

## SEBARAN UNSUR HARA TANAH DAN PERAKARAN KELAPA SAWIT PADA PEMANFAATAN AIR LIMBAH PABRIK KELAPA SAWIT PT. FAIRCO AGRO MANDIRI

### DISTRIBUTION OF LAND HARA INQUIRY AND PALM OIL FIRM ON THE UTILIZATION OF PALM OIL WASTE WATER FACTORY PT. FAIRCO AGRO MANDIRI

RADEN MAS NURHARTANTO<sup>1</sup>, EDI SUPRIANTO<sup>1</sup>, DAN AGUS SARDJONO<sup>2</sup>)

<sup>(1,2)</sup>Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Mulawarman Jl. Pasir Balengkong, Kampus Gunung Kelua, Samarinda 75119, East Kalimantan, Indonesia. Email : Anto\_walet@yahoo.com

Manuscript received: 20 Maret 2020 Revision : 21 Maret 2020.

**Abstrak.** Kegiatan operasional pabrik kelapa sawit selain menghasilkan minyak kelapa sawit mentah sebagai produk utamanya juga menghasilkan limbah yang salah satunya berupa limbah cair dalam jumlah yang besar sehingga perlu di kelola agar tidak mencemari lingkungan. Pemanfaatan air limbah tersebut sebagai pupuk tanaman kelapa sawit dapat mengurangi biaya pengolahan limbah sekaligus mengurangi penggunaan pupuk kimia. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan identifikasi kandungan unsur hara tanah (N, P, K) dan melakukan identifikasi peyebaran akar kelapa sawit pada kedalaman dan jarak yang berbeda akibat pemanfaatan air limbah kelapa sawit.

Sampel tanah dan akar diambil berdasarkan pada perbedaan antara pokok sawit ke rorak, yaitu jarak 0-100 cm, 100-200 cm dan 200-300 cm, sedangkan kedalaman perakaran yaitu 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm, dan 60-80 cm. Ulangan dilakukan pada 4 tanaman kelapa sawit terpilih. Analisis tanah di laboratorium meliputi N total, P tersedia, K tersedia, sedangkan data perakaran yang dikumpulkan adalah kepadatan akar.

Hasil penelitian menunjukkan Nitrogen total sebagian besar berada pada status rendah kecuali pada jarak 200 cm dengan kedalaman 0-20 cm, yang berada sttus sedang (0,21%). Fosfor tersedia memiliki nilai tinggi di jarak 200 cm dan kedalaman 20-40 cm status sangat tinggi (254.91 ppm). Kalium memiliki nilai tinggi di jarak 300 cm dan kedalaman 20- 40 cm dengan status sangat tinggi (736.23 ppm). Kepadatan akar primer memiliki kepadatan yang tinggi di jarak 100 cm, dan kedalaman 0-20 cm, nilai kepadatan (4.62 kg/m<sup>3</sup>). Akar sekunder memiliki kepadatan akar yang tinggi di jarak 100 cm, dan kedalaman 0-20 cm, memiliki nilai kepadatan (0.86 kg/m<sup>3</sup>). Distribusi Akar Tersier/kwater memiliki kepadatan akar yang tinggi di jarak 100 cm dan kedalaman 20-40 cm memiliki nilai kepadatan 1.81 (kg/m<sup>3</sup>).

Terdapat variasi kandungan unsur hara tanah dan kepadatan perakaran kelapa sawit berdasarkan jarak dari pokok sawit ke rorak dengan kedalaman tanah, dimana untuk nitrogen total yang tertinggi terdapat di jarak 0-100 cm dan kedalaman 0-20 cm, sedangkan fospor tersedia yang tertinggi terdapat di jarak 100-200 cm dan kedalaman 20-40 cm, kalium tersedia yang tertinggi pada jarak 200-300 cm dan kedalaman 20-40 cm. Sehingga perakaran yang semakin mendekati rorak dan semakin dalam kepadatan akar semakin menurun.

**Kata Kunci :** Limbah Cair Kelapa Sawit (LCKP), Unsur Hara (N,total, P dan K tersedia), Akar kelapa sawit ( Primer, Sekunder, Kwater/tresier).

**Abstract.** The operational activities of palm oil mills in addition to producing crude palm oil as its main product also produces waste, one of which is liquid waste in large quantities so it needs to be managed so as not to pollute the environment. The use of

wastewater as a fertilizer for oil palm plants can reduce the cost of waste treatment while reducing the use of chemical fertilizers. Knowing soil nutrient variations and root distribution based on different depths and distances due to the utilization of palm oil wastewater. Identify variations in soil nutrient content (N, P, K) and the spread of oil palm roots at different depths and distances due to utilization of palm oil waste water.

Soil and root samples were taken based on the distance between the principal of the oil palm to the trunks, which is a distance of 0-100 cm, 100-200 cm and 200-300 cm, while the root depth is 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm, and 60-80 cm. Repetition was carried out on 4 selected oil palm plants. Soil analysis in the laboratory included total N, available P, K available, while root data collected was root density.

Total nitrogen is mostly in low status except at distances of 200 cm with depth and 0-20 cm, which is in a medium state (0.21%). Available phosphorus has a high value at a distance of 200 cm and a depth of 20-40 cm very high status (254.91 ppm). Potassium has a high value at a distance of 300 cm and a depth of 20-40 cm with a very high status (736.23 ppm). Primary root density has a high density at a distance of 100 cm, and a depth of 0-20 cm, the density value (4.62 kg / m<sup>3</sup>). The secondary root has a high root density at a distance of 100 cm, and a depth of 0-20 cm, has a density value (0.86 kg / m<sup>3</sup>). Tertiary / kwarter distribution has a high root density at a distance of 100 cm and a depth of 20-40 cm has a density value of 1.81 (kg / m<sup>3</sup>).

There are variations in soil nutrient content and density of oil palm roots based on the distance from the principal of the palm oil to the rokak with the depth of the soil, where for the highest total nitrogen is at a distance of 0-100 cm and a depth of 0-20 cm, the highest available phosphorus is at a distance 100-200 cm and a depth of 20-40 cm, the highest available potassium at a distance of 200-300 cm and a depth of 20-40 cm. So that roots are getting closer to rokak and the deeper the density of roots decreases.

**Keywords:** Palm Oil Liquid Waste (POLW), Nutrient (N, total, P and K available), Palm oil root (Primary, Secondary, Kwarter / attractive).

## PENDAHULUAN

Kelapa sawit merupakan komoditas sub sektor perkebunan yang memberikan andil besar bagi pemasukan devisa Negara di luar sektor minyak dan gas. Kelapa sawit menghasilkan minyak nabati yang digunakan sebagai bahan baku industri seperti, minyak goreng, margarin, oleo chemical dan geodisel. Upaya peningkatan produksi minyak kelapa sawit memiliki prospek yang cerah, karena permintaan minyak kelapa sawit yang beragam. Bahan baku industri pangan maupun non pangan. Perkembangan perusahaan kelapa sawit di Indonesia semakin meningkat, oleh sebab itu Pabrik Kelapa Sawit (PKS) harus ditambah secara nyata. Meningkatnya perkembangan perusahaan kelapa sawit membuat bertambahnya Pabrik Kelapa Sawit (PKS).

Tanaman kelapa sawit sangat memerlukan unsur hara untuk pertumbuhan dan perkembangannya yang ada dalam tanah. Ketersediaan unsur hara dalam tanah sangat berpengaruh terhadap produktivitas Tandan Buah Segar (TBS). Tersedianya hara dalam tanah tidak selalu cukup bagi tanaman kelapa sawit maka perlu diperlakukan khusus atau berbeda. Unsur hara dalam bentuk cair maupun bentuk padat. Mekanisme penyerapan unsur hara oleh tanaman, akar merupakan organ tanaman yang berfungsi menyerap unsur hara dari dalam tanah. Semakin ekstensif sistem perakaran maka semakin tinggi efisiensi penyerapan hara dan air oleh tanaman. Pangkal batang akan tumbuh akar yang terus membesar dan memanjang membentuk akar primer. Bagian yang lebih kecil akan membentuk akar sekunder, tersier hingga kwarter. Penyerapan hara dilakukan oleh bulu – bulu akar, sedangkan bagian lain akar seperti tudung akar, cabang akar hanya mampu menyerap hara dalam jumlah kecil. Penyerapan unsur hara paling efektif dilakukan oleh akar tersier dan kwarter. Keras lunaknya tanah, banyak sedikitnya air jauh dekatnya air tanah. Penyerapan hara oleh suhu tanah kelembaban tanah dan aerasi tanah (Rianta, 2010).

Perindustrian kelapa sawit akan menghasilkan produk yang diinginkan dan juga dapat menghasilkan produk sampingan atau juga bisa disebut dengan air limbah kelapa sawit. Limbah cair dari pabrik kelapa sawit ini harus dikelola dengan benar. Limbah kelapa sawit yang tidak dikelola dengan benar dapat menyebabkan dampak negatif bagi masyarakat yang tinggal di sekitar pabrik, dan bisa mencemari sungai.

Pemanfaatan air limbah ini dikelola dengan perusahaan sebagai bahan organik limbah cair yang menjadikan pengganti penggunaan pupuk kimia yang dimana limbah cair sebelumnya dikelola di *instalasi Pengoahan Air Limbah* (IPAL) untuk menurunkan kadar *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang sangat tinggi, apabila sudah turun kadar BOD dan COD maka dapat di transfer ke lahan *Land Application* (LA) yaitu lahan yang sudah dibuatkan rokak – rokak atau juga yang bisa disebut dengan flat bet dan long bet. Pemanfaatan limbah cair sebagai bahan organik dapat mencegah pencemaran lingkungan dan tidak mengganggu aktivitas masyarakat. Pemanfaatan air limbah pabrik sawit dikenal dengan istilah *Land Application* (LA).

TBS ini menghasilkan berbagai macam olahan seperti Crude Palm Oil (CPO), Kernel, dan Air limbah.

limbah cair di katakan sebagai pupuk organik cair, ada pula yang di sebut limbah padat yang dari hasil TBS yaitu jangkos. Kedua limbah ini adalah limbah organik tapi yang harus di perhatikan adalah limbah cair karena harus di kelola dengan baik. Pemanfaatan limbah cair ini bisa meningkatkan unsur hara dalam tanah dan kesuburan tanah itu sendiri. Tapi dengan pemanfaatan limbah cair ini masih bisa menimbulkan dampak pencemaran lingkungan terhadap tanah, air dan udara.

PT. Fairco Agro Mandiri merupakan perusahaan yang berdiri di bidang perusahaan kelapa sawit dan penghasil produksi CPO. Perusahaan ini di remiskan oleh Gubernur Dr H Awang Faroek Ishak pada tanggal 28 April 2014, di kecamatan kaubun kabupaten kutai timur. Perusahaan PT. FAM melakukan penanaman kelapa sawit pada tahun 2007- 2015. Dilakukannya pemancangan pada lahan yang datar sampai berombak menggunakan sistem mata lima dengan jarak 9 m x 9 m x 9 m, jumlah populasi per hektar sebanyak 136-143 tanaman. Topografi yang bergelombang sampai berbukit menggunakan sistem teras dengan jarak tanam dan jumlah tanaman tergantung pada jarak antar teras.

## METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di areal PT. Fairco Agro Mandiri yang telah memiliki lahan aplikasi yang sudah ditanami kelapa sawit. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni sampai dengan Agustus 2019. Lokasi penelitian dilakukan, di Kecamatan Kaubu, Kabupaten Kutai Timur, Provinsi Kalimantan Timur.

Bahan yang digunakan: Sampel tanah, sampel akar kelpa sawit. Alat-alat yang digunakan yaitu : Plastik sampel, cangkul, parang, pisau, meteran, jangka sorong, spidol permanen, timbangan, alat tulis dan serta peralatan lainnya yang dianggap perlu.

Pelaksanaan penelitian ini mencakup uraian kegiatan sebagai berikut :

### 1. Pengamatan lahan.

Pengamatan lahan dilaksanakan terhadap pohon kelapa sawit dan rorak. Melihat kondisi rorak (lebar, panjang dan kedalaman), topografi, umur kelapa sawit. Dikumpulkan informasi tentang dosis limbah cair, rotasi, pemupukan, dll.

### 2. Analisa Sampel Air Limbah Kelapa Sawit.

Pengambilan sampel air limbah di lakukan dengan mengambil sampel air di rorak-rorak. Setelah pengambilan sampel limbah cair kelapa sawit bisa untuk di analisis di labolatorium. (*Rosmarkam dan Yuwono, 2002*). Parameter analisis labolatorium meliputi :

- a. N total dengan metode Kjedhal
  - b. P tersedia ( $P_2O_5$ ) dengan metode Bray
  - c. K tersedia ( $K_2O$ ) dengan Metode Morgan
- ### 3. Pengambilan sampel akar

Areal pengambilan pengambilan sampel akar dilakukan pada tanaman kelapa sawit yang diberikan aplikasi lahan limbah cair kelapa sawit. Kriteria pohon yang dipilih adalah pohon yang sehat dan memiliki pertumbuhan yang homogen. Pengambilan sampel akar dilakukan dengan metode Potong kue, berukuran lebar  $45^\circ$  atau  $1/8$  (*Jourdan and Rey, 1997*). Ilustrasi pengambilan sampel di sajikan pada Lampiran 7. Pokok sawit ke arah rorak. Sampel akar diambil pada jarak 1) 0-100 cm, 2) 100-200 cm, 3) 200-300 cm dan kedalaman perakaran 0-20cm, 20-40cm 40-60cm, 60-80 cm. Prosedur ini dilakukan pula pada jarak dan kedalaman selanjutnya. Sampel akar kemudian dicuci dan dipilah menjadi tiga kelompok yaitu :

- 1) akar primer ( $\varnothing > 5$  mm)
- 2) akar sekunder ( $\varnothing 2,5-5$  mm)
- 3) akar tersier + kuarter ( $\varnothing < 2,5$  mm)

Akar kuarter tidak dipisahkan dengan akar tersier karena ukurannya yang sangat kecil. Akar yang telah dikelompokkan dimasukkan ke dalam kantong elastik dan diberi label sesuai dengan lokasinya Akar tanaman dikeringkan dengan dioven dengan suhu  $60^\circ C$  selama 24 jam kemudian selanjutnya ditimbang untuk mendapatkan berat akar. Distribusi akar dihitung dengan rumus :

$$\text{Distribusi akar (gram/dm}^3\text{)} = \frac{\text{berat kering akar (gram)} \times 1 / 1000}{\text{Volume tanah (m}^3\text{)}}$$

(Marwanto et al., 2012; Yahya et al, 2010)

#### 4. Pengambilan Sampel Tanah dan Analisis Tanah

Sampel tanah di ambil berdasarkan jarak pokok sawit ke rorak dan kedalaman tanah, yaitu 0-100 cm, 100-200 cm dan 200-300 cm untuk jarak, dari pokok sawit ke rorak, serta kedalaman 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm dan 60-80 cm. Untuk setiap sampel tanah pada lokasi dan kedalaman tersebut dilakukan pengulangan sebanyak 4 pohon kelapa sawit, kemudian sampel tanah pada jarak dan kedalaman yang sama di kompositkan sehingga diperoleh 12 sampel tanah komposit. Tahap selanjutnya uji laboratorium untuk mengetahui unsur hara tanah yang mempengaruhi kesuburan tanah tempat tumbuh pohon kelapa sawit. Pengambilan sampel tanah untuk mengetahui status hara menggunakan metode *komposit* sampel yaitu percampuran tanah. Contoh yang diambil dari areal yang dikehendaki. Contoh tanah tersebut mewakili areal yang relatif agak seragam dalam hal jenis tanah, topografi, kemiringan dan bahan induk. Sampel tanah disetiap lokasi tersebut diambil sebanyak 500 gram, adapun sampel tanah hasil komposit juga sebanyak 500 gram. Kedalaman dan jarak yang sama dikompositkan dan diambil sebanyak 500 gram untuk dianalisis laboratorium (Rosmarkam dan Yuwono, 2002). Parameter analisis laboratorium meliputi :

##### a. N total dengan metode Kjeldhal

Kadar Nitrogen (N) Analisis N total didasari dengan mengubah N-organik menjadi N-ammonium oleh asam sulfat yang dipanaskan sekitar 380°C dan dengan menggunakan katalis. Prinsip, metode kjeldhal yaitu penetapan jumlah secara empiris berdasarkan jumlah N dalam bahan. Setelah bahan dioksidasi, ammonia (hasil konversi senyawa yang mengandung N) bereaksi dengan asam membentuk amonium sulfat. Dalam kondisi basa, ammonia diuapkan kemudian ditangkap dengan larutan asam. Jumlah N ditentukan dengan titrasi HCl. Metode kjeldhal pada dasarnya dapat dibagi menjadi tiga tahapan yaitu proses destruksi, proses destilasi dan tahap titrasi (Legowo & Nurwantoro, 2004)

##### b. P tersedia ( $P_2O_5$ ) dengan metode Bray

Ditimbang 2,5 g contoh tanah <2 mm, ditambah pengekstrak Bray dan Kurt I sebanyak 25 mL, kemudian dikocok selama 5 menit. Disaring dan bila larutan keruh dikembalikan ke atas saringan semula (proses penyaringan maksimum 5 menit). Dipipet 2 mL ekstrak jernih ke dalam tabung reaksi. Contoh dan deret standar masing-masing ditambah pereaksi pewarna fosfat sebanyak 10 mL, dikocok dan dibiarkan 30 menit. Diukur absorbansinya dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 693 nm. Kadar  $P_2O_5$  tersedia (ppm) = ppm kurva x mL ekstrak/1.000 mL x 1.000/g contoh x fp x 142/190 x fk = ppm kurva x 25/1.000 x 1.000/2,5 x fp x 142/190 x fk = ppm kurva x 10 x fp x 142/190 x fk.

(Sulaeman et al., 2005).

##### c. K tersedia ( $K_2O$ ) dengan Metode Morgan

Adanya kalium tersedia yang cukup dalam tanah akan menjamin ketegaran yang membuat tanaman lebih tahan terhadap penyakit dan merangsang pertumbuhan akar dan metode yang digunakan untuk mengukur  $K_2O$  tersedia ini yaitu ekstrak Morgan Wolf. Analisis P dan K dilakukan dengan cara menimbang 0,500 g contoh tanah <0,5 mm ke dalam tabung digestion. Tambahkan 5 ml  $HNO_3$  p.a. dan biarkan satu malam. Besoknya dipanaskan dalam digestion blok dengan suhu 100 °C selama satu jam, kemudian suhu ditingkatkan menjadi 150 °C. Setelah uap kuning habis suhu digestion blok ditingkatkan menjadi 200 °C. Destruksi selesai setelah keluar asap putih dan sisa ekstrak kurang 0,5 ml. Tabung diangkat dan biarkan dingin. Ekstrak diencerkan dengan air bebas ion hingga volume 25 ml dan kocok dengan pengocok tabung homogen (Balittanah, 2012).

##### Analisis Data akar

Data akar yang telah diperoleh dari masing-masing perlakuan lubang tanam disajikan dalam bentuk bar chart (diagram batang) per kedalaman menggunakan MS. Excel 2013.

##### Analisis Data tanah

Penelitian unsur hara ditentukan berdasarkan metode yang dikembangkan oleh Balai Penelitian Tanah Bogor (2005), yaitu dengan metode deskriptif komperatif dimana data hasil analisis tanah kemudian dibandingkan dengan table kriteria standar sifat kimia dan kriteria penilaian status unsur hara tanah. Tabel Kriteria Sampel Kimia Tanah di sajikan di Lampiran 1.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Lokasi Pengambilan Sampel Tanah

#### 1. Posisi Geografis dan Administrasi

Secara administratif, lokasi perkebunan PT. Fairco Agro Mandiri berada di Desa Kaliorang Kecamatan

Kaliorang dan Desa Bumi Jaya Kecamatan Kaubun Kabupaten Kutai Timur, Provinsi Kalimantan Timur. Posisi Geografis lokasi penelitian terletak antara 0°58'40" LU - 117°47'40" BT. Peta Administrasi Kabupaten. Kutai Timur, Peta Administrasi Kecamatan Kaliorang dan Kecamatan Kaubun

**2. Hasil Analisis Kandungan Unsur Hara Air Limbah Kelapa Sawit**

Berdasarkan analisis air limbah diperoleh kandungan unsur hara di dalam air limbah yang meliputi Nitrogen, phosphor dan kalium, sebagai mana disajikan pada tabel 1. Labolatorium tanah Fakultas Pertanian Universitas Mulawarman diketahui bahwa nilai N total memiliki nilai yang sangat rendah sedangkan untuk nilai P dan K tersedia memiliki nilai yang sangat tinggi. Nilai analisis dapat dilihat pada tabel 1.

**Tabel 1. Hasil Analisis N, P, K Limbah Cair Kelapa Sawit**

No	Parameter	Satuan	Nilai
1	N-total	%	0,01
2	P- tersedia	Ppm	25,86
3	K- tersedia	Ppm	597,67

Sumber : Laboratorium Tanah Fakultas Pertanian Universitas Mulawarman.

Kandungan Nitrogen dan fosfor sangatlah sedikit dimana untuk nitrogen hanya sebesar 0,01 % dan fosfor hanya 25,86 Ppm. Unsur hara yang paling banyak di air limbah adalah kalium yang mencaipai 597,67 ppm. Dosis aplikasi Limbah cair sebesar 750 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>tahun<sup>-1</sup>

Luas lahan aplikasi ditentukan berdasarkan produksi limbah cair selama setahun dan dosis limbah cair selama setahun.

- Kapasitas olah maksimum TBS = 45 ton/jam
- Waktu olah PKS per hari = 20 jam
- Waktu kerja efektif per bulan = 25 hari
- Rasio limbah cair terhadap TBS = 0,65 m<sup>3</sup>ton TBS<sup>-1</sup>

Dengan demikian, limbah cair yang dihasilkan sebesar:

$$45 \text{ ton/jam} \times 20 \text{ jam} \times 25 \text{ hari} \times 12 \text{ bln} \times 0,65 \text{ m}^3/\text{ton} = 175.500 \text{ m}^3/\text{tahun}^{-1}$$

Pertimbangan dalam menentukan dosis aplikasi limbah cair antara lain adalah kandungan unsur hara di dalam limbah cair tersebut. Menurut Ginting (2008), dosis aplikasi lahan yang ideal sebesar 750-1.000 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>tahun<sup>-1</sup>. Adapun dosis aplikasi lahan yang digunakan dalam kajian ini sebesar 750 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>tahun<sup>-1</sup>. Dengan demikian, luas lahan yang diusulkan untuk lahan aplikasi sebesar:

$$\frac{175.500 \text{ m}^3}{750 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{tahun}} = 234 \text{ Ha.}$$

**3. Tanah**

Jenis tanah di lokasi peneltian termasuk kedalam Ordo Ultisol. Ultisol merupakan tanah yang mengalami timbunan liat di horizon bawah. Tanah ini memiliki karakteristik sebagai berikut : kandungan bahan organik rendah, kejenuhan basa (KB) kurang dari 35% dan pH yang rendah (pH 4,2-4,8) (Fiantis 2002).

**B. Kandungan Unsur Hara Dalam Tanah**

**1. Nitrogen (N)**

Kandungan nitrogen total tanah pada jarak 100 cm dari pokok berkisar antara 0,11 - 0,19 %. Status nitrogen pada semua kedalaman tanah pada jarak 100 cm dari pokok kelapa sawit tergolong rendah.

Lahan Aplikasi (LA)			
Jarak (cm)	Kedalaman (cm)	N Total (%)	Status
100	0-20	0.19	R
	20-40	0.12	R
	40-60	0.15	R
	60-80	0.11	R

200	0-20	0.21	S
	20-40	0.16	R
	40-60	0.16	R
	60-80	0.13	R
300	0-20	0.15	R
	20-40	0.15	R
	40-60	0,1	R
	60-80	0,13	R

Sumber : Laboratorium Tanah Fakultas Pertanian Universitas Mulawarman. Hasil analisis laboratorium di sajikan Pada Lampiran 4. Keterangan : R : Rendah S : Sedang

## 2. Fosfor (P)

Analisis sifat kimia tanah terhadap kandungan fosfor tanah menunjukkan bahwa pada lahan yang di aplikasikan dengan limbah cair kelapa sawit pada jarak dan kedalaman yang berbeda, yaitu pada jarak 200 cm dengan kedalaman 20-40 cm dari pokok sawit ke rorak memiliki status sangat tinggi dengan nilai 254.91 ppm dan jarak 100 cm dengan kedalaman 0-20 cm dari pokok sawit ke rorak memiliki status sedang dengan nilai 19.5 ppm. Jika dibandingkan dengan tabel kriteria sifat tabel tanah. Hasil analisis dapat dilihat pada tabel 3.

**Tabel 3. Hasil Analisis P Tersedia Tanah.**

Lahan Aplikasi (LA)		P Tersedia (ppm)	Status
Jarak (cm)	kedalaman (cm)		
100	0-20	19.5	S
	20-40	75.66	ST
	40-60	87.14	ST
	60-80	88.52	ST
200	0-20	111.76	ST
	20-40	254.91	ST
	40-60	59.75	ST
	60-80	24.2	S
300	0-20	21.99	S
	20-40	69.16	ST
	40-60	24.62	S
	60-80	98.2	ST

Sumber : Laboratorium Tanah Fakultas Pertanian Universitas Mulawarman. Hasil analisis laboratorium di sajikan Pada Lampiran 4. Keterangan : ST : Sangat Tinggi  
S : Sedang

### 3. Kalium (K)

Dari hasil analisis sifat kimia tanah terhadap kandungan kalium tanah menunjukkan bahwa pada lahan yang diaplikasi dengan limbah cair kelapa sawit pada kedalaman yang berbeda dan jarak yaitu jarak 300 dengan kedalaman 20-40 memiliki status nilai sangat tinggi dengan nilai 736,23 ppm dan jarak 200 dengan kedalaman 40-60 memiliki status nilai sangat tinggi ke dua dengan nilai 561,28 ppm jika di bandingkan dengan tabel kriteria sifat tabel tanah. Hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4. Hasil Analisis K Tersedia.**

Lahan Aplikasi (LA)		K Tersedia (ppm)	Status
Jarak (cm)	kedalaman (cm)		
100	0-20	371.23	ST
	20-40	530.2	ST
	40-60	396.09	ST
	60-80	457.37	ST
200	0-20	420.07	ST
	20-40	521.31	ST
	40-60	561.28	ST
	60-80	397.87	ST
300	0-20	459.15	ST
	20-40	736.23	ST
	40-60	509.77	ST
	60-80	380.11	ST

Sumber : Laboratorium Tanah Fakultas Pertanian Universitas Mulawarman Hasil analisis laboratorium di sajikan Pada Lampiran 4.

Keterangan : ST : Sangat Tinggi

### C. Hasil Analisis Kepadatan Akar Kelapa Sawit

Hasil analisis berat kering akar berdasarkan perhitungan berat akar kering yang sudah dirata-ratakan dengan nilai volume pengambilan sampel, dapat dilihat pada Tabel 5. Untuk data analisis lengkap berat kering.

**Tabel 5. Kepadatan Rata-rata Akar**

Jarak (cm)	Kedalaman (cm)	Kepadatan Akar (kg/m <sup>3</sup> )			Total (kg/m <sup>3</sup> )
		Primer	Sekunder	Tersier/Kwater	
100	0-20	4.62	0.86	0.70	6.19
	20-40	3.38	0.74	1.81	5.93
	40-60	1.45	0.74	0.81	3.00

	60-80	1.36	0.34	0.59	2.29
200	0-20	2.56	0.51	0.82	3.88
	20-40	1.39	0.41	0.62	2.42
	40-60	1.20	0.49	0.57	2.26
	60-80	0.90	0.51	0.30	1.71
300	0-20	1.30	0.37	0.29	1.96
	20-40	0.51	0.29	0.30	1.10
	40-60	0.40	0.13	0.11	0.65
	60-80	0.17	0.08	0.09	0.34

Sumber : Rumus Perhitungan (*Marwanto et al., 2012; Yahya et al, 2010*)

Perhitungan Distribusi Akar di sajikan pada Lampiran 2.

Hasil keseluruhan perhitungan distribusi akar disajikan pada lampiran 5

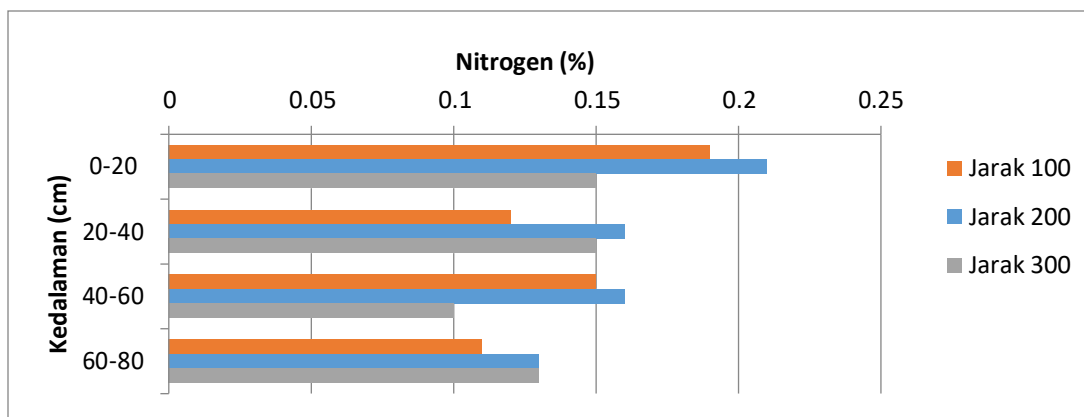
#### **D. Pembahasan**

##### **1. Pembahasan Hasil Penelitian Tanah**

###### **a. Unsur Hara Nitrogen (N Total)**

Berdasarkan Tabel 2. Kandungan Nitrogen rata-rata pada ketiga jarak dengan 4 pokok sawit tanah yang telah di kompositkan memiliki hasil relatif rendah, meskipun demikian namun dapat terlihat nilai hasil analisis rata-rata yang terbaik yaitu adalah di jarak 200 cm dengan kedalaman 0-20 cm yang memiliki nilai 0,21%. Nilai yang terkecil pada unsur hara N ialah pada jarak 300 dengan kedalaman 40-60 cm dan nilai 0.1 %. Memperjelas mengenai perbedaan hasil analisis kandungan nitrogen pada lahan penelitian dapat di lihat gambar 1.





Gambar 1. Kandungan Nitrogen Tanah Sampel

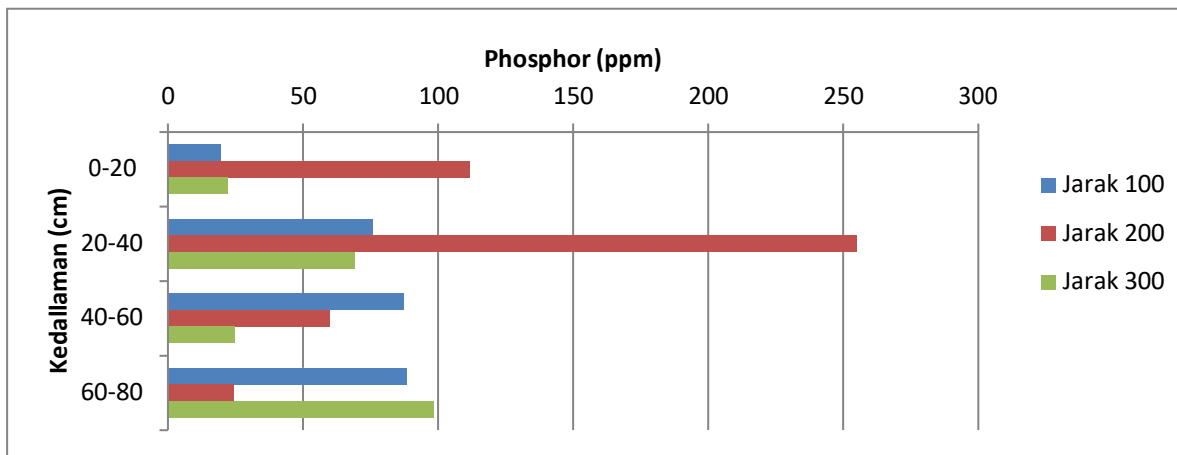
Berdasarkan Gambar 1 grafik kandungan nitrogen tanah sampel, diketahui bahwa aplikasi limbah cair belum dapat meningkatkan nilai signifikan dibandingkan dengan lahan aplikasi pupuk kimia. Hal ini disebabkan oleh beberapa hal, diantaranya adalah kandungan nitrogen dari jenis limbah yang di aplikasikan yang sangat rendah. Kandungan unsur hara pada limbah cair yang di aplikasikan di pengaruhi oleh proses pengolahan limbah yang dilakukan. Pada limbah cair perlu ada penanganan khusus untuk mengurangi kadar cemarnya.

Kandungan Nitrogen yang redah juga di pengaruhi oleh karakteristik dari unsur nitrogen yang memiliki mobilitas tinggi. Unsur nitrogen merupakan unsur yang mudah hilang karena diserap oleh tanmaan dan jasad renik, menguap dan tercuci oleh air huajn. Menurut Munawar (2011), Imobilisasi adalah perubahan bentuk seyawa N anorganik menjadi N<sub>3</sub> organic (asam –asam amino dan protein melalui aktivitas biologis, imobilisasi terjadi jika C/N ratio organic tinggi.

**b. Unsur Hara P (Fosfor Tersedia)**

Berdasarkan tabel 3 kandungan fosfor dari 4 pokok kelapa sawit tersebut dengan tanah yang telah dikompositkan memiliki status, sedang dan sangat tinggi, Diketahui bahwa nai tertinggi adalah pada jarak 100 cm dengan kedalaman 0-20 cm, nilai yang status sedang yaitu 19.5 ppm. pada jarak 100 cm degan kedalaman 20-40 cm nilai satatus sangat tinggi yaitu 254.91 ppm.

Lebih jelas perbedaan nilai hasil analisis kandungan P tersdia tersebut dapat dilihat Gambar 2.



Gambar 2. Kandungan Fosfor Tanah Sampel

Jika dilihat pada Gambar 2. maka dapat diketahui bahwa nilai hasil analisis unsur P tersedia pada jarak 200 cm dan 100 cm lebih baik dibandingkan dengan jarak 300 cm. Kadar P-tersedia pada perlakuan yang hanya ditambah bahan organik mengalami peningkatan dengan bertambahnya masa inkubasi, karena P menjadi lambat tersedia sehingga dengan semakin lama inkubasi maka akan menyebabkan P-tersedia meningkat. Tingginya unsur hara fosfor di setia kedalaman di karenakan Keadaan ini sesuai dengan pendapat Rajan et al. (1996); Rusnetty (2000); dan Sufardi (1999) yang mengemukakan bahwa penambahan bahan organik akan memberikan pengaruh

positif terhadap kelarutan fosfat di dalam tanah. Dijelaskan oleh Kuswandi (1993) menyatakan bahwa pada kemasaman sedang dan kuat, kebanyakan tanah mengikat pupuk phosfor dengan membentuk seyawa-seyawa P, Fe dan Al yang terlarut.

**c. Unsur Hara K (Kalium Tersedia)**

Hasil analisis tanah unsur hara kalium statusnya sangat tinggi, menunjukkan bahwa pada lahan aplikasi limbah cair kelapa sawit memiliki status sangat tinggi ada di jarak 300 cm dan kedalaman 20-40 cm dengan nilai 736.23 ppm. Kalium yang memiliki nilai rendah dari yang lain di jarak 100 cm dan kedalaman 0-20 dengan status sangat tinggi 371.23 ppm, jika dibandingkan dengan tabel kriteria sifat kimia tanah. Status yang sangat tinggi pada dua jarak dan kedalaman yang berbeda ini disebabkan karena model aplikasi dengan kedalaman 1 meter dari permukaan tanah, sehingga unsur kalium yang terkandung pada limbah cair yang telah diaplikasikan dapat terserap tanah pada kedalaman yang berbeda. Lebih jelas perbedaan nilai hasil analisis kandungan Kalium tersebut dapat dilihat Gambar 3.

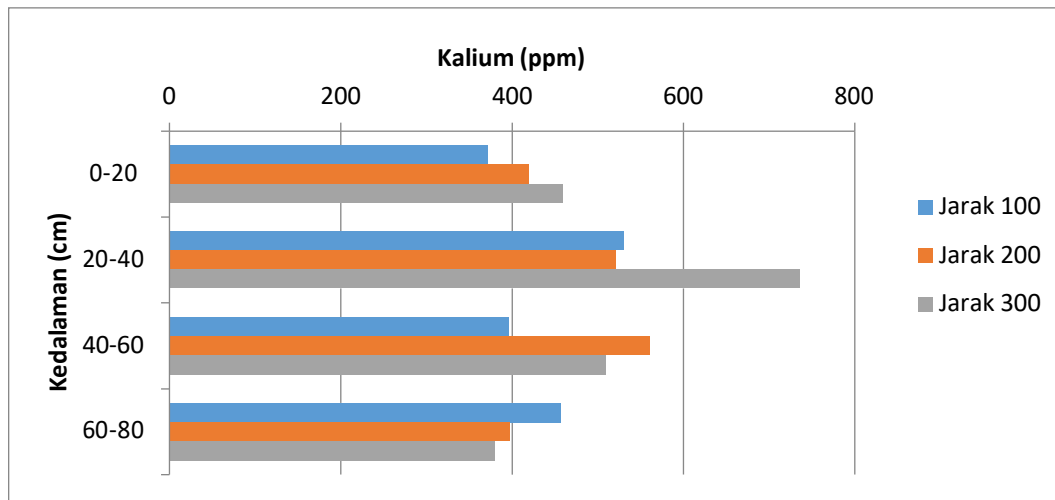
Jiak dibandingkan setiap kedalaman maka yang memiliki kesuburan yang paling baik ialah pada kedalaman 20-40 cm. Rata-rata smeua unsur hara Kalium memilik status sangat tinggi di setiap kedalaman.

Kandungan unsur hara kalium di lahan aplikasi limbah cair kelapa sawit sangat tinggi. Menunjukkan bahwa pada lahan kelapa sawit memiliki kandungan kalium yang baik. Kondisi kandungan kalium yang baik ini berkaitan dengan pH tanah pada lahan penelitian. Dijelaskan oleh Engelstad (1997). Pada tanah-tanah yang masam pertukaran kation  $K^+$  oleh  $Al^{3+}$  dapat terjadi pada tingkat yang lebih besar dari pada  $Al^{2+}$ . Karena Al yang dijumpai pada tanah-tanah masam merupakan kation yang dapat dipertukarkan, Al lebih mudah menukarkan  $K^{2+}$  dari  $Ca^{2+}$ .

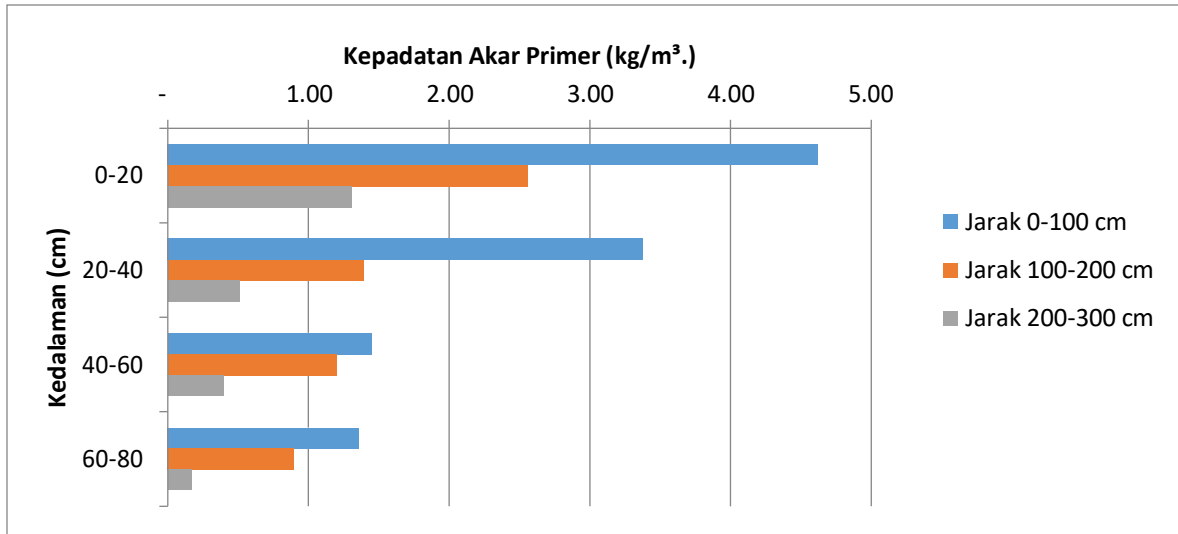
**2. Pembahasan Hasil Penelitian Akar**

**a. Berat Kering Akar Primer**

Akar primer adalah akar yang berkembang dan membesar yang menjadi penopang batang kelapa sawit. Hasil distribusi akar primer yang telah di rata-ratakan dapat dilihat pada Gambar 4. Pada aplikasi limbah cair kelapa sawit menunjukan akar primer memiliki kepadatan terbesar pada jarak 100 cm dengan kedalaman 0-20 cm memiliki nilai kepadatan 4.62 kg/m<sup>3</sup>. kepadatan yang terkecil akar primer hanya ada di jarak 200-300 cm dengan kedalaman 60-80 cm yang memiliki nilai kepadatan 0.17 kg/m<sup>3</sup>. Kedalaman akar primer tanaman kelapa sawit ini bisa mencapai 8 meter dan 16 meter secara horizontal. Hasil analisis berat kering akar berdasarkan perhitungan yang sudah dirata-ratakan dengan nilai volume pengambilan sampel, akar primer lebih banyak di karenakan akar primer berfungsi sebagai penopang pohon kelapa sawit.



Gambar 5.3. Kandungan Kalium Tanah Sampel

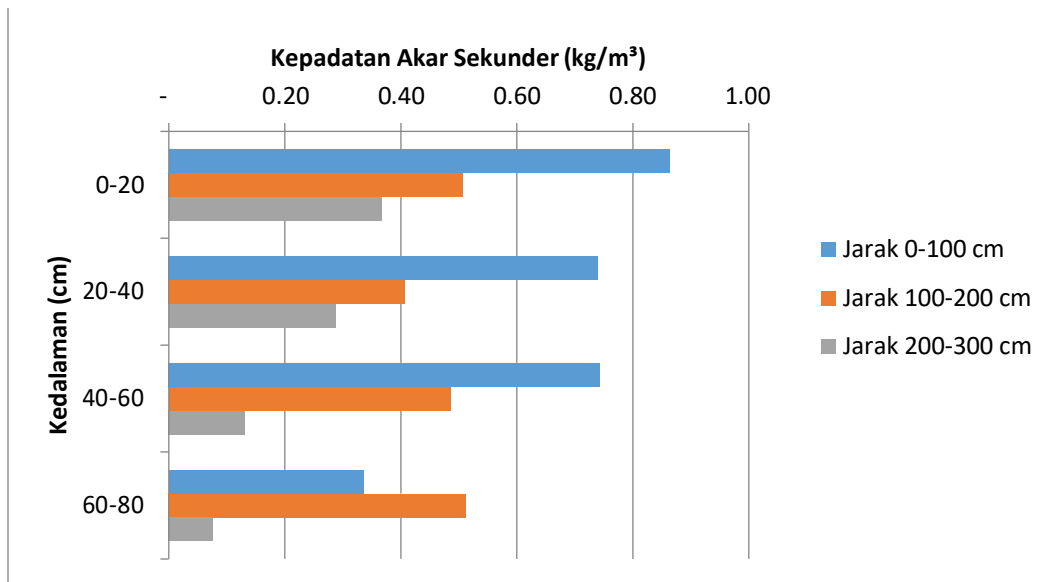


Gambar 4. Distribusi Akar Primer Kelapa Sawit

Pada tanaman dewasa ribuan akar primer baru terus tumbuh dari pangkal batang dan menggantikan akar primer yang telah mati (Thomas et al, 2003). Adapun akar primer yang mengalami kerusakan akar akibat pembuatan rorak menyebabkan akar membentuk percabangan dengan arah berbeda dan dapat meningkatkan kerapatan akar dengan pola yang beragam tergantung sifat fisik-kimia tanah dan percabangan akar kelapa sawit membentuk sudut < 90°. Secara alami akar primer yang berjumlah ribuan terus dari pangkal batang dan secara berkelanjutan tumbuh bila ada akar yang mati. Bertambah panjang akar berarti memperpendek jarak unsur hara mendekati akar melalui mekanisme aliran masa ataupun difusi (Sarwono, 2003). Penelitian Ng et al (2003) yang menyatakan bahwa akar primer kelapa sawit dapat mencapai kedalaman lebih dari 90 cm.

**b. Berat Kering Akar Sekunder**

Pada aplikasi limbah cair kelapa sawit menunjukan akar sekunder tinggi terdapat pada jarak 100 cm kedalaman 0-20 cm, dengan kepadatan akar 0.86 kg/m<sup>3</sup>. Kepadatan akar sekunder yang kecil terdapat pada jarak 200-300 cm dengan kedalaman 60-80 cm dengan nilai kepadatan 0.08 kg/m<sup>3</sup>. Setiap jarak dan kedalaman terdapat akar sekunder dengan kepadatan yang berbeda dikarenakan akar sekunder percabangan dari akar primer atau bisa disebut juga akar sekunder juga tumbuh dari akar primer. Hasil distribusi akar sekunder dapat dilihat pada Gambar 5.

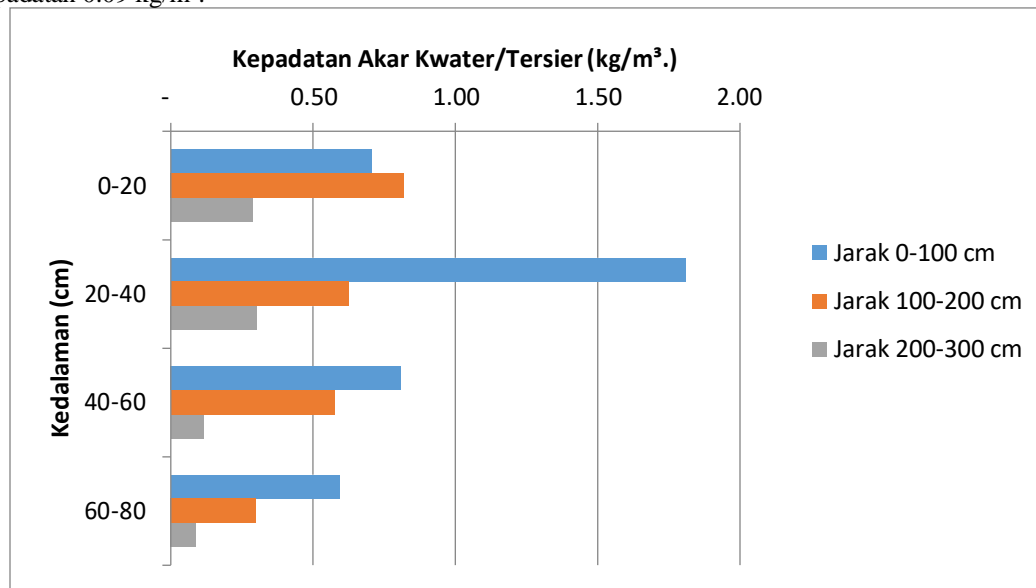


Gambar 5. Distribusi Akar Sekunder Kelapa Sawit

Kondisi akar sekunder berkembang baik pada semua tingkat kedalaman. Panjang dan luas akar juga dipengaruhi oleh sifat fisik tanah (*Alexander dan Thomas, 2012*). Pemberian air limbah kelapa sawit yang memiliki nilai P-tersedia yang tinggi mampu memberikan perbaikan bagi perkembangan biomassa akar sekunder dan tersier di kedalaman 0-20 cm jarak 100 cm. Perbaikan ini sebagai pengaruh dari tersedianya unsur hara, air, meningkatnya aktivitas flora dan fauna tanah, meningkatnya aerasi tanah dan akar tidak terpapar oleh sinar matahari. Berat akar sekunder yang terdapat pada jarak 100cm lebih banyak dari pada berat akar sekunder pada jarak 200cm dan 300cm, dimana pada setiap jarak pengambilan sampel tidak terdapat penghalang akar menuju rovak. *Corley et al, (1997)* menyatakan pada jarak 0 – 1 m dari batang nilai tertinggi terdapat pada jenis tanah tanpa halangan mekanis dan pada jarak 2 m–3 m dari batang tertinggi pada jenis tanah liat (*coastal clay*) dan secara kumulatif berat kering akar terbesar pada tanah tanpa halangan mekanis.

### c. Berat Kering Akar Tersier dan Kwater

Pada lahan aplikasi limbah cair kelapa sawit dengan hasil analisis akar Tersier/kwater yang telah di rata-ratakan untuk akar dapat dilihat pada Gambar 6. Adapun juga Peningkatan terhadap unsur hara P-tersedia juga menjadi salah satu penyebab panjangnya akar Tersier/kwater menjadi banyak. Pada grafik di bawah menunjukkan akar Tersier/kwater yang tinggi ada pada jarak 100 cm dengan kedalaman 20-40 cm dengan memiliki kepadatan 1.81 kg/m<sup>3</sup>. Kepadatan akar Tersier/kwater tekecil terletak pada jarak 200-300 cm dengan kedalaman 60-80 cm dan nilai kepadatan 0.09 kg/m<sup>3</sup>.



Gambar 6. Distribusi Akar Kwater/Tersier Kelapa Sawit

Nilai rata-rata akar yang telah memiliki hasil yang cukup banyak akar ini berfungsi sebagai untuk menyerap unsur hara sebagai nutrisi tanaman ke lapa sawit, meskipun demikian akar kwater dan tersier berfungsi sebagai penyerap air dan unsur hara pada tanah. Sebagian besar akar aktif berada pada kedalaman 5 – 30 cm dan akar tersier berada pada 10 cm dari permukaan tanah dimana banyak terdapat bahan organik (*Lim. et al, 2002*). Tidak terganggunya akar akibat pembuatan rovak memungkinkan akar tersier berkembang baik dilapisan dalam. *Corley et al (1976)*. Pada kedalaman  $\leq 50$  cm udara masih cukup tersedia untuk proses fisiologi dalam penyerapan hara, sehingga hal ini mempengaruhi aktivitas akar dalam penyerapan hara dan air. Panjang akar tersier berkembang lebih besar pada kedalaman  $> 35$  cm karena lebih dipengaruhi oleh perannya dalam penyerapan air dan sedikit hara (*Jourdan et al, 2000*). Total biomassa akar berkaitan erat dengan ketersediaan air tanah, fotosintat dan tingkat aktivitas akar. Akar primer bisa mencapai dengan kedalaman 100 cm. Berat kering akar berkaitan dengan penyusunan akar dimana akar primer dan sekunder banyak mengandung lignin sedangkan akar tersier dan kwater lebih banyak mengandung selulosa dalam pemberian limbah cair. Berpengaruh positif pada berat kering akar tersier di tiap kedalaman berturut-turut. Berat kering akar juga mencerminkan hasil fotosintat yang distribusikan ke jumlah akar lebih besar (*Happy, 2003*).

## VI. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Terdapat variasi kandungan unsur hara tanah berdasarkan jarak dari pokok sawit ke rorak dan kedalaman tanah pada pemanfaatan air limbah, nitrogen total yang tertinggi terdapat di jarak 0-100 cm dan kedalaman 0-20 cm, sedangkan fosfor tersedia yang tertinggi terdapat di jarak 100-200 cm dan kedalaman 20-40 cm, kalium tersedia yang tertinggi pada jarak 200-300 cm dan kedalaman 20-40 cm.
2. Jarak tanaman ke rorak dan kedalaman tanah memberikan perubahan terhadap distribusi akar kelapa sawit, daerah perakaran yang semakin mendekati rorak dan semakin bertambah kedalaman tanah kepadatan akar semakin menurun.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2003). *Laporan Praktikum Penentuan Kadar Air*. <http://www.scribd.com/doc/14098051/Laporan-praktikum-penentuan-kadarair>. Diakses tanggal 23 April 2011.
- Alexander Lux and Thomas L. Rost. 2012. *Plant Root Research: The past, the present and the future*. Journal. Annals of Botany 110: 271–280, 2012
- Balittanah. 2012. Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk. Balai Penelitian Tanah. Balittanah. 2005. *Petunjuk Teknis Analisis Tanah, Tanaman, Air dan Pupuk*. Departemen Pertanian. Bogor. Bapedal, 1999. Keputusan Kepala Bapedal No. 1 Tahun 1999 tentang Tata Cara dan Persyaratan Teknis Penyimpanan dan Pengumpulan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun. Jakarta
- Campbell, N.A., Reece, J.B., & Mitchell, L.G. (2002). *Biologi. Jilid 1. Edisi Kelima. Alih Bahasa*: Wasmen. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Corley R.H.V. and Tinker P.B. 1997. *The Oil palm*. Fourth Edition. Blackwell Science
- Corley, R.H.V, J.J. Hardon and Tang Y. 1970. *Analysis of Growth of The Oil Palm (Elaeis guineensis Jacq) Estimate of Growth Parameters and Application in Breeding*. Oil Palm Genetic Laboratory. Layang- Layang, Johor. Malaysia.
- Corley R.H.V, J.J. Hardon and B.J. Wood. 1976. *Oil Palm Research - Development in Crop Science I*. Elsevier Scientific Publishing Company. Netherlands
- Donahue, R.L., Miller, R.W., & Shickluna, J.C. 1977. *Soils, an introduction to soils and*
- Elly, Kurniati. 2008. "Pemanfaatan Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Arang Aktif". Teknik Kimia FTI, UPN. Jawa Timur.
- Engelstad, O.P. 1997. *Teknologi Dan Penggunaan Pupuk Edisi Ketiga*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta. Fauzi, Y. 2008. *Kelapa Sawit : Budi Daya, Pemanfaatan Hasil dan Limbah, Analisis* Gadjah Mada University Press. Yogyakarta Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Fiantis, D. 2002. *Deskripsi Jenis Tanah Histosol, Ultisol, Oxisol, Entisol dan Inceptisol*. Jurnal Ordo Tanah.
- Gardner, 1991. *Fisiologi Tanaman Budidaya*. UI Press: Jakarta.
- Ginting P. 2008. Sistem pengelolaan lingkungan dan limbah industri. Cetakan ke-2. Yrama Widya. Bandung. Hanafiah, K.A. 2007. *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. Grafindo Persada. Jakarta.
- Hardjowigeno, S. 2007. *Ilmu Tanah*. Jakarta: Akademika Pressindo. 296 Halaman
- Hilir*. Niaga Swadaya. Bogor.
- Happy Widiastuti, Edi Guharja, Nampiah Sukarno, Kosim Darusman, Didek Hadjar Goenadi dan Sally Smith. 2003. *Arsitektur Akar Bibit Kelapa Sawit Yang Diinokulasi Beberapa Cendawan Mikoriza Arbuskula*. Menara Perkebunan.
- Henry Loekito. 2002. "Teknologi Pengelolaan Limbah Industri Kelapa Sawit", Jurnal Teknologi Lingkungan, Vol. 3, No. 3, September 2002:242-250.
- Hisham. (2019) *Siklus Fosfor: Pengertian, Tahap dan Peran*. <https://hisham.id/2015/06/siklus-fosfor-pengertian-tahap-dan-peran.htm> Jakarta. Agromedia Pustaka
- Jourdan, C, N.C. Ferriere G. and Perbal. 2000. *Root System and Gravitropism in the Oil Palm*. Annals of Botany 85: 861-868. 2000.
- Jourdan C. and H. Rey. 1997. *Modeling and simulation of the architecture and development of the oil palm (Elaeis guineensis Jacq.) root system*. II. Estimation of root parameters using Racines postprocessor. Plant and Soil 190 : 235-246
- Kasno. 2009. *peranan bahan organik terhadap kesuburan*. <http://litbang.deptan.go.id/>. [25 april
- Kuswandi. 1993. *Pengapuran Tanah Pertanian. Kanisius*. Yogyakarta.
- Kurniati, Elly. 2008. "Pemanfaatan Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Arang Aktif". Teknik Kimia FTI, UPN. Jawa Timur
- Kupriannoff, J. 1958. *Bound Water in Kupriannoff, J. (ed) Fundamental aspects of Dehydration of Foodstuff*. Soc.Chem. Indtr. Karlsruhe: German
- Loebis, B dan Tobing P.L. 1989. *Potensi Pemanfaatan Limbah Pabrik Kelapa Sawit*. Buletin Perkebunan BPP Medan. Volume 19: 49-56 hal.
- Lubis RE, Widanarko A. 2011. *Buku Pintar Kelapa Sawit. Edisi I..* Jakarta (ID): Agomedia
- Lubis, A. U. 2008. *Kelapa sawit ( Elaeis guineensis jacq. ) di Indonesia*. Pusat Penelitian Kelapa Sawit.

- Lubis, R.E. dan Widanarko, Agus. 2011. *Buku Pintar Kelapa Sawit*. Opi, Nofiandi; Penyunting. Agro Media Pustaka. Jakarta.
- Legowo, A. M. & Nurwantoro. (2004). Analisis pangan. Semarang: UNDIP Press.
- Lim Kim Chiew and Zaharah A. Rahman. 2002. *The Effects Oil Palm EmptyFruit Bunches On Oil Palm Nutrition and Yield, and Soil Chemical*.
- Mangoensoekarjo, S. 2007. *Manajemen Tanah dan Pemupukan Budidaya Perkebunan*. Mangoensoekarjo, S. 2007. *Manajemen Tanah dan Pemupukan Budidaya Perkebunan*.
- Marwanto Setiari, Supiandi Sabiham, Untung Sudadi, Fahmuddin Agus. 2012. *Distribusi unsur hara dan perakaran pada pola pemupukan kelapa sawit di dalam piringan di Kabupaten Muaro Jambi, Provinsi Jambi*. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pemupukan dan Pemulihan lahan Terdegradasi. Bogor : 29-30 Juni 2012.
- Munawar, Ali. 2011. *Kesuburan Tanah dan Nutrisi Tanaman*. IPB Press. Bogor.
- Nielsen, S.S. 2010. Food Analysis Laboratory Manual 2nd Edition. Springer Science+Business Media, LLC
- Ng, S.K., Helmunt von Uexkull and H. Rolf, 2003. *Botanical Aspects of the Oil Palm Relevant to Crop Management*. In: Oil Palm; Management for Large and Sustainable Yields, Thomas Fairhurst and Rolf Hardter (Eds.). Basel : Potash and Phosphate Institute (PPI), Potash
- Pamin, K., M. M. Siahaan, dan P. L. Tobing. 1996. Pemanfaatan Limbah cair PKS pada perkebunan kelapa sawit di Indonesia. Lokakarya Nasional pemanfaatan Limbah Cair cara Land Application.
- Pahan I. 2008. *Kelapa Sawit Manajemen Agribisnis dari Hulu hingga Hilir*. Jakarta (ID): Penebar Swadaya. 411 hlm.
- Pahan. 2006. *Panduan Lengkap Kelapa Sawit Manajemen Agribisnis dari Hulu Hingga plant growth. Fourth Edition*. Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J. xiii + 626 h. Pustaka. 296 hlm.
- Rajan SSS, Watkinson JH, Sinclair AG. 1996. *Phosphate rock for direct application to soil*. Ad. In agron., 57:77-159.
- Rao, Subba. 1994. *Mikroorganisme Tanah dan Pertumbuhan Tanaman* Edisi Kedua. Jakarta: Universitas Indonesia. Rosmarkam, A., dan Yuwono, N.W., 2002. Ilmu Kesuburan Tanah. Penerbit Kanisius, Yogyakarta.
- Rianta, R. 2010. Unsur hara dan dinamika bagi tanaman. [http://ritariata.blogspot.com/2010/03/unsur-hara-dan-dinamikanya-bagi\\_02.html](http://ritariata.blogspot.com/2010/03/unsur-hara-dan-dinamikanya-bagi_02.html). Diakses pada tanggal 25 Juni 2010.
- Rusnetty. 2000. *Beberapa Sifat Kimia Serapan P, Fraksional Al dan Fe Tanah, Serapan Hara, Serta Hasil Jagung Akibat Pemberian Bahan Organik dan Fosfat Alam Pada Utisols Sitiung*. Disertasi. Unpad. Bandung.
- Sanusi, H. S. 2006. *Kimia Laut Proses Fisik Kimia dan Interaksinya dengan Lingkungan*. Bogor : Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Sarwono Hardjowigeno. 2003. *Ilmu Tanah*. Akademika Pressindo. Jakarta.
- Sunarko, 2009. *Budidaya dan Pengolahan Kebun Kelapa Sawit Dengan Sistem Kemitraan*.
- Sunu, P. 2001. *Melindungi Lingkungan Dengan Menerapkan ISO 1400*. Jakarta: PT. Gramedia Widia Sarana Indonesia.
- Sufardi., A.D. Dyakusuma, Suyono, T.S. Hasan. 1999. *Perubahan Karakteristik Muatan dan Retensi Fosfor Ultisol Akibat Pemberian Amelioran dan Pupuk Fosfat*. Kongres Nasional VII.HITI. Bandung
- Sulaeman, Suparto, dan Eviati. 2005. Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk. Jilid II. Balai Penelitian Tanah, Bogor.
- Tinker, P. B. 1976. Soil requirements of the oil palm. In R. H. V. Corey, J. J. Hardon, B. J. Wood (Ed. ). Oil palm Research. Elsevier Scientific Publishing Company , p. 165 – 181 *Usaha dan Pemasaran*. Cetakan 24. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Thomas Fairhurst and Rolf Hardter. 2003. *Oil Palm Management for Large and Sustainable Yields*. International Plant Nutrient Institute. Southeast Asia Program. Singapore
- Yahya Z., Aminuddin Husin, Jamal Talib, Jamarei Othman, Osumanu Haruna Ahmed and Mohamadu Boyie Jalloh. 2010. *Oil Palm (Elaeis guineensis) Roots Response to Mechanization in Bernam Series Soil*. American Journal of Applied Sciences 7 (3): 343-348.