

**Aplikasi mikroorganisme efektif bioedu-UNS
dalam degradasi limbah padat industri tepung aren
(sebagai acuan bahan ajar pokok bahasan daur ulang limbah organik untuk
SMA kelas-x semester 2)**

SKRIPSI

Disusun Oleh :

Luluk Nafiah

K4302025

**BAB I
PENDAHULUAN**

A. Latar Belakang Masalah

Industrialisasi menempati posisi sentral dalam ekonomi masyarakat modern dan merupakan motor penggerak yang memberikan dasar bagi peningkatan kemakmuran dan mobilitas perorangan yang belum pernah terjadi sebelumnya pada sebagian besar penduduk dunia, terutama di negara-negara maju. Bagi negara berkembang, industri sangat esensial untuk memperluas landasan pembangunan dan memenuhi kebutuhan masyarakat yang terus meningkat. Banyak kebutuhan umat manusia hanya dapat dipenuhi oleh barang dan jasa yang disediakan dari sektor industri.

Sudah sejak lama kita kenal, pohon aren atau enau (*Arenga pinnata*) merupakan pohon yang menghasilkan bahan-bahan industri yang sangat bermanfaat dalam memenuhi kebutuhan manusia. Batang adalah salah satu bagian pohon aren yang dapat diambil manfaatnya. Kita dapat mengambil pati atau tepung dari batang aren untuk bahan pembuatan berbagai macam makanan atau minuman. Sentra industri tepung aren yang terletak di dusun Bendo, Desa Daleman, Kecamatan tulong Kabupaten Klaten Jawa Tengah adalah salah satu

industri yang memproses bahan baku batang aren menjadi tepung aren dan telah berlangsung turun temurun hingga sekarang. Hampir semua penduduk dusun ini bermata pencaharian sebagai penghasil tepung aren dengan skala industri rumah tangga .

Kemajuan yang diciptakan sektor industri di daerah ini telah memberikan kemakmuran bagi sebagian besar masyarakat dan memperluas kesempatan kerja, tetapi di sisi lain menimbulkan dampak negatif berupa pencemaran terhadap lingkungan. Pada dasarnya kegiatan suatu industri adalah mengolah masukan (*input*) menjadi keluaran (*output*). Pengamatan terhadap sumber pencemar sektor industri dapat dilaksanakan pada masukan/proses maupun pada keluarannya dengan melihat spesifikasi dan jenis limbah yang diproduksi. Pencemaran yang ditimbulkan oleh industri diakibatkan adanya limbah yang keluar dari pabrik yang mengandung bahan-bahan pencemar. Salah satu limbah yang mengandung bahan-bahan pencemar yang dihasilkan industri tepung aren adalah “lemi”, yaitu ampas saringan terakhir pada proses pembuatan tepung aren. Industri rumah tangga tepung aren dapat menghasilkan 3 kwintal tepung aren dengan jumlah limbah yang dikeluarkan 1 ton tiap hari. Jumlah lemi sendiri dapat mencapai 3 kwintal dari 1 ton limbah yang dihasilkan tersebut. Sampai saat ini, ampas pada penyaringan awal dan seterusnya sudah dimanfaatkan oleh masyarakat sebagai pakan ternak dan pupuk karena ukuran seratnya yang masih kasar. Namun pemanfaatannya juga masih belum optimal. Sedangkan lemi berupa endapan semi padat, tekstur halus, warna kecoklatan dan masih banyak mengandung air. Limbah ini mempunyai kadar bahan organik yang tinggi sehingga berbau dan mencemari perairan atau saluran tempat pembuangan yang selama ini digunakan. Pembuangan lemi begitu saja di perairan umum dapat berpotensi mencemari lingkungan dan mendangkalkan saluran air.

Bagaimanapun bila lingkungan sudah terlanjur rusak dan tercemar maka akan sangat sulit untuk memulihkannya seperti semula. Untuk memulihkannya tentu membutuhkan biaya yang sangat besar. Kenyataan ini seharusnya dapat menyadarkan manusia agar segera mulai mengendalikannya sebelum keadaan menjadi semakin parah.

Oleh karena itu perlu dicarikan jalan keluar dalam pengelolaan limbah lemi mengingat dewasa ini perhatian terhadap lingkungan sehat semakin meningkat. Selain menjadi sumber pencemaran, pembuangan limbah lemi yang tidak tepat ini dapat menimbulkan masalah (konflik) di masyarakat yang dapat mengancam kelangsungan industri itu sendiri.

Limbah yang dibuang industri sebaiknya ditampung terlebih dahulu dan diolah kembali sehingga mempunyai nilai ekonomis. Pengolahan kembali menghasilkan nilai tambah, dan pada sisi lain menghemat biaya pengendalian pencemaran. Upaya ini dikenal dengan asas pencegahan pencemaran yang menguntungkan.

Alternatif bentuk pengolahan kembali limbah lemi yang dapat digunakan masyarakat adalah sebagai pupuk dengan metode *composting*. Penggunaan lemi sebagai pupuk dapat menyebabkan zat-zat yang sangat berguna dalam limbah tersebut dapat dimanfaatkan secara maksimal.

Dalam *composting*, proses degradasi limbah lemi ini dibantu oleh bakteri, jamur, dan mikroorganisme lainnya. Mikroorganisme yang digunakan dalam *composting* itu berguna untuk menekan pertumbuhan patogen tanah, mempercepat fermentasi limbah dan sampah organik, meningkatkan ketersediaan unsur hara dan senyawa organik pada tanaman, meningkatkan aktifitas mikroorganisme indogenus yang menguntungkan seperti *Mycorrhiza sp*, *Rhizobium sp*, dan bakteri pelarut fosfat, meningkatkan nitrogen, dan mengurangi kebutuhan pupuk dan pestisida kimia. Salah satu mikroorganisme yang berperan dalam *composting* adalah mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS yang merupakan bahan yang mengandung beberapa mikroorganisme yang sangat bermanfaat dalam proses pengomposan.

Menurut Sajidan (2004), Mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS adalah kumpulan strain bakteri yang bersifat aerobik obligat dan aerobik fakultatif. Mikroorganisme ini mempunyai aktifitas enzimatis untuk merombak karbohidrat, protein, lemak, fenol, minyak bumi, dan selulosa. Selanjutnya menurut supriyadi (2006) dalam makalah seminar nasional lingkungan Bioteknologi dan Kelestarian lingkungan, "Ampas aren yang salah satunya adalah lemi masih kaya bahan

organik dan mempunyai komposisi kimia karbohidrat 55,36 %, protein kasar (PK) 2,10 %, serat kasar 23,11 % dan lemak 0,98 %”.

Selain mengandung bahan-bahan organik di atas, lemi juga mengandung selulosa. Selulosa adalah bahan organik alami yang jumlahnya kira-kira 1/3 dari seluruh bahan organik tumbuh-tumbuhan yang ada di dunia, dan merupakan bahan yang paling sulit didegradasi atau dirombak menjadi kompos (http://kompos2.tripod.com/deskripsi_teknis_katalek.htm).

Di samping itu, Selulosa adalah salah satu senyawa organik yang banyak sekali terdapat di alam, yang merupakan komponen utama yang terdapat dalam sel tumbuh-tumbuhan, bersama sama dengan lignin (<http://www.google.com/search?q=cache:gWB44v>).

Mengingat mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dapat merombak karbohidrat, protein, lemak, dan selulosa maka limbah lemi dapat dirombak oleh mikroorganisme ini melalui *composting* sehingga dihasilkan kompos.

Dengan pemanfaatan limbah lemi sebagai pupuk akan diperoleh beberapa manfaat yaitu mengurangi resiko pencemaran, meningkatkan pendapatan industri tepung aren, dan memperbaiki produktifitas tanah.

Bertolak dari uraian di atas maka akan dilakukan penelitian dengan judul **“Aplikasi Mikroorganisme Efektif BIOEDU-UNS Dalam Degradasi Limbah Padat Industri Tepung Aren”**.

B. Identifikasi Masalah

Dari latar belakang diatas, maka dapat diidentifikasi beberapa permasalahan sebagai berikut :

1. Limbah lemi yang tanpa diolah dengan baik dapat menyebabkan pencemaran lingkungan.
2. Limbah lemi industri tepung aren merupakan sumber daya yang perlu dikelola secara baik agar mempunyai nilai ekonomis yang tinggi.
3. Limbah lemi mempunyai kandungan air yang tinggi.
4. Limbah lemi dapat dimanfaatkan sebagai kompos karena banyak mengandung bahan organik.

5. Proses pengomposan alami membutuhkan waktu yang lama.
6. Mikroorganisme dapat mempercepat pembentukan kompos dari limbah lemi industri tepung aren.
7. Mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS merupakan kumpulan strain bakteri yang bersifat aerobik obligat dan aerobik fakultatif.
8. Aktifitas enzim mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS mampu merombak karbohidrat, protein, lemak, fenol, minyak bumi, dan karbohidrat.
9. Belum banyak informasi tentang pengolahan limbah padat tepung aren (lemi) menjadi kompos.

Pembatasan Masalah

Supaya penelitian ini lebih terarah, maka masalah yang ada perlu dibatasi sebagai berikut :

1. Subyek Penelitian

- a. Limbah lemi industri tepung aren yang dikeringkan selama 2 hari.
- b. Limbah lemi industri tepung aren yang baru dihasilkan dari industri.
- c. Mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS yang telah diremajakan dalam media LB (Luria Bertany) cair dan diinkubasi 16 jam dengan suhu 30°C-36°C, konsentrasi sel strain 1-10 adalah 146×10^9 , $23,5 \times 10^9$, 27×10^9 , 51×10^9 , $23,5 \times 10^9$, 83×10^9 , 29×10^9 , 28×10^9 , 45×10^9 , $71,5 \times 10^9$, dan 2×10^9 (valentina, 2005).

2. Obyek Penelitian

- a. Dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan batasan 0 ml/25 kg, 50 ml/25kg, 100 ml/25kg, 200 ml/25kg.
- b. Lama waktu degradasi limbah dengan batasan 0 hari, 15 hari, 30 hari, dan 45 hari (Supriyadi, 2006).
- c. Kualitas pupuk yang dihasilkan, parameter pH, suhu, ratio C/N, bau, warna, dan tekstur.

Perumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi dan pembatasan masalah di atas maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Adakah pengaruh jenis limbah lemi tepung aren terhadap kualitas pupuk?
2. Adakah pengaruh dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS terhadap kualitas pupuk?
3. Adakah pengaruh lama waktu degradasi terhadap kualitas pupuk?
4. Adakah pengaruh interaksi antara jenis limbah lemi tepung aren dengan dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS terhadap kualitas pupuk?
5. Adakah pengaruh interaksi antar jenis limbah lemi tepung aren dengan lama waktu degradasi terhadap kualitas pupuk?
6. Adakah pengaruh interaksi antara dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan lama waktu degradasi terhadap kualitas pupuk?
7. Adakah pengaruh interaksi antara jenis limbah lemi tepung aren, dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS, dan lama waktu degradasi terhadap kualitas pupuk?

E. Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk :

1. Mengetahui pengaruh jenis limbah lemi tepung aren terhadap kualitas pupuk kompos.
2. Mengetahui pengaruh dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS terhadap kualitas pupuk kompos.
3. Mengetahui pengaruh lama waktu degradasi terhadap kualitas pupuk.
4. Mengetahui pengaruh interaksi antara jenis limbah lemi tepung aren dengan dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS terhadap kualitas pupuk kompos.
5. Mengetahui pengaruh interaksi antara jenis limbah lemi tepung aren dengan lama waktu degradasi terhadap kualitas pupuk kompos.
6. Mengetahui pengaruh interaksi antara dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan lama waktu degradasi terhadap kualitas pupuk kompos.

7. Mengetahui pengaruh interaksi antara jenis limbah lemi tepung aren, dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS, dan lama waktu degradasi terhadap kualitas pupuk kompos.
8. Mengetahui faktor yang paling baik dalam pembuatan pupuk kompos.

F. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat :

1. Mengurangi pencemaran di lingkungan sektor industri tepung aren.
2. Memberikan informasi tentang pembuatan pupuk kompos dari limbah padat tepung aren.
3. Menambah pengetahuan tentang pemanfaatan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dalam *composting*.
4. Memberikan masukan kepada para pemilik industri tepung aren dan petani mengenai peranan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dalam *composting*.
5. Dapat digunakan sebagai informasi tambahan pada mata kuliah bioteknologi di Pendidikan Biologi dan pokok bahasan daur ulang limbah organik di SMU.
6. Memberikan informasi untuk penelitian sejenis berikutnya.

BAB II

LANDASAN TEORI

A. Tinjauan Pustaka

1. Industri Tepung Aren

a. Morfologi Tanaman Aren

Aren (*Arenga pinnata*) yang termasuk suku Arecaceae merupakan tumbuhan berbiji tertutup (Angiospermae) yaitu biji buahnya terbungkus daging buah. Perakaran pohon aren menyebar dan cukup dalam sehingga dapat diandalkan sebagai vegetasi pencegah erosi, terutama untuk daerah yang tanahnya mempunyai kemiringan lebih dari 20% (Sunanto, 1993:12).

Menurut Soeseno (1992: 1-2), tinggi pohon aren mencapai 15 m dan garis tengahnya 65 cm. jika diukur bersama tajuk daun yang menjulang diatas batang, tinggi keseluruhan pohon mencapai 20 m. Waktu pohon masih muda, batangnya belum begitu terlihat karena tertutup oleh pangkal-pangkal pelepah daun. Batangnya mulai nampak ketika daun yang paling bawah sudah gugur.

Hal itu terjadi sesudah berumur 3 tahun, bahkan kadang-kadang pada umur 3,5 tahun daun yang tertua baru gugur dari ruas paling bawah Batang *Arenga pinnata* tidak mempunyai lapisan kambium sehingga tidak dapat tumbuh

membesar (Sunanto, 1993: 12).

Empulur batang mengandung zat pati yang cukup tinggi sebagai persediaan makanan cadangan. Zat inilah yang diubah menjadi gula dan sering disadap sebagai nira. Selain itu, pati juga dibutuhkan oleh para pembuat *aci* / tepung aren (*aci*: jawa) (Soeseno, 1992: 2).

b. Pemilihan dan Penebangan Pohon Aren

Pohon aren yang telah disadap atau berumur tua mengandung pati/tepung yang sedikit. Pada umumnya, tepung aren banyak terkandung dalam batang pohon aren yang umurnya relatif muda (15-25 tahun) tergantung tingkat kesuburannya, salah satunya pohon ini masih mampu menghasilkan kolang kaling dan nira untuk dijadikan gula aren.

Batang pohon aren yang telah ditebang kemudian dipotong-potong dengan panjang 1,25-2,0 m sehingga memudahkan dalam pengangkutan. Potongan batang aren yang akan diambil selanjutnya dipecah membujur menjadi 4 bagian yang sama besarnya. Dari luar ke dalam tampak bagian-bagian batang : kulit luar, kulit dalam, dan empulur. Empulur inilah yang mengandung sel-sel parenkim penyimpan tepung.

Menurut Sunanto (1993: 13-14), empulur batang dipisahkan dari kulit dalamnya dengan menggunakan kapak. Kemudian empulur ini dipotong-potong menjadi 6-8 bagian untuk memudahkan proses selanjutnya.

c. Pembuatan Tepung Aren

Potongan empulur diparut/digiling menggunakan mesin parut bermesin diesel. Pada masa silam, proses ini dilakukan dengan cara menumbuk di lesung sampai potongan empulur menjadi serbuk-serbuk kecil.

Hasil parutan berupa serbuk-serbuk yang keluar dari mesin dikumpulkan, kemudian diayak untuk memisahkan serbuk-serbuk itu dari serat-seratnya yang kasar. Proses selanjutnya adalah mengambil pati dari serbuk-serbuk halus.

Proses pengambilan tepung mirip dengan proses pembuatan santan kelapa. Proses pengambilan tepung aren dilakukan dalam bak air dengan ukuran garis tengah 1,25-1,50 meter dan kedalaman sekitar 1,25 m, atau dapat pula dengan bak berbentuk persegi (Sunanto, 1993: 58).

Kemudian bak diisi dengan air hampir penuh. Setiap 1 liter air yang digunakan ditambah dengan 3 gram senyawa Natrium bisulfit. Larutan yang diperoleh disebut larutan sulfit. Larutan sulfit dapat dibuat dengan biaya murah dengan cara mengalirkan gas SO_2 ke dalam air. Gas SO_2 tersebut dibuat dengan membakar belerang (S atau sulfur) (<http://www.ristek.go.id>).

Bagian atas bak diletakkan satu lembar saringan (anyaman kawat berlubang-lubang kecil) yang ukurannya sedikit lebih lebar dari pada mulut bak. Bagian tepi saringan diberi pigura kayu atau bambu untuk penguat dan diletakkan diatas bak sedemikian rupa sehingga bagian tengahnya sedikit terendam air dalam bak (Sunanto, 1993:59).

Serbuk-serbuk empulur diletakkan diatas saringan bagian tengah sehingga serbuk-serbuk tersebut terendam air. Serbuk-serbuk yang sudah terendam air (bubur aren) kemudian diremas-remas sehingga pati lolos dari saringan sebagai suspensi pati, dan serat/ampas aren tertinggal di atas saringan. Suspensi pati ini ditampung dan dibiarkan mengendap selama 12 jam pada wadah pengendapan. Endapan pati yang terbentuk berupa pasta. Kemudian cairan di atas endapan dibuang. Pasta pati berwarna coklat dan tampak kotor. Pasta ini kemudian direndam di dalam air yang mengandung kaporit (C_2OCl_2) 10-15 ppm, selanjutnya didiamkan sampai terbentuk endapan pasta pati lagi. Setelah itu, Cairan jernih di atas pati dibuang (<http://www.ristek.go.id>).

Penyaringan serbuk aren dilakukan berkali-kali sampai kandungan tepung pada serbuk tersebut habis. Ampas yang dihasilkan pada penyaringan terakhir disebut lemi. Ampas yang merupakan hasil samping kemudian dikumpulkan di suatu tempat yang tidak jauh dari tempat berlangsungnya proses penyaringan, biasanya dibuang di tepi sungai.

Pasta pati yang putih bersih diambil dari bak dan langsung ditiriskan agar air yang terkandung dalam pati berkurang. Biasanya tepung yang dibiarkan ini masih dalam bentuk gumpalan-gumpalan. Setelah ditiriskan dan menjadi kering, tepung ini kemudian diayak dengan ayakan sehingga menjadi tepung yang agak halus. Tepung yang agak halus ini kemudian dijemur pada panas matahari sampai kering. Penjemuran ini dapat menggunakan wadah berupa *tampah* dari anyaman

bambu dan diletakkan di atas bambu-bambu yang tingginya sekitar 1 meter. Penjemuran juga dapat dilakukan di atas lantai jemur.

Setelah keadaannya kering, tepung diayak dengan ayakan monel (saringan lembut) dengan ukuran 80, 100, atau 120 mesh, sehingga diperoleh tepung aren yang sangat lembut. Tepung yang sangat halus ini kemudian dikemas dalam karung plastik dan siap dipasarkan (Sunanto, 1993: 63).

Pranata (2002) menjelaskan bahwa batang aren mengandung rendeman pati/tepung sebesar 10,87% sedangkan tepung aren mengandung biopolimer protein yang cukup besar dibandingkan tepung lainnya. Selain itu, tepung aren tidak mengandung biolipolimer lemak (tepung sagu sebesar 0,2% dan tapioka sebesar 0,3%) dan mempunyai kandungan amilosa sebesar 29,07%

Sementara Knight (1989) dalam Pranata (2002) menyatakan bahwa tapioka mengandung amilosa sebesar 17% dan sagu sebesar 27% sehingga kadar amilosa tepung aren tertinggi dibanding tepung lain.

Selain itu, menurut Pranata (2002), kadar air tepung aren juga tertinggi dibanding tepung lain. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh keadaan air dalam bahan berada dalam bentuk terikat sehingga relatif sukar dihilangkan pada waktu penyaringan. Meyer (1985) dalam Pranata (2002) menyatakan bahwa sebagian air yang terkandung dalam suatu bahan sukar dihilangkan karena terikat dengan molekul lain melalui ikatan hidrogen berenergi besar.

Karakteristik tepung aren yang lain adalah mempunyai kandungan bahan organik (*impurities*). Adanya residu anorganik dapat ditunjukkan dengan kandungan abu dalam bahan. Tepung aren mengandung bahan-bahan yang dipengaruhi oleh lingkungan tempat pohon aren tersebut tumbuh. Tepung aren mempunyai kandungan abu yang paling rendah (0,17%) dibanding jenis pati lain (Pranata, 2002).

Tabel 1. Komposisi Kimia Beberapa Jenis Tepung

No	Komponen	Tepung aren	Tapioka	Tepung sagu
1.	Protein	1,06	0,5	0,7
2.	Lemak	N.D	0,3	0,2
3.	Amilosa	29,07	17	27
4.	Air	17,41	12	13
5.	Abu	0,17	1,5	1,5

Sumber: Pranata, 2002: 3

d. Limbah Padat Industri Tepung Aren

Pada dasarnya limbah berarti suatu bahan yang terbuang atau dibuang dari suatu sumber aktivitas manusia, maupun proses-proses alam dan tidak atau belum mempunyai nilai ekonomi, bahkan dapat mempunyai nilai ekonomi negatif. Limbah dikatakan mempunyai nilai ekonomi negatif karena penanganan untuk membuat atau membersihkannya memerlukan biaya yang cukup besar, disamping juga dapat mencemari lingkungan (Murtado, 1987: 1).

Menurut Kristanto (2002:169), “Limbah adalah buangan yang kehadirannya pada suatu saat dan tempat tertentu tidak dikehendaki lingkungan karena tidak memiliki nilai ekonomi”.

Menurut Undang-undang Republik Indonesia nomor 23 tahun 1997 tentang pengelolaan lingkungan hidup, limbah adalah suatu sisa usaha dan / kegiatan.

Menurut Murtado (1987: 1&5), limbah pada umumnya dibagi menjadi menjadi tiga, yaitu limbah yang berbentuk cair (limbah cair), limbah yang berbentuk padat (limbah padat) dan limbah yang berbentuk gas (limbah gas). Limbah padat merupakan salah satu bentuk limbah yang terdapat di lingkungan. Masyarakat awam biasanya hanya menyebut sampah saja. Bentuk, jenis dan komposisi limbah padat sangat dipengaruhi oleh tingkat budaya masyarakat dan kondisi alamnya. Selanjutnya menurut Kristanto (2002: 174), “Limbah padat adalah hasil buangan industri yang berupa padatan, lumpur, dan bubur yang berasal dari sisa proses pengolahan. Limbah ini dapat dikategorikan menjadi 2 bagian, yaitu limbah padat yang dapat didaur ulang dan limbah padat yang tidak memiliki nilai ekonomis”.

Berdasarkan jenisnya, limbah yang bersumber dari kegiatan industri tepung aren antara lain limbah cair dalam proses penyaringan yang di buang ke perairan, serta limbah padat berupa kulit batang aren dan ampas hasil penyaringan dalam proses pengambilan tepung. Karakteristik limbah lemi yang merupakan ampas terakhir pada penyaringan adalah warna kecoklatan, tekstur sangat lembut seperti adonan dengan kandungan air tinggi nampak ketika diremas meneteskan air, dan berbau.

Menurut Pranata (2002), “Tepung aren memiliki kadar air tertinggi dibanding tepung lain”. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh keadaan air dalam bahan berada dalam bentuk terikat sehingga relatif sukar dihilangkan pada waktu penyaringan. Meyer (1985) dalam Pranata (2002) menyatakan bahwa sebagian air

yang terkandung dalam suatu bahan sukar dihilangkan karena terikat dengan molekul lain melalui ikatan hidrogen berenergi besar.

Lebih kurang 30% dari limbah padat industri tepung aren berupa lemi. Selama ini ampas pada penyaringan awal dan seterusnya dimanfaatkan masyarakat untuk pakan ternak, medium jamur, dan ditaburkan ke sawah namun belum optimal, sedangkan lemi hanya dibuang ke perairan karena masyarakat melihat bentuk lemi sangat halus sehingga hewan ternak sekalipun tidak mau memakannya. Di samping itu, pemanfaatan lemi sebagai pupuk tidak cocok ketika langsung ditaburkan ke sawah.

Berdasarkan tekstur, komposisi, serta cara pengelolaan selama ini, lemi mempunyai kemungkinan yang lebih besar untuk menyebabkan pencemaran. Hal ini disebabkan karena lemi mengandung bahan organik yang dapat mengalami degradasi secara alami. Apabila lemi dibuang terus menerus ke perairan, mikroorganisme di alam dengan bantuan oksigen yang terlarut dalam air akan melakukan degradasi bahan organik tersebut sehingga menjadi bahan yang lebih sederhana. Dalam hal ini, kandungan oksigen yang terlarut dalam air akan berkurang sehingga organisme lain yang memerlukan oksigen akan terganggu pula.

Wardana (2001:76-77) mengatakan, “Jika bahan buangan yang harus didegradasi cukup banyak, mikroorganisme yang berperan akan ikut berkembang biak. Pada perkembangbiakan mikroorganisme ini tidak tertutup kemungkinan adanya perkembangbiakan mikroba patogen”. Hal itu dapat menyebabkan terjadinya kerusakan keseimbangan dalam ekosistem perairan, timbulnya berbagai macam penyakit, dan jika ditumpuk di tanah lapang akan menyebarkan bau yang tidak sedap.

2. Mikroorganisme Efektif BIOEDU-UNS

a. Pengertian Mikroorganisme

Menurut Schlegel (1994: 2), pemberian nama mikroorganisme menunjuk pada wujud jasad yang amat kecil dan sesuai dengan isi arti dari sebutan *protist*. Sifat-sifat umum mikroorganisme mempunyai ukuran kecil individu-individunya

digunakan dalam penamaan mikroorganismenya.

Ukuran yang kecil, bukan hanya merupakan alasan awal untuk membedakan mikroorganismenya dari hewan dan tumbuh-tumbuhan, tetapi memang mempunyai juga konsekuensi nyata yang berkaitan dengan morfologi dan fleksibilitas, penyebaran ekologik dan penanganannya dalam laboratorium (Schlegel, 1994: 12)

Mikroorganismenya adalah makhluk yang berukuran beberapa mikron atau lebih kecil lagi dari 1 mikron. Jadi yang termasuk golongan ini adalah :

- 1) bakteri,
- 2) cendawan tingkat rendah,
- 3) ragi, yang menurut sistematik masuk bangsa jamur juga,
- 4) ganggang yang bersahaja,
- 5) hewan yang ber sel satu atau protozoa, dan
- 6) virus yang hanya nampak dengan mikroskop elektron dan oleh karenanya dikatakan makhluk ultramikroskopik (Dwijoseputro, 1982: 4).

Semua mikroorganismenya memerlukan kondisi lingkungan tertentu untuk pertumbuhan dan perkembangannya, sehingga terdapat variasi persyaratan pertumbuhan untuk spesies yang berbeda. Dalam suatu ekosistem, mikroorganismenya dibedakan menjadi 2:

- 1) Mikroorganismenya otokhton : mikroorganismenya yang asli ada dan selalu ada dalam ekosistem tertentu. Contoh : bakteri otokhton selalu ditemukan di dalam tanah tidak tergantung apakah zat makanan tertentu dipasok dari luar atau tidak, keberadaannya didasarkan atas penambahan zat-zat makanan yang sedikit banyak ajeg untuk ekosistemnya,
- 2) Mikroorganismenya alokhton : keberadaannya tergantung dari peningkatan kadar zat makanan yang kadang-kadang terjadi atau dari adanya zat-zat makanan tertentu (Schlegel, 1994).

Laju perbanyakan bakteri bervariasi menurut spesies dan kondisi pertumbuhannya. Pada kondisi optimal hampir semua bakteri memperbanyak diri dengan pembelahan biner setiap 20 menit (Sherrington, 1981: 244).

Penelitian tentang siklus kehidupan suatu koloni bakteri (sejumlah besar bakteri yang saling mengelompok) diketahui bahwa jika bakteri ditempatkan pada medium yang baru, tidak akan ada perbanyakan selama 30 menit. Selama fase lag, sel melakukan metabolisme dengan cepat, tetapi aktifitas ini hanya menyebabkan sedikit kenaikan ukuran sel, bukan untuk meningkatkan jumlah sel. Sel akan memperbanyak diri dengan cepat tergantung pada organisme dan kondisi lingkungan (Sherrington, 1981: 245).

Menurut Sherrington (1981: 246), "Semua mikroorganismenya memerlukan

nutrien yang akan menyediakan:

- 1) energi, biasanya diperoleh dari substansi yang mengandung karbon,
- 2) nitrogen untuk sintesis protein,
- 3) vitamin dan yang berkaitan dengan faktor pertumbuhan, dan
- 4) mineral”.

Ada dua jenis nutrisi dasar, yaitu nutrisi heterotropik dan nutrisi autotropik, sedangkan organismenya dapat bersifat heterotrofik atau autotrofik. Organisme heterotrofik mirip dengan hewan karena mereka memerlukan substansi organik kompleks, seperti protein dan karbohidrat untuk makanannya. Semua jamur dan khamir serta beberapa bakteri, termasuk hampir semua patogen, adalah bersifat heterotrofik. Beberapa diantaranya dapat mempergunakan berbagai macam substansi dalam upaya untuk memperoleh makanan yang diperlukan, sedangkan lainnya menuntut lebih spesifik dan hanya tumbuh pada jenis makanan tertentu.

Beberapa diantaranya dapat mensintesis vitamin, seperti misalnya bakteri yang terdapat dalam usus, sedangkan yang lainnya harus memiliki vitamin yang dicukupi dari substrat. Perlu dicatat bahwa keperluan vitamin pada bakteri dan mikroorganisme lain, tidak sama dengan keperluan pada manusia.

Organisme autotrofik mirip dengan tumbuhan, karena organisme itu mampu mempergunakan substansi anorganik sederhana sebagai makanannya. Ada banyak bakteri bersifat autotrofik sehingga hanya sedikit substansi yang tidak bisa mengalami biodegradasi, dalam arti tidak dapat dipecah oleh suatu spesies bakteri. Beberapa jenis bakteri bahkan dapat hidup pada beton dan lainnya lagi dapat hidup pada disinfektan seperti misalnya asam karbol (*carbolic acid*).

Berdasarkan cara memperoleh energi, bakteri autotrofik dapat dibedakan menjadi 2 jenis :

- 1) Bakteri kemosintetik seperti bakteri nitrifikasi memperoleh energi dengan mengoksidasi senyawa anorganik. Spesies *Nitrosomonas* mengubah garam amonium menjadi nitrit dan spesies *Nitrobacter* mengubah nitrit menjadi nitrat,
- 2) Bakteri fotosintetik memiliki pigmen yang erat kaitannya dengan klorofil yang dijumpai pada tumbuhan dan oleh karenanya dapat mempergunakan energi

matahari. Energi ini dipergunakan untuk mensintesis substansi organik kompleks dan senyawa sederhana seperti air dan karbon dioksida.

Tiap-tiap mikroorganismenya memiliki:

- 1) suhu pertumbuhan maksimal,
- 2) suhu pertumbuhan minimal, dan
- 3) suhu pertumbuhan optimal yaitu suhu yang memberikan pertumbuhan terbaik dan memperbanyak diri tercepat. Suhu optimal biasanya lebih dekat ke suhu maksimal daripada suhu minimal.

Berdasarkan suhu pertumbuhan yang diperlukannya, mikroorganismenya dapat diklasifikasikan menjadi tiga kelompok yaitu a) Psikofil (organismenya yang suka dingin) dapat tumbuh baik pada suhu dibawah 20°C , kisaran suhu optimalnya adalah 10°C sampai 20°C , b) Mesofil (organismenya yang suka pada suhu sedang) memiliki suhu pertumbuhan optimal antara $(20-45)^{\circ}\text{C}$, dan c) Termofil (organismenya yang suka pada suhu tinggi) dapat tumbuh baik pada suhu diatas 45°C . kisaran pertumbuhan optimalnya adalah 50°C (Schlegel, 1994: 208).

Menurut Schlegel (1994: 209), "Berdasarkan keperluan oksigen, bakteri diklasifikasikan menjadi empat kelompok:

- 1) Aerob obligat hanya dapat tumbuh jika terdapat persediaan oksigen yang banyak,
- 2) Aerob fakultatif, tumbuh dengan baik jika oksigen cukup, tetapi juga dapat tumbuh secara anaerob,
- 3) Anaerob obligat hanya dapat tumbuh jika tidak ada oksigen, dan
- 4) Anaerob fakultatif, tumbuh sangat baik jika tanpa oksigen, tetapi mereka juga dapat tumbuh secara aerob".

Bakteri aerob bekerja tanpa menimbulkan bau. Hampir semua mikroorganismenya tumbuh baik pada pH antara 6,6 dan 7,5 (netral). Tidak ada bakteri yang dapat tumbuh pada pH dibawah 3,5 (Sherrington, 1981: 246-250).

b. Mikroorganismenya Efektif

Mikroorganismenya Efektif (*Effective Microorganism /EM*) merupakan kultur campuran berbagai jenis mikroorganismenya yang bermanfaat (bakteri fotosintetik, bakteri asam laktat, ragi, aktinomicetes, dan jamur peragian) yang dapat dimanfaatkan sebagai inokulan untuk meningkatkan keragaman mikrobial tanah. Pemanfaatan EM dapat memperbaiki kesehatan dan kualitas tanah, dan selanjutnya memperbaiki pertumbuhan dan hasil tanaman. EM merupakan kultur campuran berbagai jenis mikrobial yang berasal dari lingkungan alami. Kultur EM mengandung mikroorganismenya yang secara genetika bersifat asli (tidak dimodifikasi). Pemanfaatan EM dapat

dilaksanakan melalui 4 cara, yaitu:

- 1) sebagai larutan stok EM 1,
- 2) larutan EM5,
- 3) bokashi EM, dan
- 4) ekstrak tanaman yang difermentasi dengan EM (Sutanto, 2003: 85).

Teknologi mikroorganisme efektif adalah suatu kultur campuran berbagai mikroorganisme yang bermanfaat bagi pertumbuhan tanaman. Mikroorganisme efektif diaplikasikan sebagai inokulan untuk meningkatkan keragaman dan populasi mikroorganisme dalam tanah. Kultur mikroorganisme efektif tidak mengandung mikroorganisme yang secara genetis telah dimodifikasi, melainkan campuran berbagai spesies mikroba yang terdapat dalam lingkungan alami.

Adapun pengaruh mikroorganisme efektif yang menguntungkan adalah sebagai berikut:

- 1) memperbaiki kondisi lingkungan fisik, kimia dan biologi tanah, serta menekan pertumbuhan hama dan penyakit dalam tanah,
- 2) memperbaiki perkecambahan, pembungaan, pembentukan buah dan kematangan hasil tanaman, dan
- 3) meningkatkan kapasitas fotosintesis tanaman,
- 4) meningkatkan manfaat bahan organik sebagai sumber pupuk (Sutanto, 2002: 85).

Menurut Indriani (2000: 33), "Selain berfungsi dalam proses fermentasi dan dekomposisi bahan organik, mikroorganisme efektif juga mempunyai manfaat yang lain seperti :

- 1) memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah,
- 2) menyediakan unsur hara yang dibutuhkan tanaman, dan
- 3) menyetatkan tanaman, meningkatkan produksi tanaman, dan menjaga kestabilan produksi

Mikroorganisme efektif mampu mendegradasi selulosa karena mikroorganisme ini mempunyai enzim selulosa yang dapat mempercepat hidrolisis selulosa dan polisakarida lain yang terdapat dalam bahan baku kompos. Perombakan bahan akan melepaskan beberapa unsur seperti N, P, K, dan S. Unsur hara yang terlepas ini akan dimanfaatkan oleh mikroorganisme untuk metabolisme tubuhnya. Aktivitas mikroorganisme akan meningkatkan proses perombakan bahan akan semakin cepat. Sebagian karbon dilepaskan dalam bentuk gula sederhana yang diambil oleh

mikoorganisme. Sementara sisa karbon dilepaskan ke lingkungan bentuk gas CO₂ sehingga kandungan C bahan menjadi turun dan menyebabkan ratio C/N turun (Musnamar, 2005: 66).

c. Mikroorganisme Efektif BIOEDU-UNS

Mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS merupakan kumpulan strain bakteri yang bersifat aerobik obligat dan aerobik fakultatif. Jadi mikroorganisme ini mampu tumbuh dengan baik jika oksigen cukup, tetapi juga dapat tumbuh secara anaerob. Aktivitas enzimatik dari mikroorganisme ini mampu merombak karbohidrat, protein, lemak, fenol, minyak bumi dan selulosa (Sajidan, 2004).

3. Degradasi

Degradasi atau dekomposisi atau penguraian bahan organik secara alamiah dilakukan oleh jasad-jasad pengurai. Dalam siklus materi pada jaringan makanan, proses penguraian bahan organik berfungsi untuk mengembalikan unsur-unsur yang terdapat pada senyawa organik menjadi unsur-unsur hara sehingga dapat dimanfaatkan kembali oleh tumbuhan pada proses fotosintesa.

Degradasi berarti penurunan pangkat, derajat, kedudukan atau penurunan mutu yang diakibatkan oleh penanganannya (Poerwadarminto, 1996: 216). Degradasi merupakan penurunan kualitas dan produktivitas potensial dan atau penguraian kemampuan secara alami atau karena pengaruh aktivitas manusia.

Berbagai jenis jasad pengurai aktif dalam proses penguraian bahan-bahan organik, baik dari kelompok makroorganisme maupun kelompok mikroorganisme. Jenis-jenis jasad pengurai tersebut dapat dikelompokkan dalam beberapa tipe seperti terlihat dalam Tabel 2.

Tabel 2. Jenis-Jenis Jasad Pengurai

Tipe Organisme	Jenis	Jml/gr kompos basah
Mikroflora	Bakteria	10 ⁸ -10 ⁹
	Actinomycetes	10 ⁵ -10 ⁸
Mikrofauna	Fungi, Mould, Yeast	10 ⁴ -10 ⁶
Makrofauna	Protozoa, Mites, ants, Termites, Milipedes, Centripedes, Spider	10 ⁴ -10 ⁵

Sumber : Dalzell *et al*, 1997: 18&19.

Pada reaksi pendegradasian diperlukan suatu enzim untuk menguraikan

limbah, dimana enzim merupakan suatu zat yang dihasilkan oleh suatu bakteri guna pendegradasian. Enzim dapat diartikan sebagai suatu protein yang mempunyai kemampuan mengkatalisasi reaksi dimana substrat diubah menjadi produk melalui pembentukan kompleks enzim-substrat sebagai produk antara (Coombs, 1995: 2).

Selanjutnya ahli lain menjelaskan bahwa “enzim merupakan katalis yang dihasilkan oleh organisme hidup. Katalis dapat diartikan sebagai substrat yang dapat meningkatkan kecepatan reaksi kimia” (Mc Donald et al, 1995).

Keadaan-keadaan yang dapat mempengaruhi aktivitas enzim diantaranya adalah konsentrasi enzim, konsentrasi substrat, pH, dan suhu. Pada suhu yang tinggi dan pH yang ekstrim akan dapat merusak enzim. Enzim mempunyai pH dan suhu optimum bagi aktivitasnya dan bagi besarnya produksi setiap enzim oleh sel, sehingga setiap enzim mempunyai kemampuan yang berbeda (Pelzchar dan Chan, 1986: 320).

4. Kompos

a. Pengertian Kompos

Kompos merupakan suatu hasil dari proses fermentasi tumpukan atau seresah tanaman dan ada kalanya pula termasuk bangkai binatang (Mulyani dan Kartasapoetra, 1991: 132)

Kompos ialah bahan organik yang telah menjadi lapuk, seperti daun-daun, jerami, alang-alang, rerumputan, dedak padi, batang jagung, sulur, carang-carang serta kotoran hewan. Bila bahan-bahan itu sudah hancur dan lapuk disebut pupuk organik. Jenis jenis bahan ini menjadi lapuk dan busuk bila berada dalam keadaan basah dan lembab seperti halnya daun-daun menjadi lapuk bila jatuh ke tanah dan berubah menjadi bagian tanah (Murbandono, 1995: 9).

Menurut Hadisumarto (1992:1), ”Kompos adalah bentuk akhir dari pada bahan-bahan organik setelah mengalami pembusukan. Sebagai suatu proses biologis maka pembusukan atau disebut pula dekomposisi dapat berlangsung secara aerobik maupun anaerobik”. Dalam hal ini, pembuatan kompos dapat saja dilakukan melalui salah satu cara tersebut dengan kelebihan dan kekurangannya masing-masing.

Selain itu, Soeyanto (1992:45) mengatakan ”Pengomposan adalah suatu perombakan zat organik (sampah) menjadi suatu zat kimia”. Proses ini atas bantuan binatang-binatang kecil serta jasad-jasad renik, misalnya: serangga-

serangga, cacing-cacing tanah, bakteri-bakteri, jamur dan sebagainya. Dari proses pengomposan ini setelah busuk menjadi humus yang akhirnya zat-zat tersebut berasosiasi dengan kimia (zat-zat) didalam tanah menjadi mineral. Pengomposan ini dapat dilakukan secara aerobik maupun anaerobik, demikian juga sebaliknya (Murtado, 1987: 46).

Pengomposan ditakrifkan sebagai proses biologi oleh kegiatan mikroorganisme dalam mengurai bahan organik menjadi bahan semacam humus. Bahan yang terbentuk mempunyai berat volume yang lebih rendah daripada bahan dasarnya, stabil, dekomposisi lambat, dan sumber pupuk organik (Sutanto, 2002:46).

Pengomposan merupakan proses perombakan (dekomposisi) senyawa organik yang ada dalam bahan. Perombakan menyangkut tiga hal yang berlangsung secara bersamaan, yaitu:

- 1) Pematangan fisik oleh biota dan atau abiotik (*comminution process*),
 - 2) Pelumatan bahan dan penyederhanaan senyawa kompleks secara enzimatis (*catabolism process*),
 - 3) Pencucian bahan-bahan terlarut dalam air (*hydrolysis*)
- (Murniyanto dan Ahlan, 2001).

Periode pengomposan dapat dipercepat dengan mempengaruhi laju dekomposisi bahan organik yang dikomposkan dengan jalan fermentasi (Rao, 1994:225).

Di lingkungan alam terbuka, kompos bisa terjadi dengan sendirinya. Melalui proses alami, rumput, daun-daunan dan kotoran hewan serta sampah lainnya lama kelamaan membusuk karena kerjasama antara mikroorganisme dengan cuaca. Proses tersebut bisa dipercepat oleh perlakuan manusia hingga menghasilkan kompos yang berkualitas baik dalam waktu tidak terlalu lama. Sebab jika sewaktu-waktu kompos tersebut kita perlukan segera kita tidak mungkin menunggu kompos dari hasil proses alam yang membutuhkan jangka waktu agak lama itu (Murbando, 1995:9-10)

Faktor-faktor yang mempengaruhi laju pengomposan:

- 1) Ukuran bahan,

- 2) Rasio C/N,
- 3) Kelembaban dan aerasi,
- 4) Temperatur pengomposan,
- 5) pH, dan
- 6) Mikroorganisme yang terlibat dalam pengomposan.

Kompos dibuat dari bahan organik yang berasal dari bermacam-macam sumber. Dengan demikian kompos merupakan sumber bahan organik dan nutrisi tanaman. Kemungkinan bahan dasar kompos mengandung selulosa 15%-60%, hemiselulosa 10%-30%, disamping itu, terdapat bahan larut air panas dan dingin (gula, pati, asam amino, urea, garam ammonium) sebanyak 2%-30%, dan 1%-15% lemak larut eter dan alkohol, minyak dan lilin. Komponen organik ini mengalami proses dekomposisi di bawah kondisi mesofilik dan termofilik. Pengomposan dengan metode timbunan permukaan tanah, lubang galian tanah, indore menghasilkan bahan yang terhumifikasi berwarna gelap setelah 3-4 bulan dan merupakan sumber bahan organik untuk pertanian berkelanjutan (Sutanto, 2002: 47).

Secara garis besar, metode pengomposan yang biasa dilakukan dapat digolongkan sebagai berikut:

- 1) Cara pasif: biasa dengan menimbunkan sampah dan membiarkannya membusuk dengan sendirinya. Dengan cara ini, pengomposan terjadi melalui proses yang anaerobik yang relatif lama
- 2) Cara aktif: dengan mencampurkan bahan tertentu pada sampah, atau secara periodik melakukan pembalikan dan atau penyiraman. Proses yang terjadi adalah bersifat aerobik ataupun sekaligus aerobik dan anaerobik secara bersamaan, dan
- 3) Kombinasi antara keduanya. Tumpukan diatur sedemikian rupa agar pembusukan dapat terjadi secara lebih cepat dari cara (1) tetapi dengan usaha yang lebih sedikit dari cara (2) (Hadisumarto, 1992: 1-4, 1-5).

Menurut Myers dkk (1994) dalam Sarno (2000) menjelaskan bahwa

Bahan tanaman dibedakan atas :

- (1) bahan yang berkualitas tinggi, yaitu bahan tanaman yang mempunyai nisbah C/N rendah, bahan ini akan cepat melepaskan unsur hara bila dikembalikan ke tanah,
- (2) bahan tanaman berkualitas rendah, yaitu bahan yang mempunyai nisbah C/N atau kadar lignin yang tinggi. Bahan ini bila diberikan ke tanah akan lambat melepaskan unsur hara atau terjadi immobilisasi (pengambilan unsur hara) pada tingkat awal dekomposisi, tetapi dalam jangka panjang akan banyak menghasilkan humus. Jadi bahan kompos dengan rasio C/N tinggi akan terurai atau membusuk lebih lama dibandingkan dengan bahan ber-C/N rasio rendah.

Selain itu menurut Novizan (2001: 76) menjelaskan tahapan proses

pembuatan kompos sebagai berikut :

- 1) Karbohidrat, protein, dan lilin (bahan dengan C/N rasio tinggi) diurai menjadi senyawa sederhana, seperti NH_3 , CO_2 , H_2 , dan H_2O . Pada tahap ini, mikroorganisme pengurai menyerap unsur hara dari lingkungan sekitarnya untuk pertumbuhan,
- 2) Setelah perombakan selesai, mikroorganisme pengurai akan mati. Konsekuensinya, unsur hara penyusun tubuh mikroorganisme akan dilepaskan. Pada tahap ini C/N rasio menjadi lebih rendah karena banyak karbon yang berubah menjadi CO_2 dan menguap ke udara. Namun, bertolak belakang dengan karbon, kandungan nitrogennya justru melimpah,
- 3) Jika C/N rasio telah mencapai angka 12-20 berarti unsur hara yang terikat pada humus telah dilepaskan melalui proses mineralisasi sehingga dapat digunakan oleh tanaman.

Proses pengomposan dapat terjadi dalam kondisi aerob maupun anaerob. Pengomposan aerob terjadi dalam keadaan terdapat oksigen, sedangkan pengomposan anaerob dalam kondisi tanpa oksigen. Proses aerob akan menghasilkan CO_2 , air, dan panas. Proses anaerob seringkali menimbulkan bau tajam sehingga proses pengomposan banyak dilakukan cara aerob.

Selama proses pengomposan berlangsung, perubahan terjadi secara kualitatif dan kuantitatif. Pada tahap awal akibat perubahan lingkungan beberapa spesies flora menjadi aktif dan berkembang dalam waktu yang relatif singkat dan kemudian hilang untuk memberikan kesempatan pada jenis lain untuk berkembang. Mikroorganisme yang berperan adalah mikroorganisme selulolitik, lignolitik, dan fungi.

b. Dekomposisi Bahan Organik

Selama proses dekomposisi, sejumlah bahan atau zat-zat sel mikroba benar-benar dipadukan, yang kemudian bahan atau zat-zat tersebut dipecah kembali oleh berbagai organisme lain. Proses-proses dekomposisi berlangsung terus sampai kebanyakan kompleks-kompleks organik dalam bahan-bahan tanaman semula diubah secara berangsur-angsur kedalam senyawa-senyawa anorganik (unsur-unsur sederhana).

Mulyani (1999: 87) menjelaskan bahwa proses-proses dekomposisi yang terdiri atas bahan organik oleh mikroorganisme dan pembebasan yang penghabisan, yang menentukan atas elemen-elemen kimiawi dalam bentuk

mineral, dan menyempurnakan siklus transformasi pada elemen-elemen kimiawi yang esensial yang digunakan untuk meneguhkan kehidupan organik dalam alam.

Penguraian dalam proses pembentukan kompos adalah sebagai berikut :

- 1) Hidrat arang (selulosa, hemiselulosa, dan lain-lain), diurai menjadi CO_2 dan air atau CH_4 dan H_2 ,
- 2) Zat putih telur diurai melalui amida-amida, asam-asam amino menjadi amonia, CO_2 , dan air,
- 3) Berjenis-jenis unsur hara, terutama N, P, K sebagai hasil penguraian akan diikat dalam tubuh jasad renik dan sebagian yang tidak terikat menjadi tersedia di dalam tanah, dan
- 4) Unsur-unsur hara dari senyawa-senyawa organik akan terbebas menjadi senyawa-senyawa organik sehingga tersedia di dalam tanah bagi keperluan pertumbuhan dan perkembangan tanaman.
- 5) Lemak dan lilin akan terurai menjadi CO_2 dan air (Mulyani dan Kartasapoetra, 1991: 138).

Rao (1994:230-231) menjelaskan tiga proses paralel selama terjadinya dekomposisi bahan organik, yaitu :

- 1) Degradasi sisa-sisa tumbuhan dan hewan oleh selulosa dan enzim-enzim mikroba lainnya, merupakan proses mineralisasi yaitu adanya perubahan kompleks organik dari suatu unsur menjadi bentuk organik,
- 2) Peningkatan biomassa mikroorganisme yang terdiri polisakarida dan protein, meliputi pengambilan nutrisi seperti nitrogen, fosfor, dan belerang yang merupakan proses mobilisasi, dan
- 3) Akumulasi atau pembebasan akhir, merupakan hal yang berkaitan erat dengan proses-proses nitrifikasi dan denitrifikasi.

Bahan-bahan tanaman yang tinggi kandungan nitrogennya dengan cepat didekomposisi, sebagian besar nitrogen dibebaskan sebagai amonia, dan termasuk sedikit humus yang ditinggalkannya. Bahan-bahan yang rendah kandungan nitrogennya didekomposisi secara lambat, pembebasan nitrogen tidak tersedia dan meninggalkan sejumlah besar humus.

Bahan organik tanah menurut kecepatan dekomposisinya, dapat diuraikan sebagai berikut:

- 1) Gula, pati, protein (cepat terurai),
- 2) Hemiselulosa (cepat terurai),
- 3) Selulosa (sangat lambat), dan
- 4) Lignin, lemak, lilin (lambat terurai) (Buckman dan Brady, 1982: 163).

Mekanisme dekomposisi karbohidrat oleh mikroorganisme sama sekali

tergantung atas sifat atau keadaan karbohidrat, organisme-organisme dan kondisi dekomposisi, terutama tersedianya oksigen. Tepung dengan mudah, cepat didekomposisi oleh sejumlah besar mikroorganisme. Produk-produk dari penghidrolisisan tepung selanjutnya dibongkar oleh berbagai mikroorganisme melalui beberapa reaksi.

Mikroorganisme yang mendekomposisi karbohidrat mempunyai kemampuan dalam menghasilkan enzim-enzim amylolitik (Mulyani dan Kartosapetro, 1991).

Selulosa adalah bahan organik alami yang jumlahnya kira-kira 1/3 dari seluruh bahan organik tumbuh-tumbuhan yang ada di dunia, dan merupakan bahan yang paling sulit didegradasi atau dirombak menjadi kompos (http://kompos2.tripod.com/deskripsi_teknis_katalek.htm as htm as).

Selulosa adalah salah satu senyawa organik yang banyak sekali terdapat di alam, yang merupakan komponen utama yang terdapat dalam sel tumbuh-tumbuhan, bersama sama dengan lignin (<http://www.google.com/search?q=cache:gWB44v>).

Schlegel (1994: 470) mengemukakan bahwa selulosa merupakan komponen dasar dari bahan-bahan asal tumbuh-tumbuhan, dan produksi selulosa melampaui semua zat-zat alamiah lain. Zat-zat yang menetap di dalam tanah dan sisa tumbuh-tumbuhan yang dikembalikan ke dalam tanah, 40 %-70 % terdiri dari selulosa. Komponen selulosa yang demikian tinggi menggarisbawahi pentingnya pengurai selulosa pada proses mineralisasi dan peredaran karbon.

Selulosa resisten terhadap serangan sejumlah besar mikroorganisme penghuni tanah. Selulosa dapat didekomposisi dengan mudah atau cepat hanya oleh mikroorganisme-mikroorganisme tertentu yang spesifik yang ditemukan diantara bakteri, cendawan, aktinomisit, dan binatang-binatang tingkat rendah.

Sistem yang beragam telah dikemukakan para pakar untuk menggolong-golongkan berbagai organisme pendegradasi selulosa. Berdasarkan pendapat mereka, dapat digolongkan 8 golongan yaitu: bakteri aerobik, myxobakteria, bakteri anaerob termasuk bentuk-bentuk termofilik, aktinomisit, cendawan berfilamen, cendawan tingkat tinggi (mushroom fungi), protozoa, serangga-

serangga dan bentuk-bentuk binatang lain. Menurut Schlegel (1994: 471), pada kondisi aerob fungi mempunyai saham yang nyata pada penguraian selulosa.

Mekanisme pembongkaran selulosa oleh berbagai mikroorganisme sama sekali tergantung atas sifat atau keadaan organisme dan kondisi-kondisi dekomposisi. Bakteri aerobik dan cendawan membongkar selulosa dengan sempurna dan menghasilkan CO₂, pigmen-pigmen tertentu, sejumlah substansi (zat) sel mikrobial. Sekitar sebanyak 30-40% dari selulosa yang dipecah/ dipisahkan oleh organisme pemisah (decomposing organism) diubah ke dalam bahan sel (Mulyani dan Kartasapoetra, 1991: 92).

Sejumlah besar bakteri dan cendawan biasanya menyerang hemiselulosa, selain itu kebanyakan bentuk binatang sering mencernanya. Terdapat variasi yang lebih besar dalam pencernaan dan dalam kecepatan pembongkaran hemiselulosa dibandingkan dengan kegiatan tersebut pada selulosa. Hal ini dikarenakan perbedaan-perbedaan yang besar dalam sifat/keadaan kimiawi diantara berbagai hemiselulosa. Mn (mangan) misalnya diserang sangat cepat, sama halnya dengan zat tepung, sedang yang lainnya seperti galaktan adalah lebih tahan pada dekomposisi dan dapat diserang hanya oleh organisme-organisme khusus yang tingkatannya lebih tinggi. Dalam pembusukan buah dan sayuran, baik semasa pertumbuhan atau semasa penyimpanan, pembongkaran pektin adalah demikian penting. Pertama-tama dilangsungkan pada golongan enzim ditunjukkan, sebagai pektase, pektinase dan pektolase sebagai berikut :



Reaksi serupa diliput dalam batang-batang jerami yang sudah tidak berfungsi dan berbagai serat oleh bakteria aerobik dan cendawan, bakteria anaerobik mengubah gula dan asam gula pada pektin ke alkohol dan asam-asam yang lebih rendah (Mulyani dan Kartasapoetra, 1991: 97-98).

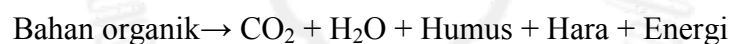
Sifat dan fungsi protein sangat berbeda bergantung pada asam amino yang menyusunnya. Pada hidrolisa dengan enzim-enzim yang spesifik protein akan dipecah dalam berbagai polipeptida, dan akhirnya membentuk asam amino. Mikroorganisme akan mendekomposisi asam amino yang terbentuk, dalam proses ini dibebaskan energi. Proses penguraian asam amino akan menghasilkan amonia. Jumlah ammonia yang dihasilkan sekitar 50%-80% dari keseluruhan nitrogen pada pembongkaran protein.

Lemak yang didekomposisi akan menghasilkan sejumlah produk di antaranya yaitu: minyak, asam-asam lemak, dan gliserol. Gliserol akan teroksidasi ke CO₂ dan air, sedangkan asam-asam lemak akan menghasilkan produk-produk yang resisten dan kadang-kadang menimbulkan toksik (racun).

Pengomposan merupakan proses dekomposisi terkendali secara biologis terhadap limbah padat organik dalam kondisi aerobik (terdapat oksigen) atau anaerobik (tanpa oksigen).

Dekomposisi secara aerobik adalah modifikasi yang terjadi secara biologis struktur kimia atau biologi bahan organik dengan kehadiran oksigen. Dalam proses ini banyak koloni bakteri yang berperan dan ditandai dengan adanya perubahan temperatur. Pada temperatur 35°C bakteri yang berperan adalah Psikofilik. Antara temperatur (35-55)°C bakteri yang berperan adalah mesofilik. Pada temperatur tinggi (di atas 85°C) yang berperan adalah bakteri termofilik.

Hasil dari dekomposisi bahan organik secara aerobik adalah CO₂, H₂O, humus, dan energi. Proses dekomposisi bahan organik secara aerobik dapat disajikan dengan reaksi sebagai berikut :



Dekomposisi secara anaerobik merupakan modifikasi biologis pada struktur kimia dan biologi bahan organik tanpa kehadiran oksigen (hampa udara). Proses ini merupakan proses yang dingin dan tidak terjadi fluktuasi temperatur seperti yang terjadi pada proses pengomposan secara aerobik. Pada proses anaerobik perlu tambahan panas dari luar sebesar 30°C.

Proses pengomposan secara anaerobik akan menghasilkan metana (alkohol), CO₂, dan senyawa lain seperti asam organik yang memiliki berat molekul rendah (asam asetat, asam propionat, asam butirat, dan asam laktat). Proses anaerobik umumnya dapat menimbulkan bau yang tajam sehingga proses pengomposan lebih banyak dilakukan secara aerobik.

Dekomposisi secara aerobik dapat terjadi pada kelembaban 30%-100% dengan pengadukan yang cukup. Secara umum, kelembaban yang baik untuk berlangsungnya proses dekomposisi secara aerobik adalah (50-60)% dengan tingkat terbaik 50%. Sebenarnya kelembaban yang baik pada pengomposan

tergantung pada jenis bahan organik yang paling banyak digunakan dalam campuran bahan kompos.

Proses pengomposan akan berjalan baik jika bahan berada dalam temperatur yang sesuai untuk pertumbuhan mikroorganisme perombak (35°C - 55°C).

Kisaran pH kompos yang optimum adalah 6-8. Memperbanyak mikroorganisme yang terlibat dalam proses pengomposan bisa dilakukan dengan cara menambahkan inokulan atau kultur bakteri (Djuarni,2005:23-30).

c. Keuntungan Pupuk Kompos

Bahan organik yang terkandung dalam kompos dapat mengikat partikel tanah. Ikatan partikel tanah ini dapat meningkatkan penyerapan akar tanaman terhadap air, mempermudah penetrasi akar (*root penetration*) pada tanah, dan memperbaiki pertukaran udara (*aeration*) dalam tanah, sehingga dapat mendukung pertumbuhan tanaman. Kompos dapat mendukung berjalannya gerakan pertanian organik (*organic farming*) yang tidak menggunakan bahan kimia dan pestisida dalam pertanian.

Peranan sifat kompos terhadap sifat-sifat tanah antara lain :

- 1) Bahan organik memperbesar daya ikat tanah yang berpasir sehingga struktur tanah dapat diperbaiki,
- 2) Bahan organik dapat memperbaiki struktur tanah berlempung, sehingga tanah yang tadinya berat dengan perubahan bahan organik akan menjadi ringan,
- 3) Bahan organik dalam tanah akan mempertinggi kemampuan penampungan air, sehingga tanah menjadi banyak menyediakan air bagi tanaman,
- 4) Bahan organik dalam tanah memperbaiki tata udara tanah terutama pada tanah berat,
- 5) Bahan organik dapat meningkatkan pengaruh pemupukan pada pupuk buatan,
- 6) Bahan organik mempertinggi daya ikat tanah terhadap zat hara sehingga tidak mudah larut dalam air atau air hujan (Rismunandar, 1981: 39).

Menurut Mulyani dan Kartasapoetra (1991: 128-130), "Pengaruh bahan-bahan organik terhadap tanah adalah:

- 1) Merupakan gudang nutrisi makanan,
- 2) Dekomposisi bahan-bahan organik oleh berbagai mikroorganisme berlangsung lambat akan tetapi akan berlangsung secara berangsur-

angsur, keadaan demikian menyebabkan terbebasnya suatu arus karbon dioksida sebagai amonia yang segera diubah menjadi nitrat, terbebasnya fosfor dan elemen-elemen lainnya yang esensial bagi pertumbuhan tanaman,

- 3) Pengaruh-pengaruh fisisnya yang penting terhadap tanah,
- 4) Dengan pengaruh-pengaruhnya ini struktur tanah menjadi lebih baik, aerasinya menjadi lebih baik, mempunyai suatu efek pengikat yang baik atas partikel-partikel tanah, kapasitas penahan air pada tanah meningkat, membentuk tanah mengabsorpsi panas lebih besar, meningkatkan sifat-sifat penyangganya pada tanah, mencegah peningkatan yang serba cepat dalam keadaan atau alkalinitas,
- 5) Pengaruh-pengaruh kimiawi tertentu atas unsur-unsur tanah, misalnya menjadikan fosfor dan unsur-unsur lainnya lebih cepat dapat melarut, menetralkan substansi-substansi yang cenderung menjadi toksik pada tanaman. Selain itu pengaruh-pengaruh kimiawi tadi menyebabkan pula suatu daya penahan yang sangat tinggi,
- 6) Pengaruh yang penting terhadap keadaan biologis pada tanah, menjadikannya suatu medium yang lebih baik bagi perkembangan sistem-sistem perakaran dan bagi perkembangan mikroorganisme esensial bagi proses-proses tanah”.

Kandungan nisbi unsur N, P, dan K dalam kompos tidaklah tinggi. Hal ini berbeda dengan pupuk buatan. Namun demikian salah satu keuntungan dari kompos adalah sangat kaya unsur-unsur hara mikro seperti Fe, B, S, Ca, Mg, dan lain sebagainya. Unsur-unsur ini sangat penting bagi pertumbuhan tanaman secara umum.

Kompos yang dicampurkan ke dalam tanah dapat meningkatkan kesuburan (*fertility*) tanah dan memperbaiki kondisi fisik tanah tersebut. Kompos dapat meningkatkan aktivitas mikroorganisme yang terdapat dalam tanah. Mikroorganisme tersebut berfungsi dalam mengeluarkan zat gizi dan material lainnya ke dalam tanah. pemberian kompos dapat mencegah pengerasan (*crusting*) tanah di permukaan. Jika kompos mengandung sejumlah kecil tanah, maka kompos tersebut akan bermanfaat sebagai bagian dari media pertumbuhan untuk tanaman dan akan mengawali tumbuhnya buah dari tanaman tersebut.

d. Unsur Hara Makro pada Kompos

Kompos selain sebagai sumber utama dari unsur hara mikro juga menghasilkan unsur hara makro :

- 1) nitrogen (N),
- 2) fosfor (P),
- 3) sulfur (S), dan
- 4) kalium (K).

Mulyani (1999:23-24) menjelaskan bahwa nitrogen merupakan unsur hara utama bagi pertumbuhan tanaman, yang pada umumnya sangat diperlukan untuk pembentukan atau pertumbuhan bagian-bagian vegetatif tanaman, seperti daun, batang, dan akar, tetapi kalau terlalu banyak dapat menghambat pembungaan dan pembuahan pada tanaman. Fosfor terdapat dalam bentuk phosfit, nukleotid, dan fosfatida yang merupakan bagian dari protoplasma dan inti sel. Sebagai bagian dari inti sel sangat penting dalam pembelahan sel, demikian pula bagi perkembangan jaringan meristem.

Selanjutnya menurut Bahar (1986: 23-24), fosfor penting untuk proses transfer energi pada sel mikroba.

Di dalam tanah fungsi P untuk tanaman adalah sebagai zat pembangun dan terikat dalam senyawa-senyawa organik (Mulyani dan Kartasapoetra, 1999: 26).

Fosfor tidak dapat diserap dari udara, sehingga harus diberikan kedalam bentuk pupuk ataupun residu bahan-bahan organik. Fosfor juga dapat ditemukan dalam tanah dalam jumlah yang berbeda-beda (Mulyani dan Kartasapoetra, 1991: 207).

Sulfur atau belerang diserap dalam bentuk ion SO_4^{2-} ditransformasikan secara aktif dan pasif. Belerang merupakan penyusun asam amino sistin, sistein dan metionin. Sulfur juga merupakan sumber energi dari berbagai bakteri. Kegunaan unsur belerang yaitu :

- 1) Membantu pembentukan butir hijau daun sehingga daun menjadi lebih hijau,
- 2) Menambah kandungan protein dan vitamin,
- 3) Berperan dalam sintesa minyak yang berguna pada proses pembuatan gula,
- 4) Memacu pertumbuhan anakan produktif (Mulyani dan Kartasapoetra, 1991: 200).

Kalium bukan elemen yang langsung membentuk bahan organik. Dalam hal ini dapat pula ditegaskan bahwa kalium berperan membantu:

- 1) Pembentukan protein dan karbohidrat,
- 2) Mengeraskan jerami dan bagian kayu dari tanaman,
- 3) Meningkatkan resisten tanaman terhadap penyakit, dan
- 4) Meningkatkan kualitas biji dan buah (Mulyani dan Kartasapoetra,

1999: 27).

Selain itu menurut Bahar (1986: 24), kalium akan membantu tekanan osmosis sel mikroba.

Menurut Lingga (2002: 67), kadar hara kompos sangat ditentukan oleh bahan yang dikomposkan, cara pengomposan, dan cara penyimpanannya. Kadar hara kompos tidak pernah tinggi, karena dalam pembuatan kompos sering ditambahkan zat kimia unsur N, P, K sehingga kadar NPK-nya lebih tinggi.

Tabel 3. Komposisi Hara Menurut Hasil Penelitian Kebun Percobaan Muara Bogor

Muara Bogor	%
Cairan	41
Bahan kering	59
Karbon	8,2
Nitrogen	0,09
Fosfor	0,36
Kalium	0,81
C/N	2,3

Sumber: Lingga dan Marsono, 2002: 68.

e. Kematangan Kompos

Kematangan adalah tahapan tertentu antara keadaan bahan organik yang “mentah” dan keadaannya setelah “mati”.

Keadaan matang adalah tahapan tertentu diantara keadaan mentah dan keadaan busuk sempurna. Pada tahapan tertentu inilah, kompos paling besar manfaatnya bagi tanah dan tumbuh-tumbuhan. Oleh karena itu, pengertian kompos matang selalu dikaitkan dengan kemanfaatannya (Hadisumarno, 1992).

Indriani (200: 5) menjelaskan bahwa “Nilai C/N merupakan hasil perbandingan antara karbohidrat dan nitrogen. Nilai C/N tanah sekitar 10-12”.

Apabila bahan organik mempunyai kandungan C/N mendekati atau sama dengan C/N tanah maka bahan tersebut dapat digunakan atau diserap tanaman.

Namun umumnya bahan organik yang segar mempunyai C/N yang tinggi. Nisbah C/N yang tinggi pada produk akhir menunjukkan mikroorganisme akan aktif memanfaatkan nitrogen untuk membentuk protein. Apabila produk pupuk organik dengan nisbah C/N tinggi diaplikasikan ke dalam tanah maka mikroorganisme akan tumbuh dengan memanfaatkan N tersedia di tanah, sehingga terjadi imobilisasi N. apabila nisbah C/N rendah pada awal proses pengomposan, maka nitrogen akan hilang melalui proses volatisasi amonium.

Nisbah karbon-nitrogen merupakan cara yang mudah untuk menyatakan kandungan nitrogen relatif karena kandungan karbon dalam bahan organik relatif konstan, sekitar 40%-50%, sementara kandungan nitrogen bervariasi lipat ganda. Jadi nisbah karbon-nitrogen bahan organik merupakan indikasi kemungkinan kekurangan nitrogen dan persaingan antara jasad renik dan tumbuhan tinggi untuk memperoleh nitrogen apa saja yang tersedia di tanah. Berikut nisbah karbon-nitrogen beberapa bahan organik seperti terlihat dalam Tabel 4.

Tabel 4. Karbon-Nitrogen berbagai Bahan Organik

Jenis Bahan	Nisbah C/N
Humus tanah	10
Rabuk kandang (membusuk)	20
Sampah tebu	50
Sisa jagung	60
Jerami	80
Serbuk gergaji	400

Sumber: Foth dan Adisoemarto, 1994: 143.

Jika diketahui bahan campuran bahan belum mencapai perbandingan C/N yang ideal, maka perlu dilakukan pencampuran. C/N yang terlalu tinggi (misalnya 80:1) menyebabkan proses pembusukan lebih lama, sebaliknya bila C/N rasio terlalu rendah meskipun pada awalnya terjadi proses pembusukan yang sangat cepat, kecepatannya akan menurun karena kekurangan C sebagai sumber energi bagi jasad pembusuk. Akibat selanjutnya, kelebihan yang tidak terpakai akan menimbulkan amonia yang menimbulkan bau yang mengganggu.

Pada beberapa hari pertama pengomposan temperatur sampah bisa mencapai 60-70 °C. Suhu ini sedapat mungkin dipertahankan selama beberapa hari untuk membunuh bakteri-bakteri patogen dan bibit gulma. Jika tidak terjadi panas, kemungkinan proses pengomposan tidak berjalan dengan baik. Hal itu bisa

karena sampahnya terlalu basah atau terlalu kering atau rasio C/N-nya terlalu tinggi. Temperatur kompos telah menjadi stabil pada suhu dibawah 50°C yang menandai selesainya proses pengomposan.

Adapun karakteristik fisik kompos matang:

- 1) Struktur: bahan kompos matang bersifat remah, merupakan media yang lepas-lepas tidak kompak maupun tidak dikenali kembali bahan dasarnya,
- 2) Warna: terbaik adalah coklat kehitaman, proses dekomposisi aerob ditunjukkan terjadinya perubahan warna menjadi kehitaman,
- 3) Status kelengasan: status kelembaban kompos dapat diperkirakan dengan mengambil segumpal kompos kemudian diperas dan tidak keluar air,
- 4) Bau: kompos yang baik harus berbau seperti humus atau tanah,
- 5) Keasaman: bahan kompos yang baik mempunyai pH netral sampai agak asam meskipun demikian agak alkali tidak menimbulkan masalah, kisaran pH kompos yang baik adalah 6,0-7,5. Pada kondisi pH tersebut bakteri penambat nitrogen dapat tumbuh baik (Mulyani dan Kartasapoetra, 1999: 200).

Selanjutnya menurut Djuarni (2005) secara umum pupuk kompos yang sudah matang dapat dicirikan dengan sifat:

- 1) berwarna cokelat tua hingga hitam dan remah,
- 2) tidak larut dalam air,
- 3) sangat larut dalam pelarut alkali, natrium pirofosfat, atau larutan amonium oksalat dengan menghasilkan ekstrak berwarna gelap dan dapat difraksinasi lebih lanjut menjadi zat humik, fulfik, dan humin,
- 4) ratio C/N sebesar 20-40,
- 5) memiliki kapasitas pemindahan kation dan absorpsi terhadap air yang tinggi,
- 6) jika digunakan pada tanah, kompos dapat memberikan efek menguntungkan bagi tanah dan pertumbuhan tanaman,
- 7) Temperatur sama dengan temperatur udara,
- 8) tidak mengandung asam lemak yang berbau, dan
- 9) tidak berbau.

Kondisi kelengasan tidak boleh melampaui 15%-25%. Pada kenyataannya makin rendah kandungan air, maka kualitas pupuk yang dihasilkan menjadi lebih baik (Sutanto, 2002: 21).

Kondisi kelengasan dan bahan dasar kompos menentukan nisbah C/N dan nilai pupuk kompos. Pengujian kimiawi termasuk pengukuran C, N dan nisbah C/N merupakan indikator kematangan kompos. Apabila nisbah C/N kompos 20 atau lebih kecil berarti kompos tersebut siap digunakan. Akan tetapi, nisbah C/N bahan kompos yang baik dapat berkisar antara 5 dan 20 (Sutanto, 2002: 80).

Proses pembuatan kompos dari bahan organik berlangsung dengan suksesi berbagai macam organisme. Selama fase awal pengomposan, bakteri meningkat dengan cepat. Berikutnya, bakteri berfilamen (*actinomycetes*), jamur, dan protozoa mulai bekerja. Setelah sejumlah besar karbon (C) dalam kompos dimanfaatkan (*utilized*) dan temperatur mulai turun, *centipedes*, *milipedes*, kutu, cacing tanah, dan organisme lainnya melanjutkan proses pengomposan.

Organisme yang bertugas dalam menghancurkan material organik membutuhkan nitrogen (N) dalam jumlah yang besar. Oleh karena itu, dalam proses pengomposan perlu ditambahkan material yang mengandung nitrogen agar berlangsung proses pengomposan secara sempurna. Material tersebut salah satunya dapat diperoleh dari kotoran ternak (*manure*). Nitrogen akan bersatu dengan mikroba selama proses penghancuran material organik.

Setelah proses pembusukan selesai, nitrogen akan dilepaskan kembali sebagai salah satu komponen yang terkandung dalam kompos. Pada fase berikutnya, jamur (*fungi*) akan mencerna kembali substansi organik untuk cacing tanah dan *actinomycetes* agar mulai bekerja. Cacing tanah akan bertugas dalam mencampurkan substansi organik yang telah dicerna kembali oleh jamur dengan sejumlah kecil tanah lempung (*clay*) dan kalsium yang terkandung dalam tubuh cacing tanah.

Selama proses tersebut, rantai karbon yang telah terpolimerisasi (*polymerized*) akan tersusun kembali pada pembentukan humus dengan menyerap berbagai kation seperti sodium, amonium, kalsium, dan magnesium. Dalam tahap ini, kompos sudah bisa digunakan sebagai pupuk .

Pada fase terakhir, organisme mengoksidasi substansi nitrogen menjadi nitrat (*nitrates*) yang dibutuhkan akar tanaman dan tumbuhan bertunas (*sprouting plants*). Kompos akan berubah menjadi gelap, wangi, remah, dan mudah hancur. Fase ini disebut juga sebagai fase kematangan (*ripeness*) karena kompos sudah dapat digunakan.

f. Faktor yang Mempengaruhi dan Mengontrol Proses Pengomposan

Pembuatan kompos pada dasarnya adalah membuat suatu kondisi yang mendukung (*favourable condition*) bagi pertumbuhan populasi mikroorganisme

dalam proses pembusukan untuk membuat material humus yang sangat penting bagi tanah. Pembusukan dalam pembuatan kompos akan lebih cepat (*speeded up*) dibandingkan dengan pembusukan yang terjadi pada proses alami.

Pada kondisi alami, limbah organik yang ada di permukaan tanah dengan temperatur permukaan normal dan kondisi aerob akan terdekomposisi secara lambat. Proses dekomposisi alami dapat dipercepat secara buatan dengan memperbaiki kondisi proses dekomposisi. Ringkasan kondisi dekomposisi optimum dapat dilihat dalam Tabel 5.

Tabel 5. Nilai Optimum yang Mengontrol Proses Pengomposan

Parameter	Nilai optimum
Ukuran partikel bahan	25-40 mm, 50 mm untuk aerasi alami dan timbunan panjang
Nisbah C/N	20-40
Kandungan lengas	50%-60%
Keasaman pH	5,0-8,0
Suhu	55° C-60° C untuk 4-5 hari
Aerasi	Secara periodik timbunan dibalik
Kehalusan bahan	Makin halus makin cepat terdekomposisi
Ukuran timbunan	Panjang bervariasi, tinggi 1,5 m dan lebar 2,5 m
Aktivator	Tahap awal mesofilik (fungi selulopati, bakteri penghasil asam), suhu meningkat > 40°C (bakteri termofilik, aktinomycetes dan fungi), suhu > 70°C (bakteri termofilik), suhu udara ambien (bakteri mesofilik dan fungi).

Sumber : Sutanto, 2002: 54.

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses pengomposan yaitu nilai C/N bahan, ukuran bahan, komposisi bahan, jumlah mikroorganisme yang bekerja, kelembaban dan aerasi, temperatur, dan pH (Indriani, 2000: 7).

Menurut Soeyanto (1992: 45), untuk perombakan (penguraian) sampah menjadi zat kimia memerlukan bantuan udara. Membolak-nalik sampah bertujuan agar udara banyak masuk ke dalam celah-celah tumpukan sampah. Makin banyak mendapatkan udara makin cepat proses pembusukan, berarti memperpendek lamanya pengomposan, sebab makin meningkatnya

aktifitas-aktifitas jasad renik dalam proses perombakan.

Pasokan oksigen yang diperlukan mikroorganisme aerob dalam proses dekomposisi (terutama bakteri dan fungi) sebagian dipengaruhi oleh struktur dan ukuran partikel bahan dasar kompos (Sutanto, 2002: 55). Makin kasar struktur dan makin rendah kandungan lengas bahan dasar kompos, makin besar volume pori udara dalam campuran bahan yang didekomposisi.

Kelembaban adalah kandungan air di dalamnya. Banyak sedikitnya tergantung pada jenis sampah, tempat penimbunan sampah, dan kemanfaatan adanya jasad renik, yang sekaligus membantu aktifitas jasad-jasad tersebut dalam proses pembusukan.

Soeyanto (1992: 450) berpendapat bahwa kelembaban pada ongkongan sampah akan memberi kesempatan kepada jasad-jasad renik berkembang biak. Di samping itu karenanya fermentasi yang beraerob (berudara cukup) akan bersuhu tinggi antar 50°-60°C. pada suhu yang demikian tinggi bibit penyakit maupun biji-bijian akan mati, begitu pula telur lalat tidak akan menetas.

Selanjutnya menurut Murbandono (1995: 20), kelembaban kompos harus dijaga tetapi tidak sampai becek. Karena kelebihan air akan mengakibatkan volume udara jadi berkurang. Semakin basah timbunan itu, makin sering pula kita harus mengaduknya untuk menjaga dan mencegah pembiakan bakteri anaerobik. Bila tumpukan kompos kurang mengandung air, tumpukan ini akan bercendawan. Hal ini merugikan karena peruraiannya akan menjadi lambat dan tidak sempurna.

Pengadukan juga akan memberikan kesempatan kepada kita untuk menyusun kembali bahan yang sedang membusuk itu. Bagian luar yang kurang busuk kita pindah ke tengah timbunan hingga bakteri-bakteri suhu tinggi akan mulai bekerja lagi. Timbunan akan kembali menjadi panas dengan lebih cepat dan ketika suhu menurun lagi, proses pengomposan telah selesai.

Sutanto (2002: 54) mengemukakan, karena mikroorganisme hanya dapat menyerap makanan dalam bentuk larutan, maka kelengasan yang sesuai diperlukan selama proses dekomposisi berlangsung. Kandungan lengas paling sedikit 25%-30% berat kering bahan. Di bawah kadar air 20 %, proses dekomposisi praktis berhenti

Untuk mengetahui kelembaban mencukupi atau tidak ialah dengan meremas bahan tersebut dengan tangan. Jika bahan kompos melekat pada tangan dan saat diremas meneteskan air, kelembaban dikatakan terlalu tinggi. Bila bahan itu dapat lepas dari tangan, ini menunjukkan bahwa kandungan air sudah mencukupi.

Sutanto (2002: 58) menjelaskan bahwa suhu timbunan yang mengalami dekomposisi akan meningkat sebagai hasil kegiatan biologi. Suhu yang berkisar antar 60°C dan 70°C merupakan kondisi optimum kehidupan mikroorganisme tertentu dan membunuh patogen yang tidak dikehendaki. Kurva suhu timbunan bahan kompos tergantung pada nisbah volume timbunan terhadap permukaan. Makin tinggi volume timbunan permukaan, makin besar isolasi panas dan makin mudah timbunan menjadi panas.

Di daerah tropis, proses pengomposan lebih cepat daripada daerah dingin, sebab tinggi suhu pengomposan sekitar 70°C. Dengan ketinggian suhu di atas untuk daerah tropis segera terpenuhi, disamping itu juga keadaan angin. Angin yang deras (kencang) akan memperlambat proses perombakan (penguraian) zat. Untuk itu tumpukan pengomposan di daerah tropis tidak terlalu tinggi, dan sebaliknya di daerah yang berhawa dingin, tumpukan sampah harus tebal. Bagian-bagian atas yang terkena aliran angin agar selalu dibasahi dengan air. Bagi suatu daerah pengomposan yang terlalu banyak hujan, sesungguhnya tidak begitu terpengaruh. Namun untuk mengurangi kerugian-kerugian yang akan terjadi, lantai (alas) pengomposan dibuat keras.

Sampah-sampah yang akan dikomposkan terdiri dari bermacam-macam, misalnya: sisa-sisa makanan, dedaunan, kertas, plastik, kotoran binatang, kotoran manusia, rerumputan, dan lain-lain.

Pada dasarnya jenis sampah (kotoran) dapat dibagi dalam dua jenis:

- 1) jenis sampah yang berkarbon/nitrogen ringgi, misalnya jerami, kertas, plastik dan lain-lain,
- 2) jenis sisa-sisa makanan, kotoran manusia, binatang dan lain-lain (Soeyanto, 1992: 46).

Bila bahan asalnya merupakan campuran dari berbagai macam bahan tanaman maka proses peruraiannya relatif lebih cepat daripada bahan yang berasal dari tanaman sejenis (Murbando, 1995: 15).

Selanjutnya menurut Indriani (2000: 7), pengomposan dari beberapa macam bahan organik akan lebih baik dan lebih cepat. Pengomposan bahan organik dari tanaman akan lebih cepat bila ditambah dengan kotoran hewan. Ada juga yang menambah bahan makanan dan zat pertumbuhan yang dibutuhkan mikroorganisme sehingga selain dari bahan organik, mikroorganisme juga mendapatkan bahan tersebut dari luar.

Menurut Soeyanto (1992: 48), besar kecilnya sampah juga sangat mempengaruhi proses pengomposan. Makin besar (lebar) lembaran sampah makin lama proses pengomposannya. Lebih-lebih helaian daun yang masih utuh sebab pada lapisan kulit luar daun tersebut terdapat lapisan lilin yang dapat melindungi kerusakan

Oleh karena itu, penghalusan bahan diperlukan untuk meningkatkan permukaan spesifik bahan kompos dengan demikian mempunyai pengaruh yang positif terhadap proses dekomposisi. Penghalusan bahan juga menghasilkan ukuran partikel yang lebih seragam dan membuat bahan lebih homogen pada saat dilakukan pencampuran (Sutanto, 2002: 56).

Bahan yang berukuran lebih kecil akan lebih cepat proses pengomposannya karena semakin luas bahan yang tersentuh dengan bakteri tetapi bahan juga jangan terlalu kecil karena bahan yang terlalu hancur mengandung banyak air (kelembabannya menjadi tinggi) sehingga kurang baik (Indriani, 2000: 7).

Kemudian Sutanto (2002: 58) berpendapat bahwa pada prinsipnya bahan organik dengan pH antara 3 dan 11 dapat dikomposkan, pH optimum berkisar antara 5,5 dan 8,0. Bakteri lebih senang pada pH netral, fungi berkembang cukup baik pada kondisi pH agak asam). Biasanya pH agak turun pada awal pengomposan karena aktivitas bakteri yang menghasilkan asam. Dengan munculnya mikroorganisme lain dari bahan yang didekomposisi maka pH bahan kembali naik setelah beberapa hari dan pH berada pada kondisi netral.

Bahan kompos yang ber-C/N tinggi sukar (lama), sedang bahan yang ber-C/N rendah cepat sekali proses uraiannya, untuk itu masa pengomposannya relatif singkat (Soeyanto, 1992: 47).

Bahan yang mengandung karbon 30 kali lebih besar daripada nitrogen,

mempunyai nisbah C/N 30:1. Bahan dasar kompos yang mempunyai nisbah C/N 20:1 sampai 35:1 menguntungkan proses pengomposan, terlalu besar C/N (lebih besar dari 40) akan mengganggu kegiatan biologi proses dekomposisi (Sutanto, 2002: 57).

Banyaknya mikroorganisme yang bekerja pada pengomposan akan membantu proses penguraian berjalan lebih cepat. Biasanya dalam proses ini ditambahkan bakteri, fungi, aktinomycetes, dan protozoa (Indriani, 2000: 8).

Tumpukan sampah pengomposan yang ideal adalah sebagai berikut:

- 1) sampah kering atau setengah kering dengan ketinggian 1 ½ meter,
- 2) sampah basah atau segar dengan ketinggian tumpukan 1 ¼ meter,
- 3) lebar tumpukan antara 2-3 ½ meter dengan sisi tegak atau boleh juga agak miring (Soeyanto, 1992: 48).

B. Kerangka pemikiran

Tanaman aren merupakan bahan baku dalam industri tepung aren. Selain memproduksi tepung aren, industri tepung aren juga menghasilkan limbah industri sebagai hasil samping selama proses produksi. Limbah industri tepung aren dapat berupa limbah padat dan limbah cair. Kedua jenis limbah di atas sarat bahan organik yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan jika proses pengelolannya tidak baik, terutama pada jenis limbah padat (lemi). Selain mencemari perairan, lemi dapat mendangkalkan perairan sebagai saluran tempat pembuangannya. Oleh karena itu, metode pengolahan limbah yang tepat sangat diperlukan agar keseimbangan dalam ekosistem perairan dapat terjaga.

Alternatif pengolahan limbah lemi yang dapat digunakan adalah menjadikannya pupuk dengan metode *composting*. Menurut Supriyadi (2006) dalam makalahnya pada Seminar Nasional “Bioteknologi dan Kelestarian Lingkungan”, ampas aren yang salah satunya adalah lemi masih kaya bahan organik dan mempunyai komposisi kimia karbohidrat 55, 36%, protein kasar (PK) 2,10%, serat kasar 23, 11%, dan lemak 0,98%.

Selain mengandung bahan organik di atas, lemi juga mengandung selulosa. Selulosa adalah bahan organik alami yang jumlahnya kira-kira 1/3 dari seluruh bahan organik tumbuhan di dunia, dan merupakan bahan yang paling sulit

didegradasi atau dirombak menjadi kompos ([http:// kompos2. tripod. com/deskripsi_teknis_katalek htm](http://kompos2.tripod.com/deskripsi_teknis_katalek.htm)).

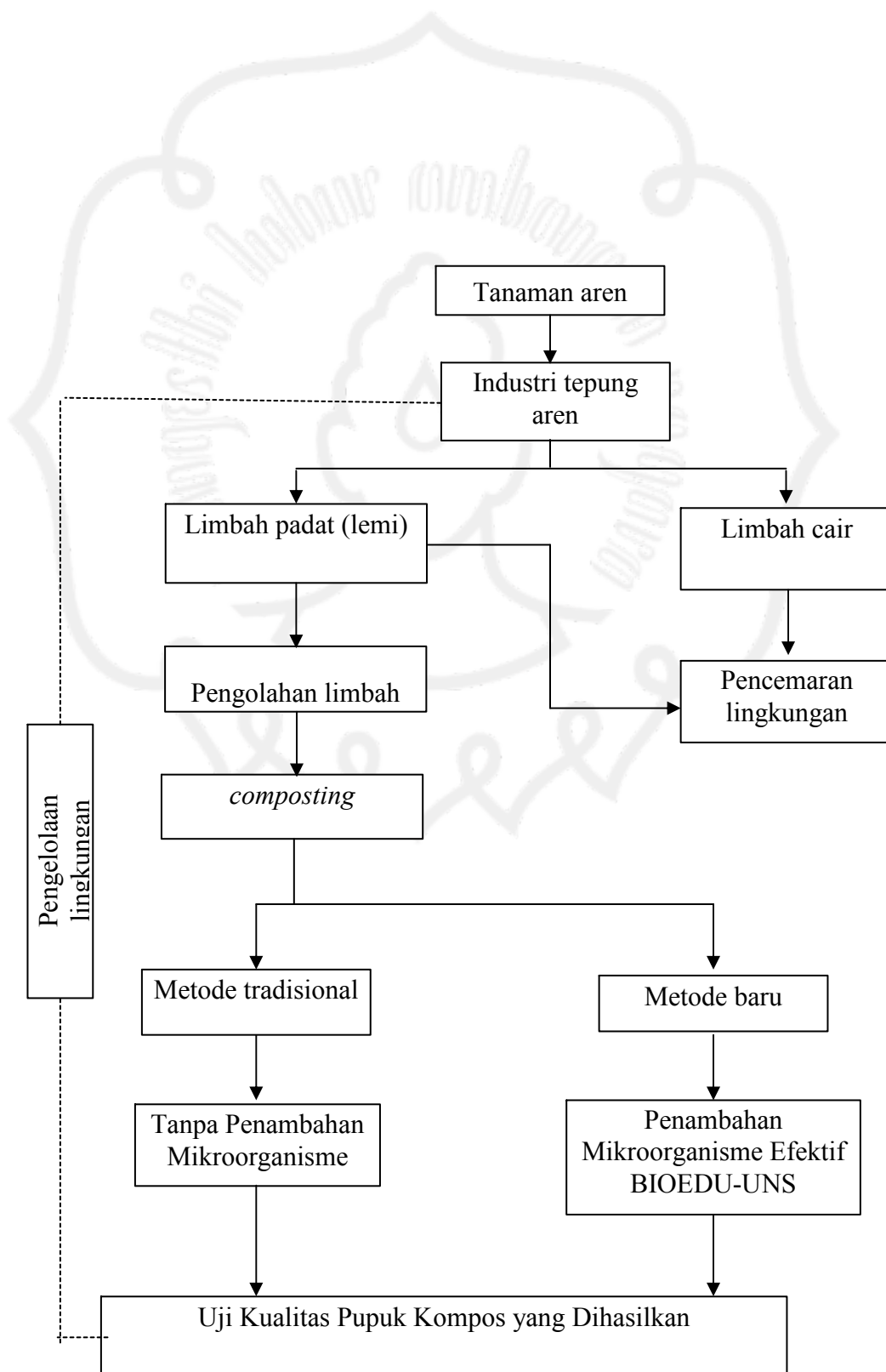
Dalam *composting*, bahan–bahan organik dalam limbah diubah secara berangsur-angsur ke dalam senyawa-senyawa anorganik (unsur-unsur sederhana) oleh kelompok mikroorganisme maupun kelompok makroorganisme. Ada 2 metode *composting* yang kita kenal, yaitu metode tradisional tanpa penambahan mikroorganisme dan metode baru dengan penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS. Proses degradasi bahan organik pada lemi dengan metode tradisional dilakukan oleh mikroorganisme yang secara alami sudah ada di alam dengan dukungan faktor-faktor lingkungan. Namun, metode ini berlangsung lambat. Sedangkan metode baru dalam *composting* dengan penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dapat berlangsung dalam waktu relatif cepat dan menghasilkan kompos yang berkualitas lebih baik.

Menurut Widawati (2005), suatu material seperti limbah serasah dan rumput membutuhkan waktu sangat lama untuk menjadi pupuk organik sehingga untuk mempercepat proses tersebut perlu dibantu aktivator/mikroba decomposer sebagai katalisator. Selain mempercepat pengomposan, mikroba decomposer juga membuat hasil pengomposan menjadi sempurna dengan mutu baik karena mengandung unsur-unsur hara yang diperlukan tanaman. Pada penelitian ini, mikroba dekomposer yang ditambahkan dalam lemi adalah mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS.

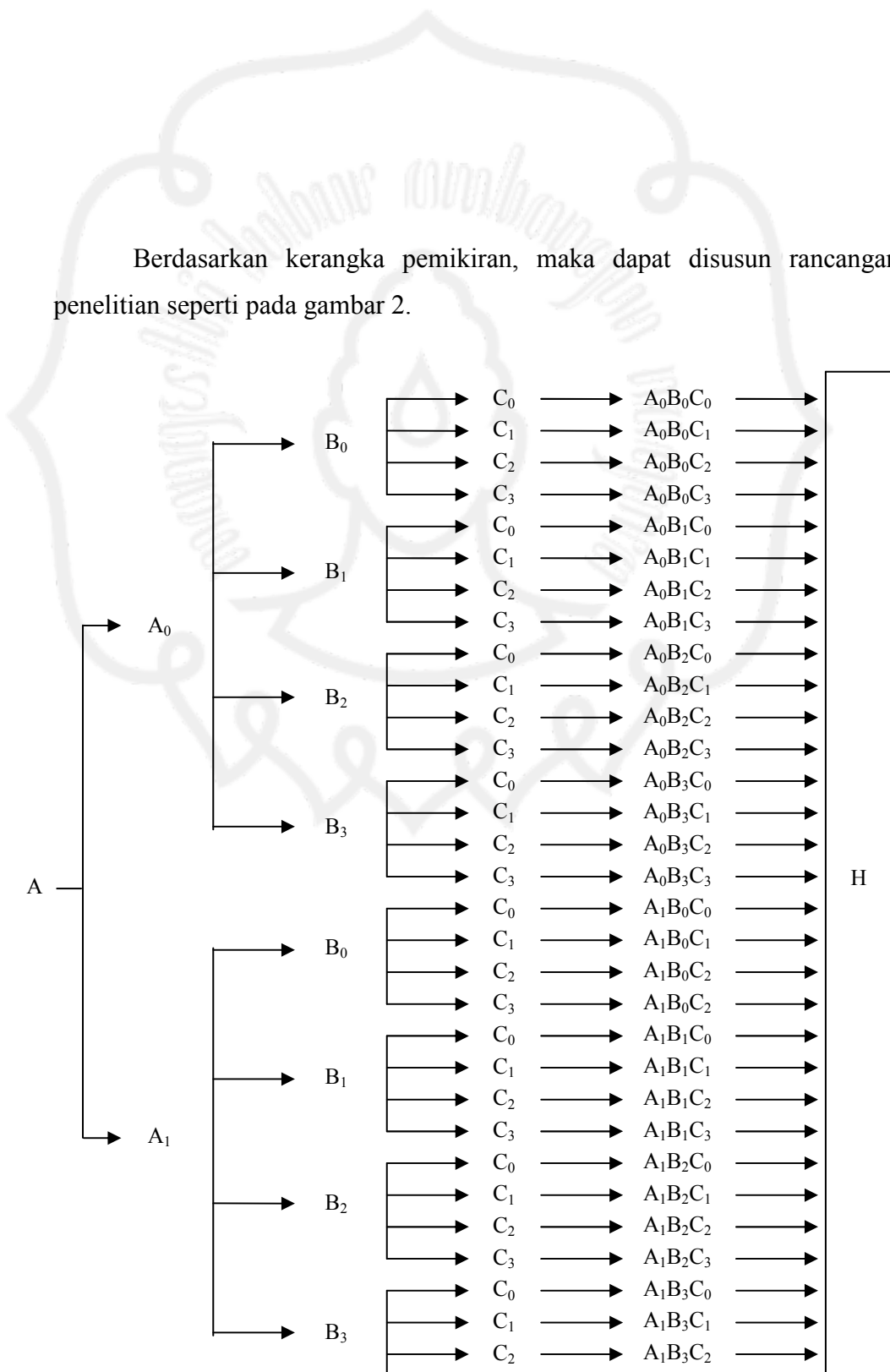
Menurut sajidan (2004), Mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS merupakan kumpulan strain bakteri yang bersifat aerobik obligat dan aerobik fakultatif. Jadi mikroorganisme ini mampu tumbuh dengan baik jika oksigen cukup, tetapi juga dapat tumbuh secara anaerob. Aktivitas enzimatik dari mikroorganisme ini mampu merombak karbohidrat, protein, lemak, fenol, minyak bumi dan selulosa.

Selanjutnya kompos yang dihasilkan melalui metode *composting* tradisional dan baru diuji kualitasnya dengan parameter pH, suhu, rasio C/N, tekstur, warna, dan bau.

Kerangka pemikiran dapat dilihat pada Gambar 1.



Berdasarkan kerangka pemikiran, maka dapat disusun rancangan penelitian seperti pada gambar 2.



Keterangan:

- A = Limbah lemi industri tepung aren
- A₀ = Limbah lemi industri tepung aren yang baru dihasilkan dari industri.
- A₁ = Limbah lemi industri tepung aren yang dikeringkan selama 2 hari.
- B₀ = Tidak ada penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS
- B₁ = Penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan dosis 50 ml.
- B₂ = Penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan dosis 100 ml.
- B₃ = Penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan dosis 200 ml.
- C₀ = Pengamatan hari ke-0
- C₁ = Pengamatan hari ke-15
- C₂ = Pengamatan hari ke-30
- C₃ = Pengamatan hari ke-45
- A₀B₀C₀ = Limbah lemi industri tepung aren yang baru dihasilkan dari industri dan tidak ada penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dalam pengamatan hari ke-0.
- A₀B₀C₁ = Limbah lemi industri tepung aren yang baru dihasilkan dari industri

- dan tidak ada penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dalam pengamatan hari ke-15.
- $A_0B_0C_2$ = Limbah lemi industri tepung aren yang baru dihasilkan dari industri dan tidak ada penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dalam pengamatan hari ke-30.
- $A_0B_0C_3$ = Limbah lemi industri tepung aren yang baru dihasilkan dari industri dan tidak ada penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dalam pengamatan hari ke-45.
- $A_0B_1C_0$ = Limbah lemi industri tepung aren yang baru dihasilkan dari industri dan penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan dosis 50 ml dalam pengamatan hari ke-0.
- $A_0B_1C_1$ = Limbah lemi industri tepung aren yang baru dihasilkan dari industri dan penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan dosis 50 ml dalam pengamatan hari ke-15.
- $A_0B_1C_2$ = Limbah lemi industri tepung aren yang baru dihasilkan dari industri dan penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan dosis 50 ml dalam pengamatan hari ke-30.
- $A_0B_1C_3$ = Limbah lemi industri tepung aren yang baru dihasilkan dari industri dan penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan dosis 50 ml dalam pengamatan hari ke-45.
- $A_0B_2C_0$ = Limbah lemi industri tepung aren yang baru dihasilkan dari industri dan penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan dosis 100 ml dalam pengamatan hari ke-0.
- $A_0B_2C_1$ = Limbah lemi industri tepung aren yang baru dihasilkan dari industri dan penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan dosis 100 ml dalam pengamatan hari ke-15.
- $A_0B_2C_2$ = Limbah lemi industri tepung aren yang baru dihasilkan dari industri dan penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan dosis 100 ml dalam pengamatan hari ke-30.
- $A_0B_2C_3$ = Limbah lemi industri tepung aren yang baru dihasilkan dari industri dan penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan

- dosis 100 ml dalam pengamatan hari ke-45.
- $A_0B_3C_0$ = Limbah lemi industri tepung aren yang baru dihasilkan dari industri dan penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan dosis 200 ml dalam pengamatan hari ke-0.
- $A_0B_3C_1$ = Limbah lemi industri tepung aren yang baru dihasilkan dari industri dan penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan dosis 200 ml dalam pengamatan hari ke-15.
- $A_0B_3C_2$ = Limbah lemi industri tepung aren yang baru dihasilkan dari industri dan penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan dosis 200 ml dalam pengamatan hari ke-30.
- $A_0B_3C_3$ = Limbah lemi industri tepung aren yang baru dihasilkan dari industri dan penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan dosis 200 ml dalam pengamatan hari ke-45.
- $A_1B_0C_0$ = Limbah lemi industri tepung aren yang dikeringkan selama 2 hari dan tidak ada penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dalam pengamatan hari ke-0.
- $A_1B_0C_1$ = Limbah lemi industri tepung aren yang dikeringkan selama 2 hari dan tidak ada penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dalam pengamatan hari ke-15.
- $A_1B_0C_2$ = Limbah lemi industri tepung aren yang dikeringkan selama 2 hari dan tidak ada penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dalam pengamatan hari ke-30.
- $A_1B_0C_3$ = Limbah lemi industri tepung aren yang dikeringkan selama 2 hari dan tidak ada penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dalam pengamatan hari ke-45.
- $A_1B_1C_0$ = Limbah lemi industri tepung aren yang dikeringkan selama 2 hari dan penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan dosis 50 ml dalam pengamatan hari ke-0.
- $A_1B_1C_1$ = Limbah lemi industri tepung aren yang dikeringkan selama 2 hari dan penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan dosis 50 ml dalam pengamatan hari ke-15.

- $A_1B_1C_2$ = Limbah lemi industri tepung aren yang dikeringkan selama 2 hari dan penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan dosis 50 ml dalam pengamatan hari ke-30.
- $A_1B_1C_3$ = Limbah lemi industri tepung aren yang dikeringkan selama 2 hari dan penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan dosis 50 ml dalam pengamatan hari ke-45.
- $A_1B_2C_0$ = Limbah lemi industri tepung aren yang dikeringkan selama 2 hari dan penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan dosis 100 ml dalam pengamatan hari ke-0.
- $A_1B_2C_1$ = Limbah lemi industri tepung aren yang dikeringkan selama 2 hari dan penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan dosis 100 ml dalam pengamatan hari ke-15.
- $A_1B_2C_2$ = Limbah lemi industri tepung aren yang dikeringkan selama 2 hari dan penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan dosis 100 ml dalam pengamatan hari ke-30.
- $A_1B_2C_3$ = Limbah lemi industri tepung aren yang dikeringkan selama 2 hari dan penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan dosis 100 ml dalam pengamatan hari ke-45.
- $A_1B_3C_0$ = Limbah lemi industri tepung aren yang dikeringkan selama 2 hari dan penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan dosis 200 ml dalam pengamatan hari ke-0.
- $A_1B_3C_1$ = Limbah lemi industri tepung aren yang dikeringkan selama 2 hari dan penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan dosis 200 ml dalam pengamatan hari ke-15.
- $A_1B_3C_2$ = Limbah lemi industri tepung aren yang dikeringkan selama 2 hari dan penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan dosis 200 ml dalam pengamatan hari ke-30.
- $A_1B_3C_3$ = Limbah lemi industri tepung aren yang dikeringkan selama 2 hari dan penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan dosis 200 ml dalam pengamatan hari ke-45.
- H = Hasil

C. Hipotesis

1. Ada pengaruh jenis limbah lemi industri tepung aren terhadap kualitas pupuk kompos.
2. Ada pengaruh dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS terhadap kualitas pupuk kompos.
3. Ada pengaruh lama waktu degradasi terhadap kualitas pupuk kompos.
4. Ada pengaruh interaksi antara jenis limbah lemi industri tepung aren dengan dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS terhadap kualitas pupuk kompos.
5. Ada pengaruh interaksi antara dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan lama waktu degradasi dalam proses pengomposan terhadap kualitas pupuk kompos.
6. Ada pengaruh interaksi antara jenis limbah lemi industri tepung aren dan lama waktu degradasi terhadap kualitas pupuk kompos.
7. Ada pengaruh interaksi antara jenis limbah lemi industri tepung aren, dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dan lama waktu degradasi terhadap kualitas pupuk kompos.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

1. Tempat Penelitian

a. Tempat Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dari Sentra industri tepung aren di dusun Bendo, desa Daleman, kecamatan Tulung, kabupaten Klaten.

b. Peremajaan dan Perbanyakan Bakteri

Peremajaan dan perbanyakan bakteri dilaksanakan di Laboratorium Mikrobiologi program Biologi Jurusan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Sebelas Maret Surakarta.

c. Tempat Pembuatan Kompos

Tempat pembuatan kompos dilaksanakan di Dusun Wates, Desa Kawu, Kecamatan Kedunggalar, Kabupaten Ngawi.

d. Uji Ratio C/N

Untuk mengetahui ratio C/N dilaksanakan uji unsur C dan N di Laboratorium Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret Surakarta.

2. Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan secara bertahap meliputi :

a. Tahap Persiapan

Meliputi pengajuan judul, pembuatan proposal, seminar proposal dan permohonan ijin penelitian. Waktu yang dibutuhkan mulai bulan Desember sampai dengan Mei 2006.

b. Tahap Pelaksanaan Penelitian

Tahap ini meliputi semua kegiatan eksperimen dan pengambilan data penelitian. Waktu yang dibutuhkan mulai bulan Juni sampai dengan Pertengahan bulan Juli 2006.

c. Tahap Analisis Data dan Penulisan

Tahap ini merupakan tahap analisis data hasil percobaan, dilanjutkan dengan penyusunan laporan serta perbanyakannya. Waktu yang dibutuhkan mulai pertengahan bulan Juli sampai dengan bulan November 2006.

B. Metode Penelitian

Jenis penelitian ini merupakan penelitian diskriptif kuantitatif dan kualitatif melalui metode eksperimen. Rancangan penelitian menggunakan Rancangan Petak-Petak Terbagi dengan kombinasi $2 \times 4 \times 4$ dengan 3 kali ulangan (Gomez, 1995: 143).

C. Populasi dan Sampel

1. Populasi

Populasi dari penelitian ini adalah limbah lemi sentra industri tepung aren dusun Bendo, desa Daleman, Kecamatan Tulung, Kabupaten Klaten, yaitu lemi yang baru dihasilkan dari industri dan lemi yang dikeringkan selama 2 hari. Penentuan 2 hari berdasarkan penelitian pendahuluan yang menunjukkan bahwa dengan pengeringan selama 2 hari, kelembaban limbah lemi sudah baik untuk pengomposan yaitu berkisar 60 %-70 % (apabila dikepalkan tidak meneteskan air) (Widawati, 2005).

2. Sampel

Dari sebagian limbah lemi tepung aren yang dihasilkan, baik lemi yang

baru dihasilkan dari industri maupun lemi yang dikeringkan selama 2 hari untuk keperluan penelitian diambil secara acak sebanyak 100 kg.

D. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian adalah untuk parameter pH, suhu dan ratio C/N diukur secara diskriptif kuantitatif, sedangkan untuk parameter bau, warna, dan tekstur diukur secara diskriptif kualitatif dengan mencatat dan mengamati segala perubahan yang terjadi, termasuk pada awal perlakuan.

Variabel penelitian :

1. Variabel Bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah limbah padat industri tepung aren (lemi) yang baru dihasilkan dari industri dan lemi yang dikeringkan selama 2 hari, perbedaan dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS, dan lama waktu degradasi kompos .

2. Variabel Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah kualitas pupuk kompos dengan parameter yang diukur adalah: 1) pH, 2) suhu, 3) ratio C/N, 4) bau, 5) warna, 6) tekstur.

E. Alat dan Bahan

1. Alat

Peralatan yang digunakan adalah: 1) autoklaf untuk sterilisasi, 2) timbangan analitik, 3) timbangan untuk menimbang lemi, 4) cawan petri untuk media menumbuhkan bakteri, 5) termometer untuk mengukur suhu pupuk kompos, 5) pH meter untuk mengukur pH, 6) tabung reaksi, 7) erlenmeyer, 8) cangkul, 9) bak pengendapan dan fermentasi, 10) Tempat pengeringan limbah padat, 11) penutup bak pengendapan.

2. Bahan

Bahan yang digunakan adalah : 1) Inokulum Mikroorganisme BIOEDU-UNS, 2) Media LB, 3) Lemi yang baru dihasilkan dari industri dan lemi yang dikeringkan selama 2 hari, 4) aquades.

F. Prosedur Penelitian

1. Peremajaan Bakteri

Proses ini diawali dengan pembuatan medium padat (LB) dimana: 2 gr tripton, 1 gr yeast ekstrak, dan 1gr NaCl, dimasukkan ke dalam erlenmeyer kemudian ditambahkan 200 ml aquades dan 3 gr agar, kemudian campuran tersebut diaduk sampai homogen, erlenmeyer ditutup dengan kertas alumunium, setelah itu medium disterilisasi dengan sterilisator uap atau autoklaf, pada 121°C selama 15 menit (Hadiutomo, 1993: 51), setelah disterilisasikan medium dituangkan dalam 20 cawan petri.

Selain peremajaan dalam medium padat, juga disiapkan medium LB cair dengan cara: 1 gr tripton, 0,5 gr yeast ekstrak, 0,5 gr NaCl, dimasukkan ke dalam erlenmeyer dan ditambah 100 ml aquades, campuran tersebut diaduk sampai homogen, kemudian dimasukkan ke dalam 10 tabung reaksi dengan ukuran masing-masing 10 ml, untuk mengurangi kontaminasi ditutup dengan menggunakan kertas alumunium, medium disterilisasi dengan sterilisator uap atau autoklaf pada 121°C selama 15 menit (Hadiutomo, 1993: 51).

Strain mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS (10 strain) diambil dari ependof, kemudian masing-masing diinokulasikan dalam media LB padat. Selanjutnya semua strain ditumbuhkan dalam oven selama 1 hari dengan suhu 37⁰ C. Strain yang telah tumbuh dalam media LB padat kemudian dimasukkan dalam tabung reaksi berisi 10 ml LB cair untuk masing-masing strain dan diinkubasi dalam oven selama 14 jam dengan suhu 37⁰ C. kemudian masing-masing strain ditumbuhkan lagi dalam media LB cair 100 ml dan diinkubasi di oven selama 16 jam dengan suhu 30⁰ C-36⁰ C. setelah itu, semua strain dicampur dalam 1 erlenmeyer. Selanjutnya media LB cair 1000 ml berisi 10 strain mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dalam 1 erlenmeyer tersebut dituang dalam 2 erlenmeyer masing-masing sebanyak 200 ml, 2 erlenmeyer masing-masing sebanyak 100 ml,

dan 2 erlenmeyer masing-masing sebanyak 50 ml.

2. Aplikasi Bakteri Dekomposer pada Pengomposan

Limbah lemi industri tepung aren yang digunakan adalah lemi yang baru dihasilkan dari industri dan lemi yang dikeringkan selama 2 hari. Dalam persiapan tempat dibuat kotak-kotak untuk meletakkan lemi agar tidak tercecer dan tidak tercampur antar dosis yang diberlakukan.

Proses pencampuran bakteri dekomposer dalam lemi dilakukan pada saat akan dilakukan penimbunan. Lemis diberi biakan bakteri yang telah ditambahkan aquades. Perlakuan pada lemi (baik lemi yang baru dihasilkan dari industri dan lemi yang dikeringkan selama 2 hari) adalah sebagai berikut: a) Lemis yang tidak dicampur dengan mikroorganisme BIOEDU-UNS sebagai perlakuan kontrol, b) Lemis yang dicampur Mikroorganisme BIOEDU-UNS dengan dosis 50 ml, c) Lemis yang dicampur Mikroorganisme BIOEDU-UNS dengan dosis 100 ml, d) Lemis yang dicampur Mikroorganisme BIOEDU-UNS dengan dosis 200 ml.

3. Pemeliharaan

Dalam pengomposan, setelah penimbunan harus dilakukan beberapa kerja yaitu : a) pencampuran semua bahan, b) penyiraman bahan setiap seminggu sekali, c) pembalikan bahan setiap seminggu sekali.

4. Pengamatan

Pengamatan terhadap proses degradasi limbah dilakukan pada 0 hari, 15 hari, 30 hari, dan 45 hari (seperti pada hal 5). Pada masing-masing pengamatan, parameter yang diukur adalah pH, suhu, ratio C/N, bau, warna, dan tekstur.

a. Pengukuran Kadar N Total (Okalebo et. Al. 1993)

Sebanyak 0,25 g kompos dimasukkan dalam labu Kjiedahl 250 ml, ditambahkan 5 ml H₂SO₄ pekat, digoyang sampai basah semua, dipanaskan di atas kompor listrik pada suhu sedang selama 30 menit. Selama pemanasan mulut labu ditutup dengan corong kecil untuk mencegah hilangnya uap. Labu didinginkan, lalu ditambahkan 1 ml H₂O₂ 30% melalui dinding. Ditunggu 2 menit sampai tidak mendidih lagi. Lalu dididihkan selama 30 menit. Didinginkan lagi. Ditambah kembali 0,5 ml H₂O₂ 30%. Dididihkan kembali 20 menit. Pekerjaan ini diulang sampai larutan hitam pekat berubah menjadi jernih tidak berwarna, lalu

dididihkan selama 30 menit. Lalu didinginkan. Hasil destruksi ditambah 10 ml akuades dituang ke labu destilasi 250 ml, ditambah 150 ml akuades dan 2 tetes PP. selanjutnya dibasakan dengan larutan NaOH pekat sampai berwarna merah muda. Kemudian didestilasi. Destilat sebanyak 100-125 ml ditampung dalam gelas beker 200 ml yang telah diisi asam borat 0,01 N dan 3 tetes indikator *methyl red*. Destilat dititrasi dengan HCl 0,01 N sampai warna larutan berubah menjadi orange.

Kadar N total dihitung berdasarkan rumus :

$$N \text{ total } \% = \{(Titran \text{ sampel} - Titran \text{ blanko}) \times N \text{ HCl} \times 0,14\} / \text{berat sampel}$$

b. Pengukuran Kadar Karbon Total (Okalebo et. Al.1993)

Ambil kompos sebanyak 50 mg kompos dimasukkan ke dalam erlenmeyer 250 mL dan ditambah 2 mL akuades. Digoyang sampai material kompos basah semua, kemudian ditambah 10 ml asam dikromat 5% dan 5 mL asam sulfat pekat, dididihkan selama 20 menit. Selama pendidihan diawasi supaya sampel tidak habis atau hangus. Dididihkan dan ditambah 50 ml larutan barium klorida 0,4%, digoyang lalu diamkan selama 24 jam. Larutan yang jernih berwarna hijau kebiruan diukur absorbansinya pada panjang gelombang 610 nm. Pekerjaan ini diulang untuk blanko dan larutan standar C berupa deret larutan sukrosa 0,01% sampai 0,1%.

c. Pengukuran Parameter Lain

Parameter pengomposan pH diukur menggunakan pH meter, suhu diukur menggunakan termometer air raksa, bau, warna serta tekstur diperiksa secara indrawi.

G. Teknik Analisis Data

Analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah Analisis Variansi Faktorial Tiga Jalur atau disebut juga Rancangan Faktorial untuk parameter suhu dan pH, sedangkan untuk warna, bau, tekstur dan ratio C/N dengan metode diskriptif kualitatif. Dalam penelitian ini menggunakan Rancangan

Petak-Petak Terbagi dengan kombinasi 2 x 4 x 4 dengan 3 kali perulangan.

Langkah-langkah untuk analisis data adalah sebagai berikut:

Uji Prasyarat:

1. Pengujian Normalitas

Dengan uji Liliefors sebagai berikut:

a. Menghitung mean sample

$$\text{Mean} = \frac{\sum x}{N}$$

b. Menghitung standar deviasi

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n_i - 1}}$$

c. Mencari Z_i

$$Z_i = \frac{(X_i - \text{Mean})}{SD}$$

d. Mencari $F(Z_i)$

Dicari dalam tabel distribusi normal baku.

e. Mencari $S(Z_i)$

Dapat dicari dengan membagi nomor urut kedudukan x_i dalam sampel.

f. Mencari $L_0 = F(Z_i) - S(Z_i)$

Selisish $F(Z_i) - S(Z_i)$

g. Mencari nilai tertinggi dari nilai L_0 Hitung

Jika $L_0 < L_0$ tabel, maka H_0 ditolak dan H_a diterima. Kesimpulannya adalah data mempunyai distribusi atau sebaran yang normal.

Kerja uji normalitas seperti pada Tabel 6 berikut:

Tabel 6. Nilai Komponen Uji Normalitas

X_i	Z_i	$S(Z_i)$	$F(Z_i) - S(Z_i)$
X_i	$\frac{(X_i - \text{Mean})}{SD}$		$L_0 = F(Z_i) - S(Z_i)$

2. Uji Homogenitas

Uji homogenitas dengan menggunakan uji Bortllet, yaitu dengan langkah

sebagai berikut:

H_0 = Data berasal dari populasi yang tidak memiliki variasi yang homogen.

H_a = Data berasal dari populasi yang memiliki variasi yang homogen.

a. Mencari varians tiap sampel :

$$SSJ_2 = \sum X_2^2 - \frac{(\sum X_2)^2}{n_2}$$

b. Menghitung derajat kebebasan (fj) : $n_1 - 1$

c. Menghitung S_2J

$$S_2J = \frac{SSJ}{FJ}$$

d. Menghitung Log S_2J

e. Menghitung Fj. Log S_2J

f. Menghitung RKG

$$RKG = \frac{\sum SSJ}{\sum FJ}$$

g. Menghitung Fj. Log RKG

h. Menghitung c

$$C = 1 + \frac{1}{3(K-1)} \left(\sum \frac{1}{F_j} - \frac{1}{j} \right)$$

i. Menghitung X^2 Hitung

$$X^2 \text{ hitung} = 2,303/c (F_j \cdot \text{Log RKG} - \bar{Z} F_j \cdot \text{Log } S^2J)$$

j. Di konsultasikan dengan x tabel (0,05; $K - 1$)

Jika X^2 hitung < X^2 tabel, maka H_0 ditolak dan H_a diterima. Berarti data berasal dari populasi yang memiliki variasi homogen.

Tabel 7. Kerja Uji Homogenitas.

Sampel ke	Fj	$\frac{1}{n-1}$	S_i^2	Log S_i^2	$(n_i - 1) \text{ Log } S_i^2$
1	$n_1 - 1$	$\frac{1}{n_1 - 1}$	S_1^2	Log S_1^2	$(n_1 - 1) \text{ Log } S_1^2$
2	$n_2 - 1$	$\frac{1}{n_2 - 1}$	S_2^2	Log S_2^2	$(n_2 - 1) \text{ Log } S_2^2$

3	$n_k - 1$	$\frac{1}{n_k - 1}$	S_k^2	$\text{Log } S_k^2$	$(n_k - 1) \text{Log } S_k^2$
---	-----------	---------------------	---------	---------------------	-------------------------------

3. Uji Anava (Desain Faktorial A x B x C)

Analisis yang digunakan adalah analisis Variansi Faktorial (ANAVA Faktorial) tiga jalur, dengan desain faktorial A x B x C dengan tiga kali perulangan. Menurut Gomez dan Gomez (1995: 146-158), langkah-langkah untuk analisis data adalah sebagai berikut:

a. Penataan data hasil percobaan

Data percobaan menurut kombinasi perlakuan dapat dilihat pada tabel 7.

b. Analisis sidik petak utama

$$\text{Faktor Kuadrat (FK)} = \frac{G^2}{rbc}$$

$$\text{JK umum} = \sum X^2 - \text{FK}$$

$$\text{JK Ulangan} = \frac{\sum R^2}{abc} - \text{FK}$$

$$\text{JK A} = \frac{\sum A^2}{rbc} - \text{FK}$$

$$\text{JK Galat (a)} = \frac{\sum (RA)^2}{bc} - \text{FK} - \text{JK ulangan} - \text{JKA}$$

c. Analisis sidik anak petak

$$\text{JK B} = \frac{\sum B^2}{r.ac} - \text{FK}$$

$$\text{JK A x B} = \frac{\sum (AB)^2}{rc} - \text{FK} - \text{JKA} - \text{JKB}$$

$$\text{JK Galat(b)} =$$

$$\frac{\sum (RAB)^2}{C} - \text{FK} - \text{JK ulangan} - \text{JKA} - \text{JK Galat(a)} - \text{JK B} - \text{JK A x B}$$

Faktor B	Faktor C											
	C ₀			C ₁			C ₂			C ₃		
	U1.1	U1.2	U1.3	U1.1	U1.2	U1.3	U1.1	U1.2	U1.3	U1.1	U1.2	U1.3

	Faktor A ₀											
B0	A ₀ B ₀ C ₀	A ₀ B ₀ C ₀₁	A ₀ B ₀ C ₀	A ₀ B ₀ C ₁	A ₀ B ₀ C ₁	A ₀ B ₀ C ₁	A ₀ B ₀ C ₂	A ₀ B ₀ C ₂	A ₀ B ₀ C ₂	A ₀ B ₀ C ₃	A ₀ B ₀ C ₃	A ₀ B ₀ C ₃
B1	A ₀ B ₁ C ₀	A ₀ B ₁ C ₀	A ₀ B ₁ C ₀	A ₀ B ₁ C ₁	A ₀ B ₁ C ₁	A ₀ B ₁ C ₁	A ₀ B ₁ C ₂	A ₀ B ₁ C ₂	A ₀ B ₁ C ₂	A ₀ B ₁ C ₃	A ₀ B ₁ C ₃	A ₀ B ₁ C ₃
B2	A ₀ B ₂ C ₀	A ₀ B ₂ C ₀	A ₀ B ₂ C ₀	A ₀ B ₂ C ₁	A ₀ B ₂ C ₁	A ₀ B ₂ C ₁	A ₀ B ₂ C ₂	A ₀ B ₂ C ₂	A ₀ B ₂ C ₂	A ₀ B ₂ C ₃	A ₀ B ₂ C ₃	A ₀ B ₂ C ₃
B3	A ₀ B ₃ C ₀	A ₀ B ₃ C ₀	A ₀ B ₃ C ₀	A ₀ B ₃ C ₁	A ₀ B ₃ C ₁	A ₀ B ₃ C ₁	A ₀ B ₃ C ₂	A ₀ B ₃ C ₂	A ₀ B ₃ C ₂	A ₀ B ₃ C ₃	A ₀ B ₃ C ₃	A ₀ B ₃ C ₃
	Faktor A ₁											
B0	A ₁ B ₀ C ₀	A ₁ B ₀ C ₀₁	A ₁ B ₀ C ₀	A ₁ B ₀ C ₁	A ₁ B ₀ C ₁	A ₁ B ₀ C ₁	A ₁ B ₀ C ₂	A ₁ B ₀ C ₂	A ₁ B ₀ C ₂	A ₁ B ₀ C ₃	A ₁ B ₀ C ₃	A ₁ B ₀ C ₃
B1	A ₁ B ₁ C ₀	A ₁ B ₁ C ₀	A ₁ B ₁ C ₀	A ₁ B ₁ C ₁	A ₁ B ₁ C ₁	A ₁ B ₁ C ₁	A ₁ B ₁ C ₂	A ₁ B ₁ C ₂	A ₁ B ₁ C ₂	A ₁ B ₁ C ₃	A ₁ B ₁ C ₃	A ₁ B ₁ C ₃
B2	A ₁ B ₂ C ₀	A ₁ B ₂ C ₀	A ₁ B ₂ C ₀	A ₁ B ₂ C ₁	A ₁ B ₂ C ₁	A ₁ B ₂ C ₁	A ₁ B ₂ C ₂	A ₁ B ₂ C ₂	A ₁ B ₂ C ₂	A ₁ B ₂ C ₃	A ₁ B ₂ C ₃	A ₁ B ₂ C ₃
B3	A ₁ B ₃ C ₀	A ₁ B ₃ C ₀	A ₁ B ₃ C ₀	A ₁ B ₃ C ₁	A ₁ B ₃ C ₁	A ₁ B ₃ C ₁	A ₁ B ₃ C ₂	A ₁ B ₃ C ₂	A ₁ B ₃ C ₂	A ₁ B ₃ C ₃	A ₁ B ₃ C ₃	A ₁ B ₃ C ₃

d. Analisis sidik anak-anak petak

$$JK C = \frac{\sum C^2}{rab} - FK$$

$$JK A \times C = \frac{\sum (AC)^2}{rb} - FK - JKA - JKC$$

$$JK B \times C = \frac{\sum (BC)^2}{ra} - FK - JKB - JKC$$

$$JK A \times B \times C = \frac{\sum (ABC)^2}{r} - FK - JKA - JKB - JKC - JK A \times B - JK A \times C - JK B \times C$$

$$JK \text{ galat (c)} = JK \text{ umum} - (\text{Jumlah JK lainnya})$$

e. Mean kuadrat/ kuadrat tengah (KT)

$$KT \text{ ulang} = \frac{JK \text{ ulang}}{r-1}$$

$$KTA = \frac{JK A}{a-1}$$

$$KT \text{ galat (a)} = \frac{JK \text{ galat(a)}}{(r-1)(a-1)}$$

$$KT B = \frac{JK B}{b-1}$$

$$KT A \times B = \frac{JK A \times B}{(a-1)(b-1)}$$

$$KT \text{ galat (b)} = \frac{JK \text{ galat(b)}}{a(r-1)(b-1)}$$

$$KTC = \frac{JK C}{c-1}$$

$$KT A \times C = \frac{JK A \times C}{(a-1)(c-1)}$$

$$KT_{B \times C} = \frac{JK_{B \times C}}{(b-1)(c-1)}$$

$$KT_{A \times B \times C} = \frac{JK_{A \times B \times C}}{(a-1)(b-1)(c-1)}$$

$$KT_{\text{Galat (c)}} = \frac{JK_{\text{Galat(c)}}}{ab(r-1)(c-1)}$$

f. Derajat kebebasan

$$dk_r = r - 1$$

$$dk_A = a - 1$$

$$dk_B = b - 1$$

$$dk_C = c - 1$$

$$dk_{A \times B} = (a - 1)(b - 1)$$

$$dk_{A \times C} = (a - 1)(c - 1)$$

$$dk_{B \times C} = (b - 1)(c - 1)$$

$$dk_{A \times B \times C} = (a - 1)(b - 1)(c - 1)$$

$$\text{Galat (a)} = (r - 1)(a - 1)$$

$$\text{Galat (b)} = a(r - 1)(b - 1)$$

$$\text{Galat (c)} = ab(r - 1)(c - 1)$$

$$\text{Umum} = rabc - 1$$

g. Uji F

$$F(A) = \frac{KT_A}{KT_{\text{galat(a)}}$$

$$F(B) = \frac{KT_B}{KT_{\text{galat(b)}}$$

$$F(A \times B) = \frac{KT_{A \times B}}{KT_{\text{galat(b)}}$$

$$F(C) = \frac{KT_C}{KT_{\text{galat(c)}}$$

$$F(A \times C) = \frac{KT_{A \times C}}{KT_{\text{galat(c)}}$$

$$F(B \times C) = \frac{KT B \times C}{KT \text{ galat}(c)}$$

$$F(A \times B \times C) = \frac{KT A \times B \times C}{KT \text{ galat}(c)}$$

h. Hasil Uji F

1. H_{0A} ditolak, jika $F_A \geq F$ tabel
2. H_{0B} ditolak, jika $F_B \geq F$ tabel
3. H_{0AB} ditolak, jika $F_{AB} \geq F$ tabel
4. H_{0C} ditolak, jika $F_C \geq F$ tabel
5. H_{0AC} ditolak, jika $F_{AC} \geq F$ tabel
6. H_{0BC} ditolak, jika $F_{BC} \geq F$ tabel
7. H_{0ABC} ditolak, jika $F_{ABC} \geq F$ table

i. Koefisien Keragaman

Mengetahui koefisien keragaman (KK) untuk menunjukkan derajat kejitian yang merupakan deviasi baku per unit percobaan.

j. Analisis Lanjutan

Uji lanjutan yang digunakan adalah uji Duncan Multiple Range Test (DMRT) dengan taraf signifikansi 5 %.

BAB IV

HASIL PENELITIAN

A. Deskripsi Data

1. Deskripsi Proses Pembuatan Tepung Aren

Batang pohon aren yang sudah ditebang dan akan diambil tepungnya kemudian dipotong-potong sepanjang 1,25-2,0 m kemudian batang itu dibelah memanjang menjadi 4 sehingga akan sama besarnya. Setelah itu belahan batang diparut menggunakan mesin pamarut. Hasil parutan berupa serbuk yang keluar dari mesin dikumpulkan kemudian diayak untuk memisahkan serbuk itu dari serat kasar, proses selanjutnya mengambil tepung atau pati dari serbuk halus dengan cara diendapkan dalam bak pengendapan. Setelah itu dilakukan penyaringan menghasilkan lemi (limbah) (Sunanto, 1993: 58-59).

Hasil samping dari pembuatan tepung aren antara lain kulit aren, serbuk kasar dan lemi. Jumlah dari hasil samping tersebut melimpah sehingga dapat mengganggu keseimbangan lingkungan seperti bau yang tidak sedap pendangkalan sungai.

Alur proses pembuatan tepung aren dapat dilihat di Lampiran 15.

2. Deskripsi Proses Pengomposan Limbah Padat Tepung Aren

Bahan dasar kompos berupa lemi dengan masing-masing 25 kg untuk

setiap perlakuan, semua bahan dasar dicampur hingga homogen kemudian ditambahkan strain mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan dosis 0 mL (tanpa penambahan strain mikroorganisme BIOEDU-UNS) sebagai kontrol, 50 mL, 100 mL, dan 200 mL. Kemudian dilakukan inkubasi selama 45 hari dengan pengamatan 0 hari, 15 hari, 30 hari, dan 45 hari.

3. Data Hasil Pengamatan

a. pH

Parameter pH diukur dengan pHmeter pada hari ke-0, 15, 30, dan 45 dengan 3 kali perulangan. Hasil yang diperoleh dari perhitungan pH dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Data Hasil Perhitungan pH dengan Variasi Limbah Lemi Industri Tepung Aren, Dosis Mikroorganisme Efektif BIOEDU-UNS, dan Lama Waktu Degradasi.

Faktor B	Faktor C											
	C ₀			C ₁			C ₂			C ₃		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
	Faktor A ₀											
B ₀	6,04	6,08	6,15	4,49	4,85	4,51	5,70	5,84	5,56	6,69	6,81	7,30
B ₁	5,97	6,20	6,13	5,57	5,57	6,25	5,59	6,92	7,07	7,24	7,22	6,72
B ₂	6,08	6,19	6,15	6,50	6,03	5,35	5,23	5,81	5,79	7,18	7,06	6,08
B ₃	6,05	6,11	6,18	5,39	5,30	5,91	5,36	6,05	5,61	7,08	6,37	7,02
	Faktor A ₁											
B ₀	4,49	4,45	4,37	6,50	6,57	6,30	6,30	6,84	7,07	7,33	6,65	7,27
B ₁	4,50	5,23	4,47	7,41	7,44	6,72	6,92	7,38	7,55	7,36	6,76	7,27
B ₂	4,88	4,45	4,48	6,98	6,87	7,45	7,45	7,55	6,94	7,18	7,24	7,41
B ₃	4,53	4,46	5,23	6,15	6,57	7,30	7,11	7,15	6,37	7,12	7,35	7,33

Keterangan :

A = Limbah lemi industri tepung aren

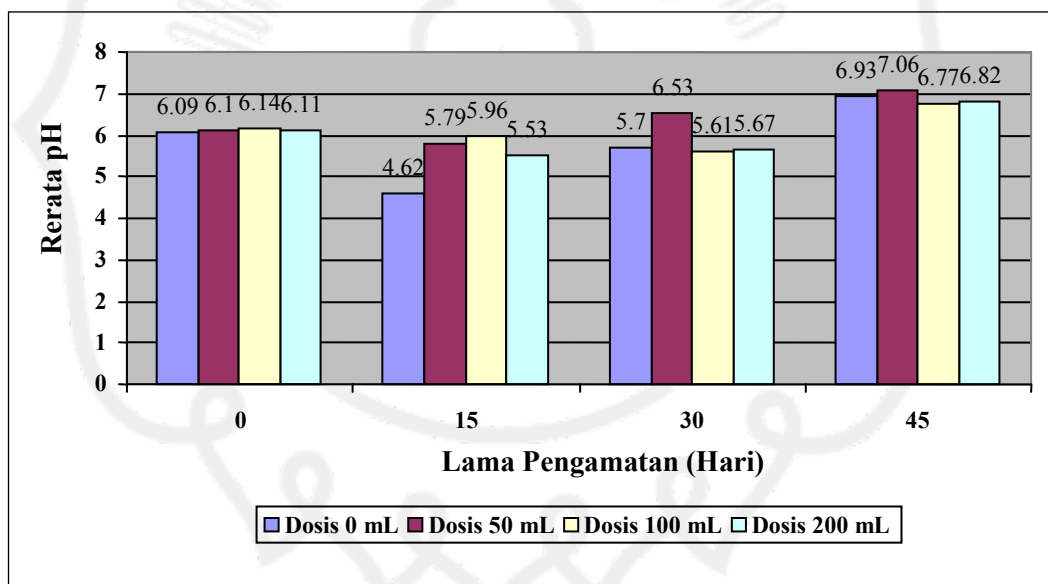
A₀ = Limbah lemi industri tepung aren yang baru

A₁ = Limbah lemi industri tepung aren yang dikeringkan selama 2 hari

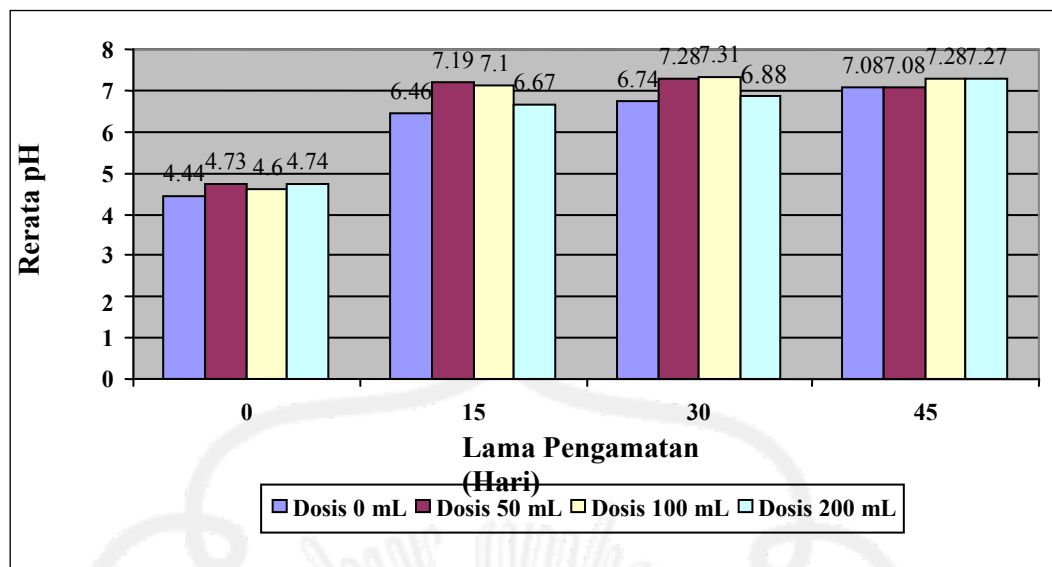
B = Dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS

- B_0 = Penambahan dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan dosis 0 ml
 B_1 = Penambahan dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan dosis 50 ml
 B_2 = Penambahan dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan dosis 100 ml
 B_3 = Penambahan dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan dosis 200 ml
C = Pengamatan hari
 C_0 = Pengamatan hari ke-0
 C_1 = Pengamatan hari ke-15
 C_2 = Pengamatan hari ke-30
 C_3 = Pengamatan hari ke-45

Berdasarkan Tabel 8, data dapat disajikan dalam bentuk histogram seperti pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Histogram Rerata pH Pupuk pada Limbah Padat Industri Tepung Aren Baru.



Gambar 4. Histogram Rerata pH Pupuk pada Limbah Padat Industri Tepung Aren yang Dikeringkan 2 Hari.

b. Suhu

Suhu diukur dengan termometer batang pada hari ke-0, 15, 30, dan 45 dengan tiga kali perulangan. Hasil yang diperoleh dari perhitungan dengan variasi jenis limbah lemi industri tepung aren, dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS, dan waktu penimbunan dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Data Hasil Perhitungan Suhu dengan Variasi Limbah Lemi Industri Tepung Aren, Dosis Mikroorganisme Efektif BIOEDU-UNS, dan Lama Waktu Degradasi.

B ₃	30,5	30,5	31,0	31,5	30,0	31,0	28,5	30,5	25,5	27,0	25,0	27,5
Faktor B	Faktor C											
	C ₀			C ₁			C ₂			C ₃		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
	Faktor A ₀											
B ₀	28,0	27,0	28,0	27,5	29,0	29,0	27,5	26,0	26,0	27,0	27,5	27,5
B ₁	28,0	27,5	28,5	28,0	28,5	29,0	28,5	27,5	26,5	26,5	28,5	26,5
B ₂	28,5	28,5	28,0	28,0	30,5	28,5	25,5	27,0	26,5	27,5	27,5	27,0
B ₃	26,5	28,0	27,0	30,0	28,0	29,0	26,5	26,5	29,0	28,5	26,0	27,0
	Faktor A ₁											
B ₀	30,0	31,0	29,0	30,5	30,0	30,0	25,0	26,0	28,5	26,5	27,0	25,5
B ₁	30,5	31,0	30,0	30,5	31,5	30,0	29,0	30,0	26,0	28,5	26,5	27,0
B ₂	31,0	31,0	32,0	29,0	30,0	28,0	25,0	25,0	26,0	26,0	26,0	25,5

Keterangan :

A = Limbah lemi industri tepung aren

A₀ = Limbah lemi industri tepung aren yang baru

A₁ = Limbah lemi industri tepung aren yang dikeringkan selama 2 hari

B = Dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS

B₀ = Penambahan dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan dosis 0 ml

B₁ = Penambahan dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan dosis 50 ml

B₂ = Penambahan dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan dosis 100 ml

B₃ = Penambahan dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan dosis 200 ml

C = Pengamatan hari

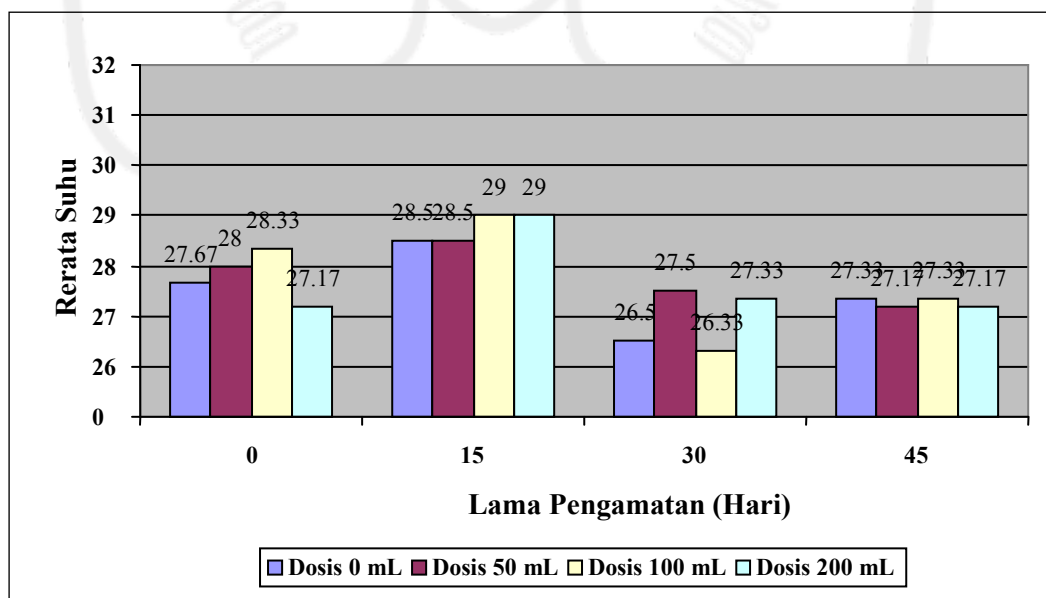
C₀ = Pengamatan hari ke-0

C₁ = Pengamatan hari ke-15

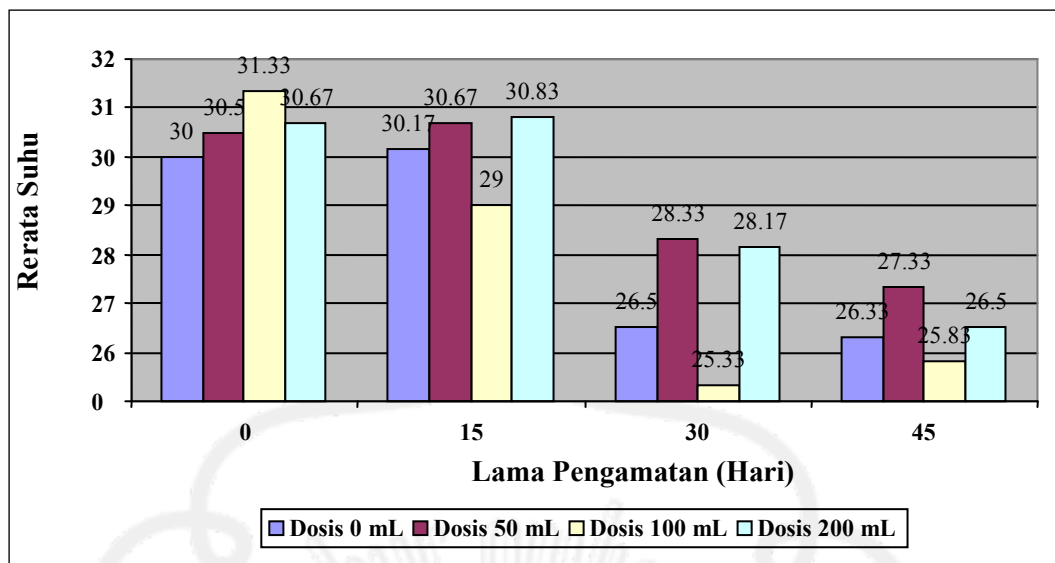
C₂ = Pengamatan hari ke-30

C₃ = Pengamatan hari ke-45

Berdasarkan Tabel 9, data dapat disajikan dalam bentuk histogram seperti pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Histogram Rerata Suhu Pupuk pada Limbah Padat Industri Tepung Aren Baru



Gambar 6. Histogram Rerata Suhu Pupuk pada Limbah Padat Industri Tepung Aren yang Dikeringkan 2 Hari.

c. Ratio C/N

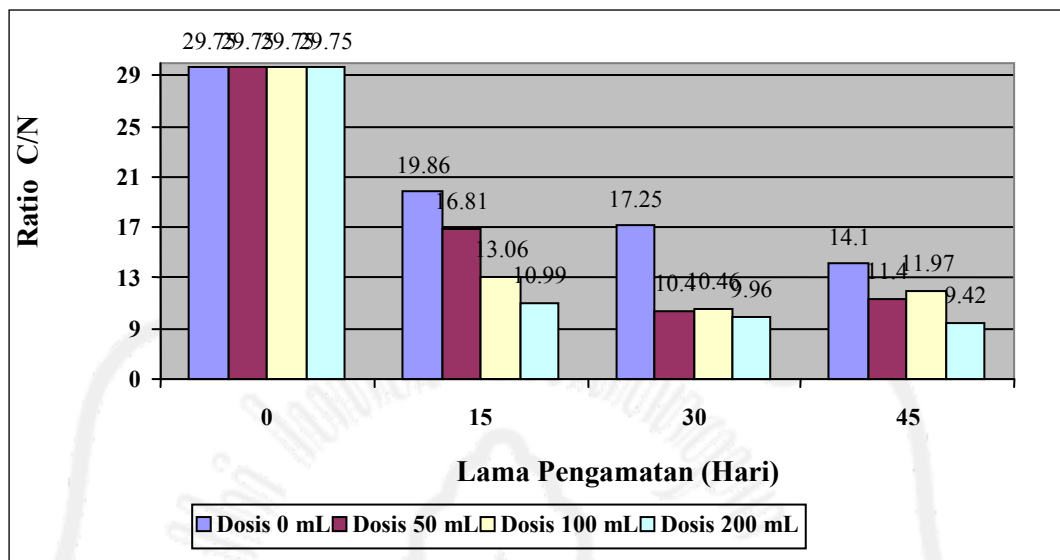
Perhitungan ratio C/N diawali dengan mengukur kandungan karbon organik dari limbah lemi industri tepung aren dan dilanjutkan dengan mengukur kandungan nitrogen. Hasil dari masing-masing pengukuran digunakan untuk mengukur ratio C/N. Hasil yang diperoleh dari perhitungan ratio C/N dengan variasi limbah lemi industri tepung aren, dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS, dan lama waktu degradasi dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Perhitungan Ratio C/N dengan Variasi Limbah Lemu Industri Tepung Aren, Dosis Mikroorganisme Efektif BIOEDU-UNS, dan Lama Waktu Degradasi

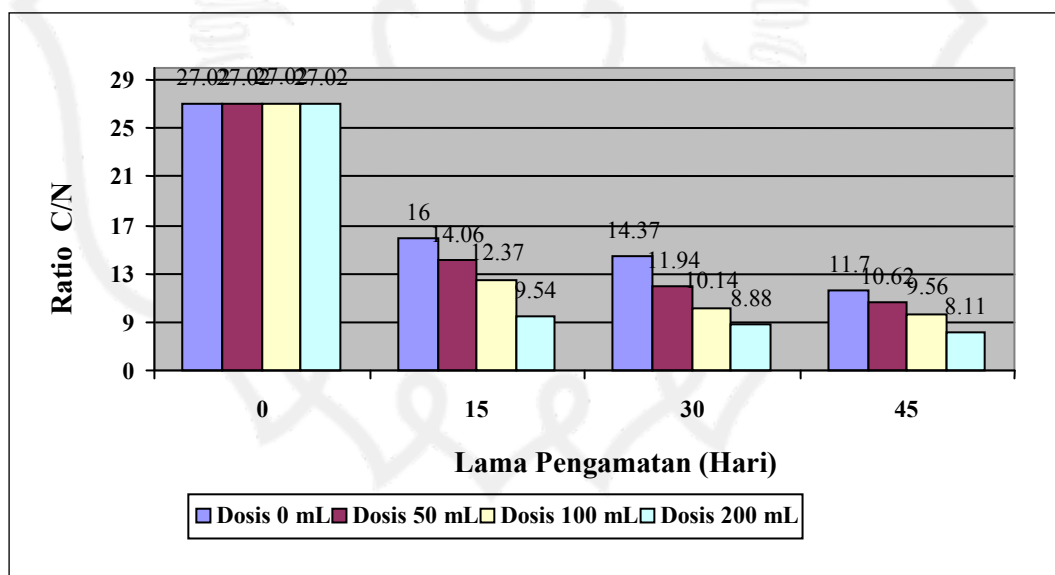
Jenis Limbah Lemu	Hari ke-	Dosis Mikroorganisme Efektif BIOEDU-UNS			
		0 mL	50 mL	100 mL	200 mL
Lemu yang baru	0	29,75	29,75	29,75	29,75
	15	19,86	16,81	13,06	10,99
	30	17,25	10,4	10,46	9,96
	45	14,10	11,40	11,97	9,42
Lemu yang dikeringkan 2 hari	0	27,02	27,02	27,02	27,02
	15	16,00	14,06	12,37	9,54
	30	14,37	11,94	10,14	8,88

	45	11,70	10,62	9,56	8,11
--	----	-------	-------	------	------

Berdasarkan Tabel 10, data dapat disajikan dalam bentuk histogram seperti pada Gambar 7 dan Gambar 8 :



Gambar 7. Histogram C/N pada Limbah Padat Industri Tepung Aren Baru



Gambar 8. Histogram C/N pada Limbah Padat Industri Tepung Aren dengan Pengeringan 2 Hari.

d. Bau

Parameter bau diukur oleh tiga orang, dimana masing-masing orang mencium bau pupuk dan hasilnya dicatat sebagai hasil penelitian. Hasil yang diperoleh tentang parameter bau pupuk dengan variasi limbah lemi industri tepung

aren, dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS, dan lama waktu degradasi dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Data tentang Bau Pupuk dengan Variasi Limbah Lemi Industri Tepung Aren, Dosis Mikroorganisme Efektif BIOEDU-UNS, dan Lama Waktu Degradasi.

Jenis Limbah Lemi	Hari ke-	Dosis Mikroorganisme Efektif BIOEDU-UNS			
		0 mL	50 mL	100 mL	200 mL
Limbah lemi yang baru	0	Sangat Bau	Sangat Bau	Sangat Bau	Sangat Bau
	15	Bau	Agak Bau	Bau	Bau
	30	Agak Bau	Tidak Bau	Tidak Bau	Tidak Bau
	45	Tidak Bau	Tidak Bau	Tidak Bau	Tidak Bau
Limbah lemi yang dikeringkan 2 hari	0	Bau	Bau	Bau	Bau
	15	Tidak Bau	Tidak Bau	Tidak Bau	Tidak Bau
	30	Tidak Bau	Tidak Bau	Tidak Bau	Tidak Bau
	45	Tidak Bau	Tidak Bau	Tidak Bau	Tidak Bau

e. Warna

Warna pupuk diukur dengan mengamati perubahannya dari hari ke-0, 15, 30, dan 45. Perubahan warna pupuk diamati oleh tiga orang, dimana masing-masing orang mengamati warna pupuk dan hasil yang diperoleh dicatat sebagai data pengamatan. Hasil yang diperoleh tentang warna pupuk dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Data tentang Warna Pupuk dengan Variasi Limbah Lemi Industri Tepung Aren, Dosis Mikroorganisme Efektif BIOEDU-UNS, dan Lama Waktu degradasi.

Jenis Limbah Lemi	Hari ke-	Dosis Mikroorganisme Efektif BIOEDU-UNS			
		0 ml	50 mL	100 mL	200 mL
Limbah lemi yang baru	0	Kuning	Kuning	Kuning	Kuning
	15	Kuning Tua	Kuning Kehitaman	Kuning Tua	Kuning Kehitaman
	30	Kuning Kecoklatan	Coklat Kehitaman	Coklat Tua	Coklat
	45	Coklat Kehitaman	Coklat Kehitaman	Coklat Kehitaman	Coklat Kehitaman
Limbah lemi yang muda	0	Coklat Muda	Coklat Muda	Coklat Muda	Coklat Muda

dikeringkan 2 hari	15	Coklat Tua	Coklat Agak Kehitaman	Coklat Agak Kehitaman	Coklat Agak Kehitaman
	30	Coklat Agak Kehitaman	Coklat Kehitaman	Coklat Kehitaman	Coklat Kehitaman
	45	Coklat Kehitaman	Coklat Kehitaman	Coklat Kehitaman	Coklat Kehitaman

f. Tekstur

Parameter tekstur pupuk diukur dengan mengamati perubahannya dari hari ke-0, 15, 30, dan 45. Hasil yang diperoleh tentang tekstur pupuk dengan variasi limbah lemi industri tepung aren, dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS, dan lama waktu degradasi dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Data tentang Tekstur Pupuk dengan Variasi Limbah Lemu Industri Tepung Aren, Dosis Mikroorganisme Efektif BIOEDU-UNS, dan Lama Waktu Degradasi.

Jenis Limbah Lemi	Hari Ke-	Dosis Mikroorganisme Efektif BIOEDU-UNS			
		0 mL	50 MI	100 mL	200 mL
Limbah lemi yang baru	0	Lembek	Lembek	Lembek	Lembek
	15	Agak Menggumpal	Agak Menggumpal	Agak Menggumpal	Agak Menggumpal
	30	Agak Remah	Agak Remah	Agak Remah	Agak Remah
	45	Remah	Remah	Remah	Remah
Limbah lemi yang dikering	0	Agak Menggumpal	Agak Menggumpal	Agak Menggumpal	Agak Menggumpal
	15	Remah	Remah	Remah	Remah
	30	Remah	Remah	Remah	Remah

kan hari	2	45	Remah	Remah	Remah	Remah
-------------	---	----	-------	-------	-------	-------

B. Analisis Uji Prasyarat

1. pH

Hasil perhitungan uji normalitas pH dapat dilihat pada Tabel 26.

L_0 hitung : 0,0866

L_0 hitung : 0,0904

L_0 hitung < L_0 tabel

0,0866 < 0,0904

Kesimpulan : data memiliki distribusi atau sebaran normal.

Hasil perhitungan uji homogenitas pH variasi limbah lemi industri tepung aren, dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dan lama waktu degradasi dapat dilihat pada Tabel 27 .

X^2 tabel (0,05, 32-1) : 45,0

X^2 hitung : 38,057

X^2 hitung < X^2 tabel

38,057 < 45,0

Kesimpulan : data berasal dari populasi yang memiliki variasi homogen.

2. Suhu

Hasil perhitungan uji normalitas suhu dapat dilihat pada Tabel 35.

L_0 hitung	: 0,0899
L_0 tabel	: 45,0
L_0 hitung	< L_0 tabel
0,0899	< 45,0

Kesimpulan : data memiliki distribusi atau sebaran yang normal.

Hasil perhitungan uji homogenitas suhu variasi limbah lemi industri tepung aren, dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS, dan lama waktu degradasi dapat dilihat pada Tabel 36.

X^2 tabel (0,05, 32-1)	: 45,0
X^2 hitung	: 35,095
X^2 hitung	< X^2 tabel
35,095	< 45,0

Kesimpulan : data berasal dari populasi yang memiliki variasi homogen.

C. Analisis Uji Hipotesis

1. pH

Hasil perhitungan analisis sidik ragam pengaruh variasi limbah lemi industri tepung aren, dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS, dan lama waktu degradasi dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14. Hasil Analisis Sidik Ragam Variasi Limbah Lemu Industri Tepung Aren, Dosis Mikroorganisme Efektif BIOEDU-UNS, dan Lama Waktu Degradasi terhadap pH.

Sumber Keragaman	Derajat Kebebasan	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F hitung	F tabel (5 %)
------------------	-------------------	----------------	----------------	----------	---------------

Sidik Petak Utama					
Ulangan	2	0,184	0,092		
Limbah Lemi (A)	1	2,785	2,785	141,44**	18,51
Galat (a)	2	0,039	0,019		
Sidik Anak Petak					
Dosis Mikroorganisme (B)	3	2,912	0,971	9,20**	3,49
A x B	3	0,173	0,058	0,55	3,49
Galat (b)	12	1,267	0,106		
Sidik Anak-Anak Petak					
Waktu Penimbunan (C)	3	34,976	11,659	81,63**	2,80
A x C	3	30,595	10,198	71,41**	2,80
B x C	9	2,795	0,311	2,17**	2,08
A x B x C	9	1,319	0,147	1,03	2,08
Galat (c)	48	6,855	0,143		
Umum	95	83,901			

** = H_0 ditolak

Kesimpulan Uji F :

- Jenis limbah padat industri tepung aren berpengaruh terhadap kualitas pupuk.
- Dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS berpengaruh terhadap kualitas pupuk.
- Interaksi jenis limbah padat industri tepung aren dengan dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS tidak berpengaruh terhadap kualitas pupuk.
- Lama waktu degradasi berpengaruh terhadap kualitas pupuk.
- Interaksi jenis limbah padat industri tepung aren dengan lama waktu degradasi berpengaruh terhadap kualitas pupuk.
- Interaksi antara dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan lama waktu degradasi berpengaruh terhadap kualitas pupuk.
- Interaksi antara jenis limbah padat industri tepung aren, dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dan lama waktu degradasi tidak berpengaruh terhadap kualitas pupuk.

2. Suhu

Hasil perhitungan analisis sidik ragam pengaruh variasi limbah padat industri tepung aren, dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dan lama

waktu degradasi terhadap suhu dapat dilihat pada tabel 15.

Tabel 15. Hasil Analisis Sidik Ragam Variasi Limbah Padat Industri Tepung Aren, Dosis Mikroorganisme Efektif BIOEDU-UNS, dan Lama Waktu Degradasi terhadap Suhu.

Sumber Keragaman	Derajat Kebebasan	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F hitung	F tabel (5%)
Sidik Petak Utama					
Ulangan	2	1,286	0,643		
Limbah lemi (A)	1	20,167	20,167	32,13**	18,51
Galat (a)	2	1,255	0,628		
Sidik Anak Petak					
Dosis Mikroorganisme (B)	3	8,469	2,823	3,76**	3,49
A x B	3	6,688	2,229	2,97	3,49
Galat (b)	12	9,00	0,750		
Sidik Anak-Anak Petak					
Waktu Penimbunan (C)	3	138,698	46,233	39,08**	2,80
A x C	3	43,583	14,528	12,28**	2,80
B x C	9	17,406	1,934	1,63	2,08
A x B x C	9	4,396	0,488	0,41	2,08
Galat (C)	48	56,792	1,183		
Umum	95	307,739			

**= H_0 ditolak

Kesimpulan Uji F :

- Perbedaan jenis limbah padat industri tepung aren berpengaruh terhadap kualitas pupuk.
- Perbedaan dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS berpengaruh terhadap kualitas pupuk.
- Interaksi jenis limbah padat industri tepung aren dengan dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS tidak berpengaruh terhadap kualitas pupuk.
- Perbedaan lama waktu degradasi berpengaruh terhadap kualitas pupuk.

- e. Interaksi jenis limbah padat industri tepung aren dengan lama waktu degradasi berpengaruh terhadap kualitas pupuk.
- f. Interaksi antara dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan lama waktu degradasi tidak berpengaruh terhadap kualitas pupuk.
- g. Interaksi antara jenis limbah padat industri tepung aren, dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dan lama waktu degradasi tidak berpengaruh terhadap kualitas pupuk.

D. Analisis Uji Lanjut

1. pH

Berdasarkan Tabel 8 terdapat pengaruh variasi limbah padat industri tepung aren, dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS, dan lama waktu degradasi terhadap pH pupuk.

Hasil uji Beda Jarak Nyata Duncan terhadap pH pupuk.

- a. Pengaruh jenis limbah padat industri tepung aren terhadap pH pupuk.

Tabel 16. Pengaruh Jenis Limbah Padat Industri Tepung Aren terhadap pH Pupuk.

No.	Jenis Limbah Padat Industri Tepung Aren	pH
1.	A ₁	6,431 ^a
2.	A ₀	6,091 ^b

Keterangan : Angka-angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan pada taraf DMRT 5%.

- b. Pengaruh dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS terhadap pH pupuk

Tabel 17. Pengaruh Dosis Mikroorganisme Efektif BIOEDU-UNS terhadap pH Pupuk

No.	Dosis Mikroorganisme Efektif BIOEDU-UNS	pH
1.	B ₁	6,478 ^a
2.	B ₂	6,347 ^{ab}
3.	B ₃	6,213 ^{bc}
4.	B ₀	6,007 ^d

Keterangan : Angka-angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan pada taraf DMRT 5%.

- c. Pengaruh lama waktu degradasi terhadap pH pupuk

Tabel 18. Pengaruh Lama Waktu Degradasi terhadap pH Pupuk

No.	Lama Waktu Degradasi	pH
1.	C ₃	7,043 ^a
2.	C ₂	6,465 ^b
3.	C ₁	6,166 ^c
4.	C ₀	5,369 ^d

Keterangan : Angka-angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan pada taraf DMRT 5%.

- d. Pengaruh interaksi jenis limbah padat industri tepung aren dengan lama waktu degradasi terhadap pH pupuk.

Tabel 19. Pengaruh Interaksi Jenis Limbah Padat Industri Tepung Aren dengan Lama Waktu Degradasi terhadap pH Pupuk

No.	Interaksi Jenis Limbah Lemi dengan Lama Waktu Degradasi	pH
1.	A ₁ C ₃	7,189 ^a
2.	A ₁ C ₂	7,053 ^{ab}
3.	A ₀ C ₃	6,898 ^{abc}
4.	A ₁ C ₁	6,855 ^{abcd}
5.	A ₀ C ₀	6,111 ^e
6.	A ₀ C ₂	5,878 ^{ef}
7.	A ₀ C ₁	5,477 ^g
8.	A ₁ C ₀	4,628 ^h

Keterangan : Angka-angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan pada taraf DMRT 5%.

- e. Pengaruh interaksi dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan lama waktu degradasi terhadap pH pupuk.

Tabel 20. Pengaruh Interaksi Dosis Mikroorganisme Efektif BIOEDU-UNS dengan Lama Waktu Degradasi terhadap pH Pupuk

No.	Interaksi Dosis Mikroorganisme Efektif BIOEDU-UNS dengan Lama Waktu Degradasi	pH
1.	B ₁ C ₃	7.547 ^a
2.	B ₃ C ₃	7.522 ^{ab}
3.	B ₂ C ₃	7.512 ^{abc}
4.	B ₀ C ₃	7.504 ^{abcd}
5.	B ₁ C ₂	7.452 ^{abcde}

6.	B ₂ C ₁	7.265 ^{abcdef}
7.	B ₁ C ₁	7.246 ^{abcdefg}
8.	B ₂ C ₂	7.230 ^{abcdefgh}
9.	B ₃ C ₂	7.137 ^{abcdefghi}
10.	B ₀ C ₂	7.109 ^{abcdefghi}
11.	B ₃ C ₁	7.051 ^{abcdefghi}
12.	B ₀ C ₁	6.768 ^{ghi}
13.	B ₃ C ₀	6.713 ¹
14.	B ₁ C ₀	6.708 ¹
15.	B ₂ C ₀	6.685 ¹
16.	B ₀ C ₀	6.631 ¹

Keterangan : Angka-angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan pada taraf DMRT 5%.

2. Suhu

Berdasarkan Tabel 9 terdapat pengaruh variasi limbah padat industri tepung aren, dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dan lama waktu degradasi terhadap suhu pupuk.

Hasil uji Beda Jarak Nyata Duncan terhadap suhu.

- a. Pengaruh jenis limbah padat industri tepung aren terhadap suhu pupuk.

Tabel 21. Pengaruh Jenis Limbah Padat Industri Tepung Aren terhadap Suhu Pupuk.

No.	Jenis Limbah Padat Industri Tepung Aren	Suhu (°C)
1.	A ₁	28,594 ^a
2.	A ₀	27,677 ^b

Keterangan : Angka-angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan pada taraf DMRT 5%.

- b. Pengaruh dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS terhadap suhu pupuk.

Tabel 22. Pengaruh Dosis Mikroorganisme Efektif BIOEDU-UNS terhadap Suhu Pupuk

No.	Dosis Mikroorganisme Efektif BIOEDU-UNS	Suhu (°C)
1.	B ₁	28,500 ^a
2.	B ₃	28,354 ^{ab}
3.	B ₀	27,875 ^b
4.	B ₂	27,813 ^b

Keterangan : Angka-angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan pada taraf DMRT 5%.

- c. Pengaruh Lama Waktu Degradasi terhadap Suhu Pupuk.

Tabel 23. Pengaruh Lama Waktu Degradasi terhadap Suhu Pupuk

No.	Lama Waktu Degradasi	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)
1.	C ₁	29,258 ^a
2.	C ₀	29,208 ^{ab}
3.	C ₂	27,000 ^c
4.	C ₃	26,875 ^c

Keterangan : Angka-angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan pada taraf DMRT 5%.

- d. Pengaruh interaksi jenis limbah padat industri tepung aren dengan lama waktu degradasi terhadap suhu pupuk.

Tabel 24. Pengaruh Interaksi Jenis Limbah Padat Industri Tepung Aren dengan Lama Waktu Degradasi terhadap Suhu Pupuk

No.	Interaksi Jenis Limbah Lemi dengan Lama Waktu Degradasi	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)
1.	A ₁ C ₀	30.625 ^a
2.	A ₁ C ₁	30.166 ^{ab}
3.	A ₀ C ₁	28.750 ^c
4.	A ₀ C ₀	27.791 ^d
5.	A ₀ C ₃	27.250 ^{de}
6.	A ₁ C ₂	27.083 ^{de}
7.	A ₀ C ₂	26.916 ^{de}
8.	A ₁ C ₃	26.500 ^e

Keterangan : Angka-angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan pada taraf DMRT 5%.

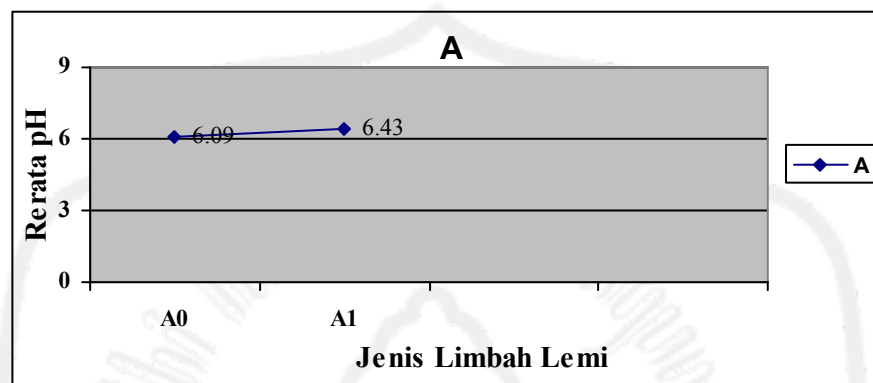
E. Pembahasan

1. pH

Uji F menunjukkan bahwa variasi limbah padat industri tepung aren berpengaruh nyata terhadap pH pupuk ($F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}} = 141,44 > 18,51$), variasi dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS berpengaruh nyata terhadap pH pupuk ($F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}} = 9,20 > 3,49$), lama waktu degradasi berpengaruh nyata terhadap pH pupuk ($F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}} = 81,63 > 2,80$). Selain itu, interaksi antara jenis limbah padat industri tepung aren dengan lama waktu degradasi pupuk berpengaruh terhadap pH pupuk ($F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}} = 71,41 > 2,80$), dan

interaksi antara dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan lama waktu degradasi kompos berpengaruh nyata terhadap pH pupuk ($F_{hitung} > F_{tabel} = 2,17 > 2,08$).

Uji lanjut yang digunakan adalah uji Beda Jarak Nyata Duncan (BJND). Secara uji BJND dapat dilihat pada tabel 16. Pengaruh variasi limbah padat industri tepung aren terhadap pH pupuk dapat dilihat pada Gambar 9.

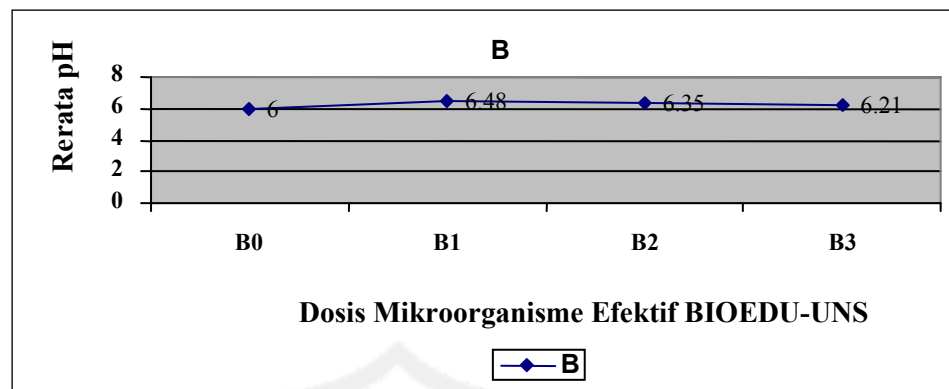


Gambar 9. Grafik pH pada Jenis Limbah Padat Industri Tepung Aren

Berdasarkan Gambar 9 diperoleh bahwa jenis limbah lemi berpengaruh terhadap pH pupuk. Jenis limbah lemi dengan pengeringan selama 2 hari memiliki pH pupuk lebih mendekati netral yaitu pH sebesar 6,43 jika dibandingkan dengan pH limbah lemi yang baru yaitu 6,09. Limbah lemi dengan pengeringan selama 2 hari mempunyai pH pupuk yang lebih baik karena mempunyai kelembaban limbah yang sesuai bagi perkembangan organisme aerobik yaitu sekitar 60-70%. Adanya kondisi substrat yang sesuai ini menyebabkan metabolisme mikroorganisme pendegradasi bahan-bahan organik dalam limbah tersebut berjalan lebih baik sehingga kompos yang dihasilkan pun mempunyai kualitas lebih baik pula khususnya pH pupuk yang lebih mendekati netral.

Menurut Indriani (2000:7), “Salah satu faktor yang mempengaruhi proses pengomposan adalah kelembaban dan aerasi”. Sedangkan Widawati (2005) mengungkapkan “Kelembaban yang sesuai untuk pengomposan aerobik adalah 60%-70%”.

Pengaruh dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS terhadap pH pupuk dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik pH pada Dosis Mikroorganisme Efektif BIOEDU-UNS

Berdasarkan Gambar 10 dapat dilihat bahwa penambahan dosis mikroorganisme efektif berpengaruh terhadap pH pupuk. Sedangkan dari uji BJND, dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS yang berpengaruh paling baik terhadap pH pupuk adalah dosis 50 mL/25 kg (B_1) sebesar 6,478, kemudian diikuti oleh dosis 100 mL/25 kg (B_2) sebesar 6,347, 200 mL/25 kg (B_3) sebesar 6,213, dan 0 mL/25 kg (B_0) yaitu tanpa penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS sebesar 6,007.

Proses pengomposan dipengaruhi oleh jumlah mikroorganisme yang terlibat dalam dekomposisi. Indriani (2000:8) berpendapat bahwa “Banyaknya mikroorganisme yang bekerja pada pengomposan akan membantu proses penguraian berjalan lebih cepat”.

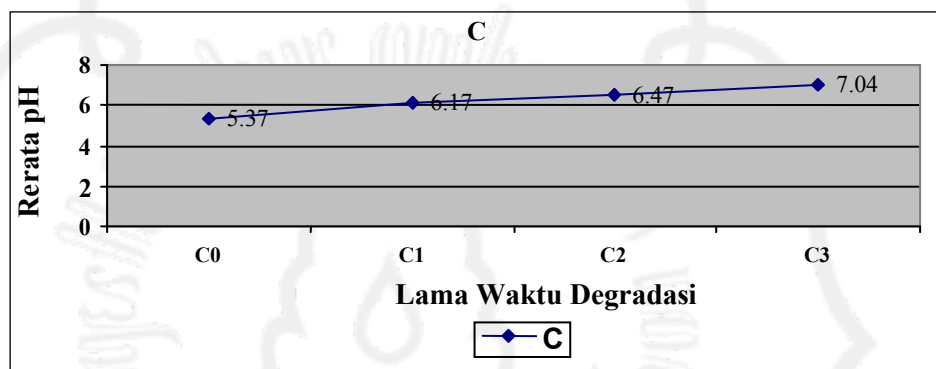
Konsentrasi sel dalam semua dosis mikroorganisme sama, sehingga dapat diartikan semakin besar dosis yang digunakan maka semakin banyak pula mikroorganisme yang terlibat dalam pengomposan. Namun aktivitas mikroorganisme juga dipengaruhi oleh kandungan nutrisi atau bahan organik dalam limbah.

Sherrington (1981: 246) menjelaskan bahwa “Semua mikroorganisme memerlukan nutrisi yang akan menyediakan energi, nitrogen, vitamin, dan mineral”.

Volume limbah lemi yang digunakan pada semua perlakuan sama yaitu sebesar 25 kg sehingga dapat disimpulkan bahwa rata-rata nutrisi/bahan organik dalam semua perlakuan juga sama. Namun kompetisi antar mikroorganisme dalam pemerolehan nutrisi menjadi semakin tinggi jika jumlah bahan organik

yang ada tidak mencukupi kebutuhan mikroorganisme yang terlibat dalam pengomposan. Kompetisi yang tinggi mengakibatkan kematian mikroorganisme yang lain sehingga dekomposisi berjalan kurang optimal. Dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS 50 mL/25 kg merupakan dosis yang paling efektif bagi dekomposisi limbah dengan volume 25 kg, karena jumlah mikroorganisme efektif sesuai dengan jumlah nutrisi yang tersedia dalam limbah lemi. Oleh karenanya pupuk yang dihasilkan mempunyai pH yang paling baik.

Pengaruh lama waktu degradasi terhadap pH pupuk dapat dilihat pada Gambar 11.

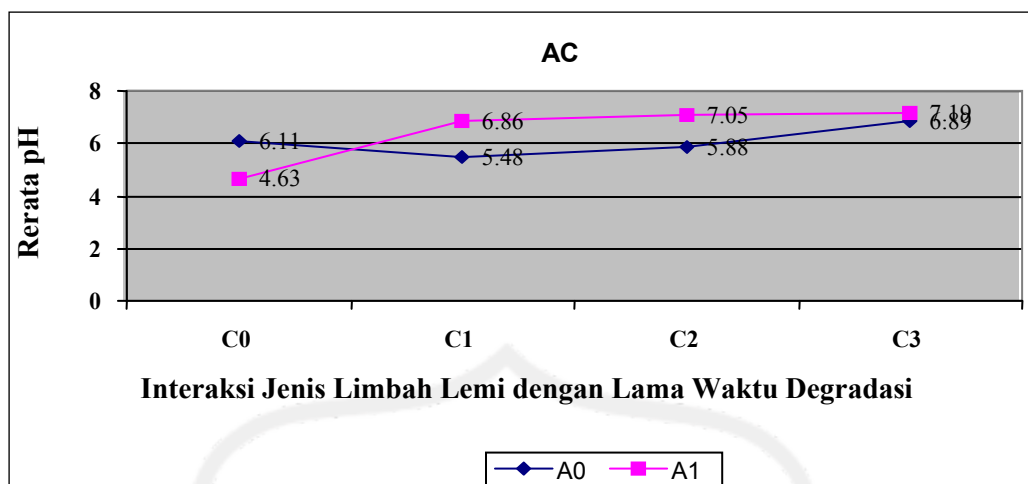


Gambar 11. Grafik pH pada Lama Waktu Degradasi.

Berdasarkan tabel 11 dapat dilihat bahwa lama degradasi berpengaruh nyata dalam pH pupuk. sedangkan dari uji BJND, lama waktu degradasi yang paling efektif untuk menghasilkan pH pupuk yang baik adalah selama 45 hari, yaitu sebesar 7,04. Untuk pH pupuk pada pengamatan lain adalah 6,47 pada 30 hari; 6,17 pada 15 hari; dan 5, 37 pada 0 hari.

Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa semakin lama degradasi maka pH pupuk semakin mendekati netral hingga pada akhirnya mencapai pH yang netral. Bahan organik limbah didegradasi terus menerus oleh mikroorganisme hingga semakin lama proses maka semua bahan organik terdegradasi sempurna menjadi bahan anorganik dengan pH pupuk dalam kisaran netral.

Pengaruh interaksi jenis limbah padat industri tepung aren dengan lama waktu degradasi terhadap pH pupuk dapat dilihat pada Gambar 12.

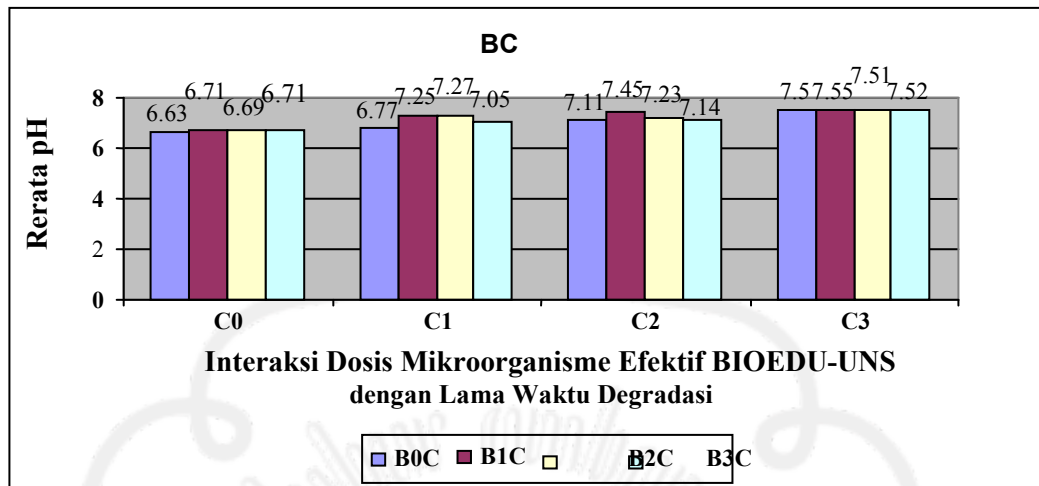


Gambar 12. Grafik pH pada Interaksi Jenis Limbah Padat Industri Tepung Aren dengan Lama Waktu Degradasi.

Dari uji BJND, pengaruh paling nyata dari kombinasi perlakuan antara jenis limbah lemi dengan lama waktu degradasi terhadap pH pupuk adalah A_1C_3 adalah limbah lemi dengan pengeringan selama 2 hari dan lama degradasi 45 hari dengan pH 7,19. Sedangkan pH terendah 4,63 diperoleh dari kombinasi perlakuan antara limbah lemi dengan pengeringan selama 2 hari dan lama waktu degradasi 0 hari atau pada awal pengomposan (A_1C_0). Perlakuan A_1C_3 (limbah lemi dengan pengeringan selama 2 hari dan lama degradasi 45 hari) mempunyai pH yang lebih netral karena pada lama waktu degradasi sekian asam organik yang dihasilkan pada proses sebelumnya telah dimetabolisme menjadi senyawa-senyawa anorganik baru, dengan demikian proses pengomposan selesai. Akhir pengomposan menghasilkan pH yang lebih netral karena sejak awal dekomposisi yang terjadi dalam jenis limbah ini berlangsung lebih optimal dibandingkan dalam jenis limbah lemi baru.

Gambar 12 menunjukkan bahwa perubahan pH limbah lemi baru berupa penurunan pH pada pengamatan hari ke-15, dari pH 6,11 menjadi 5,48. Kemudian pH naik pada pengamatan hari ke-30 mencapai pH 5,88 dan diperoleh pupuk netral pada pengamatan hari ke-45 dengan pH sebesar 6,89. Sedangkan limbah lemi dengan pengeringan 2 hari mengalami kenaikan pH pada pengamatan hari ke-15 dari 4,63 menjadi 6,86. Kemudian dilanjutkan pada pengamatan hari ke-30 sebesar 7,09 dan diperoleh pupuk pada pengamatan hari ke-45 dengan pH sebesar 7,49.

Pengaruh interaksi dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan lama waktu degradasi terhadap pH pupuk dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Grafik pH pada Interaksi Dosis Mikroorganisme Efektif BIOEDU-UNS dengan Lama Waktu Degradasi.

Berdasarkan histogram Gambar 13 untuk kombinasi perlakuan antara dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan lama waktu degradasi, pengaruh paling besar terhadap pH pupuk adalah kombinasi perlakuan B₁C₃ yaitu dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS 50 mL sebesar 7,55. Sedangkan yang menghasilkan pH pupuk terendah adalah B₀C₀ yaitu dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS 0 mL sebesar 6,63.

Menurut Suwena (2002), “Penambahan mikroorganisme efektif akan mempercepat pengomposan dan dapat meningkatkan pertumbuhan mikroorganisme lain yang menguntungkan seperti bakteri pengikat nitrogen, bakteri pelarut fosfat, dan mikroorganisme lainnya”.

Menurut Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia, “Standar kualitas pupuk organik menurut internasional adalah $7 \pm 0,5$ ” (<http://www.menlh.go.id/kompos/aplikasi.php?name=News&file=article&sid=12>)

Berdasarkan histogram Gambar 3 dan Gambar 4 dapat diperoleh bahwa A₀B₁C₃, A₁B₀C₃, dan A₁B₁C₃ memiliki pH pupuk yang paling netral jika dibandingkan seluruh perlakuan yang lain. A₀B₁C₃ merupakan interaksi antara limbah padat industri tepung aren yang baru, dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS 50 mL, dan lama waktu degradasi 45 hari. A₁B₀C₃ merupakan interaksi limbah padat industri tepung aren dengan pengeringan selama 2 hari,

dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS 0 mL, dan lama waktu degradasi 45 hari. Sedangkan $A_1B_1C_3$ merupakan interaksi limbah padat industri dengan pengeringan selama 2 hari, dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS 50 mL, dan lama waktu degradasi 45 hari. Pupuk dengan pH tertinggi adalah $A_1B_2C_3$ sebesar 7,28, sedangkan pupuk dengan pH terendah adalah $A_0B_2C_3$ sebesar 6,77.

Jenis limbah padat industri tepung aren, dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS, dan lama waktu degradasi berpengaruh terhadap pH pupuk. Histogram pada Gambar 3 dan Gambar 4 memperlihatkan bahwa limbah padat lemi baru dengan dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS 50 mL dan 45 hari waktu degradasi mempunyai pH 7,06. Sedangkan limbah lemi dengan pengeringan selama 2 hari, dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS 0 mL dan 50 mL serta lama waktu degradasi 45 hari mempunyai pH sebesar 7,08.

Sesuai dengan histogram pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa pengomposan pada semua perlakuan terhadap limbah lemi baru mengalami penurunan pH pada lama waktu degradasi 15 hari, dan kemudian mengalami kenaikan pada pengamatan ke-30 hingga menghasilkan kompos dengan pH netral atau mendekati netral.

Limbah lemi yang mengandung bahan organik berupa karbohidrat, lemak, protein kasar, dan serat kasar didegradasi mikroorganisme menjadi asam organik antara lain berupa asam amino dan asam lemak sehingga pH kompos menjadi turun.

Hal ini sejalan dengan Djuarnani (2005) bahwa derajat keasaman pada awal proses pengomposan akan mengalami penurunan, karena sejumlah mikroorganisme yang terlibat dalam pengomposan mengubah bahan organik menjadi asam organik.

Selain mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS, penurunan pH ini juga dipengaruhi oleh mikroorganisme yang secara alami ada dalam limbah, sehingga asam organik yang dihasilkan akan bertambah dan pH turun.

Selanjutnya pada pengamatan ke 30 hari sampai 45 hari, pH limbah naik hingga netral atau mendekati netral. Hal ini disebabkan adanya aktivitas sebagian mikroorganisme dalam limbah yang memanfaatkan hasil metabolisme

sebelumnya yaitu asam-asam organik menjadi senyawa lain sehingga pH menjadi netral.

Menurut musnamar (2003), dalam proses pengomposan kadang ditemukan mikroorganisme yang bersifat antagonis.

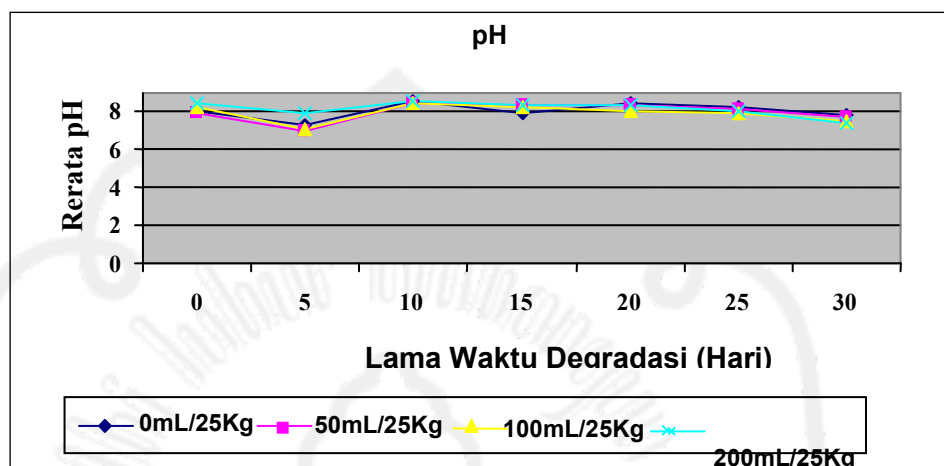
Disamping itu, pH limbah merupakan faktor penting yang menentukan jenis, jumlah, dan aktivitas mikroorganisme yang terlibat dalam transformasi bahan organik. Engelstad (1997: 158) mengungkapkan bahwa pada nilai pH di bawah sekitar 5,5 jamur merupakan yang paling efektif dalam dekomposisi bahan organik, terutama karena kurangnya persaingan dari mikroorganisme lain yang lebih peka terhadap faktor-faktor asam. Pada nilai pH > 6,0 *Actinomysetes* dan bakteri dijumpai lebih menonjol terlibat dalam dekomposisi bahan organik.

Dari histogram Gambar 4 dapat dilihat bahwa pH limbah lemi dengan pengeringan selama 2 hari pada awal pengomposan bersifat asam yaitu sekitar 4. Rendahnya pH pada jenis limbah ini karena dekomposisi oleh sebagian mikroorganisme yang menghasilkan asam organik pada saat proses pengeringan. Sehingga asam-asam organik inipun dapat digunakan oleh mikroorganisme lain menjadi bentuk senyawa yang berbeda. Adanya aktivitas ini mengakibatkan pH limbah pada pengamatan ke-15 hari hingga 45 hari sudah mengalami kenaikan hingga mendekati netral.

Dekomposisi jenis limbah lemi dengan pengeringan selama 2 hari lebih efektif menghasilkan pupuk yang berkualitas baik khususnya parameter pH, di mana keseluruhan perlakuan menghasilkan pH kompos yang netral pada waktu degradasi 45 hari. Hal ini terjadi karena pada degradasi ke-15 hari proses pengomposan menghasilkan limbah yang pH-nya netral. Kondisi ini akan mempercepat pengomposan bahan organik. Oleh karenanya kompos dari jenis limbah ini dengan penggunaan dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS 50 mL dan 100 mL dalam degradasi 30 hari sudah dapat digunakan karena pH kompos sudah netral. Hal demikian senada dengan Engelstad (1997: 158) bahwa bahan organik baik yang asli maupun yang ditambahkan melapuk lebih cepat pada kondisi yang netral daripada kondisi asam.

Sedangkan pada penelitian Catur (2006) tentang pengomposan limbah

padat tepung aren + kotoran sapi (perbandingan 1:1) dengan menggunakan starter mikroorganisme *sellulolitic*, pH awal bahan cenderung basa. Kemudian mengalami penurunan pH hingga menghasilkan kompos ber-pH netral. Pengaruh interaksi dosis mikroorganisme *sellulolitic* dengan lama waktu degradasi limbah padat tepung aren + kotoran sapi terhadap pH kompos dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Grafik pH Kompos pada Interaksi Dosis Mikroorganisme *Sellulolitic* dengan Lama Waktu Degradasi Limbah Padat Tepung Aren + Kotoran Sapi

Dari kedua penelitian dapat disimpulkan bahwa perbedaan jenis mikroorganisme starter serta penambahan kotoran sapi pada pengomposan limbah padat tepung aren tidak berpengaruh terhadap pH akhir kompos. Selain itu, kedua proses dalam menghasilkan kompos dengan pH netral mempunyai perbedaan laju yang tidak terlalu signifikan, sehingga dapat diartikan kedua pengomposan berlangsung dalam waktu yang kurang lebih sama untuk menghasilkan kompos yang netral.

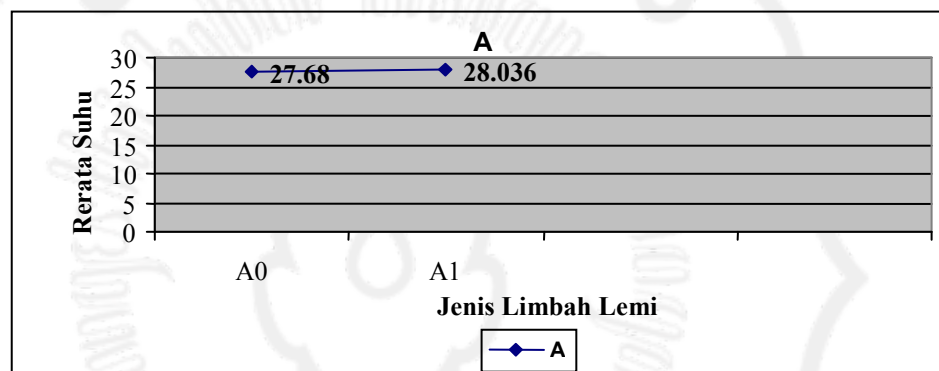
2. Suhu

Perubahan suhu merupakan indikator terpenting keberhasilan proses pengomposan. Hasil perubahan suhu dapat dilihat pada Tabel 9. Suhu yang dihasilkan pada tahap akhir cenderung menuju ke suhu ruang.

Uji F menunjukkan bahwa variasi limbah padat industri tepung aren berpengaruh nyata terhadap suhu pupuk ($F_{hitung} > F_{tabel} = 32,13 > 18,51$), variasi dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS berpengaruh nyata terhadap suhu pupuk ($F_{hitung} > F_{tabel} = 3,76 > 3,49$), lama waktu degradasi berpengaruh

nyata terhadap suhu pupuk ($F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}} = 39,08 > 2,80$), selain itu interaksi antara jenis limbah padat industri tepung aren dengan lama waktu degradasi pupuk berpengaruh terhadap suhu pupuk ($F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}} = 12,28 > 2,80$).

Secara uji BJND (lampiran 10) menunjukkan bahwa variasi limbah padat industri tepung aren, dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS, lama waktu degradasi, dan interaksi antara jenis limbah padat industri tepung dengan lama waktu degradasi memberikan hasil suhu yang berbeda nyata. Variasi limbah lemi, dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS, dan lama waktu degradasi dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6. Pengaruh jenis limbah padat industri tepung aren terhadap suhu pupuk dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Grafik Suhu pada Jenis Limbah Padat Industri Tepung Aren.

Berdasarkan Gambar 14 dapat dilihat bahwa jenis limbah lemi berpengaruh nyata terhadap suhu pupuk. Dari uji BJND, rerata suhu pupuk yang dihasilkan dari pengomposan limbah lemi yang baru adalah $27,68^{\circ}\text{C}$. Sedangkan rerata suhu pupuk yang dihasilkan dari pengomposan limbah lemi dengan pengeringan selama 2 hari mencapai $28,59^{\circ}\text{C}$. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa pengomposan jenis limbah lemi dengan pengeringan selama 2 hari mempunyai suhu yang lebih baik. Hal ini karena melalui pengeringan selama 2 hari, limbah lemi yang semula mempunyai kandungan air yang tinggi (kelembaban tinggi) akibat pengaruh proses pengambilan tepung sebelumnya, kelembabannya menjadi 50%-60% di mana pada kelembaban tersebut metabolisme mikroorganisme aerobik lebih optimal. Oleh karenanya, proses pengomposan dapat berjalan lebih baik daripada limbah lemi baru hingga didapatkan suhu yang optimal.

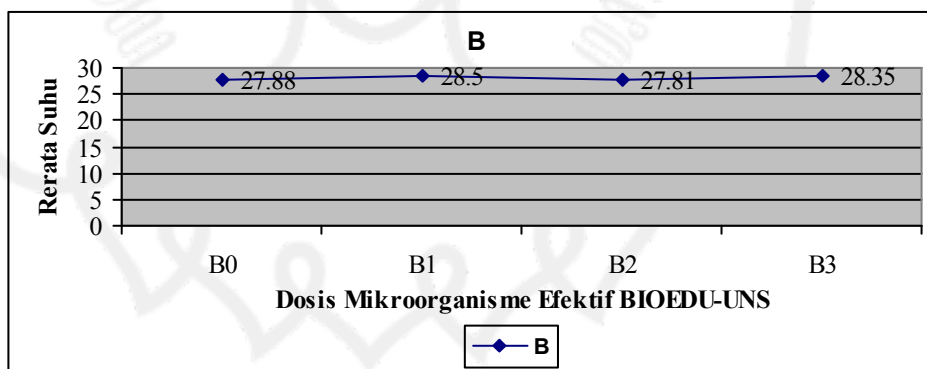
Selain itu, meski sama-sama mendapat perlakuan pembalikan bahan tiap 7 hari sekali, pengomposan limbah lemi dengan pengeringan 2 hari mempunyai aerasi yang lebih baik, khususnya mulai awal pengomposan dibandingkan dengan limbah lemi yang baru.

Pada limbah lemi yang baru dimana kelembaban limbah melebihi 60 %, dimungkinkan terjadi pengomposan anaerobik karena aerasi yang kurang akibat pori-pori limbah terisi banyak partikel air yang dapat menghalangi masuknya O_2 ke dalam limbah. Terjadinya pengomposan anaerobik di awal proses akan mempengaruhi suhu dan laju pengomposan sendiri.

Yuwono (2002: 32) menjelaskan bahwa terlalu banyak kadar air akan berakibat bahan semakin padat, melumerkan sumber makanan yang ditumbuhkan mikroba, dan memblokir masuknya oksigen.

Selain itu, Ia mengatakan laju pengomposan anaerobik lebih lambat sekitar 3-12 bulan dibandingkan dengan pengomposan aerobik yang berjalan sekitar 40-55 hari (Yuwono, 2002: 23).

Pengaruh dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS terhadap suhu pupuk dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Grafik Suhu pada Dosis Mikroorganisme Efektif BIOEDU-UNS.

Selanjutnya berdasarkan grafik Gambar 15 dari uji BJND dapat dilihat dosis yang paling berpengaruh nyata terhadap suhu pengomposan adalah B_1 yaitu dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS 50 mL sebesar $28,5^{\circ}C$. Data ini diikuti B_3 yaitu dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS 200 mL dengan

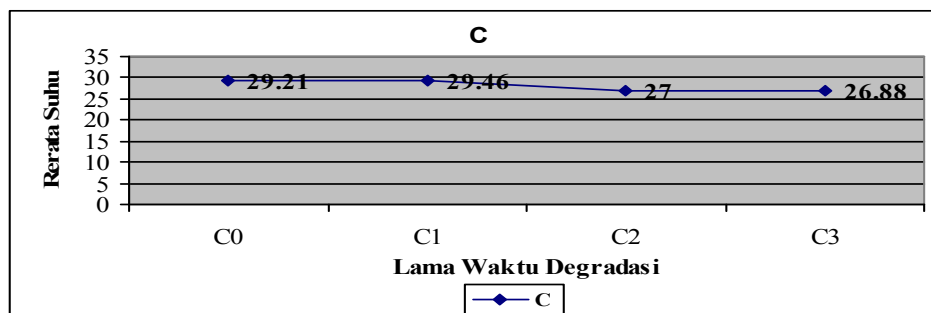
rerata suhu 28,35 °C; dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS 0 mL dengan rerata suhu yang dihasilkan 27,88 °C; dan dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS 100 mL dengan rerata suhu 27,81 °C.

Jumlah mikroorganisme pada dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS paling efektif untuk mendegradasi 25 kg limbah lemi dibandingkan dengan dosis-dosis yang lain. Perbandingan antara jumlah mikroorganisme yang terlibat dalam proses pengomposan harus sesuai dengan suplai nutrisi dalam limbah. Bila jumlah mikroorganisme berlebih maka kompetisi yang ketat antar mikroorganisme tidak dapat dihindarkan. Sebaliknya, jika jumlah mikroorganisme yang terlibat kurang, maka proses pengomposan berjalan kurang optimal sehingga suhu pengomposan pun menjadi kurang baik.

Di samping persaingan makanan, Buckman dan Brady (1982: 156) mengatakan bahwa ada persaingan mikroorganisme lain yang sama hebatnya dan sifatnya lebih mematikan. Beberapa mikroorganisme mempunyai kemampuan menghasilkan bahan yang dapat menghambat dan bahkan mematikan mikroba yang lain. Yang dipengaruhi tidak hanya organisme asing di limbah, tetapi juga yang berkembang dengan baik di limbah tersebut.

Rerata suhu yang dihasilkan dari pengomposan dengan dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS 100 mL lebih rendah dibandingkan dengan rerata suhu yang dihasilkan pada dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS 0 mL (tanpa penambahan mikroorganisme). Hal ini terjadi kemungkinan karena pada pengamatan suhu di 0 hari, 15 hari, 30 hari, dan 45 hari belum cukup untuk mengamati perubahan suhu pengomposan pada saat mencapai kondisi optimal. Dengan kata lain, ada waktu-waktu di mana ketika pengomposan mencapai suhu optimal tidak teramati pada waktu 0 hari, 15 hari, 30 hari dan 45 hari. Dimungkinkan suhu optimal tercapai di luar waktu-waktu pengamatan tersebut.

Pengaruh lama waktu degradasi terhadap suhu pupuk dapat dilihat pada Gambar 16.

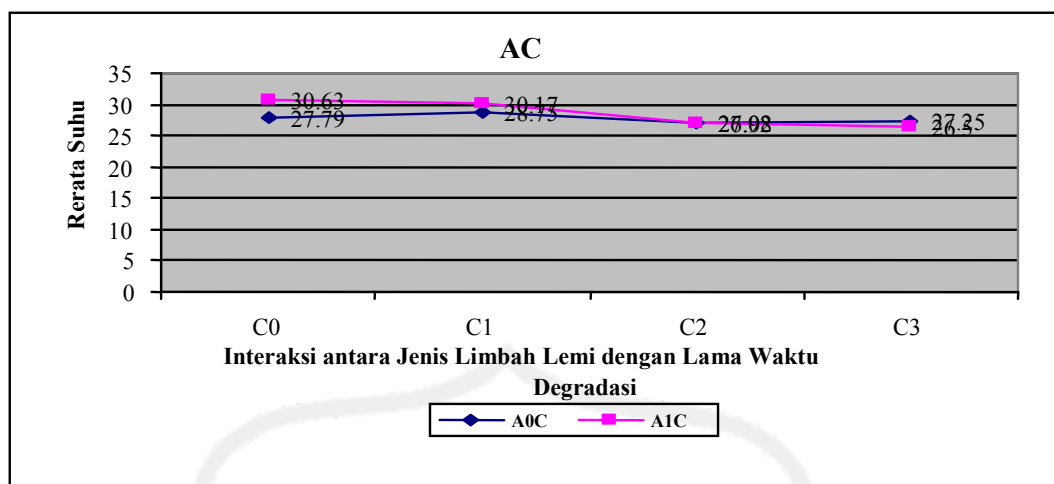


Gambar 16. Grafik Suhu pada Lama Waktu Degradasi.

Dari grafik Gambar 16 uji BJND dapat dilihat bahwa lama waktu degradasi yang paling berpengaruh nyata terhadap suhu pengomposan adalah C_1 yaitu lama waktu degradasi 15 hari. Pada lama waktu degradasi ini, pengomposan pada semua perlakuan cenderung mengalami kenaikan suhu yang paling tinggi dibandingkan dengan suhu pengomposan pada lama waktu degradasi yang lain. Ketika proses pengomposan mencapai waktu degradasi sekitar 15 hari (C_1), limbah mencapai suhu yang paling tinggi (optimal).

Hal ini sejalan dengan pendapat Dallzel (1987) dalam Widawati (2005) bahwa “Aktivitas mikroba mesofilik dalam proses penguraian CO_2 dan mengambil O_2 dalam tumpukan kompos sampai mencapai temperatur maksimum. Selain itu, karena kandungan energi dalam pengomposan terus menerus digunakan oleh aktivitas mikroba, maka jumlah O_2 dalam tumpukan pengomposan menjadi terbatas, akibatnya aktivitas mikroba semakin berkurang dan temperatur menurun”.

Pengaruh interaksi jenis limbah padat industri tepung aren dengan lama waktu degradasi terhadap suhu pupuk dapat dilihat pada Gambar 18.



Gambar 18. Grafik Suhu pada Interaksi Jenis Limbah Padat Industri Tepung Aren dengan Lama Waktu Degradasi

Berdasarkan grafik Gambar 18, pengaruh paling nyata dari interaksi antara jenis limbah padat industri tepung aren dengan lama waktu degradasi terhadap suhu diperoleh dari kombinasi perlakuan A_1C_0 yaitu jenis limbah lemi dengan pengeringan 2 hari melalui lama waktu degradasi 0 hari. Rerata suhu yang diperoleh dari kombinasi perlakuan ini sebesar 30,63. sedangkan rerata suhu terendah diperoleh dari kombinasi perlakuan A_1C_3 yaitu jenis limbah lemi dengan pengeringan 2 hari melalui lama waktu degradasi 45 hari.

Jenis limbah lemi dengan pengeringan 2 hari dan lama waktu degradasi 0 hari (awal pengomposan) mempunyai suhu pengomposan paling tinggi karena jenis limbah ini merupakan substrat yang sangat sesuai bagi metabolisme mikroorganisme aerobik, dimana limbah mempunyai kelembaban dan aerasi yang baik. Sedangkan pada pengamatan 0 hari, kandungan bahan organik limbah sangat tinggi yang selanjutnya kondisi ini meningkatkan metabolisme mikroorganisme aerobik dalam mendegradasi bahan organik tersebut. Peningkatan metabolisme mikroorganisme mengakibatkan suhu pengomposan limbah tinggi.

Yuwono (2002:35) mengemukakan bahwa pada *composting* aerobik dikondisikan agar setiap bagian kompos mendapatkan suplai udara yang cukup. Suhu kompos yang meningkat akan membuat bahan hancur dengan cepat dan akhirnya memadat.

Sedangkan limbah lemi dengan pengeringan 2 hari yang didegradasi

dengan lama waktu 45 hari mempunyai suhu terendah karena pada pengamatan ke-45 hari bahan-bahan organik limbah sudah selesai terdegradasi dan akibatnya suhu pengomposan turun sampai kisaran suhu ruang (terendah dalam pengomposan).

Pada awal degradasi (0 hari), dekomposisi bahan organik limbah lemi dengan pengeringan 2 hari dimana merupakan substrat yang sangat sesuai bagi pengomposan aerobik, segera berlangsung sehingga terjadi kenaikan suhu. Demikian halnya ketika suhu tertinggi tercapai, maka aktivitas mikroorganisme segera berkurang karena bahan organik yang didegradasi semakin sedikit. Pada pengamatan ke-45 hari pengomposan telah berlangsung sempurna dan menghasilkan pupuk dengan suhu mendekati suhu ruang.

Berdasarkan histogram Gambar 5 dan Gambar 6 dapat dilihat bahwa suhu limbah lemi baru pada awal pengomposan berkisar antara 27⁰C-28⁰C. Sedangkan suhu limbah lemi dengan pengeringan 2 hari mempunyai suhu pada awal pengomposan berkisar antara 30⁰C-31⁰C. Pada tahap pengomposan hari ke-0 belum terjadi proses dekomposisi bahan secara optimal. Hal ini diakibatkan timbunan limbah tidak memenuhi tinggi timbunan pengomposan yang ideal. Dalam volume 25 kg, timbunan limbah padat industri tepung yang baru setinggi 20 cm, sedangkan timbunan limbah padat industri tepung aren dengan pengeringan 2 hari setinggi 35 cm, sehingga suhu yang dihasilkan masih berkisar sama dengan suhu ruang.

Menurut Soeyanto (1992: 48) “Tumpukan sampah pengomposan yang ideal adalah sebagai berikut : 1) sampah kering atau setengah kering dengan ketinggian 1 ½ meter, 2) sampah basah atau segar dengan ketinggian tumpukan 1 ½ meter”.

Sesuai dengan histogram pada Gambar 5 dan Gambar 6 dapat dilihat bahwa pada pengamatan ke-15 hari, suhu pada semua perlakuan mengalami kenaikan suhu dibandingkan dengan 0 hari. Hal ini disebabkan karena dengan kenaikan suhu maka aktivitas mikroorganisme mulai meningkat sehingga proses dekomposisi bahan organik akan berlangsung dengan baik. Kenaikan limbah lemi yang baru berkisar antara 28⁰C- 29⁰C. Sedangkan limbah yang dikeringkan 2 hari

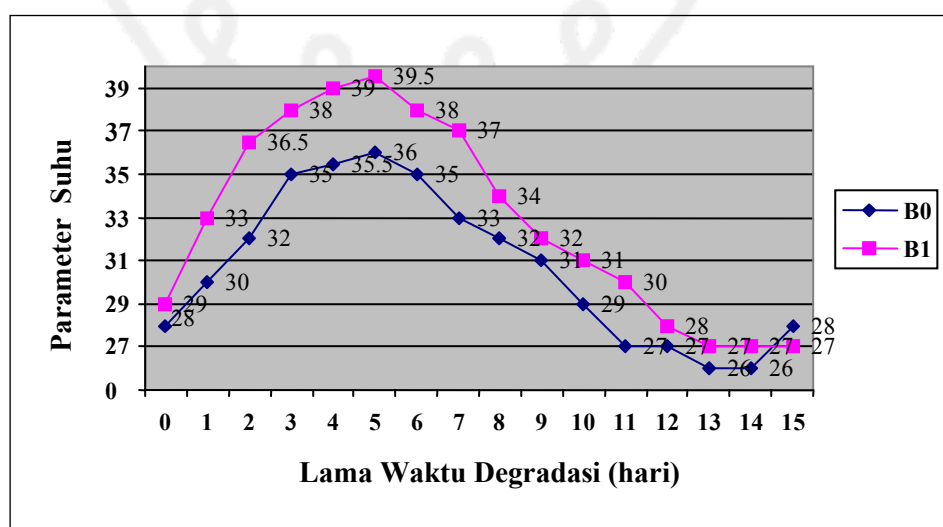
hanya mengalami sedikit kenaikan suhu yaitu kurang dari 1°C . Meskipun terjadi kenaikan, suhu yang dihasilkan pada pengamatan ke-15 hari masih kurang dari ideal.

Menurut Sutanto (2002) “Suhu optimum pada awal pengomposan berkisar antara 35°C - 55°C . Suhu dalam pengomposan sangat dipengaruhi oleh volume timbunan bahan yang akan dikomposkan”.

Berdasarkan penelitian lanjutan berupa pengamatan harian yang dilakukan selama 15 hari, dapat dilihat proses kenaikan suhu hingga mencapai suhu optimum, dan kemudian mengalami penurunan hingga mendekati suhu ruang. Hal ini merupakan jawaban atas hasil penelitian ini dimana perubahan suhu hanya berkisar sama dengan suhu ruang.

Penelitian lanjutan ini menunjukkan bahwa pengamatan proses pengomposan dengan rentang waktu 15 hari, yaitu dari 0 hari, 15 hari, 30 hari, dan 45 hari tidak efektif untuk mengamati setiap kenaikan suhu yang terjadi, terutama dalam capaian suhu optimum

Pengamatan harian ini dilakukan terhadap limbah lemi yang baru dengan perlakuan kontrol yaitu dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS 0 mL, dan perlakuan dengan dosis yang paling efektif dalam pengomposan berdasarkan uji BJND, yaitu B₁ (dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS 50 mL). Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada grafik Gambar 19.



Gambar 19. Grafik Suhu pada Limbah Padat Industri Tepung Aren, Dosis Mikroorganisme Efektif BIOEDU-UNS dengan Lama Waktu Degradasi 15 Hari.

Dari grafik dapat dilihat proses kenaikan suhu harian antara kontrol dengan perlakuan. Suhu mengalami kenaikan mulai hari ke-0 sampai hari ke-5, dimana pada hari ke-5 tercapai suhu optimum. Perlakuan kontrol (tanpa penambahan mikroorganisme) mencapai suhu optimum $35,5^{\circ}\text{C}$, sedangkan perlakuan dengan penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS 50 mL mencapai suhu optimum $39,5^{\circ}\text{C}$. Menurut Aiman (2000) terjadinya kenaikan suhu menggambarkan meningkatnya aktifitas mikroorganisme.

Selanjutnya, Djuarnani (2005) mengungkapkan bahwa setelah 3-5 hari pengomposan suhu akan mengalami kenaikan hingga mencapai 60°C , karena pada suhu ini enzim yang dihasilkan oleh mikroorganisme paling efektif untuk menguraikan bahan organik. Kemudian pada pengamatan hari ke-6 sampai hari ke-15, suhu pengomposan mengalami penurunan sampai akhirnya mencapai kisaran suhu ruang (26°C - 28°C).

Dallzel (1987) dalam Widawati (2005) menjelaskan bahwa aktivitas mikroba mesofilik dalam proses penguraian CO_2 dan mengambil O_2 dalam tumpukan kompos sampai mencapai temperatur maksimum. Selain itu, karena kandungan energi dalam pengomposan terus menerus digunakan oleh aktivitas mikroba, maka jumlah O_2 dalam tumpukan pengomposan menjadi terbatas, akibatnya aktivitas mikroba semakin berkurang dan temperatur menurun.

Berdasarkan Histogram Gambar 5 dan Gambar 6, dapat dilihat bahwa pada pengamatan hari ke-30, beberapa perlakuan terjadi penurunan suhu yang sangat tajam. Namun kemudian suhu mengalami kenaikan lagi pada hari ke-45. Kenaikan suhu terjadi pada penggunaan dosis 0 mL dan 50 mL mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS. Hal ini terjadi karena adanya mikroorganisme lain yang bersifat antagonis, dimana mikroorganisme ini membunuh sebagian mikroorganisme yang sudah ada dalam limbah, sehingga proses dekomposisi bahan terganggu dan aktivitas mikroorganisme yang menguraikan bahan organik

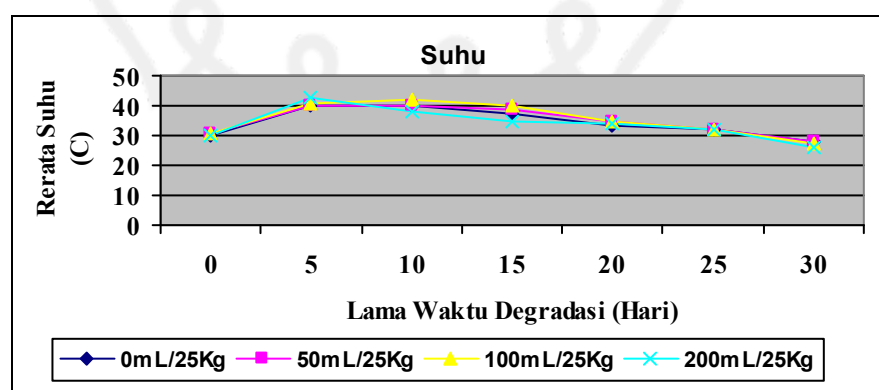
menjadi turun dan suhu turun.

Menurut Ma'shum (2003), "Terdapat hubungan antagonis antara mikroorganismenya, bersifat parasitisme (antagonis). Mikroorganismenya yang bersifat parasit akan merugikan mikroorganismenya lain dan akan mengganggu aktivitas mikroorganismenya tersebut".

Pada pengamatan hari ke-45, suhu pada semua perlakuan berada dalam kisaran suhu ruang. Hal ini menunjukkan proses pengomposan sudah selesai dan menghasilkan kompos matang yang dapat digunakan pada pertanian.

Setelah proses pengomposan selesai, Djuarnani (2005) menjelaskan bahwa suhu bahan yang didekomposisikan menjadi suhu ruang.

Sedangkan menurut Catur (2006) tentang pengomposan limbah padat tepung aren + kotoran sapi (perbandingan 1:1) dengan mikroorganismenya *Sellulolitik*, besar suhu awal bahan sama dengan suhu awal bahan pada pengomposan limbah padat tepung aren dengan mikroorganismenya efektif BIOEDU-UNS yaitu dalam kisaran suhu ruang. Kemudian mengalami kenaikan suhu hingga mencapai sekitar 40°C pada lama degradasi 5-15 hari. Hal ini tentunya suhu lebih tinggi dan bertahan lebih lama dibandingkan pada pengomposan limbah padat tepung aren dengan mikroorganismenya efektif BIOEDU-UNS. Dinamika perubahan suhu pengomposan limbah padat tepung aren + kotoran sapi dengan mikroorganismenya *sellulolitik* dapat dilihat pada Gambar 20.



Gambar 19. Grafik Suhu Kompos pada Interaksi Dosis Mikroorganismenya *Sellulolitik* dengan Lama Waktu Degradasi Limbah Padat Tepung Aren + Kotoran

Sapi

Menurut Gambar 19 suhu pengomposan dalam semua perlakuan mengalami kenaikan sekitar 40 °C pada lama waktu degradasi 5-15 hari. Suhu yang dicapai dalam pengomposan ini lebih tinggi dibandingkan pada pengomposan limbah padat tepung aren dengan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS yang hanya mencapai suhu 39,5 °C. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan kotoran sapi pada degradasi limbah padat tepung aren membawa pengaruh yang cukup signifikan terhadap suhu pengomposan, di mana semakin tinggi suhu pengomposan maka proses pengomposan berjalan semakin baik. Kondisi demikian dikarenakan suhu yang tinggi dapat mematikan mikroorganisme patogen dan biji-biji gulma dalam bahan kompos, serta meningkatkan metabolisme mikroorganisme aerobik dalam mendegradasi bahan-bahan organik limbah. Selain itu, pencapaian suhu yang tinggi ini dapat bertahan lebih lama sehingga proses kematangan kompos berjalan lebih cepat. Hal ini ditunjukkan dengan diperolehnya suhu kompos pada semua perlakuan berada dalam kisaran suhu ruang meskipun lama waktu degradasi 25 hari. Suhu kompos yang demikian dikarenakan dalam kotoran sapi masih terdapat mikroorganisme pendegradasi yang berasal dari organ pencernaan sapi. Dengan demikian, selain mikroorganisme yang secara alami berada limbah padat tepung aren dan mikroorganisme *sellulolitik* yang ditambahkan pada bahan, dekomposisi limbah padat tepung aren + kotoran sapi juga dibantu oleh mikroorganisme pendegradasi yang berada dalam kotoran sapi.

Dari kedua penelitian di atas dapat disimpulkan bahwa aplikasi Mikroorganisme *Sellulolitik* dan penambahan kotoran sapi pada pengomposan limbah padat tepung aren membawa pengaruh yang signifikan pada suhu kompos.

3. Ratio C/N

Berdasarkan Tabel 11 dapat dilihat bahwa perubahan ratio C/N dari semua perlakuan. Hasil yang diperoleh adalah variasi limbah lemi industri tepung aren, dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dan lama waktu degradasi berpengaruh terhadap ratio C/N pada pupuk yang dihasilkan. Pengaruh variasi

limbah lemi industri tepung aren, dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS, dan lama waktu degradasi terhadap artio C/N pupuk dapat dilihat pada Gambar 20 dan Gambar 21.

Pada tahap awal proses pengomposan ratio C/N limbah lemi yang baru pada semua perlakuan adalah 29,75. sedangkan ratio C/N limbah lemi yang dikeringkan selama 2 hari adalah 27,02. Menurut Yuwono (2002:26), “Kisaran nilai ratio C/N 25:1 hingga 30:1 merupakan nilai perbandingan yang unsur C dan N yang terbaik sehingga bakteri dapat bekerja sangat cepat”. Sedangkan Myers dkk dalam Sarno (2000) menjelaskan bahwa “Bahan yang berkualitas tinggi yaitu bahan tanaman yang mempunyai nisbah C/N rendah, akan cepat melepaskan unsur hara bila dikembalikan ke tanah. Bahan dengan ratio C/N rendah akan lebih cepat didekomposisi oleh mikroorganisme daripada bahan dengan ratio C/N tinggi”.

Berdasarkan grafik Gambar 20 dan 21 apat dilihat bahwa dari semua perlakuan yang mempunyai ratio C/N paling baik adalah $A_1B_3C_3$ yaitu sebesar 8,11. Sedangkan dari perlakuan pada hari ke-45, kompos yang mempunyai ratio C/N paling tinggi adalah $A_0B_0C_3$ sebesar 14,10. Menurut Indriani (2003), “Prinsip pengomposan adalah menurunkan ratio C/N bahan organik menjadi sama dengan ratio C/N tanah (<20)”. Selain itu, dalam perdagangan kompos di Asia peraturan yang ditetapkan oleh Food and Fertilizer Technology Center (FFTC), kandungan ratio C/N kompos yang telah matang berkisar antara 7-20.

Berdasarkan histogram Gambar 20 dan 21 dapat dilihat bahwa jenis limbah lemi yang paling optimal untuk menghasilkan ratio C/N yang rendah adalah limbah lemi yang dikeringkan selama 2 hari. Hal ini disebabkan karena pada pengeringan selama 2 hari, kelembaban lemi berkisar 50%-60%.

Menurut Yuwono (2002:32) “Kadar air bahan yang dianjurkan pada pengomposan aerobik adalah 40-50%. Kelembaban seperti ini memberikan kondisi yang baik bagi kehidupan mikroorganisme aerobik dalam limbah”, dimana sangat membantu pergerakan mikroba dalam bahan, transformasi makanan untuk mikroba, dan reaksi kimia yang ditimbulkannya. Sehingga kerja mikroorganisme untuk mendegradasi bahan organik dalam limbah pun dapat

berjalan lebih cepat dan pada akhirnya ratio C/N dapat turun lebih cepat.

Pada pengukuran ratio C/N awal (hari ke-0), limbah lemi yang telah dikeringkan selama 2 hari mempunyai ratio C/N lebih rendah (27,02) daripada ratio C/N limbah lemi yang baru (29,75). Perbedaan ratio C/N ini karena sebagian bahan organik dalam limbah lemi yang telah dikeringkan selama 2 hari telah terdegradasi oleh mikroorganisme yang secara alami ada di lingkungan.

Menurut Murbandono (1999: 9), “Di lingkungan alam terbuka, kompos dapat terjadi sendirinya. Melalui proses alami, bahan-bahan organik lama kelamaan membusuk karena kerjasama antara mikroorganisme dengan cuaca”.

Adanya pengeringan menurunkan kelembaban limbah lemi agar sesuai untuk pengomposan aerobik dan pemanasan dengan suhu yang agak tinggi telah memberikan kondisi yang optimal bagi mikroorganisme untuk mendegradasi awal bahan organik sehingga pada pengukuran C/N awal sudah terjadi terjadi penurunan ratio C/N.

Allison dalam Huang dan Schnitzer (1997: 422) menjelaskan bahwa “Laju dekomposisi residu organik dalam tanah dan pemantapan C dalam humus pada skala dunia akan tergantung pada faktor iklim dan lingkungan seperti suhu, kelembaban, pH tanah, ketersediaan hara, khususnya N, dan tekstur tanah. Suhu tinggi mempercepat dekomposisi bahan organik, dan suhu rendah mendorong pemantapan karbon residu dalam humus tanah”.

Selain itu, limbah lemi yang dikeringkan selama 2 hari mempunyai kandungan air yang cukup untuk pendegradasian limbah lemi oleh bakteri. Sedangkan limbah lemi yang baru mempunyai kandungan air yang tinggi.

Menurut Engelstad (1997, 309) , dalam laju dekomposisi bahan organik, peruraian bahan organik berjalan dalam laju lebih lambat dalam tanah tergenang dibandingkan dengan tanah terdrainase. Dalam kondisi ada oksigen bebas, bahan organik didegradasi oleh bakteri heterotrof, jamur, dan *aktinomyces*, dengan jamur kemungkinan memegang peranan paling besar. Di pihak lain, dalam tanah tergenang, tidak adanya oksigen menghasilkan kelompok bakteri yang kurang efisien dan lebih terbatas yang tidak tergantung pada oksigen bebas sebagai penerima elektron akhir untuk dekomposisi.

Oleh karena itu, peruraian bahan organik dalam limbah lemi yang baru dengan kandungan air yang tinggi berjalan dalam laju lebih lambat sehingga ratio C/N nya lebih tinggi dibanding laju degradasi pada limbah lemi yang dikeringkan selama 2 hari sehingga ratio C/N nya lebih rendah.

Berdasarkan Gambar 20 dan 21 dapat dilihat bahwa dosis mikroorganisme yang optimal untuk menghasilkan ratio C/N yang rendah adalah semua dosis penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS ke limbah yaitu dosis 50 mL/25 kg, 100 mL/25 kg, dan 200 mL/25 kg. Hal ini karena pada dosis tersebut jumlah mikroorganisme lebih banyak sehingga penguraian bahan dasar lebih cepat dan ratio C/N dapat turun. Menurut Sutanto (2002) "Jumlah mikroorganisme yang membantu dalam penguraian bahan organik sangat menentukan ratio C/N. Semakin banyak jumlah mikroorganisme yang hadir maka proses penguraian bahan organik akan lebih cepat dan lebih optimal sehingga ratio C/N dapat turun karena banyak karbon yang berubah menjadi CO₂ dan menguap ke udara".

Dari histogram Gambar 20 dan 21 dapat dilihat bahwa semakin lama ratio C/N semakin turun selama proses pengomposan dari semua perlakuan. Hal ini disebabkan kandungan bahan-bahan organik dalam limbah lemi seperti karbohidrat, protein kasar, serat kasar dan lemak diuraikan oleh mikroorganisme menjadi senyawa-senyawa sederhana sehingga setelah proses penguraian selesai, mikroorganisme sebagian tidak aktif dan organik hara yang ada dalam tubuh mikroorganisme akan dilepaskan. Dengan demikian laju penurunan C/N ratio menjadi berkurang (lambat) mulai pada pengamatan hari ke-30. Sebelumnya laju penurunan C/N ratio berjalan cepat pada 15 hari pertama (pengamatan hari ke-0 sampai hari ke-15). Pada tahap ini banyak karbon yang berubah menjadi CO₂ (mineralisasi), dan hanya sedikit yang digunakan untuk mensintesis baru mikroorganisme, sedang N yang tersedia dapat dikatakan terkonversi semua dalam bentuk molekul protein baru/pembentukan protoplasma. Adanya perombakan bahan organik tersebut menghasilkan kenaikan aktivitas mikroba yang lebih besar. Selama perombakan ini mineralisasi dan immobilisasi unsur hara terjadi secara serentak khususnya nitrogen di mana dekomposisi ini laju

immobilisasi dan mineralisasi nitrogen adalah sama. Mineralisasi nitrogen mengubah mengubah senyawa N-organik menjadi garam NH_4^+ yang berperan dalam keheraan N.

Protein \rightarrow polipeptid \rightarrow asam amino \rightarrow $\text{NH}_3 \rightarrow \text{NH}_4^+$

Foth (1994, 287) mengungkapkan pada ratio C/N kisaran 15 sampai 30, immobilisasi dan mineralisasi sama.

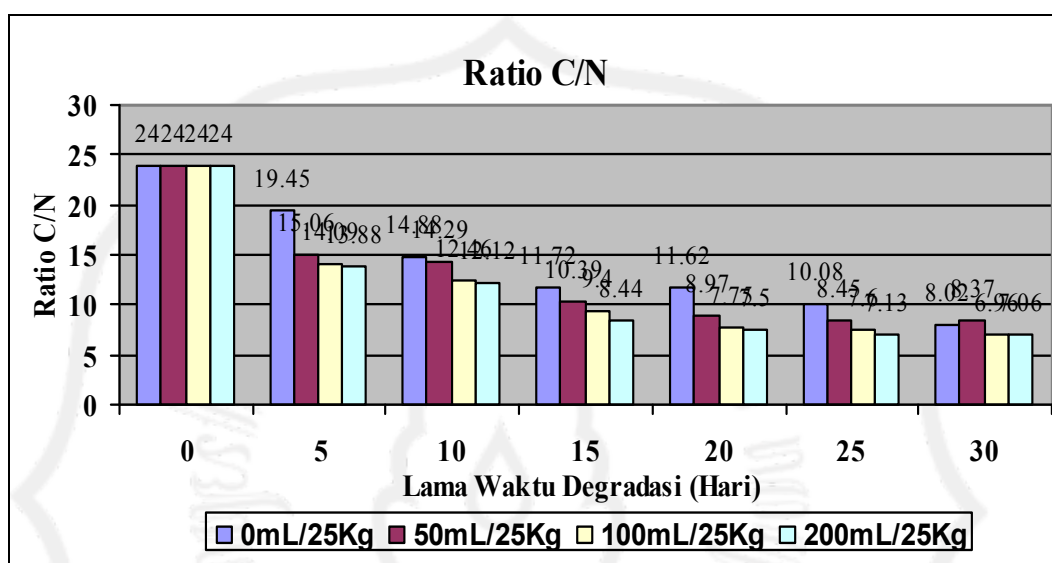
Huang dan Schnitzer (1997: 426) mengungkapkan bahwa “Karbon secara cepat dilepaskan sebagai CO_2 tetapi pada awalnya 40% hingga 60% dari C dapat ditransformasikan ke dalam sel dan produk mikroba, atau, dapat juga terkena biodegradasi. Jadi sebagai karbon asli dilepaskan sebagai CO_2 , dan karbon residu akan berada dalam biomassa dan humus”.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemerolehan kompos matang paling cepat dan dapat digunakan langsung pada tanaman adalah pada perlakuan $\text{A}_0\text{B}_2\text{C}_2$, $\text{A}_0\text{B}_3\text{C}_2$, $\text{A}_1\text{B}_1\text{C}_2$ (limbah lemi baru dengan dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS 100 mL/25 kg, 200 mL/25 kg, dan 200 mL/25 kg dan lama waktu degradasi 15 hari), dan $\text{A}_1\text{B}_2\text{C}_2$, $\text{A}_1\text{B}_3\text{C}_3$ (limbah lemi yang dikeringkan selama 2 hari dengan dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS 50 mL/25 kg, 100 mL/25 kg, dan 200 mL/25 kg dan lama waktu degradasi 15 hari). Namun secara umum, kompos yang dihasilkan dari semua perlakuan pada pengamatan ke-45 hari mempunyai C/N ratio yang baik. Menurut Kementerian Lingkungan Hidup, standar kualitas pupuk organik menurut pasar khusus (persyaratan opsional menurut permintaan pasar) salah satunya adalah mempunyai ratio C/N ≤ 15 . <http://www.menlh.go.id/kompos/aplikasi.php?name=News&file=article&sid=12>, 12 mei 2006, 15:00:10 GMT).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis bahan limbah lemi yang baik digunakan adalah limbah lemi yang dikeringkan selama 2 hari. Dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS yang paling efektif adalah 100 mL, dan waktu penimbunan yang paling optimal agar dihasilkan ratio C/N yang baik adalah 15 hari.

Pada penelitian Catur (2006) tentang pengomposan limbah padat tepung

aren + kotoran sapi (perbandingan 1:1) dengan starter mikroorganisme *sellulolitic*, ratio C/N awal bahan adalah 24,00. sedangkan ratio C/N awal limbah padat tepung aren (lemi) adalah 29,75. Hal ini menunjukkan bahwa pencampuran kotoran sapi pada limbah padat tepung aren dapat menurunkan nilai ratio C/N bahan, sehingga dekomposisi limbah tersebut akan lebih cepat. Penurunan ratio C/N limbah padat tepung aren + kotoran sapi dapat dilihat pada Gambar 21.



Gambar 21. Grafik Ratio C/N pada Limbah Padat Tepung Aren + Kotoran Sapi

Menurut Gambar 22, penurunan ratio C/N limbah pada semua perlakuan sudah mencapai nilai dibawah angka 15 dengan lama waktu degradasi 10 hari, di mana sesuai Kementerian Nasional, standar kualitas pupuk organik menurut pasar khusus adalah mempunyai ratio C/N ≤ 15 . Dengan demikian, kompos yang dihasilkan dari campuran limbah padat tepung aren + kotoran sapi sudah mempunyai kualitas yang baik berdasarkan ratio C/N- nya hanya dengan lama waktu degradasi 10 hari. Tentunya ini lebih cepat dibandingkan dengan ratio C/N kompos dari limbah padat tepung aren pada semua perlakuan yang mencapai kisaran angka di bawah 15 ketika waktu degradasi limbah selama 30 hari.

Dari kedua penelitian di atas dapat disimpulkan bahwa aplikasi mikroorganisme *sellulolitic* dan penambahan kotoran sapi pada pengomposan limbah padat tepung aren membawa pengaruh yang signifikan terhadap ratio C/N pengomposan.

4. Bau

Berdasarkan Tabel 12 dapat dilihat perubahan bau limbah lemi industri tepung aren dari hari ke-0 sampai hari ke-45. Pada awal proses pengomposan terdapat perbedaan kadar bau. Limbah lemi yang baru mempunyai bau yang sangat menyengat, sedangkan limbah lemi yang dikeringkan selama 2 hari berbau tidak menyengat.

Menurut Supriyadi dalam makalah seminar nasional lingkungan Bioteknologi dan Kelestarian Lingkungan, "Ampas pati aren kaya bahan organik dan mempunyai komposisi kimia karbohidrat 55,36 %, protein kasar (PK) 2,10 %, serat kasar 23,11 % dan lemak 0,98 %". Adanya bahan-bahan organik inilah yang menyebabkan timbulnya bau. Mikroorganisme Efektif BIOEDU-UNS dapat mendegradasi bahan-bahan organik tersebut sehingga limbah tidak menimbulkan bau.

Pada Tabel 12 dapat diketahui bahwa pada pengamatan hari ke-30, bau yang terdeteksi di awal proses pengomposan dalam limbah lemi baru tidak terdeteksi lagi (bau tanah), sedangkan bau limbah lemi yang dikeringkan selama 2 hari sudah tidak terdeteksi pada pengamatan hari ke-15. Perubahan bau terjadi dari bau yang menyengat, bau, agak bau, dan akhirnya tidak berbau atau bau tanah. Menurut Sutanto (2002) "Karakteristik kompos yang matang menunjukkan bau seperti humus tanah". Sedangkan menurut Novizan (2002), "Ciri fisik kompos yang baik adalah tidak berbau menyengat".

Menurut Ramachandra dalam Atmodjo (2002), "Mikrobia yang melakukan proses pengomposan dapat memanfaatkan secara maksimal hasil peruraian polimer dan segera disintesis menjadi polimer baru, dan yang dilepas hanyalah karbondioksida. Gugus-SH dan ammonium sebagai sumber bau terus dimanfaatkan untuk membentuk protein kompleks yang baru sehingga tidak timbul bau".

Selama proses pengomposan berlangsung, limbah lemi yang dikeringkan selama 2 hari lebih cepat mengalami penurunan bau daripada limbah lemi yang baru. Hal ini karena limbah lemi yang dikeringkan selama 2 hari mengalami pemanasan di bawah matahari untuk mengatur kelembaban limbah sekitar 50%-60% dimana kelembaban tersebut merupakan kelembaban yang terbaik untuk

pengomposan aerobik. Adanya pemanasan menyebabkan amoniak dalam limbah menguap.

Engelstad (1997: 311) menjelaskan bahwa “Nitrogen dapat hilang dari tanah dan air melalui penguapan NH_3 (amoniak) di bawah kondisi tertentu. Konsentrasi NH_3 tinggi dalam air genangan, pH air genangan yang tinggi, suhu tinggi dan kecepatan angin yang tinggi, semuanya meningkatkan kemungkinan kehilangan N melalui mekanisme ini”. Dengan kombinasi yang tepat dari kondisi-kondisi ini, kehilangan NH_3 melalui penguapan dapat tinggi.

Penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS ke limbah akan mempercepat terbentuknya kompos yang matang. Penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS pada pembuatan kompos merupakan bagian usaha untuk mempercepat proses pengomposan, meskipun sesungguhnya pada bahan material pembentuk kompos sendiri sudah terkandung banyak mikroba, khususnya yang berperan dalam perombakan kimia.

Susunan kimia bahan organik dalam limbah lemi yang berupa karbohidrat, protein kasar, serat kasar, dan lemak akan didegradasi oleh bakteri menjadi bentuk senyawa yang lebih sederhana. Laju dekomposisi bahan organik dapat dipengaruhi oleh faktor dakhil (susunan kimia) bahan organik tersebut.

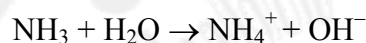
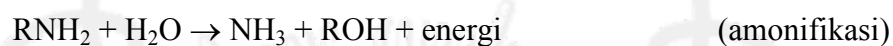
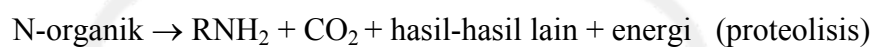
Menurut Buckman dan Brady (1982: 163), “Bahan organik tanah menurut kecepatan dekomposisinya, dapat diuraikan sebagai berikut: 1) gula, pati, protein (cepat terurai), 2) hemiselulosa (cepat terurai), 3) selulosa (sangat lambat), dan 4) lignin, lemak, lilin (lambat terurai)”.

Karbohidrat dan protein dalam limbah lemi cepat terdegradasi, sedangkan serat kasar dan lemak lebih lambat terdegradasi oleh mikroorganisme. Salah satu indikator adanya proses degradasi bahan organik dalam limbah adalah hilangnya bau. Semakin cepat menurunnya bau yang diakibatkan amoniak hasil dari degradasi protein, maka semakin cepat laju degradasi bahan organik tersebut.

Proses degradasi protein atau mineralisasi N merupakan perombakan bahan organik karena membebaskan unsur-unsur dari ikatan anorganik dan membuatnya *mobil*. Mineralisasi N yang mengkonversi N-organik menjadi N anorganik yang bersifat lebih *mobil* merupakan proses yang hampir sama dengan

proses pembebasan CO₂ dari bahan karbon. Kesamannya terletak pada fakta kedua proses yang membebaskan unsur dalam bentuk anorganik, dan kedua proses adalah satu-satunya untuk regenerasi hara dalam bentuk yang dapat digunakan tumbuhan hijau. Mineralisasi N-organik melibatkan dua proses mikrobiologi yang saling berbeda jelas, yaitu amonifikasi dan nitrifikasi.

Amonifikasi mengubah N-organik menjadi ammonium melalui proses proteolisis (pelepasan N-amino menjadi bahan anorganik) dan amonifikasi (reduksi N-amino menjadi NH₃).



Apabila O₂ tersedia dan faktor-faktor lingkungan lain mendorong, NH₄⁺ akan mudah dioksidasikan melalui nitrifikasi menjadi NO₂⁻ (nitrit) dan NO₃⁻ (nitrat) (Notohadiprawiro, 1998: 81).

Adanya proses pengubahan NH₃ (amoniak) menjadi NH₄⁺ dan kemungkinan dilanjutkan dengan nitrifikasi oleh mikroorganisme, maka bau yang menyengat pada awal proses pengomposan dapat berkurang dari hari ke hari hingga tidak berbau (bau tanah), sehingga unsur-unsur yang terurai menjadi unsur hara yang sangat dibutuhkan oleh tanaman.

Jenis bahan limbah yang digunakan sangat berpengaruh terhadap kualitas pupuk terutama bau pupuk. Bau dari limbah lemi yang dikeringkan selama 2 hari dengan penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS sudah tidak terdeteksi pada pengamatan hari ke-15, sehingga bahan ini lebih baik digunakan dibandingkan dengan limbah lemi yang baru. Penambahan dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS pada semua dosis mempunyai tingkatan bau yang sama dan yang membedakan adalah lama waktu degradasi.

Penelitian Catur (2006) tentang pengomposan limbah padat tepung aren + kotoran sapi dengan menggunakan starter mikroorganisme sellulolitic, mempunyai bau awal bahan yang sangat menyengat (sangat bau). Kemudian mengalami penurunan kadar bau hingga kompos tidak berbau pada pengamatan ke-30 hari. Hasil ini tidak jauh berbeda pada pengomposan limbah padat tepung

aren (lemi) dengan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS. Pada awalnya limbah sangat berbau dan selanjutnya mengalami pengurangan hingga tidak berbau pada pengamatan ke-30 hari.

Kedua penelitian diatas dapat disimpulkan bahwa penambahan kotoran sapi serta perbedaan jenis mikroorganisme starter tidak berpengaruh terhadap parameter bau pada pengomposan limbah padat tepung aren (lemi).

5. Warna

Warna menunjukkan kandungan bahan organik dalam bahan. Berdasarkan Tabel 13 dapat dilihat perubahan warna pupuk dari hari 0 sampai hari ke-45. Pada awal pengomposan hari ke-0 warna kedua jenis limbah berbeda. Perbedaan warna limbah ini karena adanya proses penguraian bahan organik dalam limbah lemi yang dikeringkan 2 hari oleh mikroba ketika proses pengeringan limbah dalam mendapatkan kelembaban 50%-60%.

Allison dalam Huang dan Schnitzer (1997: 422) menjelaskan bahwa “Laju dekomposisi residu organik dalam tanah dan pematangan C dalam humus pada skala dunia akan tergantung pada faktor iklim dan lingkungan seperti suhu, kelembaban, pH tanah, ketersediaan hara, khususnya N, dan tekstur tanah. Suhu tinggi mempercepat dekomposisi bahan organik, dan suhu rendah mendorong pematangan karbon residu dalam humus tanah”.

Limbah lemi industri tepung aren yang dikeringkan selama 2 hari mempunyai warna coklat muda setelah dekomposisi warnanya berubah berturut-turut menjadi coklat tua, coklat agak kehitaman, dan akhirnya coklat kehitaman. Sedangkan pada dekomposisi limbah lemi yang baru, limbah yang semula berwarna kuning, berubah berturut-turut menjadi kuning tua, kuning kehitaman, coklat tua, coklat kehitaman. Warna coklat kehitaman yang menandai kematangan kompos pada limbah lemi yang baru diperoleh setelah pengamatan hari ke-45, sedangkan pada limbah lemi yang dikeringkan selama 2 hari diperoleh setelah pengamatan hari ke-30. Hal ini membuktikan bahwa pengomposan dengan bahan limbah lemi yang telah dikeringkan selama 2 hari memang lebih cepat dibandingkan dengan bahan limbah lemi yang baru.

Berdasarkan Tabel 13 dapat dilihat bahwa penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dalam dosis 50 mL/25 kg, 100 mL/25 kg, maupun 200 mL/25 kg, membawa pengaruh kematangan kompos, khususnya warna kompos, dibandingkan dengan limbah lemi tanpa penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS (kontrol).

Pada limbah lemi yang baru tanpa penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS, warna kompos yang semula kuning berubah menjadi coklat ketika pengamatan ke-45, sedangkan limbah lemi yang baru dengan penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS mencapai warna coklat pada pengamatan ke-30 hari. Bahkan pada dosis 100 mL/25 kg, warna kompos sudah mencapai coklat kehitaman. Sedangkan pada limbah lemi dengan pengeringan 2 hari dan tanpa penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS, warna limbah yang semula coklat muda, berubah menjadi coklat kehitaman pada pengamatan ke-45, dan pada pengamatan ke-30 limbah ini sudah berwarna coklat agak kehitaman. Sedangkan pada limbah lemi dengan pengeringan selama 2 hari, limbah yang semula berwarna coklat muda berubah coklat kehitaman pada pengamatan ke-30 hari. Penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS cenderung berpengaruh sama terhadap warna kompos dalam berbagai dosis.

Djuarnani (2005) menyatakan “Pupuk yang sudah matang dan dapat digunakan untuk tanaman mempunyai warna coklat gelap”. Sedangkan perubahan warna dalam pengomposan berasal dari reaksi pencoklatan enzimatis.

Menurut Jones dan Brassington dalam Atmodjo (2002), “Warna yang terbentuk pada proses pengomposan merupakan hasil dari reaksi pencoklatan secara enzimatis. Warna ini dihasilkan oleh senyawa fenol dan derivatnya yang mengalami proses oksidasi. Pada kompos yang baik, ditandai dengan warna coklat-hitam”.

Menurut Huang dan Schnitzer (1997: 254), “Asam fenol seperti asam *p*-hidroksibenzoat, vanilat, dan siringat adalah asam fenol bebas dari bagian tanaman, produk dekomposisi; residu tanaman dan bahan humat tanah sewaktu diubah oleh mikroorganisme”.

Warna kompos matang cenderung berwarna kehitaman karena

mikroorganisme yang berperan dalam degradasi kompos juga menghasilkan melanin. Huang dan Schnitzer (1997: 431) mengungkapkan bahwa “Banyak organisme tanah mensintesis polimer berwarna gelap yang disebut melanin”.

Selain itu, warna kehitaman pada kompos menunjukkan terbentuknya hasil sekunder dekomposisi bahan organik berupa asam humat dan humin sebagai penyusun zat humik kompos.

Menurut Notohadiprawiro (1998: 89), “Asam humat berwarna coklat-hitam, sedangkan humin berwarna hitam”.

Parameter warna untuk limbah padat industri tepung aren yang baik digunakan untuk pupuk adalah limbah padat industri tepung aren dengan pengeringan selama 2 hari ditambah mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS. Untuk dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS 0 mL, 50 mL, 100 mL, dan 200 mL tidak menunjukkan perubahan, karena menghasilkan warna yang cenderung sama. Lamanya hari degradasi kompos yang paling baik adalah hari ke-30, karena warnanya telah berubah menjadi coklat kehitaman.

Dari penelitian sejenis yaitu Catur (2006) tentang pengomposan limbah padat tepung aren + kotoran sapi dengan mikroorganisme sellulolitik, warna awal bahan adalah kuning kecoklatan. Hal ini berbeda dengan warna bahan pada pengomposan limbah padat tepung aren tanpa penambahan kotoran sapi, yaitu berwarna kuning. Setelah pengamatan ke-25 hari, hasil kompos pada Catur (2006) telah berwarna coklat kehitaman. Sedangkan hasil kompos pada pengomposan limbah padat tepung aren tanpa penambahan kotoran sapi mencapai warna coklat kehitaman pada pengamatan ke-45 hari. Dengan mengamati perubahan warna pengomposan dapat dilihat proses kematangan kompos, sehingga dari kedua penelitian diatas dapat dilihat bahwa penambahan kotoran sapi dan mikroorganisme sellulolitik mempercepat proses kematangan kompos. Hal ini karena terdapat mikroorganisme pendegradasi bahan organik dalam kotoran sapi sehingga mikroorganisme yang terlibat dalam pengomposan lebih banyak.

6. Tekstur

Berdasarkan Tabel 14 dapat dilihat tekstur pupuk dari hari ke hari.

Masing-masing limbah lemi mengalami perubahan yang berbeda. Pada hari ke-0, limbah lemi yang baru bertekstur lembek, sedangkan limbah lemi dengan pengeringan 2 hari bertekstur agak menggumpal. Perbedaan tekstur kedua jenis limbah lemi sangat dipengaruhi oleh kandungan air dalam limbah.

Limbah lemi baru mempunyai kandungan air yang tinggi yaitu sekitar lebih dari 60 %, dengan cirinya ketika diremas meneteskan air. Adanya kandungan air yang tinggi menyebabkan limbah bertekstur lembek. Sedangkan limbah lemi yang dikeringkan selama 2 hari mempunyai kelembaban sekitar 50%-60% karena air dalam bahan banyak yang menguap, sehingga kandungan airnya tidak terlalu tinggi, dan teksturnya tidak lembek atau sudah agak menggumpal. Pada pengamatan hari ke-15, tekstur limbah lemi yang baru adalah menggumpal, sedangkan limbah lemi dengan pengeringan selama 2 hari bertekstur remah. Perubahan tekstur ini karena aktivitas mikroorganisme dalam limbah. Pada awal proses pengomposan limbah lemi mengandung air yang cukup banyak, selama proses dekomposisi, air dalam limbah lemi sangat membantu mikroorganisme dalam menyerap makanan, karena makanan diserap dalam bentuk larutan sehingga kandungan air berkurang. Selain dipengaruhi aktivitas mikroorganisme, perubahan tekstur juga dipengaruhi oleh pembalikan limbah setiap 7 hari. Dengan pembalikan maka akan terjadi pergantian udara dan air akan menguap karena aktivitas mikroorganisme, sehingga dihasilkan uap air dalam limbah.

Menurut Sutanto (2002) “Selama proses dekomposisi berlangsung mikroorganisme menyerap makanan dalam bentuk larutan, sehingga air sangat diperlukan dalam dekomposisi bahan organik”. Sedangkan Djuarnani (2005) mengatakan bahwa dengan pengadukan maka kandungan O_2 dalam bahan organik meningkat, aktivitas mikroorganisme juga akan meningkat maka dihasilkan panas dan uap air. Sehingga kandungan air dalam limbah lemi berkurang.

Pada pengamatan hari ke-30 sampai ke-45, perubahan tekstur limbah lemi yang baru terjadi mulai dari menggumpal menjadi agak menggumpal dan akhirnya menjadi remah. Sedangkan limbah lemi dengan pengeringan selama 2 hari sudah bertekstur remah mulai pada pengamatan hari ke-15.

Perubahan tekstur menjadi remah dipengaruhi oleh pergerakan udara. Adanya pertukaran udara akan mempercepat penguapan air, sehingga kandungan air berkurang. Adanya sirkulasi udara pada tumpukan limbah lemi akan menyebabkan tekstur dari bahan limbah menjadi lepas dan tekstur pupuk menjadi remah. Menurut Djuarnani (2005) ciri fisik pupuk yang sudah dapat digunakan oleh tanaman adalah mempunyai tekstur yang remah.

Dalam proses pengomposan, limbah lemi banyak kehilangan air dan karbondioksida. Hal ini sangat berpengaruh terhadap volume dari pupuk yang dihasilkan. Awal proses pengomposan pada semua perlakuan, limbah lemi mempunyai volume yang sama yaitu 25 kg. Setelah proses pengomposan selama 45 hari, volume kompos menjadi 5-6 kg. Pengurangan volume yang sangat besar ini juga dipengaruhi tingginya kandungan air dalam limbah lemi. Pada proses pengambilan tepung aren, dilakukan perendaman dalam air terhadap serbuk-serbuk batang aren agar patinya mudah diambil. Hal inilah yang menyebabkan kandungan air limbah lemi sangat tinggi atau melebihi 60%.

Menurut Buckman and Brady (1982), "Penyusutan massa pada pupuk kadang dipengaruhi oleh kehilangan banyak air dan karbondioksida selama proses pengomposan".

Dari hasil penelitian dapat dilihat bahwa jenis limbah lemi yang menghasilkan kualitas lebih baik terutama dalam tekstur pupuk adalah limbah lemi dengan pengeringan selama 2 hari. Kelembaban dalam limbah jenis ini sangat sesuai bagi aktivitas mikroorganisme pendegradasi limbah. Hal ini karena jumlah antara partikel-partikel udara terutama oksigen yang sangat berkaitan dengan drainase bahan dengan partikel-partikel air cukup bagi metabolisme mikroorganisme aerobik.

Menurut Yuwono (2002: 32), terlalu banyak air akan berakibat bahan semakin padat, melumerkan sumber makanan yang dibutuhkan mikroba dan memblokir oksigen untuk masuk. Namun, apabila air terlalu sedikit maka bahan menjadi kering dan tidak mendukung kehidupan mikroba.

Jadi meskipun kedua jenis limbah mengalami proses pengomposan aerobik yaitu sama-sama mendapat perlakuan pembalikan bahan setiap 7 hari

sekali, jenis limbah lemi dengan pengeringan 2 hari lebih cepat terdegradasi oleh mikroorganisme dibandingkan dengan limbah lemi yang baru. Hal ini ditunjukkan dengan perubahan tekstur kompos antara kedua jenis limbah pada setiap pengamatan. Tekstur remah lebih cepat terbentuk pada kompos dengan pengeringan selama 2 hari yaitu hari ke-15 dibandingkan dengan limbah lemi yang baru yang mencapai tekstur remah sempurna pada pengamatan ke-45 hari.

Limbah lemi dengan pengeringan 2 hari lebih cepat terdegradasi karena mulai awal proses pengomposan, kondisi limbah sudah sesuai bagi kehidupan mikroorganisme aerobik, terutama kelembaban dan aerasinya.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis limbah lemi yang paling bagus teksturnya adalah limbah lemi dengan pengeringan selama 2 hari dimana tekstur pupuk mencapai remah pada pengamatan hari ke-15. Sedangkan perlakuan penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dalam semua dosis tidak ada perbedaan pengaruh terhadap tekstur. Namun dalam waktu degradasi limbah yang berbeda, perbedaan tekstur pupuk dapat dilihat. Waktu yang paling efektif hingga dihasilkan tekstur remah adalah hari ke-15.

Penelitian Catur (2006) yang mengomposkan limbah padat tepung aren + kotoran sapi dengan mikroorganisme sellulolitic mempunyai tekstur awal bahan yang lembek. Kemudian diperoleh tekstur remah pada pengamatan ke-30 hari. Hal ini tidak jauh berbeda dengan pengomposan limbah padat tepung aren tanpa penambahan kotoran sapi yang awalnya lembek (tanpa pengeringan) menjadi tekstur hampir remah pada pengamatan ke-30 hari. Dengan demikian, dari kedua penelitian di atas dapat disimpulkan bahwa penambahan kotoran sapi dan perbedaan jenis mikroorganisme starter tidak membawa pengaruh yang signifikan pada tekstur kompos dari limbah padat tepung aren.



F. Pemahaman Konsep Pemanfaatan Daur Ulang Limbah Organik Untuk Kepentingan Kehidupan pada Siswa Kelas X

Sejak tahun ajaran baru 2005, dunia pendidikan di Indonesia mulai menerapkan Kurikulum Berbasis Kompetensi. Pendidikan Berbasis Kompetensi menekankan kepada kemampuan yang harus dimiliki oleh lulusan suatu jenjang pendidikan. Proses belajar yang dialami siswa diharapkan memberikan kesempatan siswa untuk mengaplikasikan pengetahuan dan ketrampilan. Siswa akan memahami proses penemuan yang terjadi dan mendapatkan hasil sesuai standar yang ditetapkan.

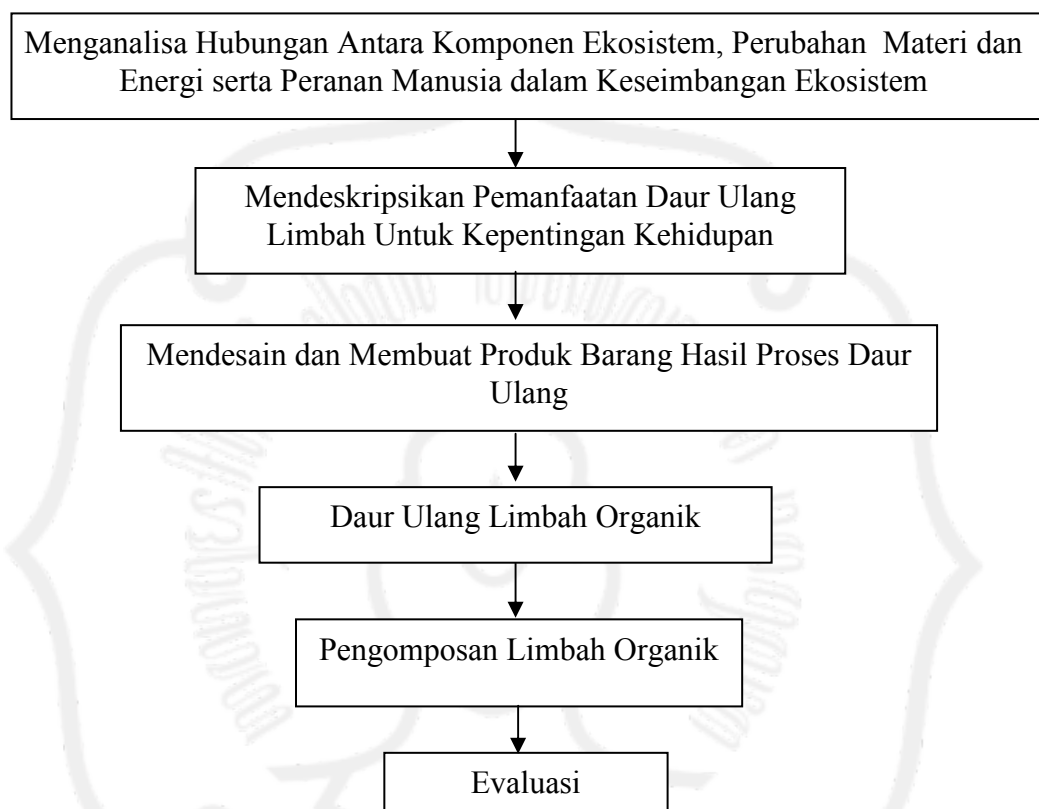
Objek yang dipelajari dalam biologi meliputi seluruh makhluk hidup termasuk adanya limbah organik dari aktivitas makhluk hidup tersebut terutama manusia, yang mana kita ketahui bahwa manusia ikut andil sebagai penyumbang limbah terbesar di bumi. Oleh karena itu, sudah sepatutnya manusia dapat memberikan solusi atas permasalahan lingkungan yang diakibatkannya demi keberlangsungan biosfer di bumi.

Seperti kita ketahui, umumnya pengajaran yang berlangsung di sekolah adalah pengajaran sistem konvensional dimana dalam proses kegiatan belajar mengajar, guru sebagai pusat kegiatan dan siswa hanya pasif dengan acuan buku sumber yang terbatas. Sedangkan di sisi lain, kebutuhan masyarakat meningkat, ilmu pengetahuan berkembang, dan hal ini diikuti pula oleh permasalahan lingkungan yang semakin kompleks. Perubahan-perubahan ini menuntut standar pendidikan yang lebih baik atau sesuai dengan perkembangan yang sedang berlangsung. Guru sebagai fasilitator berperan dalam mewacanakan penemuan baru dengan mengarahkan siswa untuk mulai mencermati perkembangan yang terjadi. Menurut Undang-Undang Nomor 20 Tahun 2003, Kurikulum Tingkat Satuan Pendidikan dikembangkan dan ditetapkan sesuai dengan satuan pendidikan sekolah yang bersangkutan. Dengan demikian kurikulum ini memberi ruang bagi sekolah atau guru untuk melakukan pengembangan materi atau tema-tema yang dipelajari. Pewacanaan penemuan baru tersebut dapat diperoleh dari penelitian-penelitian yang berkaitan.

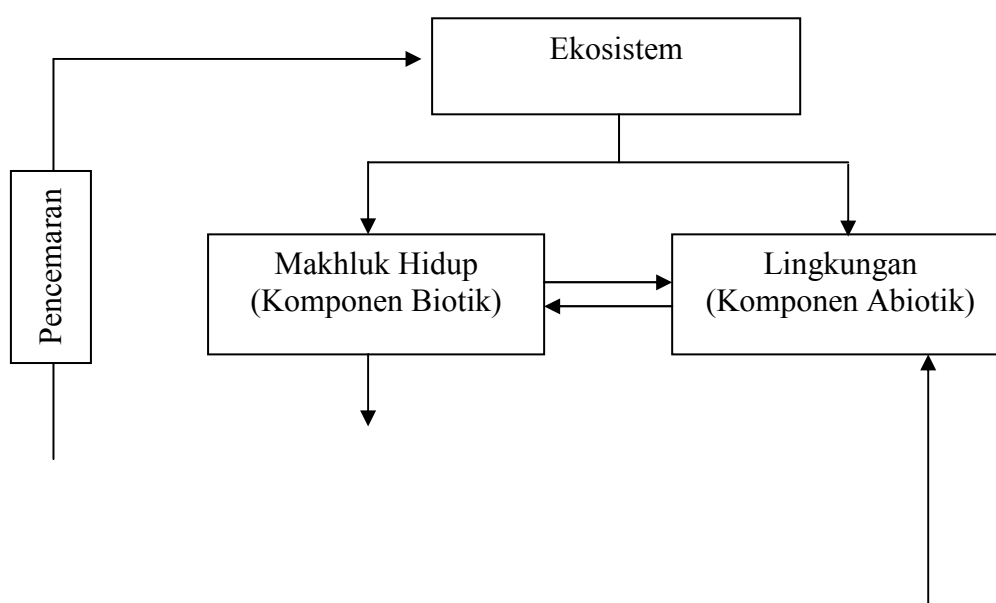
1. Organisasi Materi

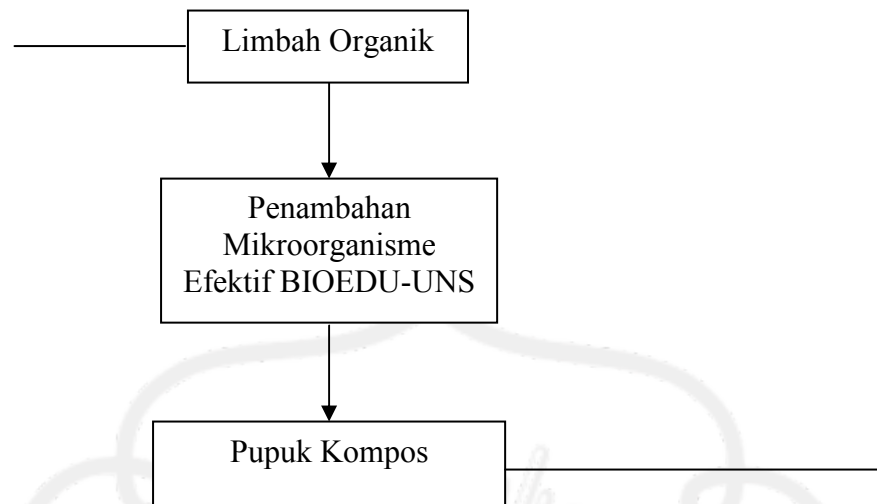
Ekosistem sebagai suatu sistem menunjukkan adanya saling interaksi dan ketergantungan antara makhluk hidup (komponen biotik) dengan lingkungannya (komponen abiotik). Keberadaan limbah yang merupakan sumber daya alam yang telah kehilangan fungsinya dapat mempengaruhi keseimbangan ekosistem. Oleh karenanya, penanganan yang optimal perlu dilakukan agar kerugian-kerugian yang timbul di masyarakat dapat dihindari. Penelitian **Aplikasi Mikroorganisme Efektif BIOEDU-UNS dalam Degradasi Limbah Padat Industri tepung aren** memberikan pengetahuan kepada siswa mengenai peranan mikroorganisme dalam mendegradasi limbah organik menjadi pupuk kompos.

Dalam pengomposan, adanya proses degradasi mengakibatkan perubahan materi dan energi oleh komponen ekosistem yaitu mikroorganisme pendegradasi dan faktor lingkungan, Pengomposan limbah ini dapat dikatakan sebagai salah satu peranan manusia dalam upaya menjaga kelangsungan dan keseimbangan ekosistem.



Gambar 23. Organisasi Materi
Organisasi materi yang ditunjukkan oleh Gambar 22 dapat dibuat sebagai peta konsep sebagaimana tertuang pada Gambar 23.

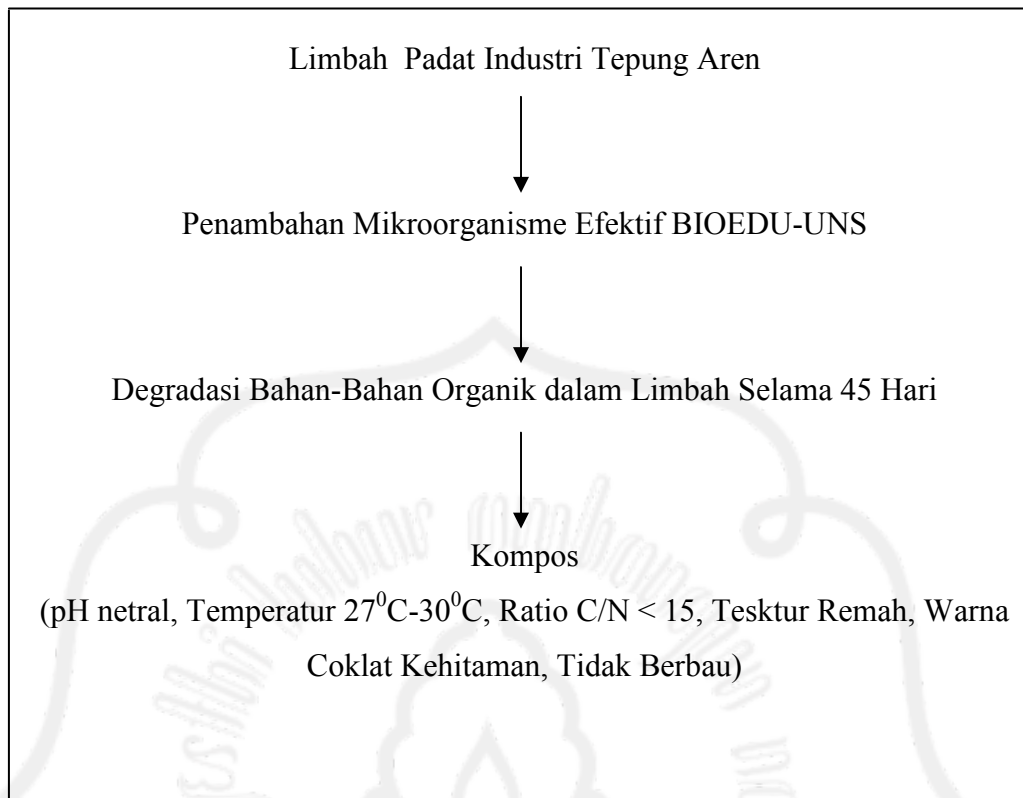




Gambar 23. Peta Konsep Pengajaran

2. Ilustrasi Hasil Penelitian

Limbah padat industri tepung aren termasuk limbah organik dimana bahan-bahan organik dalam limbah dapat didegradasi oleh mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS. Mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS merupakan kumpulan strain bakteri yang bersifat aerobik dan aerobik fakultatif. Aktivitas enzimatik dari mikroorganisme ini mampu merombak karbohidrat, protein, lemak, fenol, minyak bumi, dan selulosa. Dengan lama waktu degradasi selama 45 hari, pengomposan limbah menghasilkan kompos dengan pH netral, temperatur suhu ruang, ratio C/N < 15, tekstur remah, warna coklat kehitaman, dan tidak berbau.



Gambar 25. Ilustrasi Hasil Penelitian

BAB V

SIMPULAN, IMPLIKASI, DAN SARAN

A. Simpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Jenis limbah padat industri tepung aren berpengaruh terhadap kualitas pupuk.
2. Dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS berpengaruh terhadap kualitas pupuk.

3. Interaksi antara jenis limbah padat industri tepung aren dengan dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS tidak berpengaruh terhadap kualitas pupuk.
4. Lama waktu degradasi berpengaruh terhadap kualitas pupuk.
5. Interaksi antara jenis limbah padat industri tepung aren dengan lama waktu degradasi berpengaruh terhadap kualitas pupuk.
6. Interaksi antara dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan lamanya waktu degradasi berpengaruh terhadap kualitas pupuk.
7. Interaksi antara jenis limbah padat industri tepung aren, dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS, dan lama waktu degradasi tidak berpengaruh terhadap kualitas pupuk.

Selain itu, diperoleh bahwa faktor pengomposan paling baik dalam pembuatan pupuk adalah jenis limbah padat industri tepung aren dengan pengeringan 2 hari, dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS 50 mL/kg, dan lama waktu degradasi 45 hari.

B. Implikasi

1. Implikasi Teoritis

Implikasi teoritis dari penelitian ini adalah :

- a. Dapat digunakan sebagai khasanah pengetahuan bagi para pembaca sebagai dasar pengembangan penelitian yang akan datang.
- b. Bagi para peneliti lanjutan dapat dijadikan referensi bagi penelitian sejenis.

2. Implikasi Praktis

Beberapa implikasi praktis dari hasil penelitian ini adalah :

- a. Bagi pelaku industri tepung aren dapat digunakan sebagai salah satu sarana untuk meningkatkan nilai ekonomis limbah padat industri tepung aren.
- b. Dapat digunakan untuk mengembangkan aspek psikomotor siswa dalam mata pelajaran biologi di Sekolah Menengah Umum.

C. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, peneliti menyarankan hal-hal sebagai berikut :

1. Dalam penelitian pupuk hendaknya memperhatikan faktor-faktor lain yang mempengaruhi proses pengomposan limbah padat industri tepung aren antara lain volume bahan, ukuran bahan, kelembaban, dan mikroorganisme yang terlibat.
2. Perlu diperhatikan adanya pengamatan harian terhadap parameter suhu dalam pengomposan.
3. Bagi petani dan pelaku industri hendaknya digunakan dosis paling baik yaitu dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS 50 mL dalam pembuatan kompos.
4. Perlu diperhatikan waktu paling baik untuk proses pengomposan limbah padat industri tepung aren adalah selama 45 hari.
5. Diadakan penelitian lebih lanjut tentang proses degradasi bahan-bahan organik limbah padat industri tepung aren dalam pengomposan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bahar, Yul H. 1986. *Teknologi Penanganan dan Pemanfaatan Sampah*. Jakarta: Waca Utama Pramesti.
- Buchman dan Brady. 1982. *Ilmu Tanah*. Jakarta: Bharata Aksara.
- Coombs, J. 1995. *Dictionary of Biotechnology*. New York: Elsevier.
- Dalzell H, A. J. Briddestone, K. R. Gray and K. Thuroirajan. 1997. *Soil Management Compost Production and Use Tropical and Sub Tropical Environment*. FAO Soil Buletin Roma: Republication.
- Djuarni, N, Kristian, Setiawan, B. S. 2005. *Cara Tepat Membuat Kompos*.

Jakarta: Agromedia Pustaka.

Donald, Mc. P, R. A. Edward, J. F. D. Greenhalgh, and C. A. Morgan. 1995.

Animal Nutrition. New York: Jhon Wiley and Sons.

Dwidjoseputro. 1982. *Dasar-Dasar Mikrobiologi*. Malang: Djambatan.

FKIP. 2003. *Pedoman Penulisan Skripsi*. Surakarta: UNS Press.

Foth, H. D. dan Adisoemarto, S. 1994. *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. Jakarta:

Erlangga.

Gomez. K. A dan Gomez. A. A. 1995. *Prosedur Statistik Untuk Penelitian*

Pertanian Edisi Kedua. Jakarta: UI Press.

Hadisumarto, D. 1992. *Panduan Teknik Pembuatan Kompos Dari Sampah*.

Jakarta: Gramedia.

Hadi Utomo, R. S. 1993. *Mikrobiologi Dasar Dalam Praktek*. Jakarta: Gramedia.

Indriani, Y. H. 2003. *Membuat Kompos Secara Alami*. Jakarta: Penebar Swadaya.

Kristanto, Philip. 2002. *Ekologi Industri*. Yogyakarta: ANDI.

Lingga, 1994. *Petunjuk Penggunaan Pupuk*. Jakarta: Penebar Swadaya.

Mulyani, M. 1999. *Pupuk dan Cara Pemupukan*. Jakarta: Rineka Putera.

Mulyani, M dan Kartasapoetra. 1991. *Mikrobiologi Tanah*. Jakarta: Rineka Cipta.

Murbandono, L. H. S. 1995. *Membuat Kompos*. Jakarta: Penebar Swadaya.

Murniyanto, E dan Ahlan, M. 2001. “Pengaruh Penggunaan Bio-Starter-EM4

terhadap Kualitas Kompos Kota Surakarta”. *Bio Smart*, 5 (1).

68-72.

Murtado, D. 1987. *Penanganan dan Pemanfaatan Limbah Padat*. Jakarta:

Mediyatama Sarana Perkasa.

Musnamar, E. I. 2005. *Pupuk Organik Cair, Padat, dan Pembuatan, dan Aplikasi*.

Jakarta: Penebar Swadaya.

Novizan. 2002. *Petunjukan Pemupukan yang Efektif*. Jakarta: Balai Pustaka.

Pelczar, MJ dan E.C.S Chan. 1988. *Dasar-Dasar Mikrobiologi*. Jakarta: UI Press.

Pranata, F. Sinung dkk. 2002. *Karakterisasi Sifat-sifat dan Mekanik Edible Film*

Pati Batang Aren (Arenga pinnata Merr). *Biota* Vol. VII(3):121-

130.

Purwadarminto. 1996. *Kamus Bahasa Indonesia*. Jakarta: Balai Pustaka.

- Rao, S. 1994. *Mikroorganisme Tanah dan Pertumbuhan Tanaman*. Jakarta: UI Press.
- Rinsema. 1986. *Pupuk dan Cara Pemupukan*. Jakarta: Bhratara Karya Aksara.
- Sarno. 2000. *Pembentukan Asam Humik dan Asam Fulvik pada Kompos yang Berasal dari Berbagai Kombinasi Limbah Padat Agroindustri*. Tanah Tropika, No.10: 209-215.
- Supriyadi. 2006. *Ampas Pati Aren Fermentasi Sebagai Bahan Substitusi Pakan Ayam Broiler*. Makalah Seminar Lingkungan.
- _____ .*Kajian Biokonversi Limbah Pati Aren (Arenga pinnata,I) Untuk Pupuk Organik Ramah Lingkungan*. Makalah Seminar nasional lingkungan.
- Schlegel, H. G. 1994. *Mikrobiologi Umum*. Yogyakarta: Kanisius.
- Sherrington, K. B. 1981. *Ilmu Pangan Pengantar Ilmu Pangan Nutrisi dan Mikrobiologi*. Yogyakarta: UGM Press.
- Soeyanto, T. 1992. *Cara Membuat Sampah Jadi Arang dan Kompos*. Jakarta: Yudhistira.
- Sutanto, R. 2002. *Penerapan Pertanian Organik*. Jakarta: Kanisius.
- Wardana, W.A. 2001. *Dampak Pencemaran Lingkungan*. Yogyakarta: Andi.
- Widawati, Sri. 2005. Daya Pacu Aktivator Fungi Asal Kebun Biologi Wamena terhadap Kematangan Hara Kompos, serta Jumlah Mikroba Pelarut Fosfat dan Penambat Nitrogen. Biodiversitas, vol 6 No. 4:238-241.
- (<http://www.google.com/search?q=cache:gWB44v>).
- (http://kompos2.tripod.com/deskripsi_teknis_katalek.htm as).
- Http:/ www.ristek.go.id.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Rencana Pembelajaran

RENCANA PEMBELAJARAN

Mata Pelajaran : Biologi
Pokok Bahasan : Daur Ulang Limbah Organik
Jenjang : SMA
Kelas / Semester : X / 2
Alokasi waktu : 2 X 45'

A. STANDAR KOMPETENSI

4. Menganalisis hubungan antara komponen ekosistem, perubahan materi dan energi serta peranan manusia dalam keseimbangan ekosistem.

B. KOMPETENSI DASAR

- 4.4 Mendeskripsikan pemanfaatan daur ulang limbah untuk kepentingan kehidupan.

C. INDIKATOR

1. Mengetahui penanganan limbah organik melalui proses daur ulang.
2. Menjelaskan proses-proses pengomposan limbah padat industri tepung aren.
3. Mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh dalam pengomposan limbah padat industri tepung aren.
4. Memahami peranan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dalam pengomposan.
5. Mengetahui manfaat kompos.

D. STRATEGI PEMBELAJARAN

Metode : Ceramah dan Diskusi

Pendekatan : Contextual Teaching Learning

E. MATERI POKOK

Daur ulang limbah organik

F. MEDIA PEMBELAJARAN

Charta

G. PENILAIAN

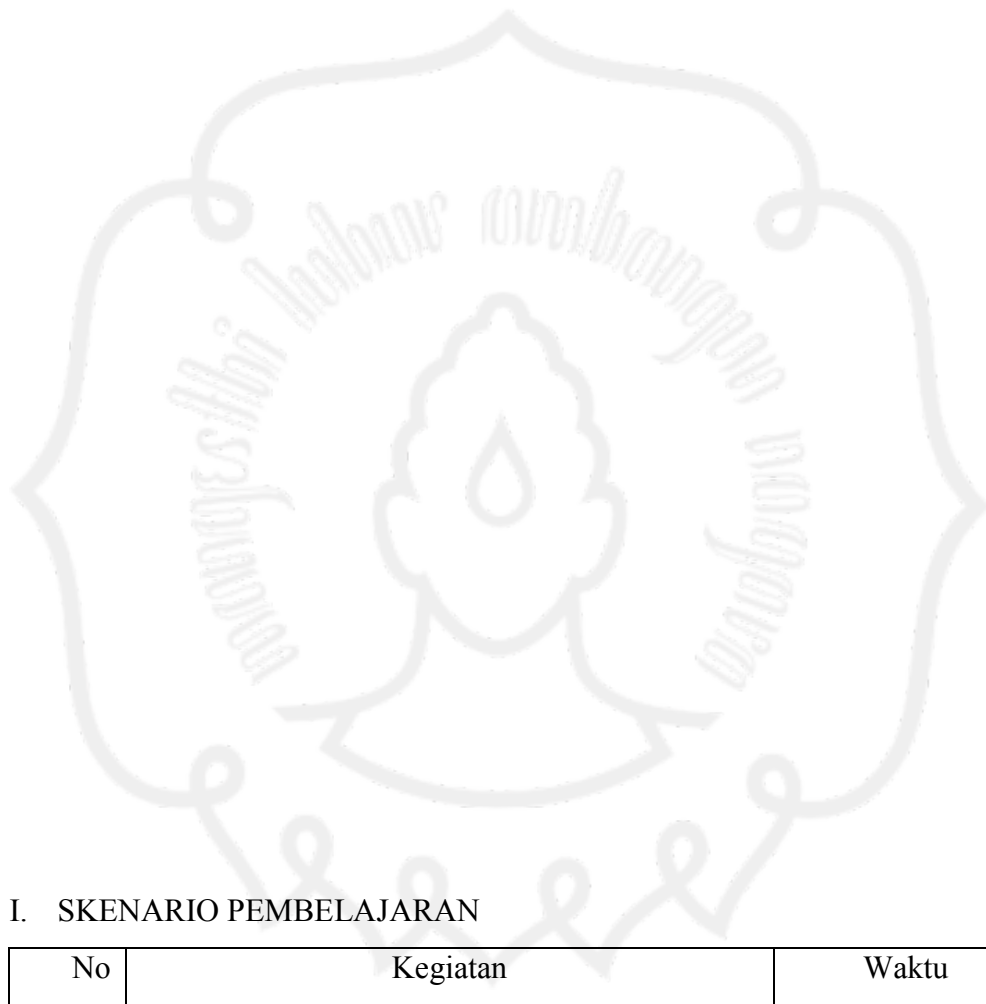
Kognitif : Hasil tes obyektif

Afektif : Keaktifan siswa saat diskusi.

Psikomotor : Hasil observasi guru terhadap sikap siswa saat diskusi

H. SUMBER BELAJAR

D. A. Pratiwi dkk. 2004. *Biologi SMA*. Jakarta: Erlangga



I. SKENARIO PEMBELAJARAN

No	Kegiatan	Waktu
----	----------	-------

1.	<p>Pendahuluan</p> <ul style="list-style-type: none"> - Guru menjelaskan sekilas tentang proses pengomposan limbah padat tepung aren dengan menggunakan charta. - Guru menjelaskan tujuan kegiatan yang akan dilakukan. - Guru membagi seluruh siswa menjadi 10 kelompok (setiap kelompok terdiri dari 4-5 siswa). 	20'
2.	<p>Kegiatan Pokok</p> <ul style="list-style-type: none"> - Siswa mendiskusikan : <ol style="list-style-type: none"> a. proses-proses pengomposan, b. faktor-faktor yang berpengaruh dalam pengomposan, c. memahami peranan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dalam pengomposan, d. manfaat kompos. - Siswa mempresentasikan hasil diskusi di depan kelas. 	60'
3.	<p>Penutup</p> <ul style="list-style-type: none"> - Guru membuat kesimpulan bersama siswa. 	10'

Surakarta, 29 September 2006

Guru Biologi

Luluk Nafiah

Lampiran 2

Tabel 25. Data Induk pH dengan Variasi Limbah Padat Industri Tepung Aren,

Dosis Mikroorganisme Efektif BIOEDU-UNS, dan Lama Waktu Degradasi

Faktor B	Faktor C											
	C ₀			C ₁			C ₂			C ₃		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
	Faktor A ₁											
B ₀	6.04	6.08	6.15	4.49	4.85	4.51	5.70	5.84	5.56	6.69	6.81	7.30
B ₁	5.97	6.20	6.13	5.57	5.57	6.25	5.59	6.92	7.07	7.24	7.22	6.72
B ₂	6.08	6.19	6.15	6.50	6.03	5.35	5.23	5.81	5.79	7.18	7.06	6.08
B ₃	6.05	6.11	6.18	5.39	5.30	5.91	5.36	6.05	5.61	7.08	6.37	7.02
	Faktor A ₂											
B ₀	4.49	4.45	4.37	6.50	6.57	6.30	6.30	6.84	7.07	7.33	6.65	7.27
B ₁	4.50	5.23	4.47	7.41	7.44	6.72	6.92	7.38	7.55	7.36	6.76	7.27
B ₂	4.88	4.45	4.48	6.98	6.87	7.45	7.45	7.55	6.94	7.18	7.24	7.41
B ₃	4.53	4.46	5.23	6.15	6.57	7.30	7.11	7.15	6.37	7.12	7.35	7.33

Keterangan :

- A = Limbah lemi industri tepung aren
- A₀ = Limbah lemi industri tepung aren yang baru dihasilkan dari industri.
- A₁ = Limbah lemi industri tepung aren yang dikeringkan selama 2 hari.
- B = Dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS
- B₀ = Tidak ada penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS
- B₁ = Penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan dosis 50 mL
- B₂ = Penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan dosis 100 mL
- B₃ = Penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan dosis 200 mL
- C = Pengamatan hari
- C₀ = Pengamatan hari ke-0
- C₁ = Pengamatan hari ke-15
- C₂ = Pengamatan hari ke-30
- C₃ = Pengamatan hari ke-45

Lampiran 3

Tabel 26. Uji Normalitas Parameter pH

No	X_i	F_i	Z_i	$F(Z_i)$	$S(Z_i)$	$ F(Z_i)-S(Z_i) $
1	4.37	1	-2.01	0.0222	0.0104	0.0118
2	4.45	2	-1.93	0.0268	0.0313	0.0045
3	4.46	1	-1.92	0.0274	0.0417	0.0143
4	4.47	1	-1.91	0.0281	0.0521	0.0240
5	4.48	1	-1.90	0.0287	0.0625	0.0338
6	4.49	2	-1.88	0.0301	0.0833	0.0532
7	4.50	1	-1.87	0.0307	0.0938	0.0631
8	4.51	1	-1.86	0.0314	0.1042	0.0728
9	4.53	1	-1.84	0.0329	0.1146	0.0817
10	4.85	1	-1.50	0.0668	0.1250	0.0582
11	4.88	1	-1.47	0.0708	0.1354	0.0646
12	5.23	3	-1.10	0.1357	0.1667	0.0310
13	5.30	1	-1.02	0.1539	0.1771	0.0232
14	5.35	1	-0.97	0.1660	0.1875	0.0215
15	5.36	1	-0.96	0.1685	0.1979	0.0294
16	5.39	1	-0.93	0.1762	0.2083	0.0321
17	5.56	1	-0.75	0.2266	0.2188	0.0079
18	5.57	2	-0.74	0.2297	0.2396	0.0099
19	5.59	1	-0.71	0.2389	0.2500	0.0111
20	5.61	1	-0.69	0.2451	0.2604	0.0153
21	5.70	1	-0.60	0.2743	0.2708	0.0035
22	5.79	1	-0.50	0.3085	0.2813	0.0273
23	5.81	1	-0.48	0.3156	0.2917	0.0239
24	5.84	1	-0.45	0.3264	0.3021	0.0243
25	5.91	1	-0.37	0.3557	0.3125	0.0432
26	5.97	1	-0.31	0.3783	0.3229	0.0554
27	6.03	1	-0.25	0.4013	0.3333	0.0680
28	6.04	1	-0.24	0.4052	0.3438	0.0615
29	6.05	2	-0.22	0.4129	0.3646	0.0483
30	6.08	3	-0.19	0.4247	0.3958	0.0289
31	6.11	1	-0.16	0.4364	0.4063	0.0302
32	6.13	1	-0.14	0.4443	0.4167	0.0276
33	6.15	3	-0.12	0.4522	0.4479	0.0043
34	6.18	1	-0.09	0.4641	0.4583	0.0058
35	6.19	1	-0.08	0.4681	0.4688	0.0006
36	6.20	1	-0.06	0.4761	0.4792	0.0031
37	6.25	1	-0.01	0.4960	0.4896	0.0064
38	6.30	2	0.04	0.5160	0.5104	0.0056
39	6.37	2	0.12	0.5478	0.5313	0.0166
40	6.50	2	0.25	0.5987	0.5521	0.0466
41	6.57	2	0.33	0.6293	0.5729	0.0564

Tabel Lanjutan

42	6.65	1	0.41	0.6591	0.5833	0.0758
----	------	---	------	--------	--------	--------

43	6.69	1	0.46	0.6772	0.5938	0.0835
44	6.72	2	0.49	0.6879	0.6146	0.0733
45	6.76	1	0.53	0.7019	0.6250	0.0769
46	6.81	1	0.58	0.7190	0.6354	0.0836
47	6.84	1	0.62	0.7324	0.6458	0.0866
48	6.87	1	0.65	0.7422	0.6563	0.0860
49	6.92	2	0.70	0.7580	0.6771	0.0809
50	6.94	1	0.72	0.7642	0.6875	0.0767
51	6.98	1	0.77	0.7794	0.6979	0.0815
52	7.02	1	0.81	0.7910	0.7083	0.0827
53	7.06	1	0.85	0.8023	0.7188	0.0836
54	7.07	2	0.86	0.8051	0.7396	0.0655
55	7.08	1	0.87	0.8078	0.7500	0.0578
56	7.11	1	0.90	0.8159	0.7604	0.0555
57	7.12	1	0.91	0.8186	0.7708	0.0478
58	7.15	1	0.95	0.8289	0.7813	0.0477
59	7.18	2	0.98	0.8365	0.8021	0.0344
60	7.22	1	1.02	0.8461	0.8125	0.0336
61	7.24	2	1.04	0.8508	0.8333	0.0175
62	7.27	2	1.07	0.8577	0.8542	0.0035
63	7.30	2	1.11	0.8665	0.8750	0.0085
64	7.33	2	1.14	0.8729	0.8958	0.0229
65	7.35	1	1.16	0.8770	0.9063	0.0293
66	7.36	1	1.17	0.8790	0.9167	0.0377
67	7.38	1	1.19	0.8830	0.9271	0.0441
68	7.41	2	1.22	0.8888	0.9479	0.0591
69	7.44	1	1.25	0.8944	0.9583	0.0639
70	7.45	2	1.27	0.8980	0.9792	0.0812
71	7.55	2	1.37	0.9147	1.0000	0.0853

1. Hipotesis :

H_0 : Sampel berasal dari populasi yang berdistribusi normal.

H_1 : Sampel tidak berasal dari populasi yang berdistribusi normal.

2. Komputasi :

Diketahui :

$$\bar{X} = 6.2609$$

$$SD = 0.9398$$

3. Statistik Uji.

Dari tabel diperoleh $L_{obs} = \max |F(Z_i) - S(Z_i)| = 0.0866$

4. Daerah Kritik.

$$L_{\text{obs}} > L_{\alpha; v} = \frac{0.886}{\sqrt{96}} = 0.0904$$

$$L_{\text{obs}} = 0.0866 < L_{0.05; 96} = 0.0904$$

5. Keputusan Uji .

H_0 diterima karena $L_{\text{obs}} = 0.0866 < L_{0.05; 96} = 0.0904$ pada taraf signifikansi 0.05 , berarti sampel berasal dari populasi yang berdistribusi normal.



Tabel 28. Uji Homogenitas Parameter pH

Tabel Perhitungan X dan X²

Perlakuan	Perulangan			Jumlah X	Jumlah X ²
	U1	U2	U3		
A0B0C0	6.04	6.08	6.15	18.270	111.2705
A0B1C0	5.97	6.20	6.13	18.300	111.6578
A0B2C0	6.08	6.19	6.15	18.420	113.1050
A0B3C0	6.05	6.11	6.18	18.340	112.1270
A1B0C0	4.49	4.45	4.37	13.310	59.0595
A1B1C0	4.50	5.23	4.47	14.200	67.5838
A1B2C0	4.88	4.45	4.48	13.810	63.6873
A1B3C0	4.53	4.46	5.23	14.220	67.7654
A0B0C1	4.49	4.85	4.51	13.850	64.0227
A0B1C1	5.57	5.57	6.25	17.390	101.1123
A0B2C1	6.50	6.03	5.35	17.880	107.2334
A0B3C1	5.39	5.30	5.91	16.600	92.0702
A1B0C1	6.50	6.57	6.30	19.370	125.1049
A1B1C1	7.41	7.44	6.72	21.570	155.4201
A1B2C1	6.98	6.87	7.45	21.300	151.4198
A1B3C1	6.15	6.57	7.30	20.020	134.2774
A0B0C2	5.70	5.84	5.56	17.100	97.5092
A0B1C2	5.59	6.92	7.07	19.580	129.1194
A0B2C2	5.23	5.81	5.79	16.830	94.6331
A0B3C2	5.36	6.05	5.61	17.020	96.8042
A1B0C2	6.30	6.84	7.07	20.210	136.4605
A1B1C2	6.92	7.38	7.55	21.850	159.3533
A1B2C2	7.45	7.55	6.94	21.940	160.6686
A1B3C2	7.11	7.15	6.37	20.630	142.2515
A0B0C3	6.69	6.81	7.30	20.800	144.4222
A0B1C3	7.24	7.22	6.72	21.180	149.7044
A0B2C3	7.18	7.06	6.08	20.320	138.3624
A0B3C3	7.08	6.37	7.02	20.470	139.9837
A1B0C3	7.33	6.65	7.27	21.250	150.8043
A1B1C3	7.36	6.76	7.27	21.390	152.7201
A1B2C3	7.18	7.24	7.41	21.830	158.8781
A1B3C3	7.12	7.35	7.33	21.800	158.4458

Tabel 29. Perhitungan Uji Homogenitas

Sampel	f _j	SS _j	S _j ²	log S _j ²	f _j log S _j ²
A0B0C0	2	0.006200	0.0031000	-2.508638	-5.017277
A0B1C0	2	0.027800	0.0139000	-1.856985	-3.713970
A0B2C0	2	0.006200	0.0031000	-2.508638	-5.017277
A0B3C0	2	0.008467	0.0042333	-2.373318	-4.746635
A1B0C0	2	0.007467	0.0037333	-2.427903	-4.855806
A1B1C0	2	0.370467	0.1852333	-0.732281	-1.464562
A1B2C0	2	0.115267	0.0576333	-1.239326	-2.478653
A1B3C0	2	0.362600	0.1813000	-0.741602	-1.483204
A0B0C1	2	0.081867	0.0409333	-1.387923	-2.775846
A0B1C1	2	0.308267	0.1541333	-0.812103	-1.624207
A0B2C1	2	0.668600	0.3343000	-0.475864	-0.951727
A0B3C1	2	0.216867	0.1084333	-0.964837	-1.929674
A1B0C1	2	0.039267	0.0196333	-1.707006	-3.414012
A1B1C1	2	0.331800	0.1659000	-0.780154	-1.560307
A1B2C1	2	0.189800	0.0949000	-1.022734	-2.045468
A1B3C1	2	0.677267	0.3386333	-0.470270	-0.940541
A0B0C2	2	0.039200	0.0196000	-1.707744	-3.415488
A0B1C2	2	1.327267	0.6636333	-0.178072	-0.356144
A0B2C2	2	0.216800	0.1084000	-0.964971	-1.929941
A0B3C2	2	0.244067	0.1220333	-0.913522	-1.827043
A1B0C2	2	0.312467	0.1562333	-0.806226	-1.612453
A1B1C2	2	0.212467	0.1062333	-0.973739	-1.947478
A1B2C2	2	0.214067	0.1070333	-0.970481	-1.940962
A1B3C2	2	0.385867	0.1929333	-0.714593	-1.429185
A0B0C3	2	0.208867	0.1044333	-0.981161	-1.962322
A0B1C3	2	0.173600	0.0868000	-1.061480	-2.122961
A0B2C3	2	0.728267	0.3641333	-0.438740	-0.877479
A0B3C3	2	0.310067	0.1550333	-0.809575	-1.619150
A1B0C3	2	0.283467	0.1417333	-0.848528	-1.697056
A1B1C3	2	0.209400	0.1047000	-0.980053	-1.960107
A1B2C3	2	0.028467	0.0142333	-1.846693	-3.693387
A1B3C3	2	0.032467	0.0162333	-1.789592	-3.579185
Jumlah	64	8.345000			-75.989505

RKG = SS _j / f _j	=	0.130391
log RKG	=	-0.8847536
f _j log RKG	=	-56.624233
1/3(k-1)	=	0.01075269
C	=	1.171875
2.303/c	=	1.965227
f _j log RKG – f _j log S _j ²	=	19.36527
X ² _{hit}	=	38.057
X ² (0.05,32-1)	=	45.0

Keputusan Uji	=	Homogen
---------------	---	---------

Data berasal dari populasi yang memiliki variansi homogen.
Lampiran 4.

a. Perhitungan Anava Faktorial 3 Jalur Parameter pH

Tabel 30. Data Percobaan

Faktor B	Faktor C											
	C ₀			C ₁			C ₂			C ₃		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
	Faktor A ₁											
B ₀	6.04	6.08	6.15	4.49	4.85	4.51	5.70	5.84	5.56	6.69	6.81	7.30
B ₁	5.97	6.20	6.13	5.57	5.57	6.25	5.59	6.92	7.07	7.24	7.22	6.72
B ₂	6.08	6.19	6.15	6.50	6.03	5.35	5.23	5.81	5.79	7.18	7.06	6.08
B ₃	6.05	6.11	6.18	5.39	5.30	5.91	5.36	6.05	5.61	7.08	6.37	7.02
	Faktor A ₂											
B ₀	4.49	4.45	4.37	6.50	6.57	6.30	6.30	6.84	7.07	7.33	6.65	7.27
B ₁	4.50	5.23	4.47	7.41	7.44	6.72	6.92	7.38	7.55	7.36	6.76	7.27
B ₂	4.88	4.45	4.48	6.98	6.87	7.45	7.45	7.55	6.94	7.18	7.24	7.41
B ₃	4.53	4.46	5.23	6.15	6.57	7.30	7.11	7.15	6.37	7.12	7.35	7.33

Keterangan :

A = Limbah lemi industri tepung aren

A₀ = Limbah lemi industri tepung aren yang baru dihasilkan dari industri.

A₁ = Limbah lemi industri tepung aren yang dikeringkan selama 2 hari.

B = Dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS

B₀ = Tidak ada penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS

B₁ = Penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan dosis 50 mL

B₂ = Penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan dosis 100 mL

B₃ = Penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan dosis 200 mL

C = Pengamatan hari

C₀ = Pengamatan hari ke-0

C₁ = Pengamatan hari ke-15

C₂ = Pengamatan hari ke-30

C₃ = Pengamatan hari ke-45

b. Analisis Sidik Petak Utama

Tabel 31. Ulangan x Limbah Lemi Industri Tepung Aren

Limbah Lemi Industri Tepung Aren	Jumlah Hasil (RA)			Jumlah Limbah Lemi Industri Tepung Aren (A)
	Ulangan I	Ulangan II	Ulangan III	
Dari Industri	96.1600	98.4100	97.7800	292.3500
Dikeringkan Selama 2 Hari	102.2100	102.9600	103.5300	308.7000
Jumlah Ulangan (R)	198.3700	201.3700	201.3100	
Jumlah Umum (G)				601.0500

$$\begin{aligned}
 \text{Faktor Koreksi} &= \frac{G^2}{rbc} \\
 &= \frac{(601.0500)^2}{(3)(2)(4)(4)} \\
 &= 3763.1365
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 JK_{\text{umum}} &= \sum X^2 - F.K \\
 &= [(6.04)^2 + \dots + (7.33)^2] - 3763.1365 \\
 &= 83.901416
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 JK_{\text{ulangan}} &= \frac{\sum R^2}{abc} - F.K \\
 &= \frac{(198.370)^2 + (201.370)^2 + (201.310)^2}{(2)(4)(4)} - 3763.1365 \\
 &= 0.183825
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 JK_A &= \frac{\sum A^2}{rbc} - F.K \\
 &= \frac{(292.350)^2 + (308.70)^2}{(3)(4)(4)} - 3763.1365 \\
 &= 2.784609
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 JK \text{ galat } (a) &= \frac{\sum(RA)^2}{bc} - F.K - JK \text{ ulangan} - JKA \\
 &= \frac{(96.160)^2 + \dots + (103.530)^2}{(4)(4)} - 3763.1365 - 0.183825 - 2.784609 \\
 &= 0.039375
 \end{aligned}$$

c. Analisis Sidik Anak Petak

Tabel 31. Limbah Lemi Industri Tepung Aren x Dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS

Limbah Lemi Industri Tepung Aren	Jumlah Hasil (AB)			
	Dosis : 0 mL	Dosis : 50 mL	Dosis : 100 mL	Dosis : 200 mL
Dari Industri	70.020	76.450	73.450	72.430
Dikeringkan Selama 2 Hari	74.140	79.010	78.880	76.670
Jumlah Dosis (B)	144.160	155.460	152.330	149.100

Tabel 32. Jumlah hasil ulangan x Limbah Lemi Industri Tepung Aren x Dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS

Dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS	Jumlah Hasil (RAB)		
	Ulangan I	Ulangan II	Ulangan III
	Limbah Lemi Industri Tepung Aren Dari Industri		
Dosis : 0 mL	22.920	23.580	23.520
Dosis : 50 mL	24.370	25.910	26.170
Dosis : 100 mL	24.990	25.090	23.370
Dosis : 200 mL	23.880	23.830	24.720
	Limbah Lemi Industri Tepung Aren yang Dikeringkan Selama 2 Hari		
Dosis : 0 mL	24.620	24.510	25.010
Dosis : 50 mL	26.190	26.810	26.010
Dosis : 100 mL	26.490	26.110	26.280
Dosis : 200 mL	24.910	25.530	26.230

$$\begin{aligned}
 JK B &= \frac{\sum B^2}{rac} - F.K \\
 &= \frac{(144.160)^2 + (155.460)^2 + (152.330)^2 + (149.100)^2}{(3)(2)(4)} - 3763.1365 \\
 &= 2.911686
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 JK_{A \times B} &= \frac{\sum(AB)^2}{rc} - F.K - JK_A - JK_B \\
 &= \frac{(70.020)^2 + \dots + (76.670)^2}{(3)(4)} - 3763.1365 - 2.784609 - 2.911686 \\
 &= 0.173328
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 JK_{\text{galat}(b)} &= \frac{\sum(RAB)^2}{c} - F.K - JK_{\text{ulangan}} - JK_A \\
 &\quad - JK_{\text{galat}(a)} - JK_B - JK_{A \times B} \\
 &= \frac{(22.920)^2 + \dots + (26.230)^2}{4} - 3763.1365 - 0.183825 - 2.784609 \\
 &\quad - 0.039375 - 2.911686 - 0.173328 \\
 &= 1.266517
 \end{aligned}$$

d. Analisis Sidik Anak-anak Petak

Tabel 32. Limbah Lemi Industri Tepung Aren x Pengamatan hari

Limbah Lemi Industri Tepung Aren	Jumlah Hasil (AC)			
	Hari ke-0	Hari ke-15	Hari ke-30	Hari ke-45
Dari Industri	73.330	65.720	70.530	82.770
Dikeringkan Selama 2 Hari	55.540	82.260	84.630	86.270
Jumlah hari (C)	128.870	147.980	155.160	169.040

Tabel 33. Dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS x Pengamatan hari

Dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS	Jumlah Hasil (BC)			
	Hari ke-1	Hari ke-15	Hari ke-30	Hari ke-45
Dosis : 0 mL	31.580	33.220	37.310	42.050
Dosis : 50 mL	32.500	38.960	41.430	42.570
Dosis : 100 mL	32.230	39.180	38.770	42.150
Dosis : 200 mL	32.560	36.620	37.650	42.270

Tabel 34. Limbah Lemi Industri Tepung Aren x Dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS x Pengamatan hari

Dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS	Jumlah Hasil (ABC)			
	Hari ke-0	Hari ke-15	Hari ke-30	Hari ke-45
	Limbah Lemi Industri Tepung Aren Dari Industri			
Dosis : 0 mL	18.270	13.850	17.100	20.800
Dosis : 50 mL	18.300	17.390	19.580	21.180
Dosis : 100 mL	18.420	17.880	16.830	20.320
Dosis : 200 mL	18.340	16.600	17.020	20.470
	Limbah Lemi Industri Tepung Aren yang Dikeringkan Selama 2 Hari			
Dosis : 0 mL	13.310	19.370	20.210	21.250
Dosis : 50 mL	14.200	21.570	21.850	21.390
Dosis : 100 mL	13.810	21.300	21.940	21.830
Dosis : 200 mL	14.220	20.020	20.630	21.800

$$JK C = \frac{\sum C^2}{rb} - F.K$$

$$= \frac{(128.870)^2 + (147.980)^2 + (155.160)^2 + (169.040)^2}{(3)(2)(4)} - 3763.1365$$

$$= 34.976203$$

$$JK A \times C = \frac{\sum (AC)^2}{rb} - F.K - JK A - JK C$$

$$= \frac{(73.330)^2 + \dots + (86.270)^2}{(3)(4)} - 3763.1365 - 2.784609 - 34.976203$$

$$= 30.595211$$

$$JK B \times C = \frac{\sum (BC)^2}{ra} - F.K - JK B - JK C$$

$$= \frac{(31.580)^2 + \dots + (42.270)^2}{(3)(2)} - 3763.1365 - 2.911686 - 34.976203$$

$$= 2.795443$$

$$\begin{aligned}
 JK_{A \times B \times C} &= \frac{\sum(ABC)^2}{r} - F.K - JK_A - JK_B - JK_C \\
 &\quad - JK_{A \times B} - JK_{A \times C} - JK_{B \times C} \\
 &= \frac{(18.270)^2 + \dots + (21.80)^2}{3} - 3763.1365 - 2.784609 - 2.911686 - 34.976203 \\
 &\quad - 0.173328 - 30.595211 - 2.795443 \\
 &= 1.319934
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 JK_{\text{galat}(c)} &= JK_{\text{umum}} - (\text{Jumlah } JK \text{ lainnya}) \\
 &= 83.901416 - 0.183825 - 2.784609 - 0.039375 - 2.911686 - 0.173328 \\
 &\quad - 1.266517 - 34.976203 - 30.595211 - 2.795443 - 1.319934 \\
 &= 6.855283
 \end{aligned}$$

e. Mean Kuadrat / Kuadrat Tengah (KT)

$$\begin{aligned}
 KT_{\text{ulangan}} &= \frac{JK_{\text{ulangan}}}{r-1} \\
 &= \frac{0.183825}{2} = 0.091912
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 KT_A &= \frac{JK_A}{a-1} \\
 &= \frac{2.784609}{1} = 2.784609
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 KT_{\text{galat}(a)} &= \frac{JK_{\text{galat}(a)}}{(r-1)(a-1)} \\
 &= \frac{0.039375}{(2)(1)} = 0.019688
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 KT_B &= \frac{JK_B}{b-1} \\
 &= \frac{2.911686}{3} = 0.970562
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 KT_{A \times B} &= \frac{JK_{A \times B}}{(a-1)(b-1)} \\
 &= \frac{0.173328}{(1)(3)} = 0.057776
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 KT \text{ galat}(b) &= \frac{JK \text{ galat}(b)}{a(r-1)(b-1)} \\
 &= \frac{1.266517}{(2)(2)(3)} = 0.105543
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 KTC &= \frac{JK C}{c-1} \\
 &= \frac{34.976203}{3} = 11.658734
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 KT Ax C &= \frac{JK Ax C}{(a-1)(c-1)} \\
 &= \frac{30.595211}{(1)(3)} = 10.198404
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 KT Bx C &= \frac{JK Bx C}{(b-1)(c-1)} \\
 &= \frac{2.795443}{(3)(3)} = 0.310605
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 KT Ax Bx C &= \frac{JK Ax Bx C}{(a-1)(b-1)(c-1)} \\
 &= \frac{1.319934}{(1)(3)(3)} = 0.146659
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 KT \text{ galat}(c) &= \frac{JK \text{ galat}(c)}{ab(r-1)(c-1)} \\
 &= \frac{6.855283}{(2)(4)(2)(3)} = 0.142818
 \end{aligned}$$

f. Derajat Kebebasan

$$dk_r = r-1 = 2$$

$$dk_A = a-1 = 1$$

$$dk_B = b-1 = 3$$

$$dk_{Ax B} = (a-1)(b-1) = 3$$

$$dk_C = c-1 = 3$$

$$dk_{Ax C} = (a-1)(c-1) = 3$$

$$dk_{Bx C} = (b-1)(c-1) = 9$$

$$dk_{Ax Bx C} = (a-1)(b-1)(c-1) = 9$$

$$\begin{aligned} \text{galat (a)} &= (r-1)(a-1) &= 2 \\ \text{galat (b)} &= a(r-1)(b-1) &= 12 \\ \text{galat (c)} &= ab(r-1)(c-1) &= 48 \\ \text{umum} &= rbc - 1 &= 95 \end{aligned}$$

g. Uji F

$$F(A) = \frac{KT A}{KT \text{ galat}(a)} = \frac{2.784609}{0.019688} = 141.44$$

$$F(B) = \frac{KT B}{KT \text{ galat}(b)} = \frac{0.970562}{0.105543} = 9.20$$

$$F(A \times B) = \frac{KT A \times B}{KT \text{ galat}(b)} = \frac{0.057776}{0.105543} = 0.55$$

$$F(C) = \frac{KT C}{KT \text{ galat}(c)} = \frac{11.658734}{0.142818} = 81.63$$

$$F(A \times C) = \frac{KT A \times C}{KT \text{ galat}(c)} = \frac{10.198404}{0.142818} = 71.41$$

$$F(B \times C) = \frac{KT B \times C}{KT \text{ galat}(c)} = \frac{0.310605}{0.142818} = 2.17$$

$$F(A \times B \times C) = \frac{KT A \times B \times C}{KT \text{ galat}(c)} = \frac{0.146659}{0.142818} = 1.03$$

h. Hasil Uji

1. H_{0A} ditolak karena $F(A) = 141.44 > F_{(0.05;1,2)} = 18.51$
2. H_{0B} ditolak karena $F(B) = 9.20 > F_{(0.05;3,12)} = 3.49$
3. H_{0AB} diterima karena $F(A \times B) = 0.55 < F_{(0.05;3,12)} = 3.49$
4. H_{0C} ditolak karena $F(C) = 81.63 > F_{(0.05;3,48)} = 2.80$
5. H_{0AC} ditolak karena $F(A \times C) = 71.41 > F_{(0.05;3,48)} = 2.80$
6. H_{0BC} ditolak karena $F(B \times C) = 2.17 > F_{(0.05;9,48)} = 2.08$
7. H_{0ABC} diterima karena $F(A \times B \times C) = 1.03 < F_{(0.05;9,48)} = 2.08$

i. Koefisien Keragaman

$$\begin{aligned}kk(a) &= \frac{\sqrt{KT\ galat(a)}}{Rataan\ umum} \times 100\% \\ &= \frac{\sqrt{0.019688}}{6.260938} \times 100\% \\ &= 2.241\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}kk(b) &= \frac{\sqrt{KT\ galat(b)}}{Rataan\ umum} \times 100\% \\ &= \frac{\sqrt{0.105543}}{6.260938} \times 100\% \\ &= 5.189\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}kk(c) &= \frac{\sqrt{KT\ galat(c)}}{Rataan\ umum} \times 100\% \\ &= \frac{\sqrt{0.142818}}{6.260938} \times 100\% \\ &= 6.036\end{aligned}$$

Lampiran 5.

Uji Lanjut Anava Parameter pH

(Uji lanjut ANAVA yang digunakan adalah Uji Duncan)

1. Menghitung Standar Deviasi (s).

a. Uji Jarak Ganda Duncan (UJGD) untuk Perlakuan A.

$$KT \text{ Galat (a)} = s_a^2 = 0.019688$$

$$\begin{aligned} s_{\bar{a}} &= \sqrt{\frac{2s^2}{rbc}} \\ &= \sqrt{\frac{2(0.019688)}{(3)(3)(3)}} \\ &= 0.0286411 \end{aligned}$$

$$R_p = \frac{(r_p)(s_{\bar{a}})}{\sqrt{2}} \text{ untuk } p = 2,3,\dots,t$$

b. Uji Jarak Ganda Duncan (UJGD) untuk Perlakuan B.

$$KT \text{ Galat (b)} = s_b^2 = 0.105543$$

$$\begin{aligned} s_{\bar{b}} &= \sqrt{\frac{2s^2}{rac}} \\ &= \sqrt{\frac{2(0.105543)}{(3)(2)(3)}} \\ &= 0.0937830 \end{aligned}$$

$$R_p = \frac{(r_p)(s_{\bar{b}})}{\sqrt{2}} \text{ untuk } p = 2,3,\dots,t$$

c. Uji Jarak Ganda Duncan (UJGD) untuk Perlakuan C.

$$KT \text{ Galat (c)} = s_c^2 = 0.142818$$

$$\begin{aligned} s_{\bar{c}} &= \sqrt{\frac{2s^2}{rab}} \\ &= \sqrt{\frac{2(0.142818)}{(3)(2)(3)}} \\ &= 0.1090942 \end{aligned}$$

$$R_p = \frac{(r_p)(s_{\bar{c}})}{\sqrt{2}} \text{ untuk } p = 2,3,\dots,t$$

- d. Uji Jarak Ganda Duncan (UJGD) untuk Perlakuan AC.

$$\text{KT Galat (c)} = s_b^2 = 0.142818$$

$$\begin{aligned} s_{\bar{d}} &= \sqrt{\frac{2s^2}{rb}} \\ &= \sqrt{\frac{2(0.142818)}{(3)(3)}} \\ &= 0.1542824 \end{aligned}$$

$$R_p = \frac{(r_p)(s_{\bar{d}})}{\sqrt{2}} \text{ untuk } p = 2, 3, \dots, t$$

- e. Uji Jarak Ganda Duncan (UJGD) untuk Perlakuan BC.

$$\text{KT Galat (c)} = s_c^2 = 0.142818$$

$$\begin{aligned} s_{\bar{d}} &= \sqrt{\frac{2s^2}{ra}} \\ &= \sqrt{\frac{2(0.142818)}{(3)(2)}} \\ &= 0.2181883 \end{aligned}$$

$$R_p = \frac{(r_p)(s_{\bar{d}})}{\sqrt{2}} \text{ untuk } p = 2, 3, \dots, t$$

2. Urutan Data Uji Duncan

Perhitungan Uji Duncan dapat dilihat sebagai Berikut :

Uji Beda Jarak Nyata Duncan (BJND) Parameter pH

- a. Uji Duncan kombinasi Perlakuan A.

Tabel 34. Kombinasi Perlakuan A

No.	Kombinasi Perlakuan	Rerata Hasil	Jarak Nyata	Notasi
			2	
1	A1	6.4313		a
2	A0	6.0906	0.3406*	b
	P (0.05;2)		6.090	
	BJND 0.05		0.1233	

- b. Uji Duncan kombinasi perlakuan B

Tabel 35. Kombinasi Perlakuan B

No.	Kombinasi Perlakuan	Rerata Hasil	Jarak Nyata			Notasi
			2	3	4	
1	B1	6.4775				a
2	B2	6.3471	0.1304			ab
3	B3	6.2125	0.1346	0.2650*		bc
4	B0	6.0067	0.2058*	0.3404*	0.4708*	d
	P (0.05;12)		3.060	3.230	3.330	
	BJND 0.05		0.2029	0.2142	0.2208	

- c. Uji Duncan kombinasi perlakuan C

Tabel 36. kombinasi perlakuan C

No.	Kombinasi Perlakuan	Rerata Hasil	Jarak Nyata			Notasi
			2	3	4	
1	C3	7.0433				a
2	C2	6.4650	0.5783*			b
3	C1	6.1658	0.2992*	0.8775*		c
4	C0	5.3696	0.7963*	1.0954*	1.6738*	d
	P (0.05;48)		2.8480	2.9980	3.0920	
	BJND 0.05		0.2197	0.2313	0.2385	

- d. Uji Duncan kombinasi perlakuan AC

(lembar lain)

- e. Uji Duncan kombinasi perlakuan BC

(lembar lain)

Lampiran 7.

Tabel 41. Data Induk Suhu dengan Variasi Limbah Padat Industri Tepung Aren, Dosis Mikroorganisme Efektif BIOEDU-UNS, dan Lama Waktu Degradasi.

Faktor B	Faktor C											
	C ₀			C ₁			C ₂			C ₃		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
	Faktor A ₁											
B ₀	28.0	27.0	28.0	27.5	29.0	29.0	27.5	26.0	26.0	27.0	27.5	27.5
B ₁	28.0	27.5	28.5	28.0	28.5	29.0	28.5	27.5	26.5	26.5	28.5	26.5
B ₂	28.5	28.5	28.0	28.0	30.5	28.5	25.5	27.0	26.5	27.5	27.5	27.0
B ₃	26.5	28.0	27.0	30.0	28.0	29.0	26.5	26.5	29.0	28.5	26.0	27.0
	Faktor A ₂											
B ₀	30.0	31.0	29.0	30.5	30.0	30.0	25.0	26.0	28.5	26.5	27.0	25.5
B ₁	30.5	31.0	30.0	30.5	31.5	30.0	29.0	30.0	26.0	28.5	26.5	27.0
B ₂	31.0	31.0	32.0	29.0	30.0	28.0	25.0	25.0	26.0	26.0	26.0	25.5
B ₃	30.5	30.5	31.0	31.5	30.0	31.0	28.5	30.5	25.5	27.0	25.0	27.5

Keterangan :

A = Limbah lemi industri tepung aren

A₀ = Limbah lemi industri tepung aren yang baru dihasilkan dari industri.

A₁ = Limbah lemi industri tepung aren yang dikeringkan selama 2 hari.

B = Dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS

B₀ = Tidak ada penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS

B₁ = Penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan dosis 50 mL

B₂ = Penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan dosis 100 mL

B₃ = Penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan dosis 200 mL

C = Pengamatan hari

C₀ = Pengamatan hari ke-0

C₁ = Pengamatan hari ke-15

C₂ = Pengamatan hari ke-30

C₃ = Pengamatan hari ke-45

Lampiran 8.

Tabel 42. Uji Normalitas Suhu Pupuk.

No	X_i	f_i	Z_i	$F(Z_i)$	$S(Z_i)$	$ F(Z_i)-S(Z_i) $
1	4.37	1	-2.01	0.0222	0.0104	0.0118
2	4.45	2	-1.93	0.0268	0.0313	0.0045
3	4.46	1	-1.92	0.0274	0.0417	0.0143
4	4.47	1	-1.91	0.0281	0.0521	0.0240
5	4.48	1	-1.90	0.0287	0.0625	0.0338
6	4.49	2	-1.88	0.0301	0.0833	0.0532
7	4.50	1	-1.87	0.0307	0.0938	0.0631
8	4.51	1	-1.86	0.0314	0.1042	0.0728
9	4.53	1	-1.84	0.0329	0.1146	0.0817
10	4.85	1	-1.50	0.0668	0.1250	0.0582
11	4.88	1	-1.47	0.0708	0.1354	0.0646
12	5.23	3	-1.10	0.1357	0.1667	0.0310
13	5.30	1	-1.02	0.1539	0.1771	0.0232
14	5.35	1	-0.97	0.1660	0.1875	0.0215

6. Hipotesis :

H_0 : Sampel berasal dari populasi yang berdistribusi normal.

H_1 : Sampel tidak berasal dari populasi yang berdistribusi normal.

7. Komputasi :

Diketahui :

$$\bar{X} = 28.1354$$

$$SD = 1.7998$$

8. Statistik Uji.

Dari tabel diperoleh $L_{obs} = \max |F(Z_i)-S(Z_i)| = 0.0899$

9. Daerah Kritik.

$$L_{obs} > L_{\alpha; v} = \frac{0.886}{\sqrt{96}} = 0.0904$$

$$L_{obs} = 0.0899 < L_{0.05; 96} = 0.0904$$

10. Keputusan Uji .

H_0 diterima karena $L_{obs} = 0.0899 < L_{0.05; 96} = 0.0904$ pada taraf signifikansi 0.05 , berarti sampel berasal dari populasi yang berdistribusi normal.

Lampiran 8.

Tabel 41. Uji Homogenitas Suhu Pupuk.

Tabel Perhitungan X dan X²

Perlakuan	PERULANGAN			Jumlah X	Jumlah X ²
	U1	U2	U3		
A0B0C0	28.0	27.0	28.0	83.0	2297.00
A0B1C0	28.0	27.5	28.5	84.0	2352.50
A0B2C0	28.5	28.5	28.0	85.0	2408.50
A0B3C0	26.5	28.0	27.0	81.5	2215.25
A1B0C0	30.0	31.0	29.0	90.0	2702.00
A1B1C0	30.5	31.0	30.0	91.5	2791.25
A1B2C0	31.0	31.0	32.0	94.0	2946.00
A1B3C0	30.5	30.5	31.0	92.0	2821.50
A0B0C1	27.5	29.0	29.0	85.5	2438.25
A0B1C1	28.0	28.5	29.0	85.5	2437.25
A0B2C1	28.0	30.5	28.5	87.0	2526.50
A0B3C1	30.0	28.0	29.0	87.0	2525.00
A1B0C1	30.5	30.0	30.0	90.5	2730.25
A1B1C1	30.5	31.5	30.0	92.0	2822.50
A1B2C1	29.0	30.0	28.0	87.0	2525.00
A1B3C1	31.5	30.0	31.0	92.5	2853.25
A0B0C2	27.5	26.0	26.0	79.5	2108.25
A0B1C2	28.5	27.5	26.5	82.5	2270.75
A0B2C2	25.5	27.0	26.5	79.0	2081.50
A0B3C2	26.5	26.5	29.0	82.0	2245.50
A1B0C2	25.0	26.0	28.5	79.5	2113.25
A1B1C2	29.0	30.0	26.0	85.0	2417.00
A1B2C2	25.0	25.0	26.0	76.0	1926.00
A1B3C2	28.5	30.5	25.5	84.5	2392.75
A0B0C3	27.0	27.5	27.5	82.0	2241.50
A0B1C3	26.5	28.5	26.5	81.5	2216.75
A0B2C3	27.5	27.5	27.0	82.0	2241.50
A0B3C3	28.5	26.0	27.0	81.5	2217.25
A1B0C3	26.5	27.0	25.5	79.0	2081.50
A1B1C3	28.5	26.5	27.0	82.0	2243.50
A1B2C3	26.0	26.0	25.5	77.5	2002.25
A1B3C3	27.0	25.0	27.5	79.5	2110.25

Tabel 42. Perhitungan Uji Homogenitas

Sampel	fj	SSj	Sj ²	log Sj ²	fj log Sj ²
A0B0C0	2	0.666667	0.3333333	-0.477121	-0.9542425
A0B1C0	2	0.500000	0.2500000	-0.602060	-1.2041200
A0B2C0	2	0.166667	0.0833333	-1.079181	-2.1583625
A0B3C0	2	1.166667	0.5833333	-0.234083	-0.4681664
A1B0C0	2	2.000000	1.0000000	0.000000	0.0000000
A1B1C0	2	0.500000	0.2500000	-0.602060	-1.2041200
A1B2C0	2	0.666667	0.3333333	-0.477121	-0.9542425
A1B3C0	2	0.166667	0.0833333	-1.079181	-2.1583625
A0B0C1	2	1.500000	0.7500000	-0.124939	-0.2498775
A0B1C1	2	0.500000	0.2500000	-0.602060	-1.2041200
A0B2C1	2	3.500000	1.7500000	0.243038	0.4860761
A0B3C1	2	2.000000	1.0000000	0.000000	0.0000000
A1B0C1	2	0.166667	0.0833333	-1.079181	-2.1583625
A1B1C1	2	1.166667	0.5833333	-0.234083	-0.4681664
A1B2C1	2	2.000000	1.0000000	0.000000	0.0000000
A1B3C1	2	1.166667	0.5833333	-0.234083	-0.4681664
A0B0C2	2	1.500000	0.7500000	-0.124939	-0.2498775
A0B1C2	2	2.000000	1.0000000	0.000000	0.0000000
A0B2C2	2	1.166667	0.5833333	-0.234083	-0.4681664
A0B3C2	2	4.166667	2.0833333	0.318759	0.6375175
A1B0C2	2	6.500000	3.2500000	0.511883	1.0237667
A1B1C2	2	8.666667	4.3333333	0.636822	1.2736442
A1B2C2	2	0.666667	0.3333333	-0.477121	-0.9542425
A1B3C2	2	12.666667	6.3333333	0.801632	1.6032647
A0B0C3	2	0.166667	0.0833333	-1.079181	-2.1583625
A0B1C3	2	2.666667	1.3333333	0.124939	0.2498775
A0B2C3	2	0.166667	0.0833333	-1.079181	-2.1583625
A0B3C3	2	3.166667	1.5833333	0.199572	0.3991447
A1B0C3	2	1.166667	0.5833333	-0.234083	-0.4681664
A1B1C3	2	2.166667	1.0833333	0.034762	0.0695242
A1B2C3	2	0.166667	0.0833333	-1.079181	-2.1583625
A1B3C3	2	3.500000	1.7500000	0.243038	0.4860761
Jumlah	64	68.333333			-16.0369577

RKG = SSj / fj	=	1.067708
log RKG	=	0.02845263
fj log RKG	=	1.82096847
1/3(k-1)	=	0.01075269
c	=	1.171875
2.303/c	=	1.965227
fj log RKG – fj log Sj ²	=	17.85793
X ² hit	=	35.095
X ² (0.05,32-1)	=	45.0
Keputusan Uji	=	Homogen

Data berasal dari populasi yang memiliki variansi homogen.

Lampiran 9.

a. Perhitungan Anava Faktorial 3 Jalur.

Tabel 43. Data Percobaan

Faktor B	Faktor C											
	C ₀			C ₁			C ₂			C ₃		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
	Faktor A ₁											
B ₀	28.0	27.0	28.0	27.5	29.0	29.0	27.5	26.0	26.0	27.0	27.5	27.5
B ₁	28.0	27.5	28.5	28.0	28.5	29.0	28.5	27.5	26.5	26.5	28.5	26.5
B ₂	28.5	28.5	28.0	28.0	30.5	28.5	25.5	27.0	26.5	27.5	27.5	27.0
B ₃	26.5	28.0	27.0	30.0	28.0	29.0	26.5	26.5	29.0	28.5	26.0	27.0
	Faktor A ₂											
B ₀	30.0	31.0	29.0	30.5	30.0	30.0	25.0	26.0	28.5	26.5	27.0	25.5
B ₁	30.5	31.0	30.0	30.5	31.5	30.0	29.0	30.0	26.0	28.5	26.5	27.0
B ₂	31.0	31.0	32.0	29.0	30.0	28.0	25.0	25.0	26.0	26.0	26.0	25.5
B ₃	30.5	30.5	31.0	31.5	30.0	31.0	28.5	30.5	25.5	27.0	25.0	27.5

Keterangan :

A = Limbah lemi industri tepung aren

A₀ = Limbah lemi industri tepung aren yang baru dihasilkan dari industri.A₁ = Limbah lemi industri tepung aren yang dikeringkan selama 2 hari.

B = Dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS

B₀ = Tidak ada penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNSB₁ = Penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan dosis 50 mLB₂ = Penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan dosis 100 mLB₃ = Penambahan mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS dengan dosis 200 mL

C = Pengamatan hari

C₀ = Pengamatan hari ke-0C₁ = Pengamatan hari ke-15C₂ = Pengamatan hari ke-30C₃ = Pengamatan hari ke-45

b. Analisis Sidik Petak Utama

Tabel 44. Ulangan x Limbah Lemi Industri Tepung Aren

Limbah Lemi Industri Tepung Aren	Jumlah Hasil (RA)			Jumlah Limbah Lemi Industri Tepung Aren (A)
	Ulangan I	Ulangan II	Ulangan III	
Dari Industri	442.0	443.5	443.0	1328.5
Dikeringkan Selama 2 Hari	459.0	461.0	452.5	1372.5
Jumlah Ulangan (R)	901.0	904.5	895.5	
Jumlah Umum (G)				2701.00

$$\begin{aligned}
 \text{Faktor Koreksi} &= \frac{G^2}{rbc} \\
 &= \frac{(2701)^2}{(3)(2)(4)(4)} \\
 &= 75993.760417
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 JK_{\text{umum}} &= \sum X^2 - F.K \\
 &= [(28.0)^2 + \dots + (27.5)^2] - 75993.760417 \\
 &= 307.739583
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 JK_{\text{ulangan}} &= \frac{\sum R^2}{abc} - F.K \\
 &= \frac{(901)^2 + (904.5)^2 + (895.5)^2}{(2)(4)(4)} - 75993.760417 \\
 &= 1.286458
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 JK_A &= \frac{\sum A^2}{rbc} - F.K \\
 &= \frac{(1328.5)^2 + (1372.5)^2}{(3)(4)(4)} - 75993.760417 \\
 &= 20.166667
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 JK \text{ galat (a)} &= \frac{\sum(RA)^2}{bc} - F.K - JK \text{ ulangan} - JKA \\
 &= \frac{(442)^2 + \dots + (452.5)^2}{(4)(4)} - 75993.760417 - 1.286458 - 20.166667 \\
 &= 1.255208
 \end{aligned}$$

c. Analisis Sidik Anak Petak

Tabel 45. Limbah Lemi Industri Tepung Aren x Dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS

Limbah Lemi Industri Tepung Aren	Jumlah Hasil (AB)			
	Dosis : 0 mL	Dosis : 50 mL	Dosis : 100 mL	Dosis : 200 mL
Dari Industri	330.0	333.5	333.0	332.0
Dikeringkan Selama 2 Hari	339.0	350.5	334.5	348.5
Jumlah Dosis (B)	669.00	684.00	667.50	680.50

Tabel 46. Jumlah hasil ulangan x Limbah Lemi Industri Tepung Aren x Dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS

Dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS	Jumlah Hasil (RAB)		
	Ulangan I	Ulangan II	Ulangan III
Limbah Lemi Industri Tepung Aren Dari Industri			
Dosis : 0 mL	110.0	109.5	110.5
Dosis : 50 mL	111.0	112.0	110.5
Dosis : 100 mL	109.5	113.5	110.0
Dosis : 200 mL	111.5	108.5	112.0
Limbah Lemi Industri Tepung Aren yang Dikeringkan Selama 2 Hari			
Dosis : 0 mL	112.0	114.0	113.0
Dosis : 50 mL	118.5	119.0	113.0
Dosis : 100 mL	111.0	112.0	111.5
Dosis : 200 mL	117.5	116.0	115.0

$$\begin{aligned}
 JK B &= \frac{\sum B^2}{rac} - F.K \\
 &= \frac{(669)^2 + (684)^2 + (667.5)^2 + (680.5)^2}{(3)(2)(4)} - 75993.760417 \\
 &= 8.468750
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 JK_{A \times B} &= \frac{\sum(AB)^2}{rc} - F.K - JK_A - JK_B \\
 &= \frac{(330)^2 + \dots + (348.5)^2}{(3)(4)} - 75993.760417 - 20.166667 - 8.468750 \\
 &= 6.687500
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 JK_{\text{galat (b)}} &= \frac{\sum(RAB)^2}{c} - F.K - JK_{\text{ulangan}} - JK_A \\
 &\quad - JK_{\text{galat (a)}} - JK_B - JK_{A \times B} \\
 &= \frac{(110)^2 + \dots + (115)^2}{4} - 75993.760417 - 1.286458 - 20.166667 \\
 &\quad - 1.255208 - 8.468750 - 6.687500 \\
 &= 9.00
 \end{aligned}$$

d. Analisis Sidik Anak-anak Petak

Tabel 47. Limbah Lemi Industri Tepung Aren x Pengamatan hari

Limbah Lemi Industri Tepung Aren	Jumlah Hasil (AC)			
	Hari ke-0	Hari ke-15	Hari ke-30	Hari ke-45
Dari Industri	333.5	345.0	323.0	327.0
Dikeringkan Selama 2 Hari	367.5	362.0	325.0	318.0
Jumlah hari (C)	701.00	707.00	648.00	645.00

Tabel 47. Dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS x Pengamatan hari

Dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS	Jumlah Hasil (BC)			
	Hari ke-1	Hari ke-15	Hari ke-30	Hari ke-45
Dosis : 0 mL	173.0	176.0	159.0	161.0
Dosis : 50 mL	175.5	177.5	167.5	163.5
Dosis : 100 mL	179.0	174.0	155.0	159.5
Dosis : 200 mL	173.5	179.5	166.5	161.0

Tabel 48. Limbah Lemi Industri Tepung Aren x Dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS x Pengamatan hari

Dosis mikroorganisme efektif BIOEDU-UNS	Jumlah Hasil (ABC)			
	Hari ke-0	Hari ke-15	Hari ke-30	Hari ke-45
	Limbah Lemi Industri Tepung Aren Dari Industri			
Dosis : 0 mL	83.0	85.5	79.5	82.0
Dosis : 50 mL	84.0	85.5	82.5	81.5
Dosis : 100 mL	85.0	87.0	79.0	82.0
Dosis : 200 mL	81.5	87.0	82.0	81.5
	Limbah Lemi Industri Tepung Aren yang Dikeringkan Selama 2 Hari			
Dosis : 0 mL	90.0	90.5	79.5	79.0
Dosis : 50 mL	91.5	92.0	85.0	82.0
Dosis : 100 mL	94.0	87.0	76.0	77.5
Dosis : 200 mL	92.0	92.5	84.5	79.5

$$\begin{aligned}
 JK C &= \frac{\sum C^2}{rab} - F.K \\
 &= \frac{(701)^2 + (707)^2 + (648)^2 + (645)^2}{(3)(2)(4)} - 75993.760417 \\
 &= 138.697917
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 JK A \times C &= \frac{\sum (AC)^2}{rb} - F.K - JK A - JK C \\
 &= \frac{(333.5)^2 + \dots + (318)^2}{(3)(4)} - 75993.760417 - 20.166667 - 138.697917 \\
 &= 43.583333
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 JK B \times C &= \frac{\sum (BC)^2}{ra} - F.K - JK B - JK C \\
 &= \frac{(173)^2 + \dots + (161)^2}{(3)(2)} - 75993.760417 - 8.468750 - 138.697917 \\
 &= 17.406250
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 JK_{A \times B \times C} &= \frac{\sum(ABC)^2}{r} - F.K - JK_A - JK_B - JK_C \\
 &\quad - JK_{A \times B} - JK_{A \times C} - JK_{B \times C} \\
 &= \frac{(83)^2 + \dots + (79.50)^2}{3} - 75993.760417 - 20.166667 - 8.468750 - 138.697917 \\
 &\quad - 6.687500 - 43.583333 - 17.406250 \\
 &= 4.395833
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 JK_{\text{galat}(c)} &= JK_{\text{umum}} - (\text{Jumlah } JK \text{ lainnya}) \\
 &= 307.739583 - 1.286458 - 20.166667 - 1.255208 - 8.468750 - 6.687500 \\
 &\quad - 9.00 - 138.697917 - 43.583333 - 17.406250 - 4.395833 \\
 &= 56.791667
 \end{aligned}$$

e. Mean Kuadrat / Kuadrat Tengah (KT)

$$\begin{aligned}
 KT_{\text{ulangan}} &= \frac{JK_{\text{ulangan}}}{r-1} \\
 &= \frac{1.286458}{2} = 0.643229
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 KT_A &= \frac{JK_A}{a-1} \\
 &= \frac{20.166667}{1} = 20.166667
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 KT_{\text{galat}(a)} &= \frac{JK_{\text{galat}(a)}}{(r-1)(a-1)} \\
 &= \frac{1.255208}{(2)(1)} = 0.627604
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 KT_B &= \frac{JK_B}{b-1} \\
 &= \frac{8.468750}{3} = 2.822917
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 KT_{A \times B} &= \frac{JK_{A \times B}}{(a-1)(b-1)} \\
 &= \frac{6.687500}{(1)(3)} = 2.229167
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 KT \text{ galat}(b) &= \frac{JK \text{ galat}(b)}{a(r-1)(b-1)} \\
 &= \frac{9.00}{(2)(2)(3)} = 0.7500
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 KT C &= \frac{JK C}{c-1} \\
 &= \frac{138.697917}{3} = 46.232639
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 KT A \times C &= \frac{JK A \times C}{(a-1)(c-1)} \\
 &= \frac{43.583333}{(1)(3)} = 14.527778
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 KT B \times C &= \frac{JK B \times C}{(b-1)(c-1)} \\
 &= \frac{17.406250}{(3)(3)} = 1.934028
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 KT A \times B \times C &= \frac{JK A \times B \times C}{(a-1)(b-1)(c-1)} \\
 &= \frac{4.395833}{(1)(3)(3)} = 0.488426
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 KT \text{ galat}(c) &= \frac{JK \text{ galat}(c)}{ab(r-1)(c-1)} \\
 &= \frac{56.791667}{(2)(4)(2)(3)} = 1.183160
 \end{aligned}$$

f. Derajat Kebebasan

dk_r	$= r-1$	$= 2$
dk_A	$= a-1$	$= 1$
dk_B	$= b-1$	$= 3$
$dk_{A \times B}$	$= (a-1)(b-1)$	$= 3$
dk_C	$= c-1$	$= 3$
$dk_{A \times C}$	$= (a-1)(c-1)$	$= 3$
$dk_{B \times C}$	$= (b-1)(c-1)$	$= 9$

$$\begin{aligned}
 dk_{A \times B \times C} &= (a-1)(b-1)(c-1) = 9 \\
 \text{galat (a)} &= (r-1)(a-1) = 2 \\
 \text{galat (b)} &= a(r-1)(b-1) = 12 \\
 \text{galat (c)} &= ab(r-1)(c-1) = 48 \\
 \text{umum} &= rbc - 1 = 95
 \end{aligned}$$

g. Uji F

$$F(A) = \frac{KT A}{KT \text{ galat (a)}} = \frac{20.166667}{0.627604} = 32.13$$

$$F(B) = \frac{KT B}{KT \text{ galat (b)}} = \frac{2.822917}{0.750000} = 3.76$$

$$F(A \times B) = \frac{KT A \times B}{KT \text{ galat (b)}} = \frac{2.229167}{0.750000} = 2.97$$

$$F(C) = \frac{KT C}{KT \text{ galat (c)}} = \frac{46.232639}{1.183160} = 39.08$$

$$F(A \times C) = \frac{KT A \times C}{KT \text{ galat (c)}} = \frac{14.527778}{1.183160} = 12.28$$

$$F(B \times C) = \frac{KT B \times C}{KT \text{ galat (c)}} = \frac{1.934028}{1.183160} = 1.63$$

$$F(A \times B \times C) = \frac{KT A \times B \times C}{KT \text{ galat (c)}} = \frac{0.488426}{1.183160} = 0.41$$

h. Hasil Uji

1. H_{0A} ditolak karena $F(A) = 32.13 > F_{(0.05;1,2)} = 18.51$
2. H_{0B} ditolak karena $F(B) = 3.76 > F_{(0.05;3,12)} = 3.49$
3. H_{0AB} diterima karena $F(A \times B) = 2.97 < F_{(0.05;3,12)} = 3.49$
4. H_{0C} ditolak karena $F(C) = 39.08 > F_{(0.05;3,48)} = 2.80$
5. H_{0AC} ditolak karena $F(A \times C) = 12.28 > F_{(0.05;3,48)} = 2.80$
6. H_{0BC} diterima karena $F(B \times C) = 1.63 < F_{(0.05;9,48)} = 2.08$
7. H_{0ABC} diterima karena $F(A \times B \times C) = 0.41 < F_{(0.05;9,48)} = 2.08$

i. Koefisien Keragaman

$$\begin{aligned}kk(a) &= \frac{\sqrt{KT\ galat(a)}}{Rataan\ umum} \times 100\% \\ &= \frac{\sqrt{0.627604}}{28.13542} \times 100\% \\ &= 2.816\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}kk(b) &= \frac{\sqrt{KT\ galat(b)}}{Rataan\ umum} \times 100\% \\ &= \frac{\sqrt{0.7500}}{28.13542} \times 100\% \\ &= 3.078\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}kk(c) &= \frac{\sqrt{KT\ galat(c)}}{Rataan\ umum} \times 100\% \\ &= \frac{\sqrt{1.183160}}{28.13542} \times 100\% \\ &= 3.866\end{aligned}$$

Lampiran 10.

Uji Lanjut Anava Parameter Suhu

(Uji lanjut ANAVA yang digunakan adalah Uji Duncan)

1. Menghitung Standar Deviasi (s).

a. Uji Jarak Ganda Duncan (UJGD) untuk Perlakuan A.

$$\text{KT Galat (a)} = s_a^2 = 0.627604$$

$$\begin{aligned} s_{\bar{a}} &= \sqrt{\frac{2s^2}{rbc}} \\ &= \sqrt{\frac{2(0.627604)}{(3)(3)(3)}} \\ &= 0.1617102 \end{aligned}$$

$$R_p = \frac{(r_p)(s_{\bar{a}})}{\sqrt{2}} \text{ untuk } p = 2,3,\dots,t$$

b. Uji Jarak Ganda Duncan (UJGD) untuk Perlakuan B.

$$\text{KT Galat (b)} = s_b^2 = 0.7500$$

$$\begin{aligned} s_{\bar{a}} &= \sqrt{\frac{2s^2}{rac}} \\ &= \sqrt{\frac{2(0.7500)}{(3)(2)(3)}} \\ &= 0.2500 \end{aligned}$$

$$R_p = \frac{(r_p)(s_{\bar{a}})}{\sqrt{2}} \text{ untuk } p = 2,3,\dots,t$$

c. Uji Jarak Ganda Duncan (UJGD) untuk Perlakuan C.

$$\text{KT Galat (c)} = s_c^2 = 1.183160$$

$$\begin{aligned} s_{\bar{a}} &= \sqrt{\frac{2s^2}{rab}} \\ &= \sqrt{\frac{2(1.183160)}{(3)(2)(3)}} \\ &= 0.314001 \end{aligned}$$

$$R_p = \frac{(r_p)(s_{\bar{d}})}{\sqrt{2}} \text{ untuk } p = 2,3,\dots,t$$

d. Uji Jarak Ganda Duncan (UJGD) untuk Perlakuan AC.

$$\text{KT Galat (c)} = s_b^2 = 1.183160$$

$$\begin{aligned} s_{\bar{d}} &= \sqrt{\frac{2s^2}{rb}} \\ &= \sqrt{\frac{2(1.183160)}{(3)(3)}} \\ &= 0.4440645 \end{aligned}$$

$$R_p = \frac{(r_p)(s_{\bar{d}})}{\sqrt{2}} \text{ untuk } p = 2,3,\dots,t$$

2. Urutan Data Uji Duncan

Perhitungan Uji Duncan dapat dilihat sebagai Berikut :

Tabel Uji Duncan Parameter Suhu

a. Uji Duncan kombinasi Perlakuan A

Tabel 49. Kombinasi perlakuan A

No.	Kombinasi Perlakuan	Rerata Hasil	Jarak Nyata	Notasi
			2	
1	A1	28.5938		a
2	A0	27.6771	0.9167*	b
	P (0.05;2)		6.090	
	BJND 0.05		0.6964	

b. Uji Duncan kombinasi perlakuan B

Tabel 50. Kombinasi Perlakuan B

No.	Kombinasi Perlakuan	Rerata Hasil	Jarak Nyata			Notasi
			2	3	4	
1	B1	28.5000				a
2	B3	28.3542	0.1458			ab
3	B0	27.8750	0.4792	0.6250*		b
4	B2	27.8125	0.0625	0.5417	0.6875*	b
	P (0.05;12)		3.060	3.230	3.330	
	BJND 0.05		0.5409	0.5710	0.5887	

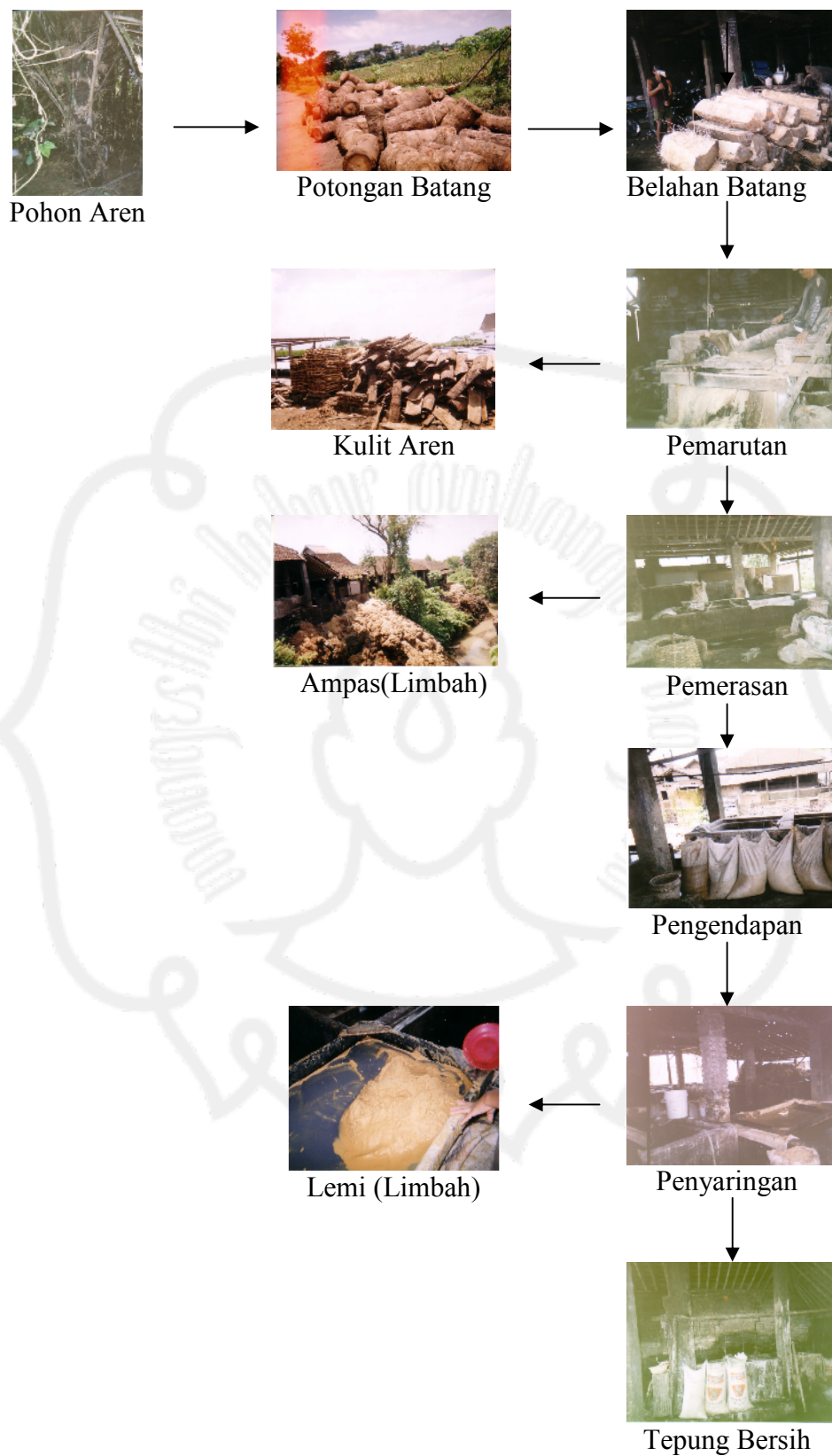
c. Uji Duncan kombinasi perlakuan C

Tabel 51. Kombinasi Perlakuan C

No.	Kombinasi Perlakuan	Rerata Hasil	Jarak Nyata			Notasi
			2	3	4	
1	C1	29.4583				a
2	C0	29.2083	0.2500			ab
3	C2	27.0000	2.2083*	2.4583*		c
4	C3	26.8750	0.1250	2.3333*	2.5833*	c
	P (0.05;48)		2.8480	2.9980	3.0920	
	BJND 0.05		0.6323	0.6657	0.6865	

e. Uji Duncan kombinasi perlakuan AC

(Lembar lain)



Gambar 3. Bagan Alur Proses Pembuatan Tepung Aren

