

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Landasan Teori

1. Tanah Aluvial

Indonesia memiliki luas sebaran tanah Aluvial yang sangat luas. Persebaran tanah Aluvial yang luas sebagian besar dimanfaatkan oleh masyarakat sebagai sumberdaya lahan pertanian untuk kegiatan budidaya tanaman. Tanah Aluvial berasal dari endapan yang terbentuk dari pasir dan lumpur halus yang mengalami erosi tanah atau terbawa aliran sungai. Tanah ini memiliki karakteristik umumnya berwarna coklat hingga kelabu berwarna kelabu tanpa horizon dengan batas yang jelas, bertekstur liat, lembab, basah, keras (kering), dan mempunyai permeabilitas rendah (Cahyani, dkk., 2014). Berdasarkan upaya pemanfaatannya, tanah Aluvial masih ditemukan permasalahan.

Permasalahan pada tanah-tanah Aluvial umumnya dikarenakan tanah Aluvial miskin unsur hara, reaksi tanah masam hingga basa dan kandungan bahan organik tergolong rendah hingga rendah sekali (Sarief, 1986). Reaksi tanah yang masam pada tanah Aluvial menyebabkan unsur hara terutama unsur P dan Ca kurang tersedia bagi tanaman sedangkan unsur hara Fe, Al dan Mn dalam jumlah berlebihan yang dapat menjadi racun bagi tanaman. Unsur hara seperti N, P, K, Ca dan nilai tukar kation (KTK) rendah menyebabkan unsur hara mudah lepas dan tercuci bersamaan dengan itu terjadi peningkatan hara toksik seperti Al, Fe dan Mn (Cahyani, dkk., 2014).

2. Botani dan Syarat Tumbuh Tanaman Okra

Taksonomi tanaman okra diklasifikasikan sebagai berikut (Idawati, 2012) :

Kingdom : *Plantae*
Subkingdom : *Tracheobionta*
Super Divisi : *Spermatophyta*
Divisi : *Magnoliophyta*
Kelas : *Magnoliopsida*
Sub Kelas : *Dilleniidae*

Ordo : *Violales*
Famili : *Cucurbitaceae*
Genus : *Abelmoschus*
Species : *Abelmoschus s Esculentus (L.) Moench.*



Gambar 1. Tanaman Okra (*Abelmoschus esculentus*)

Tanaman okra (*Abelmoschus esculentus*) adalah sayuran yang tumbuh di daerah tropis dan sub tropis. Pada beberapa tempat okra dikenal dengan nama kacang bendi atau *Lady Finger*. Data produksi tanaman okra di Kalimantan Barat tidak dapat dipastikan karena belum terdata di Badan Pusat Statistik (Neni, dkk., 2020). Hal ini dikarenakan okra belum terlalu dikenal dan dibudidayakan masyarakat padahal daya jual dan manfaatnya tinggi.

Buah okra diperkaya kandungan gizi yang tinggi, kaya serat, antioksidan dan vitamin C. Maka dari itu buah okra dapat dikonsumsi baik sebagai sayur maupun sebagai obat karena manfaat positif okra bagi tubuh untuk menjaga kesehatan. Bagian buah okra yang umum dikonsumsi adalah buah muda. Buah okra tergolong buah berlendir karena mengandung musilane dan di dalam lendir itulah sebagian besar manfaat dan khasiat buah okra tersimpan. Buah okra yang sering dikonsumsi masyarakat biasanya direbus, diiris atau digoreng atau dalam bentuk kering (Fatokun and Chedda, 1983). Terdapat beberapa morfologi tanaman dalam budidaya okra.

Morfologi tanaman okra antara lain pada bagian buah okra muda berwarna hijau dan penampilannya mirip dengan cabai besar dan sekeliling buah okra terdapat bulu-bulu halus. Menurut Direktorat Perlindungan

Hortikultura (2020), tanaman okra mempunyai tinggi tanaman 1- 4 m. Jenis okra yang berbatang hijau, tingginya dapat mencapai lebih dari 2 meter, lebih tinggi dari okra yang berbatang kemerah-merahan (Benchasri, 2012). Tunas bunga muncul pertama kali pada saat tanaman berumur 5 – 7 minggu setelah tanam. Produksi bunga maksimal tanaman ini mampu menghasilkan 10 bakal bunga pada ujung batang.

Menurut Department of Biotechnology Ministry of Science and Technology Government of India (2011), bunga okra mempunyai diameter 4-8 cm dengan 5 mahkota berwarna kuning. Kuncup bunga mulai muncul pada 22-26 HST dan bunga pertama membuka sempurna pada 41-48 HST, kemudian bunga terus muncul selama 40-60 hari. Bunga mekar sempurna antara pukul 6 s/d 10 pagi. Bunga okra hanya membuka sekali di pagi hari, setelah terjadi penyerbukan kelopak dan mahkota bunga gugur. Tanaman okra dipanen ketika berumur 2 bulan dalam bentuk buah muda. Ukuran yang paling baik untuk dipanen yaitu 5-7 cm. Buah yang sudah tua tidak dapat dipanen karena rasanya pahit dan keras apabila diolah. Okra termasuk tanaman yang tahan terhadap berbagai macam serangga hama dan penyakit (N'Guessan *et al.*, 1992; Ghanem, 2003). Namun, tetap terdapat hama pengganggu yang sering dijumpai yaitu kutu busuk maupun ulat daun.

Tanaman okra dapat tumbuh dengan baik pada dataran rendah hingga 800 MDPL (Iwan, 1995). Apabila ditanam pada ketinggian <600 meter umur okra dapat lebih pendek yaitu 3 bulan, sedangkan pada dataran tinggi umur okra dapat mencapai 4 – 6 bulan. Okra menghendaki tempat terbuka yang mendapat sinar matahari secara penuh, bila terlindung maka pembentukan polong tidak sempurna dan buah menjadi sedikit. Hal ini dikarenakan pembentukan polong okra memerlukan proses fotosintesis yang sempurna (Rachman dan Sudarto, 1991). Apabila ditanam pada ruangan tertutup dan kurang sinar matahari maka tanaman okra tidak dapat menghasilkan buah yang banyak. Tanaman okra dapat tumbuh diberbagai jenis tanah namun faktor dari tanah tersebut tetap berpengaruh terhadap pertumbuhan okra.

Jenis tanah yang disukai tanaman okra adalah bertekstur gembur dan lembab. Tanah sebagai media tumbuh berfungsi menyediakan unsur hara, air,

udara dan unsur mineral yang memadai sehingga produktivitas okra pada tanah tersebut dapat optimal. Tanaman okra adalah tumbuhan berhari pendek yang mentolerir miskinnya unsur hara tanah, menyukai tekstur tanah lempung berpasir dengan pH 6-7, dan kandungan bahan organik yang tinggi (Lamont, 1999; Adilakshmi, dkk., 2008; Akanbi, dkk., 2010; Akande, dkk., 2010). Tanaman okra dapat tumbuh dengan baik pada pH 6,5-7, apabila tanah bersifat masam dapat dilakukan pengapuran (Idawati, 2012). Okra dapat ditanam di berbagai macam tanah dengan drainase yang baik, tanah geluh pasir adalah jenis yang paling cocok. Tanah yang baik diperlukan untuk mendukung perakaran dalam menjangkau unsur hara yang tersedia di dalam tanah.

Kondisi perakaran tanaman okra membentuk akar tunggang yang dapat menjangkau ke segala arah. Akar tunggang okra dapat menjangkau kedalaman tanah sekitar 30-60 cm. Tanaman okra tahan terhadap cekaman kekeringan dan naungan, namun tidak tahan dengan stress akibat genangan air. Curah hujan rerata untuk budidaya okra antara 1700-3000 mm/tahun (Iwan, 1995). Suhu udara antara 27-30°C dapat mendukung pertumbuhan tanaman okra yang cepat dan sehat (Luther, 2012). Untuk hasil produksi yang tinggi, pasokan air pada tanaman dan kondisi tanah harus lembab diperlukan selama periode pertumbuhan total. Kekurangan air pada tanaman okra dapat mengurangi jumlah buah.

3. Biochar Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

Biochar merupakan hasil bahan padat kaya karbon dari konversi limbah organik melalui pembakaran tidak sempurna atau suplai oksigen terbatas. Proses pembuatan biochar dilakukan menggunakan metode pyrolysis dengan alat *kontiki kiln*. Tahapan pembuatan biochar metode kontiki dapat dilakukan tanpa alat modern sebagai berikut (Nurida *et al.*, 2015) :

1. Buat lubang berbentuk kerucut berdiameter bagian atas selebar 150 cm dan kedalaman 75 cm.
2. Nyalakan api menggunakan bahan-bahan yang mudah terbakar. Metode pembakaran kontiki, oksigen tidak dapat turun ke bawah api sehingga ketika api menyala di permukaan tanah maka oksigen hanya akan sampai

pada titik pembakaran.

3. Masukkan bahan baku sedikit demi sedikit ke dalam kontiki yang sudah menyala.
4. Ketika api menyala dengan stabil masukkan kembali bahan baku secara bertahap sedikit demi sedikit. Penambahan bahan baku dilakukan ketika yang dimasukkan terdahulu telah hampir semua terbakar.
5. Jika semua bahan baku telah menghitam menjadi arang maka semua bara api disiram air agar mati.
6. Biarkan sampai dingin kemudian keringkan dan sebelum diaplikasikan dihaluskan sesuai kebutuhan.

Kualitas biochar dapat dilihat pada beberapa karakteristik biochar yaitu bahan baku, suhu pembakaran, kadar air, kadar abu, dan karbon terikat (*fixed carbon*). Bahan baku dapat mempengaruhi lamanya proses pembakaran dan menghasilkan sifat fisik-kimia biochar yang berbeda. Temperatur pembakaran juga dapat mempengaruhi kualitas biochar. Menurut Debdoubi *et al.* (2005) dalam penelitiannya menyimpulkan semakin tinggi temperatur karbonisasi meningkatkan nilai kalor arang yang dihasilkan. Hal ini sejalan dengan Tirono dan Sabit (2011) yang menyatakan bahwa temperatur sangat berpengaruh terhadap arang yang dihasilkan sehingga temperatur menentukan kualitas arang. Faktor kadar abu biochar juga dapat mempengaruhi mutu biochar karena menyebabkan terjadinya penyumbatan pori-pori pada biochar sehingga luas permukaannya akan menjadi berkurang (Scroder, 2006). Kadar abu adalah oksida-oksida logam yang terdiri dari mineral yang tidak dapat menguap, mempunyai sifat tidak mudah terbakar. Kandungan zat ekstraktif pada biomassa berpengaruh terhadap kadar karbon dalam biochar karena berhubungan dengan besarnya nilai kalor. Karbon terikat atau Total Carbon (Fixed Carbon) adalah bahan bakar padat yang tertinggal dalam reaktor setelah proses pyrolysis. Faktor kadar air dalam biochar dapat mempengaruhi sifat fungsional biochar secara keseluruhan. Nilai kadar air pada biochar yang tinggi akan bermasalah pada penggunaannya sebagai energi karena panas yang tersimpan dalam biochar akan digunakan dahulu untuk mengeluarkan air yang ada sebelum kemudian menghasilkan panas yang dapat digunakan sebagai

panas pembakaran.

Pada beberapa penelitian biochar dapat memperbaiki kualitas lahan dari aspek sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Biochar berperan untuk menjaga keseimbangan hara, mengurangi kemasaman tanah, menyediakan habitat bagi mikroba tanah, meningkatkan ketersediaan air dan unsur hara bagi tanaman serta meningkatkan produktivitas tanaman. Permukaan dan struktur pori biochar yang luas mengandung gugus fungsional yang menyebabkan daya adsorpsi dan KTK di biochar tinggi. Satu diantara sumber biomassa dalam pembuatan biochar yaitu TKKS. Karakteristik sifat kimia biochar TKKS disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat Kimia Biochar Tandan Kosong Kelapa Sawit

Sifat Kimia	Biochar TKKS
pH	10,53
C-organik (%)	23,37
Nitrogen (%)	1,03
C/N Rasio	22,69
Fosfor (%)	2,65
Kalium (%)	2,58
Kalsium (%)	0,73
Magnesium (%)	0,46

Sumber : (Hasil Analisis Laboratorium, 2022).

Hasil penelitian Lumbanraja (2020) menjelaskan bahwa penggunaan biochar TKKS dengan dosis setara 5 ton/ha dapat digunakan dalam upaya ameliorasi tanah masam menggantikan bahan kapur pertanian dan dosis setara dengan 5,5 ton/ha untuk menghasilkan biji kedelai yang lebih tinggi dan dengan bobot 100 biji kedelai biji besar. Berdasarkan data analisis biochar TKKS pada Tabel 1, biochar TKKS bersifat alkalis dengan pH antara 7,1-10,5 disebabkan adanya gugus karboksil dan oksigen serta kandungan karbonat (Inyang *et al.*, 2010; Lehmann *et al.*, 2011; Cheng *et al.*, 2006; Yuan *et al.*, 2011). Proses tersebut terjadi melalui penguraian selulosa dan hemiselulosa menjadi asam organik dan fenolik yang terjadi pada saat pirolisis di kisaran temperatur 200-300°C (Mukome *et al.*, 2013; Yu *et al.*, 2014). Menurut Solaiman dan Anwar (2015), tingkat alkalinitas biochar berkontribusi terhadap

potensinya sebagai pengganti kapur. Pemberian biochar TKKS dapat memperbaiki sifat kimia tanah melalui peningkatan pH tanah. Kenaikan pH tanah meningkatkan ketersediaan unsur hara tanah sehingga dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman (Diana *et al.*, 2020). Hal ini sejalan dengan penelitian Lumbanraja (2020) menjelaskan bahwa biochar TKKS bersifat alkali dan mampu memperbaiki dengan sangat nyata berbagai sifat tanah masam yaitu pH, jumlah kation basa, kejenuhan basa, kadar K dan Mg, serta meningkatkan kapasitas pegang air tanah, tinggi tanaman pada umur 21 HST, cenderung meningkatkan P tersedia tanah dan serapan P tanaman, meningkatkan jumlah pembentukan bintil akar, berpengaruh variatif terhadap total populasi mikrobia tanah, dan meningkatkan hasil tanaman kedelai pada Inceptisol Wonosari Tanjung. Penelitian Handani (2017) menunjukkan perlakuan biochar dengan takaran 21,2 kg/batang (3 ton/ha) perlakuan paling efektif dalam meningkatkan berbagai parameter. Takaran biochar TKKS 21,2 kg/batang mampu meningkatkan pH tanah dari 4,4 hingga 5,13; C-organik 5,84%; KTK 58,12 me/100 g dari KTK awal 19,54 me/100 g, serta mampu meningkatkan kandungan hara N, P, dan K pada tanaman hingga 4,71%; 0,73%; 0,62% dibandingkan tanpa pemberian biochar hanya sebesar 4,15%; 0,44%; dan 0,59%.

Biochar dapat mengikat unsur hara yang berada di dalam tanah sehingga mampu menyediakan nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman. Hal ini sesuai dengan penelitian Putri (2020) menyatakan bahwa dosis terbaik pada perlakuan CIB2 (cangkang telur 0,53 kg/polybag, tempurung kelapa 50 g/polybag) untuk meningkatkan unsur hara Ca dan Mg pada tanah gambut dan perlakuan dosis terbaik C2B2 (cangkang telur 1,06 kg/polybag, tempurung kelapa 50 g/polybag) untuk meningkatkan hasil produksi tanaman jagung manis di tanah gambut. Hal ini didukung oleh penelitian Abdurrafi *et al.* (2021) yang menjelaskan perlakuan biochar sekam padi sebesar 15 ton/ha dan pupuk KCl sebesar 150 kg/ha merupakan perlakuan terbaik terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman cabai peranggi di tanah Aluvial karena meningkatkan variabel volume akar dan berat buah per tanaman. Pada tanaman sengan pemberian biochar TKKS dengan dosis 10% mampu meningkatkan

pertumbuhan tanaman (Yunita,2022). Pemberian biochar berbahan dasar batang jagung dengan perlakuan 40 ton/ha mampu meningkatkan jumlah daun sebanyak 40, jumlah umbi sebanyak 10 biji/rumpun, berat umbi basah 167,3 g, dan berat umbi kering 125,7 g (Urifa dan Bowo, 2020).

4. Cangkang Telur

Pemanfaatan tanah Aluvial sebagai lahan pertanian dihadapkan pada beberapa masalah, satu di antaranya tingkat kemasaman tanah yang tinggi. Tingkat kemasaman tanah yang tinggi menyebabkan unsur hara yang diberikan terikat oleh kation-kation H^+ dalam tanah sehingga tidak tersedia bagi tanaman. Penggunaan amelioran untuk memperbaiki sifat tanah dapat memanfaatkan limbah rumah tangga berbahan baku cangkang telur. Produksi cangkang telur ayam di Kalimantan Barat pada tahun 2018-2020 mengalami peningkatan hingga 42,078 ton (BPS, 2021). Cangkang telur merupakan limbah daur ulang yang mudah ditemui dalam kehidupan sehari-hari dan mulai meningkat. Cangkang telur mengandung beberapa komposisi yang dapat dijadikan sebagai bahan pembenah tanah. Pembuatan tepung cangkang telur mengacu pada Stepanus (2021) yang dapat dijabarkan sebagai berikut :

1. Pengumpulan dan penjemuran yang bertujuan untuk mengeringkan cangkang telur agar terhindar dari pembusukan.
2. Cangkang telur direndam menggunakan air panas atau air mendidih selama 15-30 menit.
3. Kemudian dilakukan pembersihan dan pengeringan cangkang telur.
4. Cangkang telur yang telah kering diblender sampai halus dan diayak menggunakan ayakan hingga menjadi tepung halus.

Pembuatan tepung cangkang telur berkualitas baik perlu memperhatikan suhu pengeringannya. Hasil penelitian Dewi *et al.* (2021) menunjukkan bahwa suhu sangat berpengaruh pada kualitas pupuk cangkang telur. Penggunaan suhu yang sangat tinggi dengan waktu pengeringan yang cukup lama dapat mengurangi nilai kadar kalsium yang terkandung dalam cangkang telur. Suhu yang baik digunakan dalam proses pengeringan cangkang telur ayam yaitu suhu 37°C sebesar 1,32 %, suhu 50°C sebesar 1,06%, suhu

100°C sebesar 2,21% dan suhu 150°C sebesar 0,80%. Proses pengeringan bertujuan menghilangkan kadar air yang berlebihan, namun menggunakan suhu pengeringan yang tinggi dan waktu pengeringan lama sangat mempengaruhi kualitas dan komponen cangkang telur.

Komponen utama dari cangkang telur ayam didominasi oleh kalsium karbonat (CaCO_3) dengan kandungan hingga 98,5%, dengan kalsium fosfat dan magnesium karbonat yang masing-masing mengandung komposisi sekitar 0,7% (Nurjayanti, 2012). Hasil analisis cangkang telur memiliki daya netralisasi sebesar 95,41% hampir setara dengan kalsit atau CaCO_3 murni yaitu sebesar 100%. Kandungan kalsium pada cangkang telur yang cukup besar dapat dimanfaatkan sebagai sumber nutrisi bagi tanaman. Peran kalsium lain khususnya pada tanaman antara lain, menebalkan dinding sel, meningkatkan pemanjangan sel akar, kofaktor proses enzimatik dan hormonal, pelindung dari cekaman panas, hama, dan penyakit (Easterwood, 2002). Apabila tanaman kekurangan kalsium maka metabolisme tanaman akan terganggu. Menurut Novizan (2002), kandungan kalsium yang terdapat dalam cangkang telur berperan pada pertumbuhan yaitu mendorong pertumbuhan akar lebih dini, memperbaiki struktur tanah serta mempengaruhi pengangkutan air dan hara-hara lain sehingga tanah mampu menyerap nutrisi dengan baik untuk pertumbuhan tanaman.

Pada beberapa penelitian menunjukkan pemberian cangkang telur dapat memberikan pengaruh terhadap sifat kimia tanah yaitu pH dan meningkatkan unsur Ca serta Mg. Cangkang telur mengandung kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) yang dijadikan sebagai bahan pengganti kapur untuk meningkatkan pH tanah. Hasil penelitian Nurjayanti (2012) menunjukkan pemberian dosis tepung cangkang telur yang efisien sebagai pengganti kapur untuk meningkatkan pH tanah adalah 1,49 g/polybag pada tanah Aluvial. Pemberian tepung cangkang telur akan meningkatkan pH tanah dikarenakan meningkatkan kandungan Ca, sehingga ion-ion H^+ yang terjerap pada koloid tanah akan lambat laun melepaskan ion H^+ yang terjerap di koloid tanah.

Reaksi tanah (pH) penting dalam mendukung ketersediaan unsur hara tanah. Ketersediaan unsur hara untuk tanaman dipengaruhi oleh pH tanah.

Adanya peningkatan pH tanah memicu tersedianya unsur hara sehingga status kesuburan tanah dapat meningkat seiring dengan pemberian cangkang telur sebagai pengganti kapur. Peningkatan pH mendekati nilai pH yang dibutuhkan oleh tanaman menyebabkan pertumbuhan dan produktivitas tanaman menjadi optimal. Hal ini sejalan dengan Simanjuntak (2016) yang menyatakan pemberian dosis cangkang telur 4 g/polibag berpengaruh nyata meningkatkan fosfor tersedia tanah. Apabila unsur hara tercukupi di dalam tanah maka tanaman akan tumbuh dengan optimal. Hasil penelitian Rosmalinda (2022) menunjukkan pemberian tepung cangkang telur ayam dosis 17,50 g/polybag merupakan dosis terbaik yang mempengaruhi pertumbuhan vegetatif tanaman kopi pada parameter tinggi tanaman, diameter batang, jumlah daun, panjang akar dan berat kering tanaman kopi robusta. Hal ini didukung hasil penelitian Syam *et al.* (2014) yang menunjukkan cangkang telur ayam dapat berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan *Adenium obesum* dengan pemberian 25 gram atau setara 2 sendok teh, karena memiliki nilai selisih rerata perlakuan yang paling tinggi. Perlakuan utama serbuk cangkang telur ayam dengan dosis terbaik 45 g/tanaman (C3) berpengaruh nyata terhadap semua parameter pertumbuhan tanaman (Setiawan, 2019). Hasil penelitian Krisnawati dan Bowo (2019) menunjukkan dosis CaCO_3 yang sesuai untuk meningkatkan pH tanah sawah Aluvial sebesar 1,3 ton/ha yang mampu memberikan kondisi media tanam yang ideal dan berpengaruh nyata terhadap nilai pH H_2O dan pH CaCl_2 sebesar 6,18 dan 6,09. Konsentrasi P tersedia dan Ca^{2+} sebesar 21,24 ppm dan 23,41 cmol/kg serta berpengaruh terhadap variabel tinggi tanaman menjadi 99,25 cm, jumlah anakan total 77,50 anakan dan jumlah anakan produktif yakni 49 anakan, berat 1000 gabah sebesar 36,40.

5. Ketersediaan Hara N, P dan K

Nitrogen adalah unsur hara esensial yang dibutuhkan pada hampir sebagian jenis tanaman dalam jumlah yang relatif banyak (Hanafiah *et al.*, 2010). Fungsi unsur nitrogen bagi tanaman adalah memacu pertumbuhan tanaman terutama pada fase vegetatif, serta berperan dalam pembentukan klorofil, asam amino, lemak, enzim, dan persenyawaan lain (Sutanto, 2005).

Akibat defisiensi unsur nitrogen dapat menyebabkan rendahnya produksi bobot kering tanaman. Gejala defisiensi unsur nitrogen (N) apabila tanaman berwarna hijau pucat atau kuning (klorosis). Hal ini terjadi karena rendahnya produksi klorofil pada tanaman. Daun tertua lebih dahulu menguning karena pasokan nitrogen dialirkan menuju ke daerah ujung pertumbuhan. Unsur nitrogen pada dalam tanah dan tanaman bersifat sangat mobil akibatnya keberadaan N di dalam tanah mudah hilang. Pada tanah dengan kemasaman tinggi memiliki kandungan unsur hara nitrogen yang rendah. Unsur N yang hilang melalui proses pencucian umumnya dapat terjadi pada tanah bertekstur kasar, rendah bahan organik dan rendahnya KTK pada tanah. Nitrogen dapat diperoleh dari beberapa sumber.

Sumber unsur nitrogen terbesar berasal dari atmosfer yang masuk ke dalam tanah melalui aliran air hujan atau udara yang diikat oleh bakteri pengikat nitrogen yaitu *Rhizobium* sp. Nitrogen diserap tanaman dalam bentuk nitrat (NO_3^-), amonium (NH_4^+), dan bahan lebih kompleks seperti asam amino larut air dan asam nukleik. Diserap dalam bentuk ion nitrat (NO_3^-) karena ion tersebut bermuatan negatif sehingga selalu berada di dalam larutan dan mudah terserap oleh akar. Ion nitrat lebih mudah mengalami pencucian karena aliran air sehingga tanaman tidak dapat memanfaatkan unsur nitrogen. Sedangkan ion amonium bermuatan positif terikat pada koloid tanah sehingga pada proses pencucian ion tidak mudah hilang dan dapat dimanfaatkan oleh tanaman melalui proses pertukaran kation.

Fosfor (P) merupakan salah satu unsur hara esensial bagi tanaman. Fosfor diperlukan untuk merangsang penyerapan unsur hara melalui peningkatan jumlah bintil pada perakaran mempercepat pertumbuhan tanaman. Fosfor di dalam tanah terdiri atas P organik dan anorganik. P organik ditemukan pada bahan organik dan humus yang dilepaskan melalui proses mineralisasi yang melibatkan organisme tanah. Sedangkan fosfor anorganik terdapat dalam bentuk kombinasi dengan Fe, Al, Ca, dan unsur-unsur lainnya. Fosfor anorganik adalah unsur P yang larut dari pupuk, air limbah, dan berbagai sumber lainnya dalam tanah, dan bereaksi membentuk senyawa-senyawa sukar larut. Fosfat diserap tanaman tidak langsung direduksi, melainkan berada di

dalam senyawa-senyawa organik dan anorganik dalam bentuk teroksidasi. Unsur P umumnya diserap tanaman dalam bentuk ion anorganik ortofosfat primer (H_2PO_4^-) dan ion ortofosfat sekunder (HPO_4^{2-}). Kemungkinan P masih dapat diserap dalam bentuk lain, yaitu pirofosfat dan metafosfat, maupun dalam bentuk senyawa P organik yang larut dalam air misalnya fosfolipid, fitin, gula fosfat dan nucleoprotein. Tanaman membutuhkan unsur fosfor pada fase pertumbuhannya akan tetapi ketersediaan yang dapat diserap tanaman dalam tanah bersifat rendah. Perubahan P dari tersedia menjadi tidak tersedia terjadi karena perubahan pH, pengendapan oleh ion Al, Fe dan Mn, fiksasi oleh hidrous oksida, dan fiksasi oleh liat silikat (Buckman and Brady, 1980).

Fosfor dalam tanah banyak dijerap oleh klei, Al dan Fe. Pada tanah yang memiliki pH rendah, kelarutan ion Al dan Fe relatif tinggi sehingga dapat memfiksasi P dalam tanah yang menyebabkan pertumbuhan tanaman kurang baik. Ketersediaan fosfor di dalam tanah dipengaruhi oleh berbagai faktor yaitu aerasi tanah, suhu, bahan organik, dan ketersediaan unsur hara lain, namun faktor pH tanah merupakan faktor terpenting. Fosfor akan bereaksi dengan ion besi dan aluminium yang membentuk besi fosfat dan aluminium fosfat yang sukar larut dalam air sehingga tidak dapat dimanfaatkan oleh tanaman pada tanah berpH rendah atau masam. Sedangkan unsur fosfor akan bereaksi dengan ion kalsium dan membentuk kalsium fosfat yang sukar larut sehingga tidak dapat dimanfaatkan oleh tanaman pada tanah-tanah berpH tinggi atau alkalis (Dhage *et al.*, 2014). Ketersediaan unsur P harus tetap ditingkatkan agar dapat dipergunakan oleh tanaman.

Meningkatkan ketersediaan P dapat dilakukan dengan penambahan bahan organik tanah. Pengaruh bahan organik terhadap ketersediaan P secara langsung (mineralisasi) atau secara tidak langsung dengan membantu pelepasan P yang terfiksasi. Hasil dekomposisi bahan organik berupa asam-asam organik dapat membentuk ikatan khelasi dengan ion Al dan Fe sehingga dapat menurunkan kelarutan ion Al dan Fe, maka dengan begitu ketersediaan P menjadi meningkat. Dekomposisi bahan organik menghasilkan asam-asam organik yang dapat melepaskan P terjerap sehingga ketersediaan P dapat meningkat (Fox *et al.*, 1990; Stevenson, 1982).

Dari ketiga unsur hara makro yang diserap oleh tanaman yaitu N, P dan K, unsur hara kalium memiliki jumlah yang melimpah di permukaan bumi. Unsur K membantu proses transportasi yang membawa unsur hara dari akar termasuk hara P ke daun dan mentranslokasi asimilat dari daun ke seluruh bagian tanaman. Unsur kalium sebesar 90-98% berbentuk mineral primer yang tidak dapat terserap oleh tanaman, 1-10% terjebak dalam koloid tanah karena kalium bermuatan positif, dan sisanya hanya 1-2% dalam larutan tanah dan tersedia bagi tanaman (Ispandi, 2002). Ketersediaan kalium dapat dipengaruhi oleh faktor kehilangan kalium dalam tanah dan mineral/batuan yang mengandung kalium. Semakin besar kehilangan kalium tanah maka semakin berkurang pula kalium tersedia untuk tanaman (Hakim, dkk., 1986).

Ketersediaan kalium di dalam tanah meliputi K tersedia (terdapat di dalam larutan tanah), K lambat tersedia yaitu K yang terfiksasi atau terperangkap antara lapisan mineral liat 2:1 dan K tidak tersedia dijumpai dalam mineral tanah. Kalium (K) diserap tanaman dalam bentuk ion K^+ . Kalium (K) ditemukan dalam jumlah banyak di dalam tanah, tetapi hanya sebagian kecil yang digunakan oleh tanaman yaitu yang larut dalam air atau yang dapat dipertukarkan (dalam bentuk koloid tanah). Apabila dibandingkan dengan unsur hara lain, unsur K bersifat kurang mobile daripada nitrogen, tetapi lebih mobile daripada unsur P. Kalium dapat digerakkan melalui proses aliran massa, dan kehilangan dari tanah permukaan akan terjadi, terutama setelah terjadi hujan lebat pada tanah-tanah berpasir dengan KTK rendah.

B. Kerangka Konsep

Produksi dan konsumsi okra di Kalimantan Barat masih tergolong rendah padahal buah okra mengandung manfaat yang tinggi apabila dikonsumsi. Konsumsi dan daya jual okra di luar negeri tergolong tinggi apabila dilihat berdasarkan permintaan ekspor Indonesia dari negara luar. Upaya peningkatan tanaman okra harus terus dilakukan melalui perbaikan lahan di Kalimantan Barat yang sebagian besar merupakan tanah mineral. Peningkatan produksi okra melalui usaha budidaya okra menjadi nilai tambah dalam memanfaatkan lahan yang kurang potensial. Tanah Aluvial sering mengalami kendala dalam

pemanfaatannya sehingga input tambahan perlu dilakukan.

Tanah Aluvial umumnya miskin akan unsur hara, reaksi tanah masam hingga basa, kejenuhan basa yang rendah, memiliki kandungan bahan organik yang rendah dan apabila tanah bersifat masam dapat menimbulkan keracunan pada tanah. Biochar TKKS dapat memperbaiki kondisi tanah Aluvial karena fungsi biochar yang dapat mempertahankan unsur hara dan kation, kandungan unsur hara (N, P, K, Ca, Mg) yang tinggi dan bersifat alkalis. Penambahan cangkang telur dapat menambah unsur Ca dan Mg dalam tanah. Kandungan kalsium cangkang telur mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman karena unsur kalsium dibutuhkan untuk metabolisme tanaman serta meningkatkan pH tanah. Pemanfaatan kedua pembenah tanah ini dilakukan sebagai upaya menurunkan ketersediaan limbah yang terus meningkat .

Bahan TKKS dapat digunakan masyarakat karena ketersediaannya yang melimpah. Begitu pula dengan cangkang telur merupakan limbah rumah tangga yang berasal dari telur ayam yang sering dikonsumsi masyarakat. Pemanfaatan biochar TKKS dan cangkang telur dapat menjadi suatu perlakuan yang efektif dalam meningkatkan ketersediaan unsur hara N, P, K dan produktivitas tanaman. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan acuan maupun pengetahuan dalam pemanfaatan limbah yang meningkat setiap tahunnya sebagai upaya perbaikan lahan yang kurang memenuhi syarat tumbuh tanaman okra. Tanah Aluvial dapat menjadi media tanam yang baik untuk mendukung keberlangsungan pertumbuhan tanaman melalui ketersediaan hara N, P, K di dalam tanah sehingga produktivitas tanaman okra yang masih rendah semakin optimal.

C. Hipotesis

Pemberian perlakuan mandiri biochar TKKS, cangkang telur maupun interaksi perlakuan keduanya diduga dapat meningkatkan ketersediaan hara N, P, K pada tanah Aluvial dan memberikan pengaruh nyata terhadap hasil produksi tanaman okra.