

IDENTIFIKASI POLA SEBARAN DAN KERAPATAN AKAR
TANAMAN KEDELAI SAYUR (*Glicine max* (L) Merr.)

KARYA ILMIAH TERTULIS
(SKRIPSI)



Diajukan guna memenuhi salah satu syarat untuk
menyelesaikan Pendidikan Program Strata Satu
Jurusan Agronomi pada Fakultas Pertanian
Universitas Jember

Dosen Pembimbing :

1. Dr. Ir. Ketut Anom Wijaya (DPU)
2. Ir. Denna Eriani Munandar, MP. (DPA)

Oleh:

J Made Hiba Martha Yogis

9515101100

Media	Klas
Terima Tgl 17 FEB 2000	581.4
No. Induk 711'2000-9611	YOG
	120x

FAKULTAS PERTANIAN UNIVERSITAS JEMBER

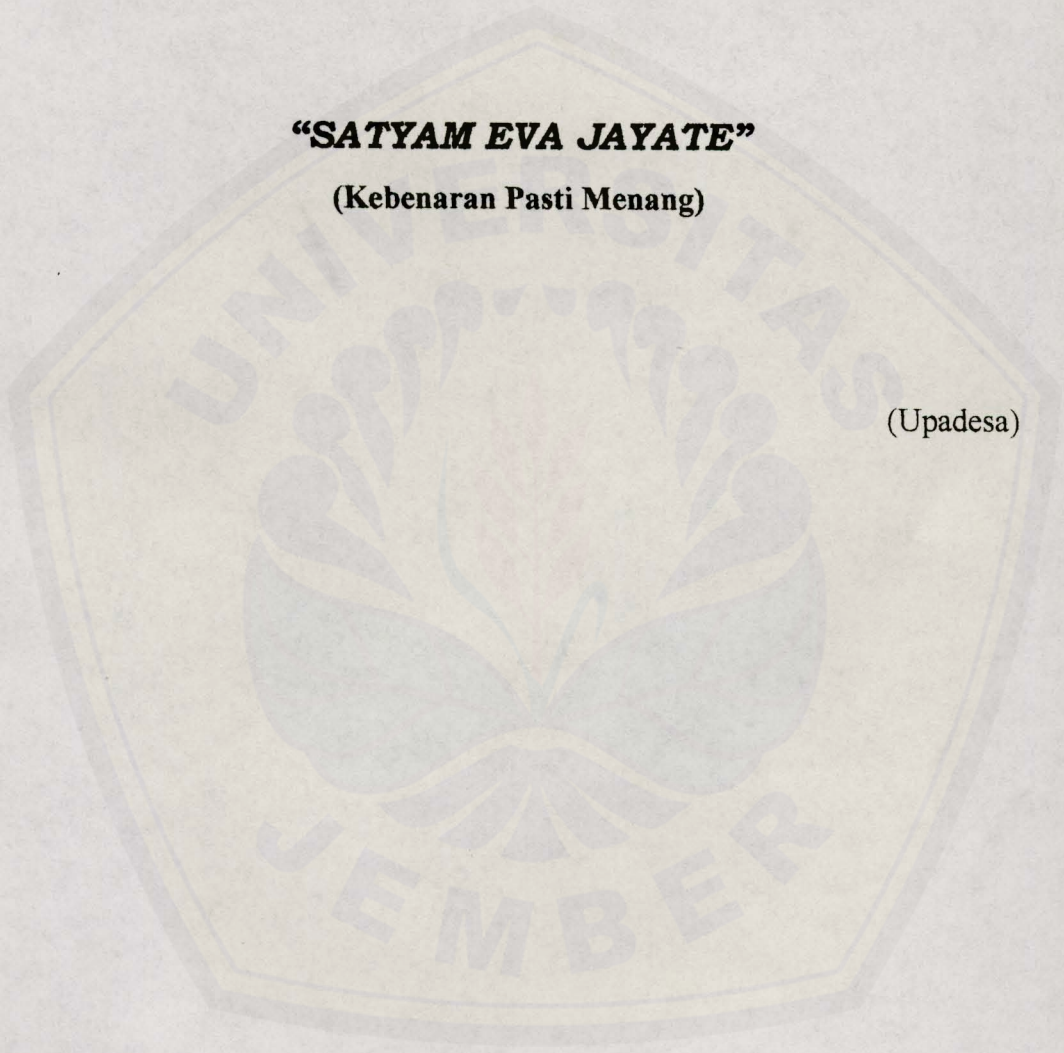
2000

Motto :

“SATYAM EVA JAYATE”

(Kebenaran Pasti Menang)

(Upadesa)



PERSEMBAHAN

Karya tulis ini saya persembahkan sebagai rasa terimakasih yang mendalam kepada :

- 1. Bapak dan Ibu tercinta I Ketut Serata dan Ni Luh Putu Suciani atas doa restu, kasih sayang dan pengorbanan yang diberikan demi keberhasilan studi Kadek**
- 2. Saudaraku I Putu Kris Yoga Artha dan Ni Nyoman Tus Ariessita atas perhatian dan dukungannya.**
- 3. Yang tercinta Hernik Eka Budi Lestari**
- 4. Bapak Chairul Saleh sekeluarga atas perhatian dan kasih sayangnya.**
- 5. Almamaterku, Universitas Jember**

Dosen Pembimbing :

- 1. Dr. Ir. Ketut Anom Wijaya (DPU).**
- 2. Ir. Denna Eriani Munandar, MP (DPA).**

Diterima oleh
Fakultas Pertanian Universitas Jember
Sebagai Karya Ilmiah Tertulis (Skripsi)

Dipertahankan pada :

Hari : Senin

Tanggal : 24 Januari 2000

Tempat : Fakultas Pertanian
Universitas Jember

Tim Penguji
Ketua,



Dr. Ir. KETUT ANOM WIJAYA
NIP. 131 474 910

Anggota I



Ir. DENNA ERIANI MUNANDAR, MP.
NIP. 131 759 541

Anggota II



Ir. HIDAYAT B. SETYAWAN
NIP. 131 403 356

Mengesahkan
Dekan, *fu*



Ir. Hj. SITI HARTANTI, MS.
NIP. 130 350 763

KATA PENGANTAR

Penulis memanjatkan puji syukur kehadapan Hyang Widhi Wasa, Tuhan Yang Maha Esa atas semua anugerahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan Karya Ilmiah Tertulis (Skripsi) dengan judul **“IDENTIFIKASI POLA SEBARAN DAN KERAPATAN AKAR KEDELAI SAYUR [*Glicine max* (L) Merr.]”** Sebagai masukan data dasar pada penerapan efisiensi pemupukan dan kombinasi jarak tanam.

Karya Ilmiah Tertulis (Skripsi) ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan program Sarjana Strata Satu (S-1) pada Jurusan Agronomi Fakultas Pertanian Universitas Jember.

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Ir. Hj. Siti Hartanti, MS., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Jember;
2. Dr. Ir . M. Setyo Poerwoko, MS., selaku Ketua Jurusan Agronomi yang berkenan memberikan ijin untuk kelancaran pelaksanaan penelitian ini;
3. Dr. Ir. Ketut Anom Wijaya, selaku Dosen Pembimbing Utama (DPU) yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan dalam karya tulis ini;
4. Ir. Denna Eriani Munandar, MP., selaku Dosen Pembimbing Anggota I (DPA I) yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan dalam karya tulis ini;
5. Ir. Hidayat B. Setyawan, selaku Dosen Pembimbing Anggota II (DPA II) yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan dalam karya tulis ini;
6. Saudara-saudara saya se-Almamater yang telah banyak membantu dalam pelaksanaan Karya Tulis Ilmiah ini.

Semoga Karya Tulis ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua,
Manoharam.

Jember, Oktober 1999

Penulis

DAFTAR ISI

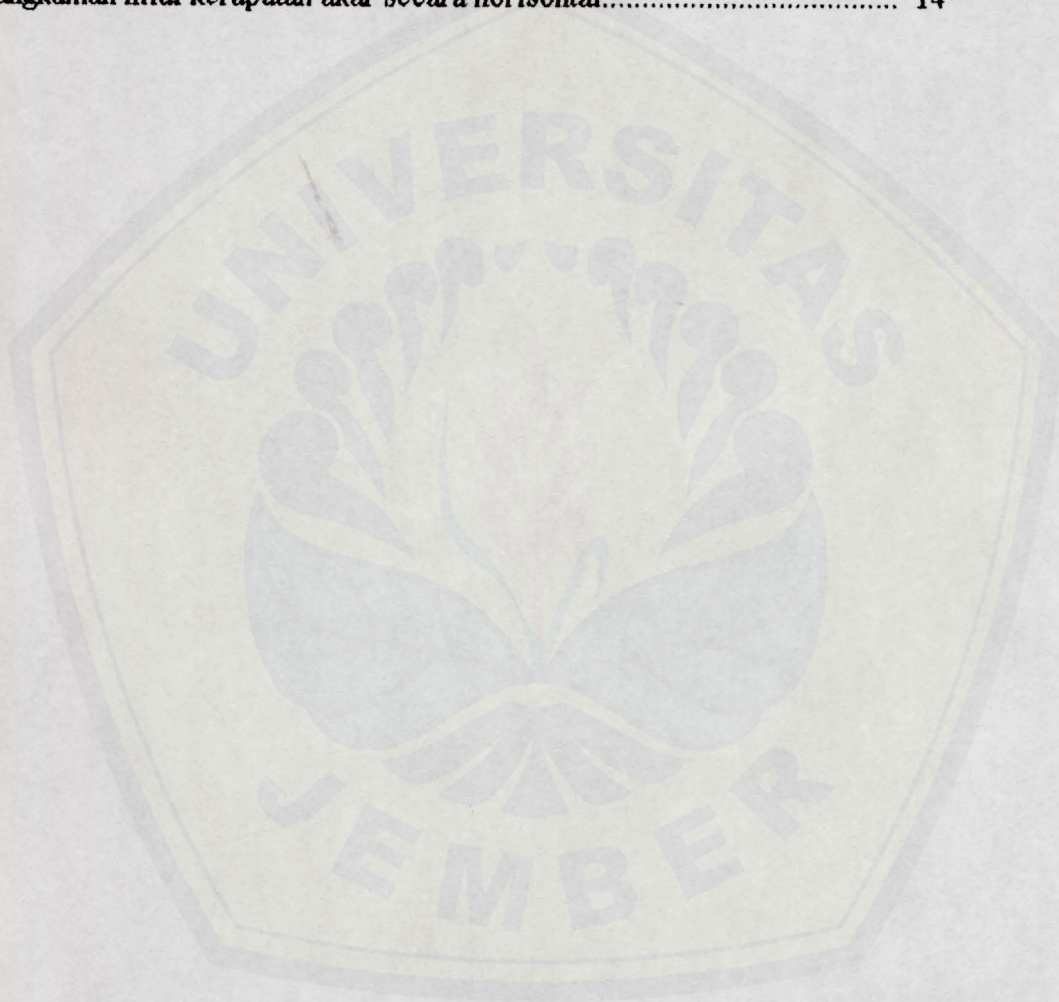
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN MOTTO	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	iii
HALAMAN PEMBIMBING	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
RINGKASAN.....	xi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Permasalahan.....	1
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Manfaat Penelitian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Hipotesis	7
III. METODE PENELITIAN.....	7
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	8
3.2 Bahan dan Alat Penelitian.....	8
3.2.1 Bahan.....	8
3.2.2 Alat.....	8
3.2.3 Pengambilan Sampel Akar.....	8
A. Penghitungan Panjang Akar.....	9
B. Penghitungan Kerapatan dan Laju Kerapatan Akar.....	9

3.3 Parameter yang Diamati.....	9
3.3.1 Parameter Utama.....	9
3.3.2 Parameter Tambahan.....	9
IV. HASIL PENGAMATAN DAN PEMBAHASAN.....	10
4.1 Hasil Pengamatan.....	10
4.2 Pembahasan.....	15
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	22
5.1 Kesimpulan.....	22
5.2 Saran.....	22
DAFTAR PUSTAKA.....	23
LAMPIRAN-LAMPIRAN.....	26

DAFTAR TABEL

Tabel

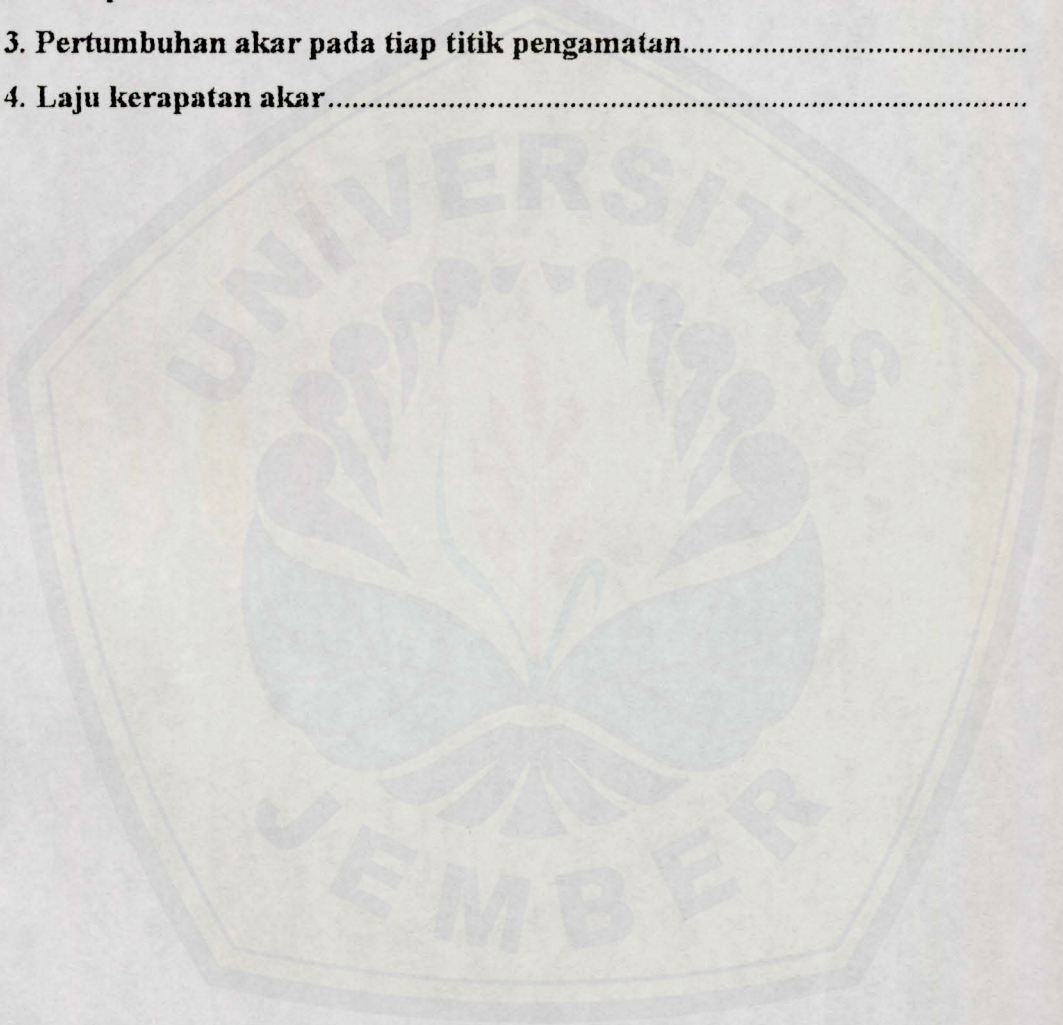
1. Kerapatan perakaran.....	11
2. Rangkuman nilai kerapatan akar secara vertikal	14
3. Rangkuman nilai kerapatan akar secara horisontal.....	14



DAFTAR GAMBAR

Gambar

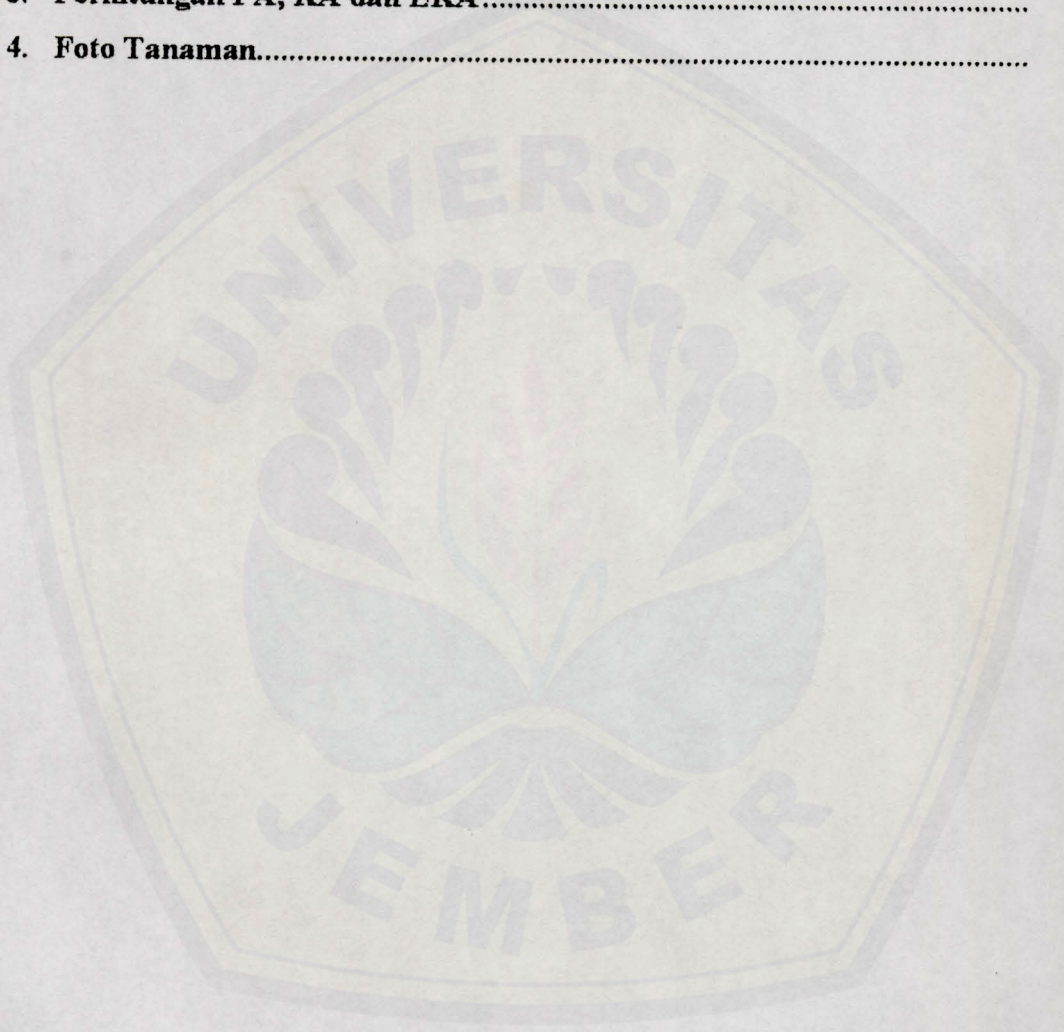
1. Kerapatan akar secara horisontal.....	9
2. Kerapatan akar secara vertikal.....	10
3. Pertumbuhan akar pada tiap titik pengamatan.....	12
4. Laju kerapatan akar.....	13



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran

1. Data Klimatologi, Analisa Tanah dan Tinggi Tanaman	25
2. Data Curah Hujan Wilayah Silo.....	26
3. Perhitungan PA, KA dan LKA	27
4. Foto Tanaman.....	29



RINGKASAN

I Made Hiba Martha Yogis, NIM 9515101100, Identifikasi Pola Sebaran dan Kerapatan Akar Kedelai Sayur (*Glicine max L. Merr*).

Pembimbing : Dr. Ir. Ketut Anom Wijaya (Dosen Pembimbing Utama) dan Ir. Denna Eriani Munandar, MP, (Dosen Pembimbing Anggota)

Akar adalah merupakan bagian tanaman yang berada dibawah permukaan tanah yang berperan penting dalam mendukung pertumbuhan tanaman. Akar secara umum memiliki fungsi mekanis sebagai penjangkar tanaman pada permukaan tanah dan fungsi fisiologis yaitu penyerap air dan garam meneral dari dalam tanah.

Jumlah unsur hara yang tersedia dalam tanah ditentukan oleh kosentrasi unsur hara per satuan ruang tanah dan total penyerapan, ini berarti bahwa penyebaran perakaran perlu diamati untuk mengetahui total ruang penyerapan. Selain itu pola kerapatan akar berguna untuk menyusun strategi pemupukan efisiensi tinggi, efisiensi serapan unsur hara suatu tanaman dan daya cegahny terhadap pencucian hara. Percabangan dan kedalaman penetrasi akar, penyebaran horisontal cabang-cabangnya dan komponen lain dari sistem akar adalah berbeda antar spesies tanaman dan umur tanaman.

Kedelai sayur diambil sebagai obyek penelitian, dilakukan dari bulan April sampai Juli 1999 pada lahan grumusol di Desa Garahan, Kecamatan Silo, Kabupaten Jember dengan ketinggian tempat 550 m dpl.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi pola sebaran dan kerapatan akar kedelai sayur pada berbagai tingkat umur tanaman dengan metode penelitian yang digunakan adalah metode bor, sampel diambil dengan bor akar, kemudian diukur panjang akarnya (cm) dengan metode interseksi dari Newmann yang dimodifikasi oleh Tenant (1975). Rumus panjang akar (R) = $(11/14 \times \text{Number of Intersection (N)} \times \text{Grid Unit}$. Dari panjang akar yang diperoleh selanjutnya dihitung kerapatan akarnya (cm dalam cm^3 tanah) pada tiap kedalaman sampel perakaran. Tiap tanaman diambil 2 sampel vertikal (0 – 15 dan 15 – 30 cm) dan 3 sampel horisontal (0 – 7, 7 – 14 dan 14 – 21 cm) dan diulang sebanyak 2 kali pada umur tanaman yang berbeda (10, 20, 30, 40 dan 50 hari setelah tanam).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perakaran dijumpai pada kedalaman 0 – 30 cm dengan kerapatan akar sebagian besar berada pada lapisan 0 – 15 cm dan titik 0 – 7 cm dari pangkal batang (secara horisontal), dengan laju keraqpatan akar yang meningkat cepat pada umur 10 – 30 hari setelah tanam dan meningkat lambat sampai umur 50 hari setelah tanam.

Jurusan Agronomi – Fakultas Pertanian – Universitas Jember



I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Permasalahan

Edamame atau kedelai sayur banyak dikembangkan di Jepang dengan produksi antara 100.000 – 120.000 ton/tahun. Sedangkan permintaan dalam negeri mencapai 160.000 – 170.000 ton/tahun. Kekurangan ini didatangkan dari negara-negara seperti Taiwan, Cina, Thailand, Vietnam dan sedikit dari Indonesia, Malaysia dan Australia (Yinbo *et al.*, 1997). Indonesia mempunyai peluang yang cukup besar dalam memenuhi kebutuhan kedelai sayur bagi negara Jepang dan dunia, sehingga perlu dikembangkan secara optimal

Di Bihar, India, kedelai Edamame atau kedelai sayur (*Vegetable Soybean*) dapat ditanam pada musim panas maupun musim hujan, namun hasilnya akan lebih baik jika di tanam pada musim hujan. Ditanam pada ketinggian 620 m dpl dengan jarak tanam 15 x 45 cm dengan umur panen relatif singkat yaitu 70 – 80 hari setelah tanam (hst) dengan hasil 19,3 ton/ha (Pan dan Rai, 1996). Kedelai Edamame dapat dipanen segar yaitu sebelum akhir pertumbuhan reproduktif (*mid-podfill*) di mana polong baru terisi sekitar 80 – 90%. Kedelai ini memiliki rasa yang manis, kaya akan lemak, fosfor, kalsium, besi, vitamin B1 dan B2 dan yang paling tinggi adalah kandungan proteinnya (Yinbo *et al.*, 1997).

Akar adalah merupakan bagian tanaman yang berada dibawah permukaan tanah yang berperan penting dalam mendukung pertumbuhan tanaman. Akar secara umum memiliki dua fungsi yaitu secara fisiologis, akar berfungsi sebagai organ penyerap air dan garam-garam mineral dari dalam tanah untuk diteruskan keseluruh bagian tanaman, juga sebagai organ penyimpan cadangan makanan seperti pada umbi-umbian. Secara mekanis, akar berfungsi sebagai penjangkar tanaman agar dapat tumbuh dengan kokoh dan tegak di atas permukaan tanah (Dodd, 1962; Kramer, 1980; Fahn, 1995). Pembentukan percabangan dan kedalaman penetrasi akar ke dalam tanah, penyebaran horisontal cabang-cabangnya dan komponen lain dari sistem akar adalah berbeda antar spesies tanaman (Fuller dan Carothers, 1964).

Perbedaan jenis tanaman menunjukkan perbedaan dalam pola perakarannya. Pada tanaman monokotil perakaran tersebar secara merata pada daerah perakaran yang ditempatinya dan biasanya berupa akar serabut. Sedangkan tanaman dikotil berpola tidak merata karena tergantung pada pertumbuhan akar primer dan biasanya berupa akar tunggang (Russell, 1977).

Perkembangan sistem perakaran tanaman, terutama dalam hal kedalaman, sebaran vertikal dan horisontal serta jumlah cabang perakarannya, dapat digunakan sebagai salah satu parameter untuk mengetahui efisiensi serapan unsur hara suatu jenis tanaman (Islami dan Utomo, 1995). Van Noordwijk dan de Willigent (1986), menyatakan bahwa tanaman yang mempunyai kemampuan membangun sistem perakaran yang rapat dan dalam dapat digunakan untuk mengatasi tercucinya nitrat ke lapisan tanah yang lebih dalam. Dari beberapa hasil penelitian menyimpulkan bahwa, tinggi rendahnya sisa nitrat di dalam air tanah sangat dipengaruhi oleh jenis tanaman dan metode pemupukannya. Pola sebaran dan kerapatan akar pada tiap umur tanaman kedelai menunjukkan tingkat serapan yang berbeda seperti pada penelitian Hallamark dan Barber (1983), bahwa pada umur tanaman 9 hari berat akar 0,13 gr/pot sedangkan pada umur 16 dan 21 hari sebesar 0,53 dan 1,01 gr/pot pada kondisi tanpa adanya perlakuan.

Hubungan antara kemampuan penyerapan ion-ion dari dalam tanah dengan pertumbuhan dan perkembangan akar menunjukkan bahwa semakin tua umur sel-sel akar maka ion-ion dalam tanah kurang dapat terserap jika dibandingkan dengan sel-sel yang lebih muda seperti pada sel-sel ujung akar (Flowers dan Yeo, 1992).

Kesulitan yang paling nyata dalam identifikasi perakaran tanaman bahwa sistem perakaran biasanya tidak dapat terlihat dengan mudah dan harus memerlukan penggalian, pemotongan bagian-bagian atau bahkan pengambilan beserta contoh tanah untuk mendapatkan gambaran bagaimana sebenarnya akar-akar tersebar di dalam tanah. Selanjutnya perlu diketahui perubahan-perubahan dengan waktu dalam perkembangan horisontal dan vertikal dari sistem perakaran dan kerapatan perakaran dalam berbagai bagiannya (Goldsworthy dan Fisher, 1992).

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan gambaran tentang pola sebaran perakaran tanaman kedelai sayur baik secara vertikal maupun horisontal pada beberapa tingkat umur tanaman.

1.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat dalam rangka menyediakan data dasar tentang pola sebaran perakaran tanaman kedelai sayur secara vertikal dan horisontal pada berbagai tingkatan umur tanaman yang dapat digunakan untuk :

1. Strategi pemupukan yang efektif dan efisien
2. Kemungkinan dalam pengembangan modifikasi jarak tanaman ataupun kombinasi dengan tanaman lain .

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Prospek Kedelai Sayur

Kedelai yang berasal dari Cina merupakan tanaman kaya protein dan menjadi salah satu sumber pangan dunia serta sebagai bahan baku industri makanan. Produksi biji kering sekitar 400 kg/ha, bahkan pada daerah tropis mencapai 3000 kg/ha (Anonim, 1989). Kedelai sayur adalah tanaman kedelai yang berpotensi tinggi untuk dikembangkan lebih lanjut karena tanaman ini mengandung protein, lemak dan vitamin serta dengan rasa yang manis. Diintroduksi oleh Departemen Pertanian Thailand dan kemudian dikembangkan secara luas di negara lain (Chotiyarnwong *et al.*, 1996).

Produktifitas tanaman, secara langsung dipengaruhi oleh kondisi perakarannya. Ukuran sistem perakaran (kedalaman, sebaran ke arah samping, kerapatan) dikendalikan oleh faktor dalam dan dipengaruhi oleh faktor luar. Faktor dalam yang mengendalikan antara lain sifat genetis tanaman dan pertumbuhan kanopi. Secara genetis ada perbedaan sistem perakaran antara jenis tanaman yang satu dengan yang lain dan bahkan banyak dijumpai perbedaan diantara kultivar tanaman sejenis. Pertumbuhan kanopi mempengaruhi pertumbuhan perakaran tanaman, karena antara kanopi dan perakaran ada hubungan yang dinyatakan dalam rasio berat kanopi dengan akar yang memiliki hubungan keseimbangan fungsional (Horst, 1992 *cit* Wijaya, 1998).

Perbedaan kerapatan dan kedalaman akar beberapa tanaman budidaya terlihat jelas pada penelitian Wijaya (1998), bahwa kerapatan akar tanaman tebu, tembakau, jagung dan kubis adalah berbeda baik pada lahan pasiran maupun lempungan. Tetapi sebagian besar perakaran terkonsentrasi pada lapisan permukaan tanah (0 – 15 cm).



2.2 Sistem Perakaran

Ada banyak kesulitan dalam upaya mempelajari sistem perakaran yang bercabang banyak bila dibandingkan dengan akar tunggal dan akibatnya pengetahuan tentang akar tertinggal jauh dibelakang pengetahuan tentang batang, daun dan bunga. Baru dari sekitar periode 1960 – 1970 perakaran tanaman mulai mendapatkan perhatian dari para pakar morfologi dan fisiologi tanaman (Goldsworthy dan Fisher, 1992).

Jumlah unsur hara yang tersedia dalam tanah ditentukan oleh konsentrasi unsur hara per satuan ruang tanah dan total ruang penyerapan. Ini berarti bahwa penyebaran perakaran perlu diamati untuk mengetahui total ruang penyerapan dan jumlah unsur hara yang dapat diserap oleh tanaman (Guritno dan Sitompul, 1995). Jonathan Lynch (1995) juga menyatakan bahwa arsitektur perakaran sangat penting diketahui untuk menentukan produktifitas tanaman.

Pengangkutan dan penyerapan nutrisi dan air oleh akar tanaman merupakan proses yang rumit yang tergantung pada spesies tanaman, kultivar, nutrisi yang tersedia, struktur organ akar, umur akar, kebutuhan tanaman dan jenis tanah (Drew dan Barber, 1979). Hal yang sama dinyatakan oleh Mengel dan Barber (1974) *cit* (Haley dan Russell, 1979) bahwa serapan per meter akar tanaman jagung setiap bertambahnya umur tingkat penyerapannya semakin menurun secara linier. Perbedaan antar varietas juga tampak pada tanaman barley antara varietas Maris pada umur 2 dan 4 minggu dapat menjangkau luas 38 cm² dan 467 cm² sedangkan varietas Badger 39 cm² dan 312 cm² (Hackett, 1969 *cit* Russell, 1977). Feng *et al.*, (1995) menyatakan bahwa perpanjangan dan perkembangan segmen pada akar tanaman merupakan fungsi dari umurnya.

Kerapatan dan kedalaman perakaran berbeda pada tiap umur tanaman seperti pada penelitian Goldsworthy dan Fisher (1992), dengan contoh kerapatan perakaran (panjang akar per satuan volume tanah) tanaman jagung dan kedelai. Kerapatan perakaran meningkat sampai pada saat pembungaan. Sedangkan kerapatan perakaran kedua tanaman ini semakin menurun dengan bertambahnya kedalaman tanah.

Daerah penyebaran perakaran tanaman secara horisontal umumnya 1,5 sampai 2 kali diameter tajuknya, luas penyebaran perakaran tanaman ini juga dipengaruhi oleh sifat fisik tanah (Lakitan, 1994).

Kerapatan perakaran dapat digunakan untuk menyusun strategi pemupukan efisiensi tinggi. Ketidak-efisienan penggunaan Nitrogen dalam produksi pertanian disebabkan oleh pemberian Nitrogen yang berlebihan. Dengan menggunakan metode N_{min} yaitu metode penentuan N-mineral yang ada dalam tanah sebelum penanaman sehingga dapat disediakan kebutuhan pupuk yang optimal, mencegah kelebihan pemupukan, mengurangi akumulasi nitrat dalam tanah dan akhirnya dapat meningkatkan produksi (Whermann dan Scharpf, dalam Jenkinson dan Smith, 1988).

Hasil penelitian Wijaya (1996), untuk tanaman selada, dijumpai kerapatan pada kedalaman perakaran 0 – 30 cm jauh lebih tinggi dari pada kedalaman perakaran pada 30 – 60 cm. Dijumpai pula bahwa pada kedalaman perakaran 0 – 30 cm terjadi pengurangan N_{min} lebih besar dibandingkan pada lapisan perakaran 30 – 60 cm pada tanaman tersebut. Jadi semakin rapar perakarannya maka sisa N_{min} akan semakin kecil.

Soil-core method (Escamilla, 1991) atau metode *core-break* sebagai metode pengukuran kerapatan akar (cm/cm^3) yang akurat dan cepat dengan tingkat ketelitian yang linier dengan metode manual (Bland, 1989). Selain itu metode ini lebih cepat pelaksanaannya, tidak merusak tanaman dan secara kasar dapat diperoleh gambaran profil tanah pada kedalaman yang diamati (Schuurman dan Geodewaagen, 1971). Dibandingkan dengan metode penggalian tanah, dimana tanah digali hingga kedalaman 1-5 meter sejajar baris tanaman, memerlukan biaya yang mahal, membutuhkan tenaga yang banyak dan dapat merusak tanaman dan permukaan tanah yang tidak diamati (Bohm, 1979). Glinski *et al.*, (1993) menyatakan pula bahwa *Root Length Density* merupakan estimasi jumlah kerapatan akar yang terbaik dibandingkan dengan metode lain seperti metode jiplakan (*trace-method*).

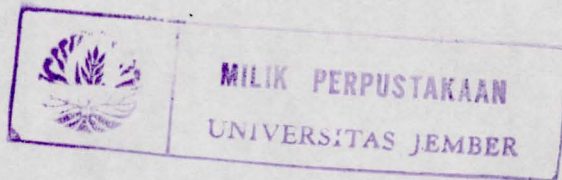
Analisa pertumbuhan tanaman relatif mudah diketahui dengan metode yang sederhana, karena komponen utama dari analisa adalah berdasarkan berat kering tanaman dan tinggi tanaman serta pengukuran secara kuantitatif organ-organ tanaman yang berhubungan dengan objek penelitian. Organ tanaman yang umum

digunakan sebagai parameter adalah ukuran daun, panjang ruas, tinggi tanaman dan perakarannya. Salah satu contoh penghitungan rata-rata laju berat kering (*growth rate*) adalah selisih berat per satuan waktu. Berdasarkan prinsip tersebut dapat pula ditentukan laju kerapatan akar yaitu selisih kerapatan akar per satuan waktu pengamatan. (Sitompul dan Guritno, 1995).

2.3 Hipotesis

Berdasarkan latar belakang masalah dan tujuan yang dimaksud, maka dapat disusun hipotesis penelitian sebagai berikut :

1. Terdapat nilai kerapatan akar tertentu pada kedelai sayur.
2. Terdapat pola sebaran akar yang tertentu baik secara vertikal maupun horisontal pada kedelai sayur.



III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Desa Garahan Kecamatan Silo, Kabupaten Jember dalam waktu satu bulan dari bulan Juni sampai Juli 1999. Kondisi tanahnya berpasir (Grumusol) dengan suhu harian rata-rata 27⁰C dan ketinggian tempat 550 m dpl.

3.2 Bahan dan Alat Penelitian

3.2.1 Bahan

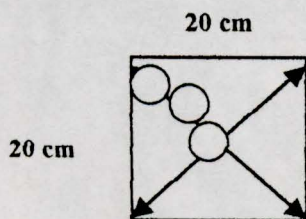
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah benih tanaman Kedelai Edamame, pupuk Urea, TSP dan KCl

3.2.2 Alat

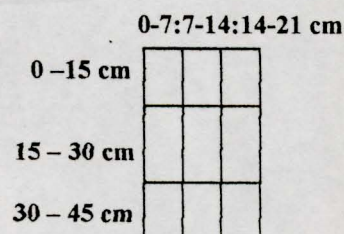
Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah bor akar (panjang 15 cm dan diameter 7 cm), pinset, ember, saringan halus 5 mesh, bak intrseksi (*shallow dish*), alat hitung (*hand counter*), penggaris dan lemari pendingin.

3.2.3 Pengambilan Sampel Akar

Sampel perakaran diambil pada tanaman yang berbeda dengan menggunakan bor tanah yaitu secara vertikal sebanyak 3 lapisan kedalaman yang berbeda I (0 – 15 cm) II (15 – 30 cm) dan III (30 – 45 cm). Sedangkan secara horisontal diambil 3 titik dari pangkal tanaman yaitu titik I (0 – 7 cm), titik II (7 – 14 cm) dan titik III (14 – 21 cm). Setiap pengeboran diulang sebanyak 2 kali. Masing-masing sampel diambil saat tanaman berumur 10, 20, 30, 40 dan 50 (hst).



Gambar pengambilan sampel secara Horizontal



Gambaran pengambilan sampel secara Vertikal

A. Penghitungan Panjang Akar

Sampel akar yang tercuci bersih dipotong-potong sekitar 1 cm kemudian ditebar secara merata dalam bak interseksi yang berisi air. Setelah air tenang selanjutnya dihitung jumlah akar yang bersinggungan dengan *grid unit* pada dasar bak. Grid unir adalah garis-garis bujur sangkar dengan skala yang sama (misal 1 cm). Penghitungan dilakukan secara horisontal dan vertikal dan diulang beberapa kali hingga nilai simpangan kurang dari 10%.

B. Penghitungan Kerapatan Akar dan Laju Kerapatan Akar

Kerapatan Akar dihitung dengan rumus ; $KA = PA \text{ (cm)} / \text{Volume tanah (cm}^3\text{)}$ sedangkan laju kerapatan akar adalah penambahan kerapatan akar (cm / cm^3) tiap satuan waktu (hari) dengan rumus ; $LKA = (KA_2 - KA_1) / (t_2 - t_1)$

3.4 Parameter yang Diamati

3.4.1 Parameter Utama

Parameter utama yang diamati adalah :

- Kerapatan akar (cm / cm^3), diukur pada masing-masing interval kedalaman secara vertikal maupun horisontal pada tiap tingkatan umur tanaman.
- Sebaran akar (%), berdasarkan nilai kerapatan perakaran pada setiap kedalaman sampel, dibandingkan dengan total kerapatan akar dalam persen.
- Laju kerapatan akar (LKA) kedelai sayur.

3.4.2 Parameter Pendukung

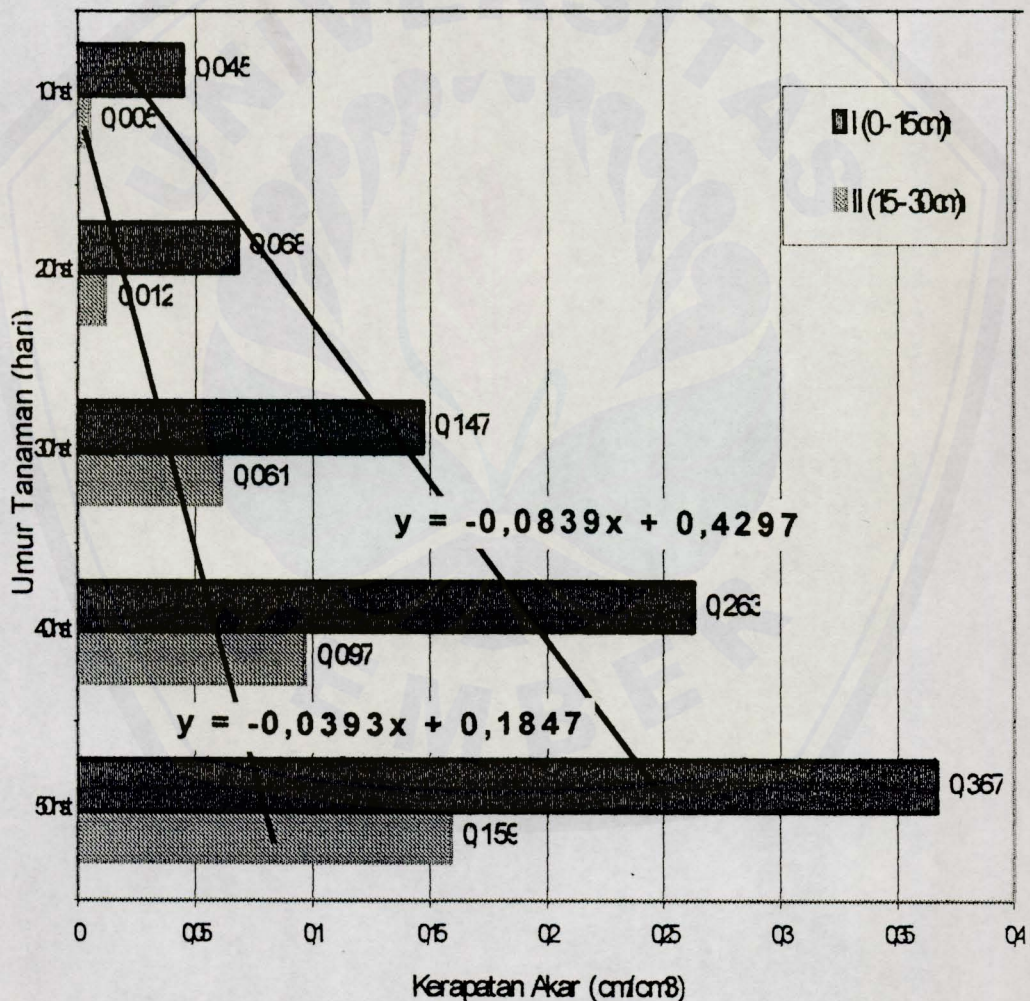
Parameter pendukung yang melengkapi penelitian ini adalah :

- Tinggi tanaman (cm) diukur dari pangkal batang sampai pucuk tanaman pada tiap tingkatan umur tanaman.
- Data iklim meliputi : curah hujan, suhu udara kelembaban udara dan intensitas cahaya
- Data lahan yaitu tekstur tanah dan ketinggian tempat.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

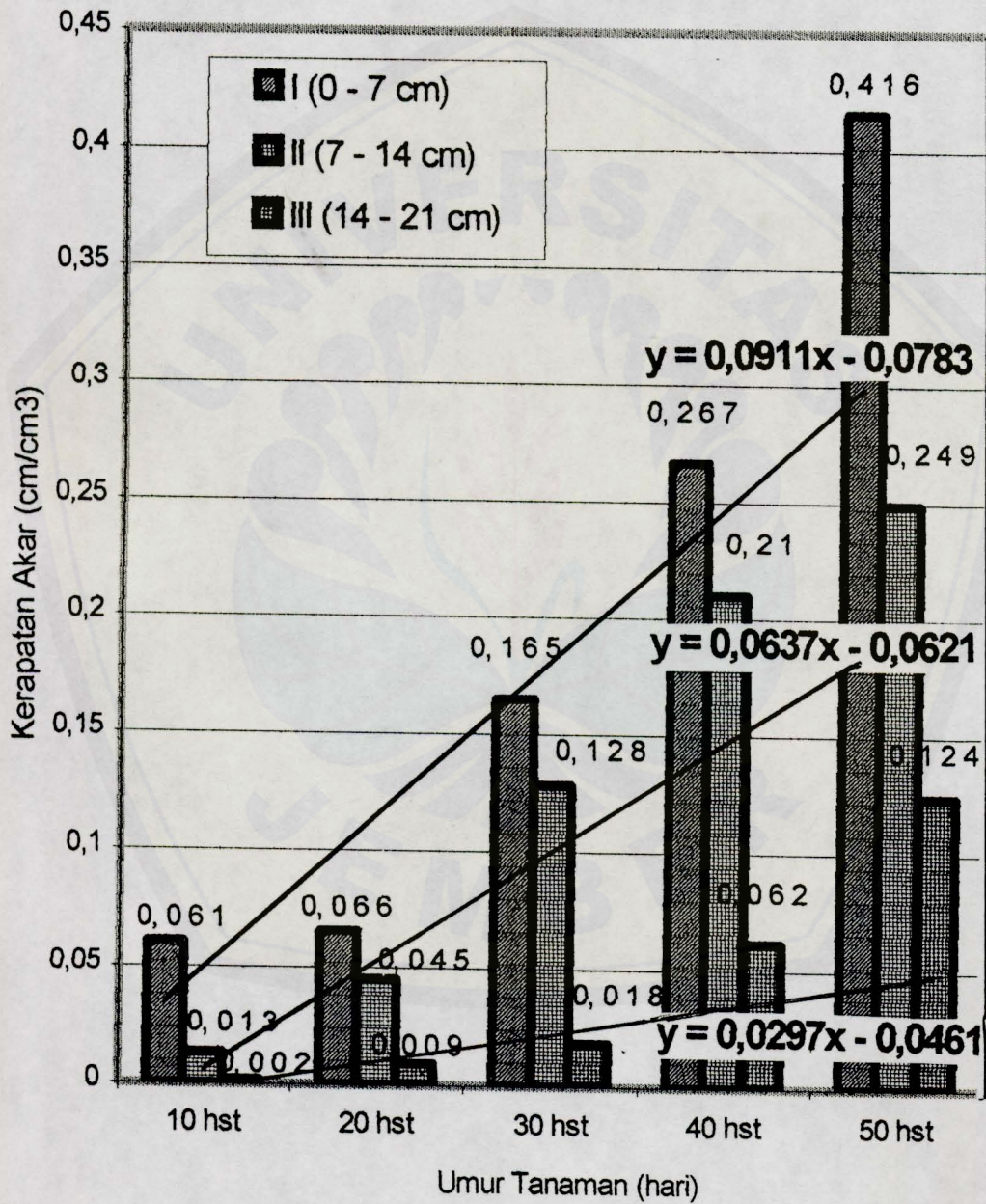
4.1 Hasil Pengamatan

Pada gambar 1 terlihat bahwa secara horisontal kerapatan akar meningkat seiring peningkatan umur tanaman. Perakaran yang terbanyak terkonsentrasi pada titik I (0-7 cm) dan kemudian pada titik II (7-14 cm) dan III (14-21 cm). Nilai kerapatan akar ini bukan merupakan penggambaran kenampakan akar secara riil pada setiap posisi pengambilan sampel, karena terdapat beberapa titik pengamatan yang belum tampak adanya akar seperti terlihat pada tabel 1.

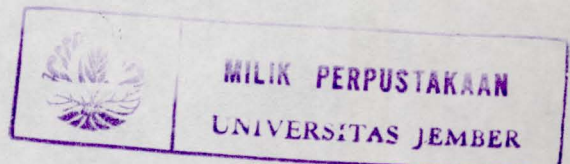


Gambar 1 : Kerapatan akar secara horisontal

Pada gambar 2 yaitu penggambaran kerapatan akar secara vertikal menunjukkan peningkatan yang linier dengan umur tanaman. Sebagian besar terkonsentrasi pada lapisan I (0 – 15 cm) dan sedikit pada lapisan II (15 – 30 cm), selanjutnya pada lapisan lebih dalam (30 – 45 cm) tidak ditemukan adanya perakaran. Nilai kerapatan setiap lapisan tampak lebih jelas pada tabel 1.



Gambar 2 : Kerapatan akar secara vertikal



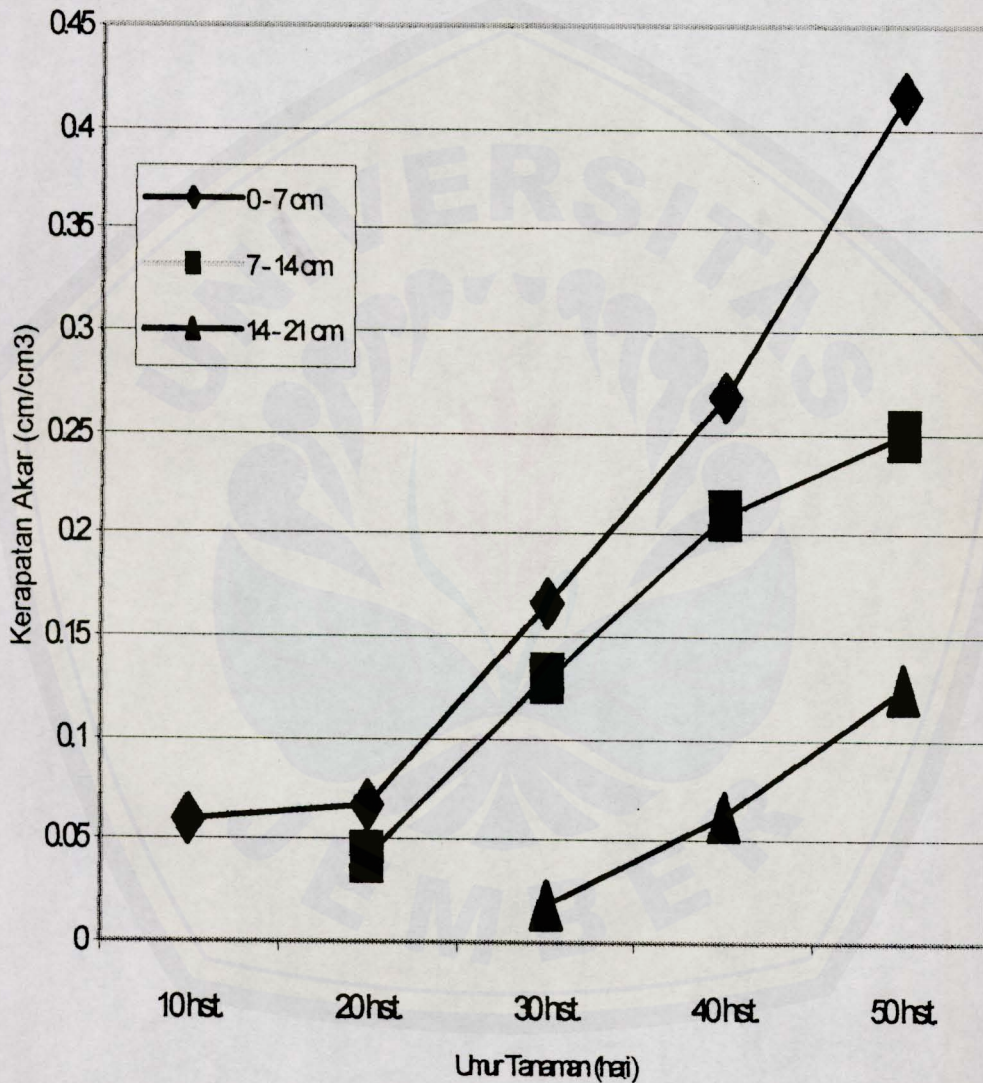
Tabel 1 : Kerapatan perakaran

Posisi Pengambilan Sampel				
Kerapatan Akar (cm/cm^3)				
	I	II	III	0 - 21 cm
Lapisan (cm)	Umur 10 hari setelah tanam			
0 - 15	0.105	0.026	0.004	0.045
15 - 30	0.016	0	0	0.005
0 - 30	0.061	0.013	0.002	
Umur 20 hari setelah tanam				
0 - 15	0.099	0.086	0.019	0.068
15 - 30	0.032	0.004	0	0.012
0 - 30	0.066	0.045	0.009	
Umur 30 hari setelah tanam				
0 - 15	0.242	0.178	0.021	0.147
15 - 30	0.088	0.078	0.015	0.061
0 - 30	0.165	0.128	0.018	
Umur 40 hari setelah tanam				
0 - 15	0.386	0.317	0.085	0.263
15 - 30	0.147	0.104	0.039	0.097
0 - 30	0.267	0.210	0.062	
Umur 50 hari setelah tanam				
0 - 15	0.603	0.347	0.150	0.367
15 - 30	0.229	0.152	0.097	0.159
0 - 30	0.416	0.249	0.124	

Dari data posisi pengambilan sampel, dapat digambarkan pertumbuhan akar pada tiap titik pengamatan dalam gambar 3



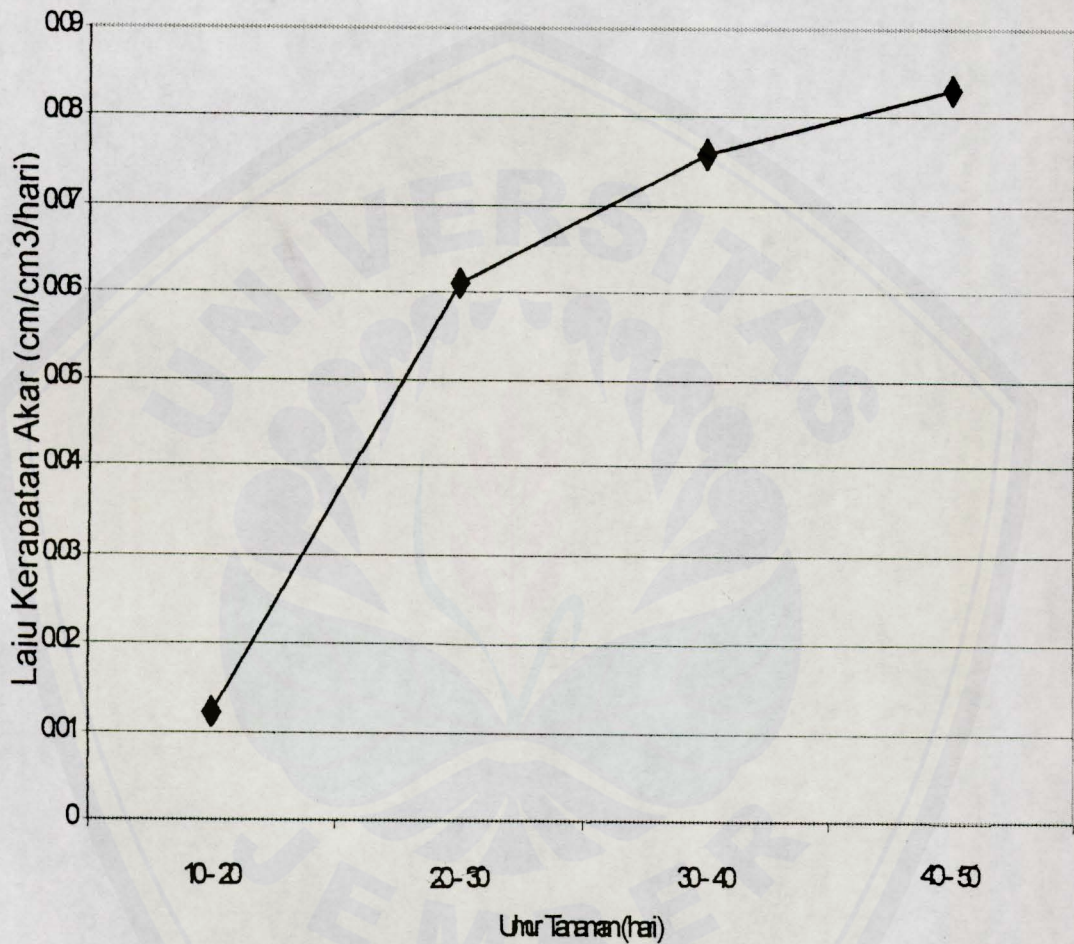
Dari tabel 1 yang menampilkan posisi pengambilan sampel dan nilai kerapatan akar dapat digambarkan pertumbuhan akar pada tiap titik pengamatan (titik I,II dan III) seperti terlihat pada gambar 3. Dalam grafik ini terlihat bahwa perakaran muncul secara penuh pada titik I (0-7 cm) ketika tanaman berumur 10 hari, kemudian pada umur 20 hari dan 30 hari, perakaran muncul pada titik pengamatan II dan III.



Gambar 3 : Pertumbuhan akar pada tiap titik pengamatan



Dari nilai kerapatan akar ini dapat ditentukan laju kerapatan akarnya. Laju kerapatan akar adalah penambahan kerapatan akar setiap satuan waktu (hari). Seperti tampak pada gambar 4, bahwa laju kerapatan akar semakin meningkat dari umur 10 hari sampai 30 hari, kemudian meningkat dengan lambat sampai umur 50 hari.



Gambar 4 : Laju kerapatan akar

Secara vertikal, persentase perakaran terbesar (lebih dari 60%) berada pada lapisan I (0 - 15 cm) dan kemudian sisanya berada pada lapisan II (15 - 30 cm), demikian pula secara horizontal, persentase perakaran berada pada titik I (0-7 cm), kemudian titik II (7-14 cm) dan sedikit pada titik III (14-21 cm).

Tabel 2: Rangkuman nilai persentase sebaran akar secara vertikal

Umur tanaman (hari)	I (0 – 15 cm) (%)	II (15 – 30 cm) (%)
10	88.049	11.951
20	86.357	13.643
30	70.887	29.113
40	73.057	26.943
50	69.758	30.242

Tabel 3: Rangkuman nilai persentase sebaran akar secara horisontal

Umur tanaman (hari)	I(0-7 cm) (%)	II(7-14 cm) (%)	II(14-21 cm) (%)
10	69.001	20.791	10.198
20	55.848	35.910	8.242
30	52.962	41.179	5.859
40	49.458	39.017	11.525
50	52.627	31.604	15.769

4.2 Pembahasan

Pada umur tanaman 10 hst, telah tampak adanya perakaran, ini sebagai hasil dari peningkatan jumlah dan pemanjangan sel-sel meristem ujung akar (Dodd, 1962), yang sebagian besar merupakan akar sekunder, seperti penemuan Atkinson, (1990), pada umur tanaman 8 hari setelah tanam, akar primer yang berasal dari akar radikel (Anonim, 1993) terdapat dalam jumlah sedikit memanjang sampai 15 cm sedangkan akar sekundernya 17 cm. Seperti dinyatakan oleh Lakitan (1994), bahwa akar primer memanjang lebih cepat daripada akar skundernya dan akar skunder memanjang lebih cepat dari akar tersier. Sehingga akar primer ini mampu menembus sampai pada lapisan ke II (15 – 30 cm)



Umur tanaman 20 hari, perakaran telah mampu menyebar lebih luas namun masih tidak merata (lihat tabel 1), sebagian besar perakaran terdapat pada daerah permukaan tanah atau pada lapisan I dan sedikit pada lapisan II karena perakaran tersebut belum mampu menyebar secara merata pada semua lapisan dan titik pengamatan. Diameter rata-rata akar primer dan skunder tanaman kedelai memanjang secara progresif. Pada akar primer umur 9, 16 dan 21 hari setelah tanam memanjang sebesar 0,35, 0,63 dan 0,71 mm pada tanah debuan atau geluh tanpa adanya perlakuan lain (Hallmark dan Barber, 1983)

Selanjutnya seiring pertambahan umur tanaman pada 30 hari setelah tanam, kerapatan perakaran semakin meningkat dengan dominasi akar masih berada pada lapisan I (0 – 15 cm). Pada umur 35 hari setelah tanam telah muncul bunga dan terjadi pembentukan polong sampai pada umur 40 hari setelah tanam. Perakaran tanaman terus berkembang dalam rangka mendapatkan sumber nutrisi yang ada demikian juga menurut (Atkinson, 1990), secara umum bertambahnya umur tanaman akan memperdalam penetrasi akar (secara vertikal) untuk mengeksploitasi tanah yang besar dan akhirnya akan meningkatkan kerapatan perakarannya. Pada umur 40 hst perakaran tanaman semakin bertambah demikian pula pada 50 hst. Bertambahnya umur tanaman akan meningkatkan perkembangan akar dan kerapatannya.

Munculnya akar ini sebagai proses pertumbuhan kebawah (*downward*) tanaman (Anonim, 1993). Pertumbuhan dan arah perpanjangan perakaran tanaman ke arah bawah (*downward*) menurut Barlow, (1992) arah perpanjangan ke bawah ini juga dapat disebabkan oleh adanya geotropisme yaitu arah pertumbuhan dan pemanjangan akar yang berlawanan kutub dengan pertumbuhan tajuknya (Barlow dan Zieschang, 1994). Pola perakaran berbeda pada umur tanaman yang berlainan, pada awal tumbuh akar primer tanaman terpola secara vertikal kebawah sebagai akibat geotropisme. Selanjutnya akar skunder atau lateral yang muncul kemudian, terpola secara horisontal (Russell, 1977). Adanya pengaruh geotropisme ini juga dijelaskan oleh Dodd, (1992) dan Hart, (1990) bahwa pertumbuhan akar primer lebih terengaruh terhadap geotropisme dibandingkan dengan akar lateral, sehingga akar lateral tumbuh secara horisontal.

Secara umum perakaran tanaman kedelai sayur ini berada pada lapisan permukaan tanah. Seperti pada penelitian Atkinson, (1990) dinyatakan bahwa, kerapatan perakaran pada lapisan 10 - 20 cm berkisar antara 1,49 sampai 0,81 cm/cm^3 dan pada lapisan 50 cm antara 0,72 - 0,42 cm/cm^3 , demikian pula dengan percabangannya yang sebagian besar terkonsentrasi pada bagian permukaan tanah.

Akar skunder umumnya tumbuh secara lateral (horisontal) oleh karena itu sering pula disebut sebagai akar lateral (Lakitan, 1994). Laju kerapatan akar (grafik 4) sangat kecil yaitu kurang dari 0,1 cm / hari, sedangkan menurut Lakitan (1995), bahwa zone pemanjangan akar (*elongation zone*) berkisar antara 0,5 sampai 1,5 cm pada bagian ujung akar sementara laju pemanjangan akar secara umum dapat mencapai 2 cm / hari. Pemanjangan akar menurut Rusell (1977) sebesar 2 cm / hari pada akar primer, lateral primer 0,5 cm / hari dan lateral skunder 0,1 cm / hari pada tanaman gandum sedangkan pada jagung mencapai 6 cm / hari.

Pola perakaran tergantung pada jangkauan dan arah tumbuh akar primer, karena akar lateralnya akan mengikuti pola pertumbuhan akar primer. Akar primer yang dangkal akan membentuk perakaran lateral secara horisontal (Hart, 1990).

Ada dua faktor yang mempengaruhi bentuk morfologi perakaran tanaman yaitu 1) faktor genetik yang spesifik pada setiap spesies tanaman dan 2) faktor lingkungan (Raper dan Barber, 1970) *cit* (Garay dan Wilhelm, 1982). Faktor tersebut adalah :

1. Faktor Genetis

Pola perakaran tanaman monokotil berbeda dengan dikotil. Tanaman dikotil memiliki perakaran yang dangkal dan tidak terlalu luas dengan konsentrasi akar lateral berada pada akar primer sehingga disebut berakar tunggang. Sedangkan monokotil berakar serabut dan mampu menjangkau daerah yang luas bahkan dapat mencapai 9 kaki pada tanaman gandum.

Bentuk dan sebaran perakaran tanaman kedelai pada umumnya sangatlah dangkal atau berada pada lapisan atas tanah, umumnya antara 0 - 30 cm. Beberapa spesies tanaman seperti jagung dan rumput-rumputan memiliki kedalaman perakaran antara 0 - 30 cm (Fuller dan Carothers, 1964)

Suatu hasil penelitian tentang distribusi akar pada tanaman kedelai, jagung, ubi kayu dan padi gogo pada tanah Ultisol (Van Noorwijk *et al*, 1992) akar tanaman kedelai tersebar pada permukaan tanah setebal 30 – 40 cm dengan bintil akar yang terbatas pada kedalaman 20 cm. Perkembangan perakaran ini berbeda baik pada padi gogo sekitar 0 – 30 cm, jagung terbatas pada 0 – 20 cm dan ubi kayu tersebar horisontal hingga mencapai 130 cm dari pangkal batang (Sitompul dan Guritno, 1995).

2. Faktor Lingkungan

Seringkali kondisi lingkungan akan mempengaruhi sistem perakaran tanaman. Tanaman pada lahan kering biasanya memiliki sistem perakaran yang banyak sekali, sebagian besar tanaman yang tumbuh di tanah berpasir akarnya lateral, terpola secara horisontal dan menyebar dangkal pada permukaan tanah (Fhan, 1991). Pengaruh lingkungan yang teramati pada penelitian ini seperti berikut :

- **Kelembaban**

Pengairan pada lahan pasiran ini diberikan secara kontinyu sehingga kelembaban ini mempengaruhi pola perakarannya yang dangkal. Adanya irigasi atau curah hujan yang cukup banyak akan mempengaruhi pola perakarannya, bila curah hujan sedikit maka perakaran berpola vertikal sedangkan bila curah hujan cukup banyak maka perakaran terpola horisontal (Zobel, 1989). Adanya irigasi yang teratur atau pada tanah yang basah atau lembab akan menghambat perkembangan perakaran, sedangkan pada tanah kering perakaran mampu menyebar luas secara vertikal dan horisontal untuk memenuhi kebutuhan akan air (de Willigen dan van Noordwijk, 1987). Pada tanah yang kering, jumlah ion-ion akan bertambah namun transfer antar ion atau kapasitas tukar kationnya (KTK) akan berkurang dan kurang mampu untuk diserap perakaran sehingga akar cenderung untuk meluas (Atkinson, 1990).

Bila tanaman berada pada kondisi kekurangan air dan unsur hara, tanaman akan membentuk sistem perakaran yang menyebar luas dan banyak untuk memenuhi kebutuhan nutrisinya (Sitompul dan Guritno, 1995 ; Eames dan McDaniels, 1994).

Pengaruh pengairan atau irigasi juga diteliti oleh Mayaki *et al.*, (1976) pada tanaman kedelai varietas Williams ditemukan bahwa pada lapisan 0 – 15 cm, berat kering akar sebesar 67% sedangkan pada lahan tidak teririgasi di lapisan 0 – 90cm

sebesar 80%. Ini menunjukkan dua hal penting yaitu 1) bahwa pada tanah teririgasi baik, kedalaman perakaran sangat rendah atau dangkal dan 2) konsentrasi perakaran terletak pada lapisan atas (0 - 15 cm) (Garay dan Wilhelm, 1982).

- **Tekstur tanah**

Tekstur tanah pasiran juga mempengaruhi pola perakaran yang dangkal. Tektur tanah mempengaruhi daya tahan air dan laju infiltrasi air. Tanah-tanah kasar memiliki kemampuan infiltrasi dan perkolasi air yang cepat, sehingga tidak ada *run off* permukaan tanah meskipun sehabis hujan lebat. Tanah liat begitu halus teksturnya, sehingga sedikit air menembus tanah lapisan bawah, terutama setelah permukaan liat menjadi basah dan mengembang tetapi tanah kasar tidak mampu mempertahankan air dalam jumlah yang besar (Harjadi, 1979). Jenis tanah yang tergolong pasiran antara lain tanah regosol, podsol, litosol dan sebagainya. sedangkan yang tergolong tanah lempungan adalah tanah podsolik merah-kuning, latosol, mediteran merah-kuning, planosol-hidromorf kelabu, glei humus rendah, grumusol, andosol dan aluvial (Sarief, 1985).

Pada lahan pasiran yang memiliki *Water Holding Capacity* (WHC) rendah maka frekuensi pengairan dilakukan lebih tinggi, ini bertujuan untuk menyediakan air atau kelembaban bagi perakaran secara kontinyu. Pengairan ini akan menciptakan kelembaban tanah yang baik sehingga perakaran tanaman berbentuk lapisan tipis pada permukaan tanah (Zobel, 1989).

Partikel lempung mampu menyerap air dalam jumlah yang banyak sehingga udara dalam tanah cenderung terdesak keluar sehingga tanah tersebut kurang baik bagi tanaman yang memerlukan udara yang cukup didalam tanah bagi perkembangan perakarannya (Fuller dan Carothers, 1964)

Panjang dan diameter perakaran tanaman berbeda tergantung dari media tumbuhnya. Bila media tumbuh tersebut menyulitkan perakaran tanaman untuk penetrasi maka perakaran akan berkembang luas. Seperti pada penanaman kedelai oleh (Haley dan Russell, 1979) pada media cair atau larutan diameter rata-rata sebesar 0,20 mm sedang pada media pasir 0,25 mm

- **Suhu**

Suhu permukaan tanah dan kedalaman tanah sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan dan perkembangan perakaran. Berkurangnya penetrasi akar kedalam tanah dikarenakan oleh adanya temperatur yang rendah (Zobel, 1989). Suhu yang relatif rendah pada ketinggian 550 m dpl. Mengarah pada pembentukan akar yang terpola dangkal. Suhu udara yang hangat akan menyebabkan perakaran berkembang secara vertikal sedangkan suhu yang rendah akan berkembang secara horisontal. Perakaran tanaman sangat terpengaruh terhadap adanya suhu udara yang rendah seperti pada suhu $26,5^{\circ}\text{C}$ dan kelembaban sebesar 77% akan membentuk perakaran yang cenderung tersebar secara horisontal daripada secara vertikal (Atkinson, 1990)

Berkaitan dengan suhu, Miller (1986), menyatakan bahwa pertumbuhan perakaran akan terhambat pada suhu sekitar 5°C dan meningkat secara linier seiring peningkatan suhu maksimum hingga 25°C . Namun demikian terdapat banyak perbedaan suhu optimum bagi perakaran tergantung pada spesies dan kultivarnya seperti pada kentang antara $20^{\circ} - 23^{\circ}\text{C}$, jagung antara $25^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}$ dan mentimun sebesar 27°C .

Penelitian tentang pola perakaran dan nilai kerapatannya pada berbagai tingkat umur tanaman adalah penting dilakukan, karena dapat digunakan sebagai data dasar pada tindakan-tindakan agronomis selanjutnya seperti pada pelaksanaan pemupukan dan dosis yang digunakan. Saat aplikasi Nitrogen sangat mempengaruhi hasil yang diperoleh, seperti pada penelitian Yinbo *et al.*, (1997) menemukan bahwa saat pemberian pupuk N sangat mempengaruhi berat brangkasan dan hasil polong tanaman kedelai sayur. Pemberian pupuk N (25 kg N sebagai starter + 50 kg N) pada awal fase vegetatif dan pada saat mulai pembungaan (ditambah 50 kg N) akan meningkatkan berat brangkasan 11 sampai 16% dan berat biji lebih dari 44%.

Perbedaan umur tanaman juga membedakan tingkat serapannya, hal ini disebabkan oleh fungsi dari perakaran muda yang sangat aktif melakukan serapan dibandingkan dengan perakaran yang telah tua. Seperti pada penelitian Gao *et al.*, (1998) yang menggunakan metode IRSA (*Integrated Root System Age*) yang merupakan perbandingan antara panjang akar setiap umur tanaman dengan total panjang akar yang ada. Didapatkan bahwa aktifitas penyerapan NH_4 dan NO_3 pada tanaman gandum semakin menurun seiring pertambahan umurnya.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pengamatan terhadap pola sebaran dan nilai kerapatan akar relatif tanaman kedelai sayur sangat penting artinya sebagai data dasar untuk pelaksanaan tindakan-tindakan agronomi selanjutnya, seperti pada tindakan pemupukan dan perlakuan jarak tanam.

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

1. Perakaran tanaman kedelai sayur secara vertikal memiliki kedalaman maksimal 30 cm dengan konsentrasi perakaran sebagian besar berada pada lapisan I (0 – 15 cm).
2. Secara horisontal, perakaran kedelai sayur memiliki kerapatan yang terbesar terletak pada titik I (0 – 7 cm) atau dekat sumbu perakaran, kemudian semakin menurun bila radiusnya semakin jauh dari sumbu akar.
3. Persentase kerapatan akar sebagian besar (lebih dari 60%) terletak pada lapisan I (0 – 15 cm) dan pada titik I (0 – 7 cm).
4. Laju kerapatan perakaran pada umur 10 – 30 hst, meningkat cepat dan kemudian meningkat lambat pada umur 30 – 50 hst.

5.2 Saran

Pemupukan yang efektif dan efisien pada tanaman kedelai sayur dapat dilakukan pada umur tanaman 10 – 30 hst. Disamping itu penempatan pupuk dilakukan sampai radius 7 cm dari pangkal tanaman. Perlu diadakan penelitian lanjutan tentang sebaran perakaran pada tekstur tanah lempungan.



DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1989, *Agricultural Compendium*, Elsevier Publishers, New York.
- Anonim, 1993, *Root (botany)*, Microsoft Encarta Encyclopedia Corp.
- Atkinson, D., 1990, Influence of Root System Morphology and Development on The Need for Fertilizers and The Efficiency of Use, dalam : V.C. Baligar dan R.R. Duncan (eds) *Crops as Enhance of Nutrient Use*, Academic Press Inc.
- Barber, S.A., 1979, Growth Requirements for Nutrients in Relation to Demand at The Root Surface, dalam : *The Soil – Root Interface* in : J.L. Harley dan R. Scott
- Barlow, P.W. dan Hanna E. Zieschang, 1994, Root Movements : Towards an Understanding Trough Attempts to Model The Processes Involved, *Plant soil* J.165 : 293-300.
- Bohm, 1979, *Method of Studying Root System*, Berlin Spring Verlag.
- Bland, W.L., 1989, Estimating Root Length Density by The Soil-core Break Method, *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, 53:1595-1597.
- Bowling, 1976, *Plant Axial Growth*, McGraw-Hill Book Company, UK.
- Chotiyarnwong, A., P. Chotiyarnwong, W. Gong-in, A. Nalampong, N. Potan, V. Bengasil dan V. Kajornamelle, 1996, Vegetable Soybean: Ciang Mai- a Vegetable Soybean released in Thailand, *TVIS Newsletter*, Vol .1No.2 :12-13
- Dodd, 1962, *Form and Function in Plant*, The Iowa State University Press, Iowa.
- Drew, M.C., 1979, Properties of Roots Wich Influence Rates Of Absorbtion, dalam : *The Soil – Root Interface* in : J.L. Harley dan R. Scott Russell (Eds), Academic Press, England.
- Eames, A.J. dan L.H. McDaniels, 1994, *An Introduction to Plant Anatomy*, McGraw-Hill Publisher, London.
- Escamilla, J.A., N.B. Comeford dan D.G. Neary, 1991, *Soil – core Break Method to Estimate Pine Root Distribution*, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55:1722-1726.
- Feng, Y dan L. Boerma, 1995, *Kinematics of Axial Plant Root Growth*, Academic Press, New York.

- Fhan, A., 1995, Anatomi Tumbuhan Edisi ketiga Terjemahan A. Soediarso, R.M. Tenggono Koesoemaningrat, M. Natasaputra, H. Akhmad dari *Plant Anatomy* (1982), Yogyakarta, Gadjah Mada University Press., Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Fisher, N.M. dan R.J. Dunham, 1992 Morfologi Akar dan Pengambilan Zat Hara, dalam : P.R. Goldsworthy dan N.M. Fisher (Eds), Fisiologi Tanaman Budidaya Tropik, terjemahan Tohari dari *The Physiology of Tropical Field Crop*, Gadjah Mada University, Yogyakarta.
- Fuller, H.J. dan Zane B. Carothers, 1964, *The Plant World*, Rinehart and Winston, Inc. New York.
- Gao, S., William L. Pan dan Richard T. Koenig, 1998, Integrated Root System Age in Relation to Plant Uptake Activity, *Agron. J.* 90:505-510.
- Garay, A.F. dan W.W. Wilhelm, 1982, Root System Characteristic of Two Soybean Isolines Undergoing Water Stress Condition, *Nebraska Agric. Expenditure. Sin* No 7015: 973-976.
- Glinski, B.S., K.J. Karnok dan N. Carrow, 1993, Comparison of Reporting Methods for Root Growth Data from Transparent-Interface Measurements, *Field Crops Research.* 55:187-192.
- Goldsworthy, P.R. dan N.M. Fisher (Ed), 1992, *Fisiologi Tanaman Budidaya Tropik*, Gadjah Mada University, Yogyakarta.
- Haley, J.L. dan Russell, R.S., 1979, *The Soil-Root Interface*, Academic Press, London.
- Hallmark, W.B. dan S.A. Barber, 1983, Root Growth and Morphology, Nutrient Uptake, and Nutrient Status of Early Growth of Soybeans as Affected by Soil P and K, *Agron. J.* 76: 209-212.
- Hart, J.W., 1990, *Plant Tropism and Other Growth Movements*, Chapman and Hall, London.
- Harjadi, S.S., 1979, *Pengantar Agronomi*, Gramedia Pustaka, Jakarta.
- Islami, T. dan W.H. Utomo, 1995, *Hubungan Tanah, Air dan Tanaman*, IKIP Semarang.
- Kramer, P.J., 1980, *Plant and Soil Water Relationships*, TATA McGraw-Hill Publishing Company, New Delhi, India.

- Lakitan, B., 1994, *Fisiologi Pertumbuhan dan Perkembangan Tanaman*, Raja Grafindo Persada, Jakarta.
- Lynch, J., 1995, Root Architecture and Plant Productivity, *Plant Physiol.* 109 : 7-13.
- Mauseth, J.D., 1988, *Plant Anatomy*, The Benjamin/cummings Publishing Company Inc, London.
- Miller, D.E., 1986, Root System in Relation to Stress Tolerance. *Hort. Sci.*, 21(4):963-970.
- Pan R.S. dan M. Rai, 1996, Evaluation of Vegetable Soybean Lines in Chatonagpur Plateau, Bihar India, *TVIS Newsletter* 1 (2).
- Rusell, R.S., 1977, *Plant Root System : Their Function and Intersection With The soil*, McGraw-Hill Book Company, UK.
- Sarief, S., 1985, *Kesuburan dan Pemupukan Tanah Pertanian*, Pustaka Buana, Bandung.
- Guritno, B., dan , S.M. Sitompul, 1995, *Analisis Pertumbuhan Tanaman*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Van Noordwijk, M dan de Willigen, P., 1986, Roots, Plant Production an Nutrient Use Efficiency, *Netherlands Journal of Agriculture Sci.* 34: 273-281.
- Whermann, J., H.C. Scharpff dan H. Kuhlmann, 1988, The N_{min} Method an Aid to Improve Nitrogen Efficiency in Plant Production, dalam : D.S. Jenkinson dan K.A. Smith (eds) *Nitrogen Efficiency*, Agricultural Soil, Elsevier Applied Science, London.
- Wijaya, K.A., 1996, Identifikasi Sistem Perakaran dan Serapan Nitrogen Pada Empat Kultivar Slada (*Lactuca sativa* L. Var. Capitata) di lapang *Agri. J.* 4 (1).
- Yinbo, G., M. B. Peoples dan B. Rerkasem, 1997, The Effect of N fertilizer Strategy on N_2 Fixation, Growth and Yield of Vegetable Soybean, *Field Crops Research* 51: 221-229.
- Zobel, R.W., 1986, Rhizogenetics (Root Genetics) of Vegetable Crops, *Hortscience*, 21 (4)p 956-959.
- Zobel, R.W., 1989, Steady-State Control and Investigation of Root System Morphology, dalam : J.G. Torrey dan L.J. Winship (eds), *Application of Continous and Steady-State Methode to Root Biology*, Kluwer Academic Publisher.

Lampiran 1 :

**Data Klimatologi Desa Sidomulyo Garahan Kecamatan Silo
Kabupaten Jember**

Tinggi tempat	: 550 m dpl.
Kemiringan / Slope	: 0 – 15%
Kelembaban nisbi	: 77%
Suhu rata-rata harian	: 26,5° C

Sumber : BPP Kecamatan Silo Kabupaten Jember (1999)

Hasil Analisa Tanah Sebelum Tanam

Sifat Tanah	Nilai	Kriteria
N (%)	0,084	Sangat rendah
N-NH ₄ (%)	0,003	Sangat rendah
K (m.e/ 100 gr)	2,604	Sangat tinggi
pH H ₂ O	6,1	Agak masam
pHKCl	4,9	
KTK (m.e/100 gr)	16,145	Rendah
B.O (%)	0,753	Sangat rendah

Sumber : Hasil Analisa Lab. Kimia Fakultas MIPA Universitas Jember (1999)

Tabel Tinggi Tanaman

Umur Tanaman	Tinggi Tanaman (cm) Rata-rata
10	15,35
20	18,84
30	25,33
40	27,26
50	28,54



Lampiran 2 :

Data Curah Hujan Wilayah Kecamatan Silo (mm/hari)

Bulan Hari	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	Mei	Jun.	Jul.	Agst.
1	18	7	-	-	2	2	-	-
2	5	-	-	-	8	-	-	-
3	98	17	-	12	-	2	-	-
4	-	19	7	54	-	-	-	-
5	-	-	-	11	-	-	-	-
6	2	9	-	14	-	-	-	-
7	-	-	8	17	-	-	-	-
8	-	14	19	23	-	-	-	-
9	3	18	33	57	6	-	-	-
10	-	12	2	3	-	-	-	-
11	10	20	7	7	5	-	-	-
12	-	3	-	43	-	-	-	-
13	8	-	5	67	-	-	-	-
14	-	-	-	28	-	2	-	-
15	55	6	9	5	-	-	-	-
16	-	10	-	6	-	-	-	-
17	36	12	-	-	-	-	-	-
18	25	3	-	-	-	-	-	-
19	156	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	29	9	-	-	-	-
21	53	34	12	4	-	-	-	-
22	17	65	27	12	-	-	-	-
23	41	29	2	-	-	-	-	-
24	30	-	-	-	-	-	-	-
25	-	-	6	-	-	-	-	-
26	6	13	-	-	-	-	-	-
27	-	2	5	-	-	-	-	-
28	-	-	27	-	-	-	-	-
29	44	-	6	-	-	-	-	-
30	17	-	3	-	-	-	-	-
31	17	-	16	-	-	-	-	-
Jml hujan	635	286	236	372	21	6	-	-
Jml hari hujan	18	19	20	20	5	3	-	-
Rata-rata	35,3	15,1	11,8	19	4,2	2	-	-

Sumber : BPP Kecamatan Silo Kabupaten Jember (1999)

Lampiran 1 : Data Kerapatan Akar

Umur	Kedalaman (cm)	Ulangan I			Ulangan II			Total	Rata-rata	PA	KA
		0 - 7 cm	7 - 14 cm	14 - 21 cm	0 - 7 cm	7 - 14 cm	14 - 21 cm				
10	0 - 15	46.875	16.58	3.75	107.67	22.166	2.583	199.6	33.27	26.14	0.045
	15 - 30	9.3	0	0	14.515	0	0	23.82	3.969	3.119	0.005
20	0 - 15	48	50.25	25.25	98.125	76.333	3.333	301.3	50.21	39.45	0.068
	15 - 30	23.5	6.17	0	24.2	0	0	53.87	8.978	7.054	0.012
30	0 - 15	162.125	259.125	16.3	194	3.167	15.2	649.9	108.3	85.11	0.147
	15 - 30	67.45	16.583	12.917	61.7	98.667	9.3	266.9	44.48	34.95	0.061
40	0 - 15	320.625	230.3	96.667	246.665	235.125	28.25	1157.	192.9	151.6	0.263
	15 - 30	88.4	57.833	11.7	128	95	46	426.9	71.16	55.91	0.097
50	0 - 15	432	425.335	128	454	85	92.25	1616.	269.4	211.7	0.367
	15 - 30	213.17	30.038	79.125	122.966	193.33	63.75	702.1	117.0	91.94	0.159

Keterangan : PA = Panjang Akar

KA = Kerapatan Akar

Lampiran 4 :

HITUNGAN

a) Penghitungan Panjang Akar (R)

Umur 10 hari setelah tanam :

$$\begin{aligned} \text{Panjang Akar (R) 0 - 15 cm} &= (11/14 \times 33.271 \times 1) \\ &= 26.141 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang Akar (R) 15 - 30 cm} &= (11/14 \times 3.969 \times 1) \\ &= 3.118 \text{ cm} \end{aligned}$$

Umur 20 hari setelah tanam :

$$\begin{aligned} \text{Panjang Akar (R) 0 - 15 cm} &= (11/14 \times 50.215 \times 1) \\ &= 39.455 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang Akar (R) 0 - 15 cm} &= (11/14 \times 8.978 \times 1) \\ &= 7.054 \text{ cm} \end{aligned}$$

dst.....

b) Penghitungan Kerapatan Akar (KA)

Umur 10 hari setelah tanam :

$$\begin{aligned} \text{Kerapatan Akar (KA) 0 - 15 cm} &= 26.141 / 577.26765 \\ &= 0.0453 \text{ cm/cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kerapatan Akar (KA) 15 - 30 cm} &= 3.118 / 577.26765 \\ &= 0.005 \text{ cm/cm}^3 \end{aligned}$$

Umur 20 hari setelah tanam :

$$\begin{aligned} \text{Kerapatan Akar (KA) 0 - 15 cm} &= 39.455 / 577.26765 \\ &= 0.068 \text{ cm/cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kerapatan Akar (KA) 15 - 30 cm} &= 7.054 / 577.26765 \\ &= 0.012 \text{ cm/cm}^3 \end{aligned}$$

dst.....

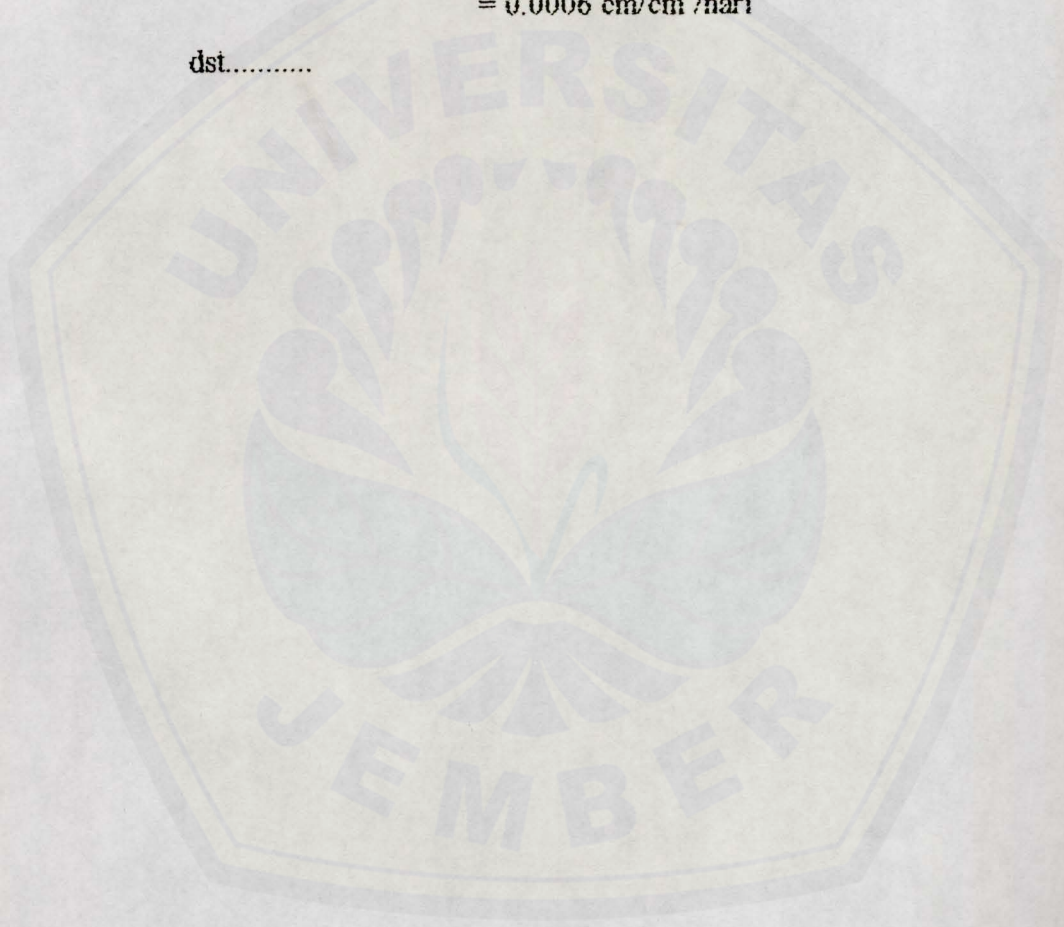
c) Penghitungan Laju Kerapatan Akar (LKA)

Umur Tanaman 10 - 20 hari :

$$\begin{aligned} \text{LKA (0 - 15 cm)} &= (KA_2 - KA_1) / (t_2 - t_1) \\ &= (0.068 - 0.045) / (20 - 10) \\ &= 0.002 \text{ cm/cm}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LKA (15 - 30 cm)} &= (KA_2 - KA_1) / (t_2 - t_1) \\ &= (0.012 - 0.005) / (20 - 10) \\ &= 0.0006 \text{ cm/cm}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

dst.....



Lampiran 5 :



Foto tanaman kedelai sayur pada umur 20 hari setelah tanam.



Foto tanaman kedelai sayur pada umur 30 hari setelah tanam

