelapa sawit. Tumbuhan ini mempunyai kemampuan adaptasi yang tinggi terhadap kondisi lingkungan. Sesuai dengan prinsip-prinsip *sustainability*, pengelolaan vegetasi tersebut menjadi bagian penting dalam usaha mengelola neraca karbon, menciptakan iklim mikro yang sesuai untuk aktivitas serangga penyerbuk kelapa sawit, sebagai inang untuk perkembangan biakan musuh alami.

Ada 19 spesies *Nephrolepis* yang terdapat di berbagai ekosistem alam yang masing-masing mempunyai diversitas genetik cukup besar (Hennequin et al., 2010). *Nephrolepis biserrata* Kuntze merupakan jenis paku (*fern*) yang cukup dominan ditemukan sebagai vegetasi bawah di perkebunan kelapa sawit dan berpotensi besar untuk dimanfaatkan sebagai *cover crop*. *Cover crop* ini dapat melindungi tanah terhadap erosi, aliran air permukaan, memperkaya bahan organik dan meningkatkan porositas tanah. Hasil penelitian Aryanti et al (2015) pada tanah mineral perkebunan kelapa sawit menunjukkan bahwa *N biserrata* dapat memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah yang berhubungan dengan peningkatan cadangan air tanah untuk tanah mineral di perkebunan kelapa sawit. Pada tanah yang tidak terdapat vegetasi *N biserrata* terdapat defisit air tanah 0,26 mm sebaliknya pada tanah yang ditanami jenis paku ini terjadi surplus kandungan air sebesar 1,33 mm selama musim kemarau (September). Peningkatan kandungan hara berturut-turut adalah 12,74% C organik, 15,00% N, 26,82% P, dan 17,45% K. Dekomposisi residu tumbuhan ini dapat meningkatkan kandungan hara N, P, K dan C organik sebesar 41%, 11%, 93% dan 11,3%.

## B. Kerangka Berpikir

Kebutuhan CPO dari tahun ke tahun mengalami peningkatan, seiring dengan peningkatan jumlah penduduk dunia. CPO digunakan untuk kebutuhan energi dan kebutuhan pangan. Namun produktivitas kelapa sawit masih rendah.

Namun demikian produktivitas tanaman ini relatif rendah karena kendala-kendala yang terkait dengan iklim, kondisi lahan, kultur teknis, dan pengelolaan

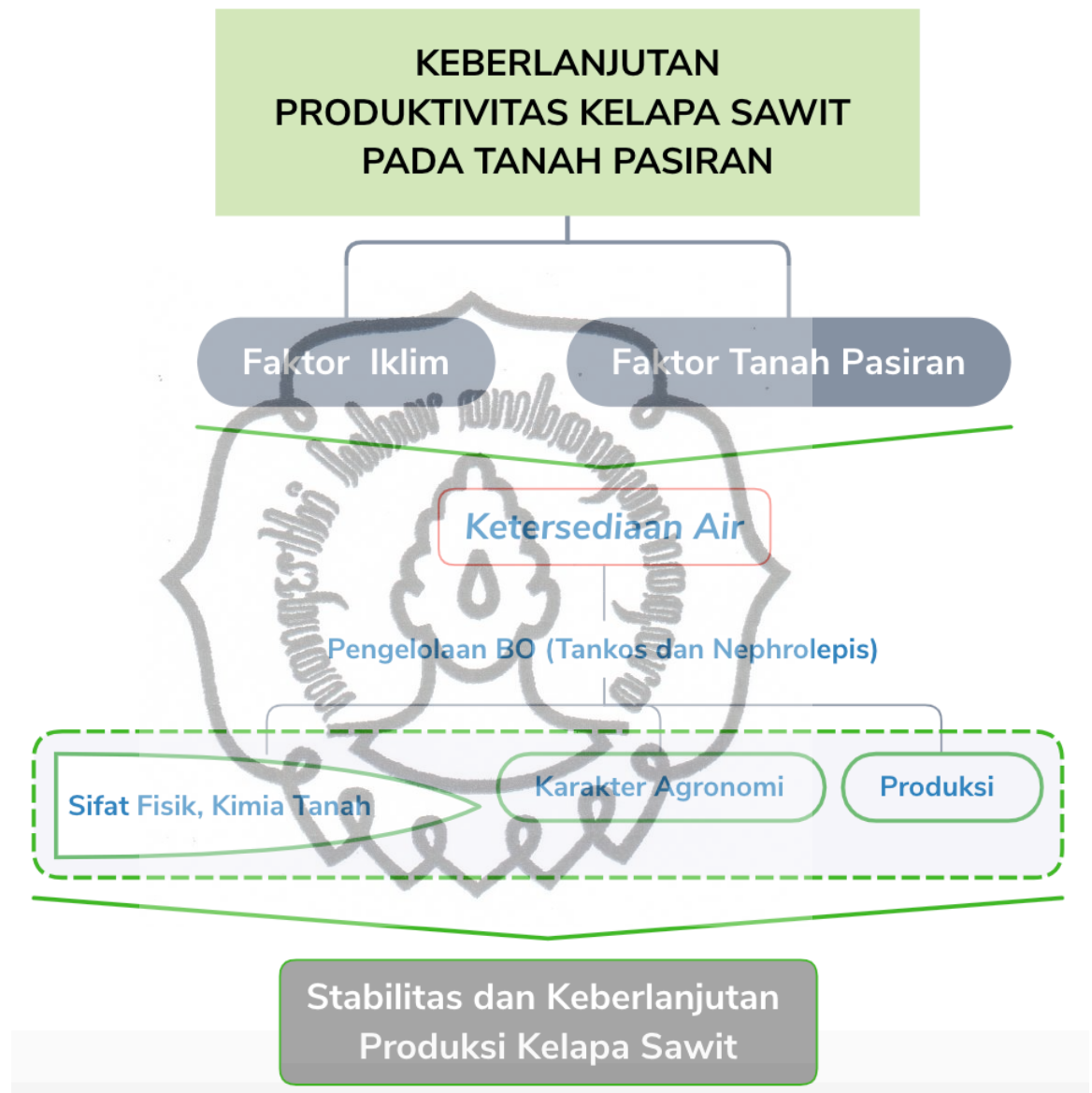
kebun yang secara terpisah maupun interaktif menyebabkan produktivitas kelapa sawit berfluktuasi antar-waktu dan antar-tempat.

Kelapa sawit diusahakan pada berbagai kelas kesesuaian lahan, diantaranya berada di lahan marginal khususnya pada tanah pasiran. Tanah pasiran berpotensi besar menimbulkan cekaman bagi kelapa sawit. Pengelolaan tanah pasiran perlu menjadi perhatian khusus dalam upaya untuk mewujudkan potensi produksinya. Perbaikan struktur tanah menjadi prioritas yang dapat dilakukan dengan pemberian bahan organik langsung maupun dengan penutupan tanah mempergunakan vegetasi bawah tanaman (bukan gulma) sehingga diperlukan upaya untuk peningkatan pertumbuhan dan produktivitas kelapa sawit.

Upaya peningkatan produktivitas tanaman menjadi langkah strategis dalam mempertahankan keuntungan bisnis kelapa sawit. Pertumbuhan dan produktivitas tanaman sangat tergantung pada interaksi antara parameter iklim, tanah, tanaman dan pengelolaannya, dengan kata lain tanaman dengan sistem pengelolaan tertentu merupakan fungsi dari kualitas/karakteristik lahan dan iklim disekitarnya.

Oleh karena itu penelitian keberlanjutan produktivitas kelapa sawit pada tanah pasiran dengan pendekatan pengelolaan sumber bahan organik dan vegetasi bawah tanaman, *N biserrata* ini perlu dilakukan. Penelitian ini diawali dengan menganalisis keragaan produksi dan produktivitas kelapa sawit (tonase panen, jumlah TBS, berat TBS) pada tanah pasiran yang dikorelasikan dengan data iklim (CH, HH, LP, RH, T, dan KA) secara *time series*.

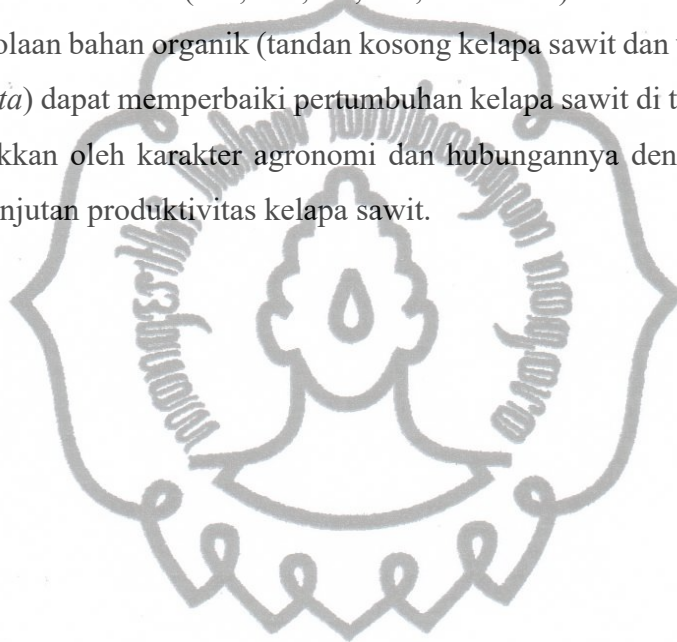
Selanjutnya pendekatan sistem manajemen sumber bahan organik, dengan mengkombinasikan tandan kosong (*co-product* pabrik kelapa sawit) dan penanaman *N biserrata* pada tanah pasiran dapat memperbaiki pertumbuhan karakter agronomi serta dapat meningkatkan produksi dan produktivitas kelapa sawit.



Gambar 5. Kerangka berfikir Keberlanjutan Produktivitas Kelapa Sawit pada Tanah Pasiran

### C. Hipotesis

1. Produktivitas kelapa sawit pada tanah pasir sangat dipengaruhi oleh faktor iklim khususnya curah hujan dan sebaran hari hujan
2. Pengelolaan bahan organik (tandan kosong kelapa sawit dan vegetasi bawah *N. biserrata*) dapat memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah pasir, dan meningkatkan produktivitas kelapa sawit dalam kaitan dengan dinamika beberapa unsur iklim (CH, HH, LP, RH, KA dan T)
3. Pengelolaan bahan organik (tandan kosong kelapa sawit dan vegetasi bawah *N. biserrata*) dapat memperbaiki pertumbuhan kelapa sawit di tanah pasir yang ditunjukkan oleh karakter agronomi dan hubungannya dengan stabilitas dan keberlanjutan produktivitas kelapa sawit.





*commit to user*