

BIODEGRADASI POPOK BAYI BEKAS MENGGUNAKAN JAMUR DAN BAKTERI SELULOLITIK DENGAN FERMENTASI PADAT

BIODEGRADATION OF USED BABY DIAPERS USING CELLULOLITIC FUNGUS AND BACTERIA WITH SOLID FERMENTATION

Riry Novianty^{1*}, Andi Dahliaty², Nurul Iflah Nasution³, Haryati⁴

¹²³⁴Program Studi Kimia, Fakultas MIPA Universitas Riau, Indonesia

*Email: riry novianty@lecturer.unri.ac.id

Diterima: 21 Februari 2020. Disetujui: 10 Maret 2020. Dipublikasikan: 30 April 2020

Abstrak: Popok bayi terbuat dari kapas dan *pulp* mengandung selulosa yang dapat digunakan sebagai substrat dalam produksi enzim selulase. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan jamur *Trichoderma asperellum* LBKURCC1 dan bakteri selulolitik S-22 dalam mendegradasi popok bayi bekas yang mengandung urin dengan cara fermentasi padat selama 10, 20, dan 30 hari. Penentuan aktivitas enzim selulase dilakukan dengan substrat CMC 2% pada pH 5,5 (*Trichoderma asperellum* LBKURCC1) dan pH 7 (isolat bakteri S-22) pada suhu inkubasi 40°C selama 30 menit dan diamati menggunakan metode Nelson-Somogyi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa popok bayi bekas dapat digunakan sebagai substrat oleh jamur *Trichoderma asperellum* LBKURCC1 untuk produksi enzim selulase dengan aktivitas ekstrak kasar enzim selulase tertinggi diperoleh pada fermentasi padat hari ke 10 sebesar $(1,891 \pm 1,453) \times 10^{-3}$ U/mL sedangkan oleh isolat bakteri S-22 pada hari ke 20 sebesar $(2,854 \pm 0,019) \times 10^{-3}$ U/mL. Bakteri selulolitik S-22 mampu mendegradasi popok bayi bekas lebih baik jika dibandingkan jamur *Trichoderma asperellum* LBKURCC1 dan jika dibandingkan dengan standar kualitas kompos SNI : 19-7030-2004, popok bayi tersebut belum memenuhi standar untuk dapat dijadikan kompos.

Kata Kunci : Bakteri, fermentasi padat, popok bayi bekas, selulase, *Trichoderma asperellum*

Abstract: Diapers are made by cotton and pulp containing cellulose that can be used as a substrate in the production of cellulose enzymes. The purpose of this research is to determine the ability of cellulolytic fungi *Trichoderma asperellum* LBKURCC1 and cellulolytic bacteria S-22 to degrade the used diapers containing urine by solid fermentation for 10, 20, and 30 days. The activity of crude extract of cellulose enzyme was observed with CMC 2% as substrate at pH 5,5 (*Trichoderma asperellum* LBKURCC1) and pH 7 (bacteria S-22 isolate), incubation temperature 40°C during 30 minutes by using Nelson Somogyi's method. The result showed that used diapers can be used as substrate for cellulose enzyme production by fungi *Trichoderma asperellum* LBKURCC1 with the highest activity of crude extract cellulose enzyme obtained at 10th days solid fermentation of $(1,891 \pm 1,453) \times 10^{-3}$ U / mL and by bacteria S-22 isolate at 20th days solid fermentation of $(2,854 \pm 0,019) \times 10^{-3}$ U/mL. It can be concluded that bacteria S-22 isolate would degrade the used diapers better than fungi *Trichoderma asperellum* LBKURCC1. The result of this research compared to quality standards compost of SNI: 19-7030-2004 have not fulfilled, so it can not be used as compost

Keywords : *Bacteria, cellulase, solid fermentation, Trichoderma asperellum, used diaper*

PENDAHULUAN

Angka kelahiran bayi di Provinsi Riau menurut Badan Pusat Statistik dalam proyeksi angka kelahiran total atau *Total Fertility Rate* (TFR) mencapai 2.726 selama tahun 2015-2020, jumlah ini akan terus meningkat setiap tahunnya [1]. Popok bayi merupakan salah satu kebutuhan sekunder yang akan meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah kelahiran bayi. Semakin tingginya pemakaian popok bayi maka limbah yang dihasilkan juga akan semakin banyak. Sehingga pemakaian popok bayi tanpa diimbangi dengan sistem pengelolaan atau pemanfaatan limbah tersebut lama kelamaan akan menjadi salah satu penyebab permasalahan di bidang lingkungan, karena limbah ini akan mengganggu estetika lingkungan.

Salah satu proses pengolahan limbah secara biologi yang sering dipilih adalah biodegradasi, karena efektif untuk pengolahan limbah organik terlarut dan biaya yang dibutuhkan relatif sedikit. *Pulp* merupakan bahan baku utama pembuatan popok bayi yang sebagian besar terbuat dari senyawa polimer yang berupa selulosa. Adanya selulosa dalam popok bayi tersebut akan dapat menginduksi terbentuknya enzim selulase oleh mikroorganisme selulolitik, dengan terbentuknya enzim selulase maka *pulp* pada popok bayi bekas akan dapat diurai oleh mikroorganisme [2].

Fungi selulolitik yang cukup baik memproduksi enzim selulolitik adalah *Trichoderma viride* dan *Trichoderma reesei*. Fungi tersebut merupakan kelompok fungi tanah sebagai penghasil selulase yang paling efisien [3]. *Trichoderma asperellum*

merupakan salah satu spesies dari genus *Trichoderma*. Spesies *T. asperellum* merupakan jamur selulolitik dan berfilamen yang memiliki kapasitas besar sebagai penghasil enzim selulase. Jamur ini memungkinkan untuk menghidrolisis selulosa yang terdapat pada pulp dari limbah popok bayi bekas.

Biodegradasi suatu senyawa ditentukan oleh sifat dan susunan bahan, dimana pada umumnya senyawa organik mempunyai sifat cepat terdegradasi dan senyawa anorganik mempunyai sifat lebih lambat terdegradasi. Misalnya, penguraian polisakarida selulosa menjadi monosakarida (glukosa). Biodegradasi akan lebih efektif jika adanya sistem simbiosis antara dua atau lebih mikroba yang diterapkan ternyata dapat menguntungkan dilihat dari segi waktu, hasil, efisiensi. Selain adanya simbiosis penggunaan beberapa spesies mikroba sekaligus lebih efektif selama proses dibandingkan dengan penggunaan satu mikroba [4].

Fermentasi Media Padat (Solid State Fermentation) atau biasa dikenal dengan fermentasi adalah fermentasi dengan substrat tidak larut yang mengandung kadar air 40-75%. Fermentasi dapat menghasilkan berbagai produk yang berbeda termasuk enzim, asam organik, konidia, dan biomassa jamur. Media fermentasi pada metode ini berfungsi sebagai sumber karbon, nitrogen maupun sumber energi [5]. Fermentasi Media Padat umumnya digunakan untuk produksi enzim, proses produksi ini membutuhkan waktu yang lebih lama jika dibandingkan dengan Fermentasi Media Cair. Jenis enzim dan mikroba menentukan waktu optimal proses fermentasi [6].

Enzim selulase adalah salah satu enzim yang dihasilkan oleh sejumlah mikroorganisme dan pada umumnya merupakan enzim ekstraseluler yang dihasilkan di dalam sel kemudian dikeluarkan ke medium pertumbuhannya, untuk mengkatalisis pemecahan selulosa menjadi glukosa dengan pemutusan ikatan β -1,4-glukosidik yang terdapat pada selulosa. Enzim ini sangat penting dalam proses biokonversi atau perubahan secara biologi limbah-limbah organik mengandung selulosa menjadi glukosa [7].

Penelitian ini merupakan lanjutan dari penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Damayanti (2015) dengan menggunakan sampel popok bayi yang belum terpakai menggunakan isolat jamur *Trichoderma asperellum* LBKURCC1 dan isolat bakteri selulolitik S-22 oleh Mahdalena (2014) [8]. Biodegradasi popok bayi bekas mengandung urin masih jarang dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kemampuan jamur *Trichoderma asperellum* LBKURCC1 dan isolat bakteri selulolitik S-22 dalam mendegradasi *pulp* dari limbah popok bayi bekas dengan melihat aktivitas ekstrak kasar enzim yang dihasilkan. Kadar C-total, N-total, dan rasio C/N yang diperoleh dari residu popok bayi bekas hasil fermentasi menggunakan jamur selulolitik

LBKURCC1 dan bakteri S-22 dibandingkan dengan standar kualitas kompos SNI 19-7030-2004.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah Oven (*Fisher Scientific* Model 655F), pH meter (*Hanna Instrument* H18014), Autoklaf *All American Mode* 25X-2 (*Winconsin Aluminium Foundry Co. Inc.*, *Monitowoc*), Vortex (*H-VM-300*), Spektrofotometer UV-VIS (*Thermoscientific genesys* 10S UV-Vis), *Waterbath* (*Grant Instrument Type* SUB 28), dan peralatan laboratorium standar lainnya sesuai dengan prosedur kerja.

Bahan yang digunakan isolat jamur *Trichoderma asperellum* LBKURCC1 yang diisolasi dari tanah perkebunan jeruk dan coklat di Riau [9] dan isolat bakteri selulolitik S-22 yang diisolasi dari Sungai Siak di daerah Tandun yang merupakan koleksi Laboratorium Riset Enzim, Fermentasi, dan Biomolekuler Jurusan Kimia FMIPA UR, reagen arsenomolibdat, H_2SO_{4p} , $Na_2HAsO_4 \cdot 7H_2O$ (*Sigma*, No. kat. A6156), reagen Nelson Somogyi $C_4H_4KNaO_6$ (*Merck*, No. kat. 1. 08087), *Carboxy Methyl Cellulose* (CMC), agar batang, kentang, kertas saring *Whatman G/FC* dan bahan-bahan lainnya yang sesuai dengan prosedur kerja.

Persiapan popok bayi bekas

Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah popok bayi bekas yang mengandung urin. Popok bayi bekas ini dipotong dan ditimbang dengan berat $\pm 10,3$ gram yang akan digunakan sebagai substrat pada media fermentasi selama 10, 20, dan 30 hari.

Persiapan Inokulum Jamur

Isolat jamur *T. asperellum* LBKURCC1 diremajakan pada media padat PDA (agar miring). Selanjutnya diinkubasi pada temperatur kamar selama 7 hari. Spora jamur dilepaskan menggunakan ose dari media PDA yang telah disuspensikan dalam larutan salin (NaCl 0,8%). Suspensi dihomogenkan dengan cara divorteks. Suspensi disaring menggunakan *glass wool* steril untuk memisahkan spora dari miselia dan menyaring media PDA yang ikut terlepas. Spora diencerkan hingga pembacaan OD antara 0,677-0,687 pada panjang gelombang 660 nm menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

Persiapan Inokulum Bakteri

Media yang digunakan sebagai inokulum adalah NB yang dilarutkan dalam larutan bufer posfat pH 7. Untuk setiap isolat dibuat inokulum sebanyak 100 mL kemudian autoklaf. Media didiamkan selama kurang lebih 24 jam untuk melihat kontaminasi sebelum ditanami bakteri.

Inokulasi dilakukan dengan cara mengambil bakteri dari media *Nutrient Agar* (NA) menggunakan ose dan dipindahkan dalam media NB. Kemudian diinkubasi menggunakan *shaking incubator* dengan kecepatan agitasi 120 rpm pada suhu 37 °C selama ± 16 jam. Inokulum tersebut diukur kekeruhan sel

bakterinya atau *optical density* (OD) pada panjang gelombang 660 nm.

Fermentasi padat

Media fermentasi terdiri dari 0,8g/L NH₄H₂PO₄, 0,7g/L Na₂PO₄, 0,4g/L KH₂PO₄, 0,1g/L CaCl₂, 0,1g/L MgSO₄, 0,01g/L Pepton, 100 mL Bufer Asetat pH 5,5, 2mL/L Logam Runut.

Sebanyak 100 mL inokulum media cair dalam larutan buffer asetat pH 5,5 (jamur *T. asperellum* LBKURCC1) dan pH 7 (isolat bakteri S-22) dimasukkan ke dalam erlenmeyer yang telah berisi ± 10 gram potongan popok bayi bekas yang telah steril, kemudian diinkubasi pada suhu kamar dan dilakukan pengadukan secara manual pada rentang waktu 10-14 jam selama 10, 20 dan 30 hari agar terjadinya proses aerasi.

Isolasi ekstrak kasar enzim

Setelah proses biodegradasi popok bayi bekas secara fermentasi selesai, hasil fermentasi didinginkan pada suhu 4°C selama 1 jam. Selanjutnya media fermentasi disaring menggunakan kertas saring *whatman G/FC*. Ekstrak kasar enzim yang dihasilkan oleh mikroorganisme pada proses fermentasi dijernihkan dengan cara sentrifugasi dingin selama ± 10 menit dengan kecepatan 9500 rpm. Ekstrak kasar enzim yang diperoleh ditambahkan NaN₃ 0,02% dan disimpan pada suhu 4°C apabila tidak langsung dilakukan uji aktivitas enzim.

Uji aktivitas ekstrak kasar enzim selulase

CMC 0,2 gr dilarutkan dalam 10 mL buffer asetat 0,05 M pH 5,5 (sebagai substrat). Substrat diambil 0,5 mL dan dimasukkan dalam tabung uji, selanjutnya tabung uji diprainkubasi dalam *waterbath thermostat* dengan suhu 40°C selama 5 menit. Tanpa mengeluarkan tabung dari *waterbath*, tambahkan 0,5 mL enzim dari masing-masing variasi waktu fermentasi. Inkubasi dilanjutkan selama 30 menit. Setelah 30 menit, tabung dikeluarkan dari *waterbath* dan ditambahkan 0,5 mL reagen Nelson-Somogyi, lalu divorteks.

Tabung kontrol dalam keadaan kosong dimasukkan ke dalam *waterbath* bersamaan dengan tabung uji. Prainkubasi dilakukan selama 5 menit. Tanpa mengeluarkan tabung dari *waterbath*, ditambahkan 0,5 mL enzim kedalam tabung. Inkubasi dilanjutkan sampai 30 menit. Setelah 30 menit, tabung dikeluarkan dari *waterbath* dan ditambahkan 0,5 mL reagen *Nelson-Somogyi*, lalu divorteks. Selanjutnya ditambahkan 0,5 mL substrat CMC.

Setelah tabung uji, kontrol, dan blanko ditambahkan reagen Nelson-Somogyi, semua tabung dimasukkan ke dalam penangas air mendidih selama 20 menit dan ditutup menggunakan kelereng. Tabung dikeluarkan dan didinginkan hingga mencapai suhu kamar. Pada setiap tabung ditambahkan 0,5 mL reagen arsenomolibdat, lalu divorteks dan didiamkan selama 5 menit. Kemudian ditambahkan akuades sebanyak 3 mL ke dalam setiap tabung reaksi tersebut, divorteks dan diinkubasi selama 30 menit. Absorban larutan

diukur menggunakan spektrofotometer sinar tampak pada panjang gelombang 540 nm.

Penentuan kadar karbon organik

Residu popok bayi bekas hasil fermentasi ditimbang sebanyak 0,5 g, dimasukkan ke dalam krusibel dan masukkan ke dalam *furnace*. Mula-mula residu diabukan pada suhu 300 °C selama 1,5 jam dan selanjutnya pada suhu 550-600°C selama 2,5 jam. *Furnace* dimatikan dan biarkan selama satu malam. Kemudian dinginkan dalam desikator dan ditimbang [11].

Penentuan N-total dengan metode Kjeldahl

Sebanyak 2,0 g residu popok bayi bekas hasil fermentasi ditimbang, dimasukkan ke dalam labu Kjeldahl 500 mL, lalu ditambahkan 20 mL H₂SO₄ pekat, kemudian ditempatkan diatas alat pembakar di dalam ruangan asam selama 4-6 jam. Api dinyalakan kecil agar perubahan yang terjadi sempurna, pemanasan dihentikan bila telah terbentuk cairan berwarna bening kehijauan. Setelah itu dibiarkan hingga dingin, kemudian larutan sampel dalam labu Kjeldahl dimasukkan ke dalam alat destilasi yang dimodifikasi, dan ditambah NaOH 45 % pada volume sama.

Destilasi dilakukan selama 15 menit, setelah larutan penampung berubah warna dari merah muda menjadi warna hijau. Destilat ditampung dalam 20 mL larutan asam borat 4% yang telah ditambah 1 tetes indikator campuran (0,5 % Bromkresol hijau dan 0,1 % metil merah dalam etanol 95 %). Warna larutan yang semula biru kehijauan berubah menjadi hijau. Distilat dititrasi dengan H₂SO₄ 0,05 N hingga larutan berubah warna menjadi abu-abu. Satu blanko tanpa sampel dan satu larutan standar amonium klorida juga dititrasi dengan H₂SO₄ 0,05 N [11].

Pengukuran rasio C/N

Rasio C/N diukur dengan cara membandingkan kadar C-organik dengan kadar N-total residu popok bayi bekas hasil fermentasi menggunakan isolat jamur *T. asperellum* LBKURCC1 dan isolat bakteri S-22 selama 10, 20, dan 30 hari. Berdasarkan Balai Penelitian Tanah tahun 2005 menyatakan bahwa syarat mutu kompos dari sampah organik domestik (SNI 19-7030-2004) rasio C/N berada pada kisaran 10-20.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Fermentasi padat dipilih dalam proses biodegradasi popok bayi bekas ini karena dapat mengubah suatu senyawa menjadi senyawa lain menggunakan mikroorganisme dalam kondisi aerob dan anaerob. Fermentasi padat merupakan fermentasi dengan substrat tidak larut yang mengandung kadar air 40-75%. Isolat jamur LBKURCC1 dan bakteri S-22 yang akan diinokulasikan ke dalam media produksi cair terlebih dahulu dilakukan penghitungan jumlah spora dengan mengukur *Optical Density* (OD). Pada jamur nilai OD menunjukkan kekeruhan suspensi spora dalam larutan salin (NaCl 0,8%). Semakin

keruh suspensi spora maka nilai OD akan semakin tinggi, hal ini menandakan banyaknya jumlah spora di dalam larutan, dengan demikian nilai OD yang dihasilkan dari setiap isolat akan berbeda-beda. Spora jamur yang diinokulasikan ke dalam media produksi cair diusahakan relatif sama agar jumlah sel awal sebelum fermentasi dianggap sama. Demikian juga halnya dengan bakteri, nilai OD menunjukkan kekeruhan atau suspensi sel dalam media cair NB. Perbedaan nilai OD masing-masing bakteri disebabkan oleh perbedaan jumlah sel. Bakteri yang diinokulasikan ke dalam media produksi enzim diusahakan relatif sama yaitu 0,5 dan dianggap jumlah sel awal sebelum fermentasi relatif sama. Menurut Maniatis dkk., (1989), nilai OD 660 nm dikorelasikan dengan OD 660 nm 2 setara dengan $1,6 \times 10^9$ sel/mL kurva standar yang menyatakan hubungan OD dengan jumlah sel per mL. Sedangkan untuk jamur, nilai OD_{660nm} sebesar 0,34 setara dengan 7×10^{12} spora/mL [12].

Fermentasi dilakukan dengan menggunakan isolat jamur LBKURCC1 pada media produksi cair yang mengandung buffer asetat pH 5,5 dan bakteri S-22 pada pH 7. Adanya buffer ini diharapkan dapat mencegah terjadinya perubahan kondisi keasaman lingkungan media produksi selama proses fermentasi berlangsung. Perubahan pH secara ekstrim dapat menjadikan enzim mengalami denaturasi, sebab pH ekstrim dapat merusak konformasi enzim (sekunder, tersier, dan kuaterner). Rusaknya enzim akan menghilangkan sisi katalitik dan sisi pengikat antara enzim dan substrat sehingga mengakibatkan substrat tidak dapat diikat [13]. Ekstrak kasar enzim selulase yang diperoleh setelah fermentasi selesai dapat disimpan dengan menambahkan larutan NaN₃ 0,02%, larutan ini berfungsi sebagai bahan pengawet untuk mencegah rusaknya enzim yang disebabkan terjadinya kontaminasi oleh mikroorganisme lain selama penyimpanan.

Pengukuran aktivitas ekstrak kasar enzim hasil fermentasi padat dengan variasi waktu 10, 20, dan 30 hari dilakukan untuk menunjukkan bahwa selulosa pada *pulp* popok bayi bekas yang mengandung urin dapat didegradasi oleh jamur selulolitik *T.asperellum* LBKURCC1 dan isolat bakteri S-22. Hal ini menunjukkan bahwa selulosa popok bayi bekas mengandung urin dapat digunakan sebagai sumber karbon yang bisa dilihat dari adanya aktivitas ekstrak kasar enzim selulase yang dianalisis menggunakan metode Nelson-Somogyi. Hasil fermentasi popok bayi bekas menggunakan isolat jamur LBKURCC1 dan bakteri S-22 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Aktivitas enzim selulase hasil fermentasi dari isolat jamur LBKURCC1 dan bakteri S-22 pada popok bayi bekas

Waktu Fermentasi	Rata-rata aktivitas enzim (x 10 ⁻³ U/mL)	
	LBKURCC1	S-22
10 hari	1,891 ± 1,453 ^a	0,822 ± 0,571 ^b
20 hari	0,753 ± 0,630 ^a	2,854 ± 0,019 ^a
30 hari	0,291 ± 0,224 ^a	0,292 ± 0,169 ^b

Catatan: Nilai yang diikuti pangkat huruf yang sama pada satu kolom menyatakan tidak berbeda secara signifikan pada tingkat 5% ($p \leq 0,05$) berdasarkan uji Duncan jarak berganda

Dari data yang terdapat pada tabel dapat dilihat bahwa aktivitas tertinggi dari ekstrak kasar enzim selulase pada isolat jamur LBKURCC1 berada pada fermentasi hari ke 10 sebesar $(1,891 \pm 1,453^a) \times 10^{-3}$ U/mL. Aktivitas enzim kemudian mengalami penurunan sampai pada 30 hari fermentasi. Berdasarkan uji Duncan jarak berganda untuk jamur LBKURCC1, aktivitas enzim tidak berbeda secara signifikan untuk semua waktu fermentasi. Sedangkan pada isolat bakteri S-22, aktivitas enzim selulase tertinggi berada pada fermentasi hari ke 20 dan aktivitas terendah berada pada fermentasi hari ke 30. Berdasarkan uji Duncan jarak berganda untuk isolat bakteri S-22, aktivitas enzim tidak berbeda secara signifikan untuk waktu fermentasi hari ke 10 dan 30. Penurunan aktivitas enzim ini dipengaruhi oleh jumlah nutrisi dalam media produksi yang digunakan oleh mikroorganisme dalam proses metabolisme. Apabila nutrisi semakin berkurang maka tidak dapat mencakupi kebutuhan dari mikroorganisme yang mengakibatkan mikroorganisme tersebut perlahan-lahan akan mati. Menurut Putri (2012) aktivitas ekstrak kasar enzim selulase mengalami peningkatan dan penurunan yang tidak stabil dapat dikarenakan selulase terdiri dari campuran beberapa enzim (endoglukonase, eksoglukonase, dan β -glukosidase) yang diduga memiliki jumlah yang sama sehingga tidak ada aktivitas yang menonjol dan menyebabkan aktivitas tidak jauh berbeda terhadap variasi waktu fermentasi [14]. Penurunan aktivitas ekstrak kasar enzim juga bisa terjadi karena dalam penyimpangan, konsentrasi enzim di setiap tabung mikro berbeda-beda dan bisa terjadi karena adanya kesalahan analisis (*human error*).

Aktivitas enzim selulase bakteri S-22 lebih tinggi jika dibandingkan dengan isolat jamur LBKURCC1 dikarenakan setiap mikroorganisme penghasil enzim memiliki gen yang berbeda dan menghasilkan kompleks enzim yang berbeda. Gen merupakan fragmen DNA yang memiliki urutan basa tertentu yang akan mempengaruhi urutan asam amino pada saat sintesis protein. Protein enzim selulase yang dihasilkan dari genus yang sama bisa saja memiliki aktivitas enzim selulase yang berbeda apalagi dua jenis mikroorganisme yang berbeda [15].

Penentuan kandungan karbon organik dalam sampel popok bayi yang telah difermentasi dengan jamur LBKURCC1 dan S-22 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil penentuan kadar karbon organik pada popok bayi bekas yang difermentasi dengan isolat jamur LBKURCC1 dan bakteri S-22

Waktu fermentasi (hari)	Kadar C-organik (%)	
	LBKURCC1	S-22
10	56,155 ± 0,823	57,937±0,016
20	56,007 ± 0,446	57,942± 0,009
30	56,529 ± 0,358	57,719± 0,221

Dekomposisi senyawa organik dilakukan dengan menggunakan mikroorganisme. Mikroorganisme dapat menguraikan bahan-bahan organik sebagai sumber makanan yang selanjutnya akan diuraikan menjadi senyawa yang lebih sederhana. Kadar C-organik merupakan indikator telah terjadinya proses dekomposisi dalam pengomposan dan kematangan kompos. Proses dekomposisi mengubah karbon menjadi sumber energi untuk menyusun bahan seluler sel-sel mikroba dengan membebaskan CO₂ dan bahan-bahan lain yang mudah menguap. Jamur dan Bakteri selulolitik memiliki peranan penting dalam dekomposisi selulosa dengan melibatkan enzim selulase.

Kadar C-organik residu popok bayi bekas setelah fermentasi oleh isolat jamur LBKURCC1 mengalami penurunan dari fermentasi 10 ke 20 hari. Penurunan kadar C-organik ini berhubungan dengan aktivitas ekstrak kasar enzim karena semakin lama waktu fermentasi maka aktivitas enzim akan meningkat sampai batas optimumnya. Setelah batas optimum maka aktivitas enzim akan menurun akibat kurangnya nutrisi dalam media produksi sehingga menyebabkan kadar C-organik pun mulai menurun saat aktivitas enzimnya menurun. Hal ini disebabkan karena jamur selulolitik bekerja merombak selulosa yang terdapat pada bahan penyusun kompos menjadi monomer glukosa. Jamur selulolitik mampu memecah selulosa menjadi molekul yang lebih sederhana sehingga ketersediaan energi untuk mikroorganisme meningkat. Polimer glukosa yang telah dirombak dimanfaatkan oleh jamur sebagai sumber energi dalam proses metabolisme dan perbanyakan sel, sehingga senyawa organik diubah menjadi asam organik dan alkohol terlebih dahulu kemudian diubah menjadi CO₂, NH₄, NH₃ dan H₂O [16].

Kadar C-organik residu popok bayi bekas setelah fermentasi oleh isolat bakteri S-22 mengalami peningkatan dari fermentasi 10 hari hingga 30 hari. Hal ini disebabkan karena adanya aktivitas bakteri yang diinokulasi pada popok bayi bekas. Semakin lama waktu fermentasi maka aktivitas enzim akan meningkat sampai batas optimumnya, setelah batas optimum aktivitas enzim akan menurun akibat kurangnya nutrisi dalam media produksi sehingga menyebabkan kadar C-total juga akan menurun

seiring dengan aktivitas enzim yang menurun. Peningkatan aktivitas enzim yang diperoleh selama fermentasi menunjukkan bahwa isolat *T. asperellum* LBKURCC1 mampu mengurai selulosa popok bayi bekas menjadi senyawa sederhana seperti glukosa untuk memperoleh energi.

Kadar karbon yang diperoleh pada residu popok bayi bekas hasil fermentasi selama 30 hari ini apabila dibandingkan dengan standar kualitas kompos untuk kadar karbon dalam SNI 19-7030-2004 (9,8-32%) tidak memenuhi kriteria standar kualitas kompos dikarenakan nilainya yang masih sangat tinggi, yakni sebesar 55,897% dan 57,866%. Chalimatus dkk (2013) menyatakan bahwa hal ini dapat disebabkan oleh proses dekomposisi yang kurang sempurna dikarenakan kondisi tumpukan kompos berada pada skala laboratorium sehingga membuat tumpukan tidak dapat menahan panas dengan baik [17].

Dekomposisi dipengaruhi oleh aktifitas enzim juga dipengaruhi oleh jenis dan jumlah sel mikroorganisme yang melakukan proses fermentasi. Yuliprianto (2010) juga mengatakan bahwa ukuran partikel juga mempengaruhi dekomposisi bahan organik. Semakin kecil ukuran partikel bahan organik, maka semakin luas permukaan yang dapat diserang mikroorganisme pengurai. Penelitian ini tidak melalui proses penghancuran popok bayi bekas sebagai sumber karbon, sehingga ukuran *pulp* yang digunakan relatif besar yang mengakibatkan proses dekomposisi kurang sempurna dan menghasilkan kadar C-total yang masih tinggi [18]

Penentuan kadar N-total dalam sampel popok bayi hasil fermentasi dilakukan dengan metode Kjeldahl. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 3.

Waktu fermentasi (hari)	Kadar N-total (%)	
	LBKURCC1	S-22
10	4,965 ± 0.118	0,113 ± 0,004
20	9,094 ± 0,240	0,092 ± 0,013
30	2,793 ± 0,056	0,090 ± 0,010

Tabel 3. Hasil penentuan kadar nitrogen total pada popok bayi yang difermentasi dengan isolat jamur LBKURCC1 dan bakteri S-22

Nitrogen digunakan oleh mikroorganisme sebagai sumber makanan untuk membentuk sel-sel baru. Mikroorganisme menguraikan protein dan bahan organik yang mengandung nitrogen lainnya dan terjadi pelepasan gas amoniak. Nitrogen sangat dibutuhkan oleh tanaman sebagai penyusun asam amino, protein dan komponen lainnya. Nitrogen juga penting dalam respirasi, meningkatkan reaksi enzimatik, dan meningkatkan metabolisme sel. Menurut Yuliprianto (2010), amonium merupakan sumber utama nitrogen untuk mikroorganisme, karena secara langsung diasimilasi oleh mikroorganisme melalui proses nitrifikasi. Mikroorganisme tersebut melakukan metabolisme

yang menghasilkan senyawa protein. Protein merupakan suatu polimer yang monomernya asam amino, sedangkan asam amino itu sendiri adalah senyawa karboksilat yang mengandung gugus amin yang terdiri dari atom nitrogen. Selanjutnya nitrogen yang dihasilkan akan disumbangkan ke kompos.

Kadar N-total untuk isolat jamur LBKURCC1 meningkat dari hari ke 10 yakni sebesar 4,965% menjadi sebesar 9,094% pada 20 hari fermentasi, kemudian mengalami penurunan sampai hari ke 30 menjadi 2,793%. Sedangkan kadar N-total pada isolat bakteri S-22 mengalami penurunan selama waktu fermentasi 30 hari. Terjadinya penurunan kadar nitrogen diduga disebabkan karena semakin lama waktu fermentasi maka kompos akan kehilangan nitrogen yang terbuang dalam bentuk amoniak. Hal ini juga diutarakan oleh Wijaksono (2016), bahwa penurunan kadar nitrogen disebabkan oleh metabolisme sel yang mengakibatkan nitrogen hilang diudara bebas sebagai amoniak [19]. Selain itu nitrogen merupakan komponen penyusun protein dan 40-50% sel mikroorganisme terdiri dari protein [20]. Kandungan nitrogen pada isolat jamur LBKURCC1 pada penelitian ini apabila dibandingkan dengan standar kualitas kompos SNI 19-7030-2004 dengan batas minimum 0,4% telah memenuhi batas kriteria kompos. Damayanti (2015) menyatakan bahwa penurunan jumlah nitrogen dapat dikarenakan pada saat proses aerasi sebagai nitrogen organik sudah mulai dimanfaatkan oleh mikroorganisme dan mengubahnya menjadi amonia (NH₃) yang sifatnya mudah menguap ke udara. Kandungan nitrogen pada popok bayi setelah fermentasi 30 hari untuk isolat pun S-22 tidak memenuhi syarat SNI 19-7030-2004 karena kurang dari 0,4%.

Hasil analisis karbon dan nitrogen dari masing-masing popok bayi yang telah difermentasi dapat dilihat dari **Tabel 4**.

Waktu fermentasi (hari)	Rasio C/N	
	LBKURCC1	S-22
10	11,312±0,104	512,764 ± 6,560
20	6,162 ± 0,211	633,071 ± 91.842
30	20,243±0,531	642,046 ± 72,795

Tabel 4. Hasil penentuan rasio C/N pada popok bayi yang difermentasi dengan isolat jamur LBKURCC1 dan isolat bakteri S-22

Rasio C/N merupakan hasil perbandingan antara karbohidrat dan nitrogen. Rasio C/N tanah sekitar 10-12. Apabila bahan organik mempunyai kandungan C/N mendekati atau sama dengan C/N tanah, bahan tersebut dapat digunakan atau diserap tanaman. Prinsip pengomposan adalah menurunkan rasio C/N bahan organik hingga sama dengan C/N (<20). Semakin tinggi C/N bahan, proses pengomposan akan semakin lama karena C/N harus diturunkan. Waktu yang di perlukan untuk menurunkan C/N tersebut bermacam-macam, dari tiga bulan hingga mencapai tahunan. Hal ini terlihat

dari proses pembuatan humus di alam dalam proses pengomposan, terjadi perubahan untuk mengurangi atau menghilangkan kadar karbohidrat dan meningkatkan senyawa N yang larut (amonia) [21].

Kadar C-total dan N-total yang diperoleh digunakan untuk menganalisis rasio C/N untuk melihat tingkat kematangan pengomposan dari residu popok bayi bekas hasil fermentasi selama 30 hari menggunakan isolat jamur LBKURCC1 dan bakteri S-22. Rasio C/N residu popok bayi bekas pada selama 30 hari fermentasi untuk isolat jamur LBKURCC1 dan bakteri S-22 jika dibandingkan dengan parameter rasio C/N standar kualitas kompos dalam SNI 19-7030-2004 tidak memenuhi syarat. Spesifikasi kompos dari sampah organik domestik dalam standar kualitas kompos SNI 19-7030-2004 memperlihatkan bahwa standar rasio C/N adalah 10-20. Tingginya kadar rasio C/N disebabkan karena kandungan karbonnya yang tinggi sedangkan kandungan nitrogennya sangat rendah.

Menurut Chalimatus., dkk (2013) tingginya kadar rasio C/N yang diperoleh diduga karena proses perombakan bahan organik belum selesai secara keseluruhan, sehingga nitrogen yang dihasilkan hanya sedikit yang menyebabkan proses dekomposisi akan menjadi lambat. Haryati (2016) menambahkan semakin tinggi kandungan selulosa dan lignin bahan dasar kompos, maka semakin besar nilai rasio C/N sehingga akan semakin sulit didekomposisi.

Sebaliknya semakin rendah kandungan selulosa dan lignin maka semakin mudah didekomposisi, dan proses dekomposisi dapat berlangsung semakin cepat (Supadma, 2008) [22]. Menurut Djuarnani (2005), apabila rasio C/N kompos yang dihasilkan tinggi, maka dalam tanah akan terjadi imobilisasi nitrogen dari tanah oleh mikroorganisme, sehingga nitrogen menjadi tidak tersedia dan pertumbuhan tanaman menjadi kurang bagus [23].

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa *pulp* pada popok bayi bekas dapat didegradasi oleh jamur selulolitik *Trichoderma asperellum* LBKURCC1 dan isolat bakteri S-22 yang dibuktikan dari adanya aktivitas enzim selulase yang dihasilkan. Isolat bakteri memiliki kemampuan mendegradasi *pulp* popok bayi bekas lebih baik jika dibandingkan dengan jamur karena memiliki aktivitas selulolitik yang lebih tinggi.

Kadar C-total, N-total, dan rasio C/N residu popok bayi bekas hasil fermentasi padat selama 30 hari menggunakan jamur selulolitik LBKURCC1 berturut-turut sebesar 56,529%, 2,793%, dan 20,243 untuk bakteri selulolitik S-22 berturut-turut sebesar 57,719%, 0,090% dan 642,046 belum memenuhi parameter standar kualitas kompos dari sampah organik domestik SNI 19-7030-2004 yakni kadar C sebesar 9,8-32%, kadar N sebesar 0,4%, dan rasio C/N sebesar 10-20.

DAFTAR PUSTAKA

1. Badan Pusat Statistik. 2013. Proyeksi penduduk Indonesia 2010-2035. katalog BPS: 2101018. Badan Pusat Statistik, Jakarta. Tersedia di: <http://www.bps.go.id/index.php/publikasi/16>
2. Doraja, P.H. Shovitri, M., Kuswytasari, N.D. 2012. Biodegradasi limbah domestik dengan menggunakan inokulum alami dari tangki septik. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*. 1(1) : 44-47.
3. Koto, R.G. 2013. Kecernaan in vitro bahan kering dan bahan organik jerami jagung (*Zea Mays*) yang di inokulasi dengan *Trichoderma sp.* pada inkubasi yang berbeda. *Skripsi*. Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin, Makassar
4. Lestari, P.B., Hartati, T.W. 2017. *Mikologi Berbasis Inkuiri*. Penerbit Gunung Samudera, Malang
5. Satyawiharja, B. 1984. *Fermentasi Media Padat dan Manfaatnya*. Dirjen Dikti, Jakarta.
6. Suhartono, M. T. 1989. Enzim dan Bioteknologi. IUC-Bank Dunia XVII, Bogor.
7. Acharya, P.B., Acharya & Modi, H. A. 2008. Optimazation for cellulose production by *Aspergillus niger* using saw dust as substrate. *African journal of biotechnology*. 22: 4147-52.
8. Damayanti, N. 2015. Biodegradasi popok bayi menggunakan jamur selulolitik *Trichoderma asperellum* LBKURCC1 dan LBKURCC2 dengan fermentasi. *Skripsi*. FMIPA Universitas Riau, Pekanbaru.
9. Nugroho, T.T., Ali, M., Ginting, C., Wahyuningsih, Dahliaty, A., Devi, S., Sukmarisa, Y. 2003. Isolasi dan karakterisasi sebagian kitenase *Trichoderma viride* TNJ63. *Jurnal Natur Indonesia* 5(2): 101-106.
10. Aminah, S., Soedarso, G.B., Sastro, Y. 2003. *Teknologi Pengomposan*. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian, Jakarta.
11. Sawitri, N. 2010. Penentuan beberapa parameter produksi kitenase *Trichoderma asperellum* LBKURCC1 dan LBKURCC2 pada berbagai substrat kitin. *Skripsi*. FMIPA Universitas Riau, Pekanbaru.
12. Maniatis, T., F.Fritch, Sambrook. 1989. *Molecular Cloning*. Cold spring harbor laboratory press, New York.
13. Poedjadi, A. 1994. *Dasar Biokimia*. UI Press, Jakarta.
14. Putri, N.R. 2012. Penentuan temperatur dan pH optimum selulase *Trichoderma asperellum* LBKURCC1 dan LBKURCC2. *Skripsi*. FMIPA Universitas Riau, Pekanbaru.
15. Tobing, E.L. 2009. Studi tentang kandungan nitrogen, karbon organik dan C/N dari kompos tumbuhan kembang bulan (*Tithonia diversifolia*). *Skripsi*. FIMIPA USU.
16. Yuwono, T. 2005. *Biologi Molekuler*. Erlangga, Jakarta.9
17. Chalimatus, H., Latifah, Mahatmanti, F.W. 2013. Efektifitas Jamur *Trichoderma harzianum* dalam Pengomposan Limbah Sludge Pabrik Kertas. *Indonesian Journal of Chemical Science* 2(3): 224-229.
18. Yuliprianto, H. 2010. *Biologi Tanah dan Strategi Pengolahannya*. Graha Ilmu, Yogyakarta.
19. Wijaksono R.A., Subiantoro R., Utoyo B. 2016. Pengaruh lama fermentasi pada kualitas pupuk kandang kambing. *Jurnal Agro Industri Perkebunan*. Politeknik Negeri Lampung, Bandar Lampung.
20. Siregar S.A. 2005. *Instalasi Pengolahan Limbah*. Penerbit Kanikus, Yogyakarta.
21. Indriani, H.Y. 2011. *Membuat Kompos Secara Kilat*. Penebar Swadaya, Jakarta.
22. Supadma, A.A.N Arthagama, & D.E. 2008. Uji formulasi kualitas pupuk kompos yang bersumber dari sampah organik dengan penambahan limbah ternak ayam, sapi, babi dan tanaman pahitan. *Jurnal Bumi Lestari*, 8 (2): 113-121.
23. Djunarnani, N. Kristian, Setiawan, B.S. 2012. *Cara cepat membuat kompos*. Agromedia pustaka. Jakarta.