

OPTIMASI RASIO AIR DAN BAHAN YANG DITAMBAHKAN PADA PEMBUATAN PUPUK ORGANIK GRANUL DARI TEPUNG RUMPUT LAUT *Sargassum* sp.

Ratio Optimization of Water and Other Ingredients in The Production of Organic Granules Fertilizer from Sargassum sp. Flour

Putri Wullandari* dan Zaenal Arifin Siregar

Loka Penelitian dan Pengembangan Mekanisasi Pengolahan Hasil Perikanan,
Jl. Imogiri Barat Km 11,5 Bantul - DI Yogyakarta, Indonesia

* Korespondensi Penulis : utides@gmail.com

Diterima: 26 Februari 2017; Disetujui: 30 Mei 2017

ABSTRAK

Telah dilakukan pembuatan pupuk organik granul dari tepung rumput laut *Sargassum* sp. dengan menggunakan granulator hasil rancang bangun Loka Penelitian dan Pengembangan Mekanisasi Pengolahan Hasil Perikanan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui rasio air dan bahan yang tepat dalam proses pembuatan pupuk granul sehingga menghasilkan rendemen pupuk organik granul tertinggi dan mengetahui kualitas pupuk yang dihasilkan. Metode granulasi yang digunakan yaitu metode granulasi basah (*wet granulation*). Bahan yang digunakan yaitu tepung rumput laut *Sargassum* sp., kapur pertanian, dan air. Variasi rasio air dengan bahan (tepung rumput laut *Sargassum* sp. dan kapur pertanian) yaitu 10:30, 11:30, 12:30, dan 13:30 (ml air/g bahan). Pupuk organik granul dengan rendemen tertinggi yang terpilih kemudian dianalisa kandungan hara makro, C organik, kadar air, kadar hara mikro, dan logam berat. Sebagai pembanding digunakan pupuk organik komersial. Rendemen pupuk organik granul yang sudah diayak menunjukkan nilai tertinggi sebesar 26,43% pada rasio air : bahan sebesar 12:30. Kadar C organik pupuk organik granul terpilih dan pupuk organik granul komersial berturut-turut adalah 15,1% dan 20,2% dengan rasio C/N berturut-turut adalah 18,41% dan 3,10%. Kadar air pupuk organik granul terpilih dan pupuk organik granul komersial berturut-turut adalah 19,47% dan 13,79%. Kadar timbal (Pb) pupuk organik granul terpilih dan pupuk organik granul komersial berturut-turut adalah kurang dari 0,04 ppm, dan 6,20 ppm sedangkan kadar Fe total pupuk organik granul terpilih dan pupuk organik komersial berturut-turut adalah 8.031 ppm dan 5.316 ppm.

KATA KUNCI: granulasi, pupuk organik granul, tepung rumput laut *Sargassum* sp.

ABSTRACT

Organic granules fertilizer has been processed from Sargassum sp. flour using granulator designed by Research Institute for Fisheries Post-harvest Mechanization. This research aimed to reveal the best ratio of water and other ingredients in order to produce higher yield and to find out its nutritional composition. Wet granulation method was used in this research. The materials used were Sargassum sp. flour, lime, and water. The ratios of water and ingredients used were 10:30, 11:30, 12:30, and 13:30 (ml of water/g of ingredients). Only organic granules fertilizer with the highest yield was selected and analyzed for its macro nutrient content, C organic, moisture content, micro nutrient content, and heavy metals. Commercial organic granule fertilizer was used as comparison. The highest yield of organic granule fertilizer was gained from the ratio of water and other ingredients of 12:30. The C organic content of selected organic granule fertilizer in this study and commercial organic granule fertilizer, were 15.1% and 20.2%, respectively with C/N ratio of 18.41% and 3.1%, respectively. For the moisture content of the selected organic granule fertilizer in this research and commercial organic granule fertilizer, were 19.47% and 13.79%, respectively. Levels of lead (Pb) in selected organic granule fertilizer and commercial organic granule fertilizer were less than 0.04 ppm and 6.20 ppm, respectively, while total Fe content of organic selected granule fertilizer and commercial organic granule fertilizer were 8,031 ppm and 5,316 ppm, respectively.

KEYWORDS: granulation, organic granule fertilizer, Sargassum sp. flour

PENDAHULUAN

Pupuk merupakan salah satu sarana produksi terpenting dalam budidaya tanaman, sehingga ketersediaannya mutlak diperlukan untuk keberlanjutan produktivitas tanah dan tanaman serta ketahanan pangan nasional (Hartatik & Setyorini, 2015). Pupuk organik merupakan pupuk yang berasal dari tumbuhan mati, kotoran hewan, bagian hewan, atau limbah organik lainnya yang telah melalui proses rekayasa, berbentuk padat atau cair, dapat diperkaya dengan bahan mineral atau mikroba yang berfungsi untuk meningkatkan kandungan hara dan bahan organik tanah serta memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah (Permentan No. 70/Permentan/SR.140/10/2011).

Hasil laut yang dapat digunakan sebagai bahan baku pupuk organik yaitu rumput laut. Kelebihan rumput laut yaitu memiliki kandungan zat pemacu tumbuh (ZPT) seperti auksin, sitokinin, giberelin, asam abisat, dan etilen (Basmal, 2010). Produksi rumput laut di Indonesia pada tahun 2010 adalah 3,082 juta ton yang meningkat dibandingkan pada tahun 2009 sebesar 2,574 juta ton. Sementara itu, produksi rumput laut di Indonesia pada tahun 2014 mencapai 10,2 juta ton (Kementerian Kelautan dan Perikanan, 2015).

Jenis rumput laut yang memiliki kandungan zat besi dengan bioavailabilitas yang tinggi adalah *Sargassum* sp. (Sakinah, 2012). Pupuk yang dibuat dari rumput laut kaya akan unsur hara K, Ca, Mg, Mn, dan B. Tingginya unsur hara tersebut sangat bermanfaat bagi tanaman dan tanah. Mg dibutuhkan tanaman sebagai penyusun klorofil, sedangkan Ca mampu mengendalikan pH tanah yang asam (Basmal, 2010). Unsur hara yang terdapat dalam rumput laut berasal dari air laut karena di dalam air laut banyak mengandung mineral seperti natrium, klor, bromida, yodium, fosfor, nitrogen, dan karbondioksida. Hasil penelitian menunjukkan bahwa di dalam *thallus* rumput laut *Sargassum* sp. ditemukan unsur hara makro N-P-K dan unsur hara mikro seperti Fe, B, Mn, Zn, Mo, Cu dan Cl (Basmal, 2010).

Jika pupuk organik akan diusahakan secara komersial, akan lebih baik bila dibentuk sebagai granul. Granul juga dibuat untuk memudahkan aplikasi dan memudahkan transportasi. Massa granul lebih ringan daripada bentuk curah, sehingga memudahkan dan mengurangi biaya transportasi. Bentuk granul juga lebih mudah ditaburkan daripada bentuk curah (Wullandari, 2015).

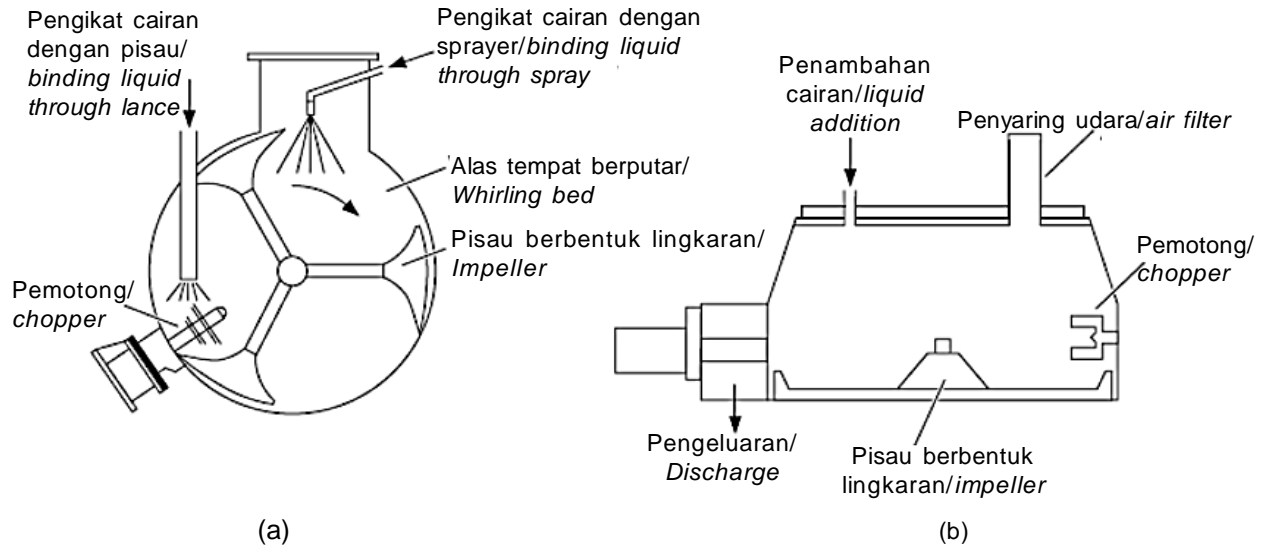
Di antara berbagai industri yang memanfaatkan granulasi untuk menghasilkan partikel dengan sifat tertentu, perusahaan pupuk memiliki peranan penting

untuk mengamankan pasokan pangan di seluruh dunia. Penanganan bubuk dan pengolahan bubuk halus adalah permasalahan utama di banyak industri karena adanya gaya kohesi dari bubuk tersebut (Jivraj, Martini & Thomson, 2000). Oleh karena itu, perlu ada proses untuk membuat bubuk tersebut menjadi granul. Proses ini disebut sebagai granulasi. Granulasi bubuk adalah unit operasi kunci dalam banyak industri untuk pembuatan berbagai macam produk seperti makanan, pupuk, bahan bakar nuklir, keramik, karbon hitam, katalis, obat-obatan, pestisida, plastik, dan deterjen (Rahmanian & Ghadiri, 2013a).

Granulasi adalah proses desain partikel di mana partikel-partikel kecil disatukan untuk membentuk gumpalan (aglomerat) yang kuat secara fisik (Pujara, 2007). Metode granulasi yang biasa digunakan dapat dibagi menjadi 5 metode, yaitu granulasi basah (*wet granulation*), granulasi dengan memberikan umpan (*feeded granulation*), granulasi dengan menggunakan bahan kimia (*chemical granulation*), pembentukan butiran (*drop formation* atau *prilling*), *perforated vessel* yang disebut sebagai *prilling bucket* dan granulasi dengan pemadatan (*compaction granulation*).

Pada penelitian ini, digunakan metode granulasi basah karena bahan-bahan yang digunakan berbentuk tepung dan lebih mudah tercampur dengan penambahan air. Granulasi basah biasanya digunakan untuk meningkatkan sifat dan karakteristik bubuk, seperti aliran, penanganan, kekuatan, kenampakan, struktur, dan komposisi, tingkat kelarutan, dan tingkat ketahanan terhadap pemisahan (Litster & Ennis, 2004). Pada granulasi basah, granul terbentuk dari aglomerasi. Bahan mentah padat ditimbang secara proporsional dan dicampurkan sebelum dimasukkan ke dalam granulator. Bahan mentah dihancurkan sebelum atau setelah ditimbang untuk memperoleh distribusi ukuran partikel yang seragam. Dalam granulator (biasanya berbentuk drum yang berputar atau *pug mill*) uap atau air ditambahkan untuk menyediakan fase cair dan plastisitas yang menyebabkan bahan mentah kering teraglomerasi menjadi produk seukuran granul (Anon., 2016). Air berpengaruh terhadap komposisi penyusunan partikel granul. Cara konvensional untuk menjelaskan pembentukan inti (nukleasi) yaitu dengan penetrasi kapiler dari cairan melalui pori-pori butiran, dan memodelkan *powder bed* sebagai padatan yang berpori dan tidak dapat berubah bentuk (Emady, Kayrak-Talay, Schwerin, & Litster, 2011). Terdapat beberapa jenis granulator, yaitu *high shear granulator*, drum granulator dan *fluidized bed granulator*.

Tipe granulator yang sesuai untuk pembuatan pupuk organik granul dari tepung rumput laut yaitu *fluidized bed granulator*, di mana terdapat *chopper*



Gambar 1. Desain *fluidized beds granulator* dengan *high shear mixer granulation* untuk bidang farmasi secara teori, a) Tampak samping, b) Tampak atas (Perry & Green, 1999)

Figure 1. *Fluidized beds granulator with high shear mixer granulation's design for pharmaceutical fields design in theory, a) Side view, b) Top view* (Perry & Green, 1999)

sebagai alat pembentuk granul dan *impeller* sebagai alat pemutar sehingga granul terbungkus oleh lapisan. *Fluidized bed granulator*, sering digunakan dalam bidang farmasi, kimia, pupuk dan pengolahan yang memerlukan proses pembungkusan. Keunggulan lain dari sistem ini adalah granul yang dihasilkan memiliki porositas dan kekuatan pembungkus yang tinggi (Perry & Green, 1999). Hal lain yang terdapat pada desain tersebut adalah sistem semprot yang terdiri dari tempat input air, dan alat penyemprot. Pada desain ini juga terdapat penyaring udara agar produk yang dihasilkan higienis. Bagian akhir desain tersebut adalah bagian *discharge* (pelepasan) sebagai output granul yang dihasilkan. Desain *fluidized bed granulator* disajikan pada Gambar 1.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penambahan volume air yang tepat untuk menghasilkan rendemen pupuk organik granul tertinggi dan mengetahui kualitas pupuk organik granul yang dihasilkan bila dibandingkan dengan pupuk organik granul komersial.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu tepung rumput laut, kapur pertanian, dan air. Tepung rumput laut yang digunakan berasal dari *Sargassum* sp., berbentuk butiran, memiliki aroma asam, dan berwarna hitam. Kapur pertanian (kaptan) memiliki

komposisi CaCO_3 dan MgCO_3 sebesar 85% dan berbentuk tepung halus. Kaptan memiliki fungsi yang sama seperti molase, yaitu sebagai bahan perekat (Wullandari, 2015).

Alat yang digunakan yaitu granulator hasil rancang bangun Loka Penelitian dan Pengembangan Mekanisasi Pengolahan Hasil Perikanan. Spesifikasi granulator disajikan pada Tabel 1.

Alat yang digunakan untuk membuat granul didesain berdasarkan modifikasi sistem *fluidized beds*. Sistem ini sering digunakan dalam bidang farmasi, kimia, pupuk dan pengolahan yang memerlukan proses pembungkusan (*coating*). Keunggulan lain dari sistem ini adalah granul yang dihasilkan memiliki porositas dan kekuatan pembungkus yang tinggi (Perry & Green, 1999).

Desain granulator yang digunakan untuk produksi pupuk terlihat pada Gambar 3. Perbedaan dengan desain yang ada adalah tidak menggunakan penyaring udara, sistem semprot dan bentuk *impeller* serta *chopper* yang berbeda. Granulator ini tidak menggunakan saringan udara karena produk yang dihasilkan bukan merupakan produk pangan sehingga input udara tidak perlu bersih. Sistem penyemprotan dilakukan pada bagian *liquid addition* secara manual. Bahan baku yang telah tercampur dengan air mengakibatkan penambahan air tidak terlalu sering dilakukan, sehingga tidak perlu menggunakan sistem yang otomatis. Perbedaan bentuk *impeller* dan *chopper* disebabkan penyesuaian dengan bahan baku

Tabel 1. Spesifikasi granulator
Table 1. Granulator spesification

Uraian/Description	Nilai/Value
Kapasitas (kg/hari)/Capacity (kg/day)	100
Dimensi total/Dimensions	
Panjang (cm)/Length(cm)	125
Lebar (cm)/Width(cm)	80
Tinggi (cm)/Height (cm)	120
Diameter Drum 1, 2, dan 3 (cm)/No 1, 2, and 3 drum's diameter (cm)	40
Kecepatan Putaran Mesin/The speed of engine's rotation	
Drum 1, kecepatan maksimum (rpm)/Drum no.1, the highest speed (rpm)	765
Drum 2(rpm)/Drum no.2 (rpm)	754
Drum 3(rpm)/Drum no.3(rpm)	734
Spesifikasi motor listrik/Specification of electric motors	
Drum 1, 2, dan 3/Drum no. 1, 2, and 3	0.75 kW, 380 V, 50 Hz, 3 Ph, 1390 rpm
Penghancur/Crusher	200 Watt, 220 V, 50 Hz
Bahan drum/Material drum	Stainless Steel

yang digunakan dalam produksi. Pisau atau *chopper* pada granulator berfungsi untuk mengurangi ukuran dari granul besar (Rahmanian & Ghadiri, 2013a). Kondisi proses operasi, skala operasi, dan formulasi akan mempengaruhi mekanisme dari interaksi partikel dan pada akhirnya akan mempengaruhi karakteristik granul (Rahmanian & Ghadiri, 2013a).

Metode

Pada penelitian ini digunakan metode granulasi basah (*wet granulation*) dengan variasi rasio air dengan bahan yaitu 10:30, 11:30, 12:30, dan 13:30 (ml air/g bahan). Tepung rumput laut yang ditambahkan sebanyak 2500 g, kapur pertanian (kaptan) yang ditambahkan sebesar 500 g, kecepatan putaran drum granulator sebesar 765 rpm. Metode yang dilakukan pada penelitian ini yaitu berdasarkan metode Wullandari (2015).

Pertama-tama tepung rumput laut *Sargassum* sp. dikeringkan dengan sinar matahari, kemudian ditimbang sesuai komposisi. Air dan kapur pertanian juga diukur sesuai komposisi yang telah disebutkan di atas. Tepung rumput laut *Sargassum* sp. dan kaptan dicampurkan terlebih dahulu hingga homogen. Bahan-bahan tersebut kemudian dimasukkan ke dalam granulator sedikit demi sedikit, kemudian disemprotkan air sedikit demi sedikit hingga diperoleh granul semi kering. Granul semi kering ini kemudian diayak dengan ayakan 2 dan 4 mesh. Granul yang lolos dari ayakan 2 mesh dan tertahan pada ayakan 4 mesh adalah yang dikehendaki. Granul yang tertahan

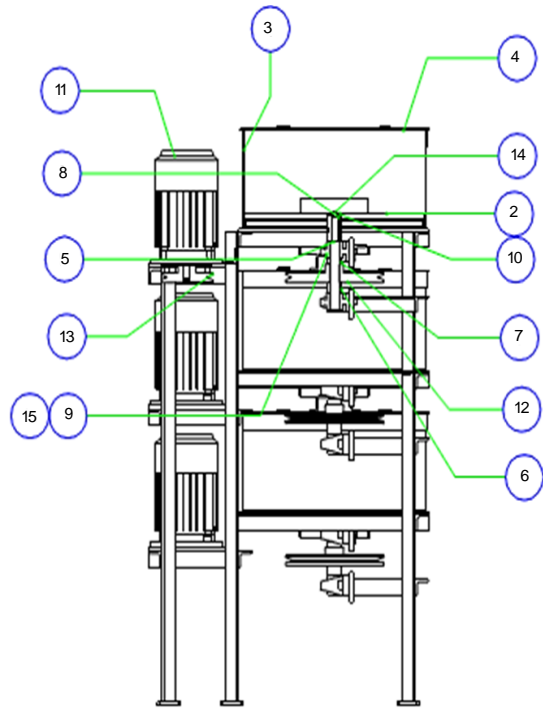
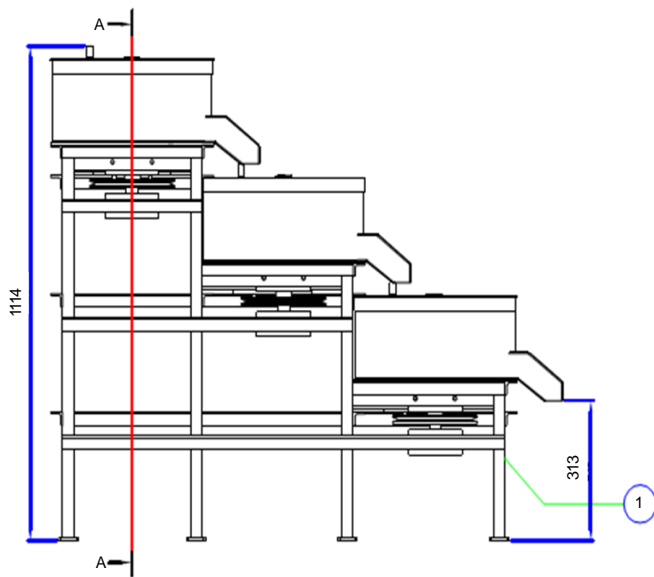
pada ayakan 2 mesh (berukuran terlalu besar) dan granul yang lolos dari ayakan 4 mesh (berukuran terlalu kecil) dihancurkan lagi dan dimasukkan kembali ke dalam granulator untuk digranulasikan kembali. Granul dengan ukuran yang diinginkan (2-4 mm) kemudian dikeringkan dengan sinar matahari hingga diperoleh granul kering.

Pupuk granul dengan rendemen tertinggi kemudian dianalisa kandungan hara makro, C organik, kadar air, kadar hara mikro, dan logam berat.

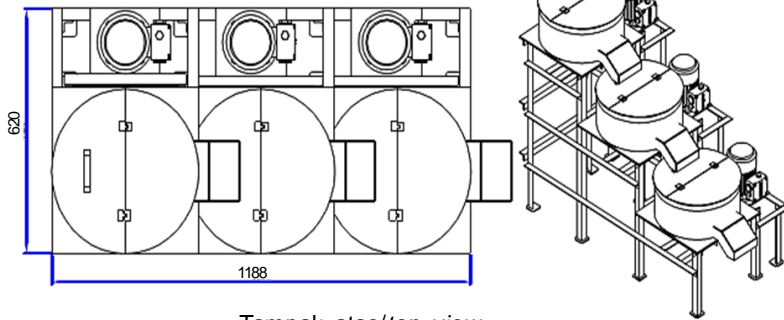
Kadar air pupuk granul dianalisa dengan oven suhu 105 °C selama 16 jam, bahan ikutan (kerikil, pecahan kaca, plastik) dianalisa dengan metode pengayakan (AOAC, 2000), kadar C organik pupuk granul dianalisa dengan metode spektrometri melalui pengabuan kering pada suhu 550 °C (AOAC, 2000), kadar N total pupuk granul dianalisa dengan metode Kjeldahl, titrimetri, dan spektrometri (Page, Miller, & Keeny, 1984), kadar P dianalisa dengan metode oksidasi basah ($\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$), *molibdovanadat*, dan *spectrometry*, kadar K dianalisa dengan metode oksidasi basah ($\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$), dan *flamephotometry*, kadar Fe, Mn, Zn, Pb, dan Cd dianalisa dengan metode oksidasi basah ($\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$) dan *atomic absorption spectrophotometry*, kadar Hg dan As dianalisa dengan metode oksidasi basah ($\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$) dan *atomic absorption spectrophotometry* - hydride cold vapour (AOAC, 2000).

Kadar *E. coli* dianalisis dengan metode *most probable number* (MPN) - durham dan uji pelengkap pada media *E. coli* (Raymundo, 1991), kadar

Tampak samping kanan/right side view



Tampak belakang/rear view

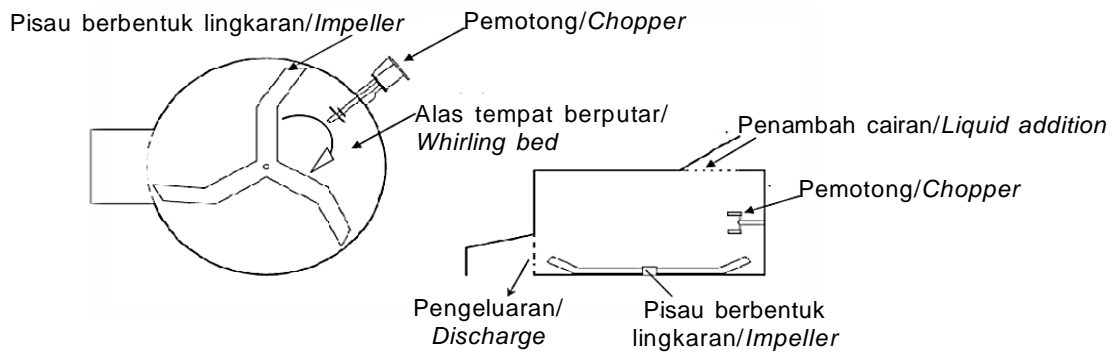


Tampak atas/top view

15		CYL HEAD CAP SCW	24	DN 912 - M10 x 30	
14		CYL HEAD CAP SCW	3	DN 912 - M5 x 16	
13		PULLEY TYPE A 84"	3	ST378112x34	
12		PULLEY TYPE A 88"	3	ST378112x34	
11		ELECTRIC MOTOR 0.55KW	3		
10		CAP	3	ST37830x5	GV-033
9		PILLOW BLOCK1	6		GV-032
8		PARALLEL KEY	3	ST52x5x5x22	GV-031
7		SPACER 2	3	ST37830x10	GV-030
6		SPACER 1	3	ST37830x20	GV-029
5		MAIN SHAFT	3	ST52830x177	GV-028
4		COVER	3		GV-024
3		OUTER TANK	3		GV-016
2		HOLDER	3		GV-013
1		FRAME GV	1		GV-001
Nomor Bagian		Nama Bagian	Banyaknya	Bahan & Spesifikasi	Keterangan
NAMA				Digambar Disetujui	Tgl.
GRANULATOR VERTICAL					Tgl.
Skala : Ukuran: mm					Nomor Gambar: GV-000

Gambar 2. Granulator hasil rancang bangun Loka Penelitian dan Pengembangan Mekanisasi Pengolahan Hasil Perikanan

Figure 2. Granulator designed by Research Institute for Fisheries Post-harvest Mechanization



Gambar 3. Desain *fluidized beds granulator* yang digunakan
 Figure 3. *Fluidized bed granulator design* used in this research

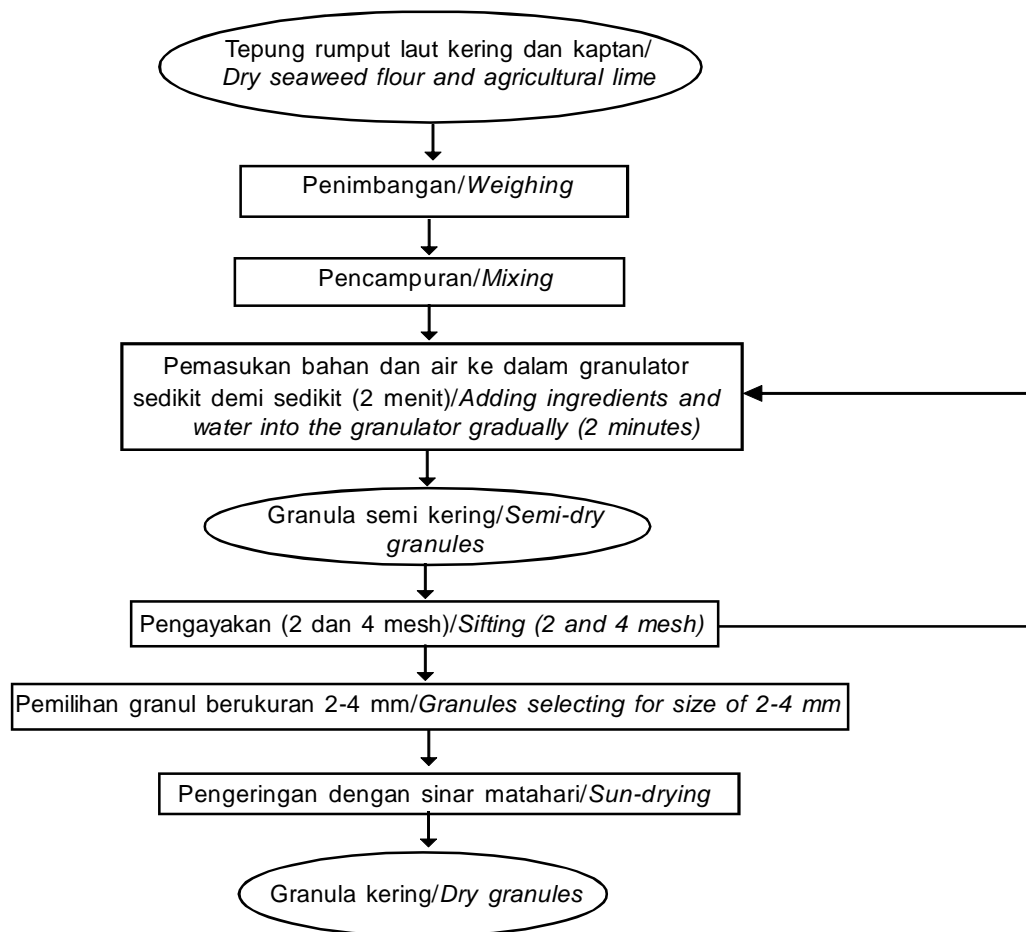
Salmonella sp. dianalisa dengan metode MPN dan uji pelengkap pada media *Salmonella* sp. (Raymundo, 1991). Diagram alir penelitian disajikan pada Gambar 4.

Keberhasilan pencampuran didasarkan pada keseragaman warna pupuk granul dan ukuran pupuk granul yang dihasilkan, yaitu sekitar 2-4 mm karena

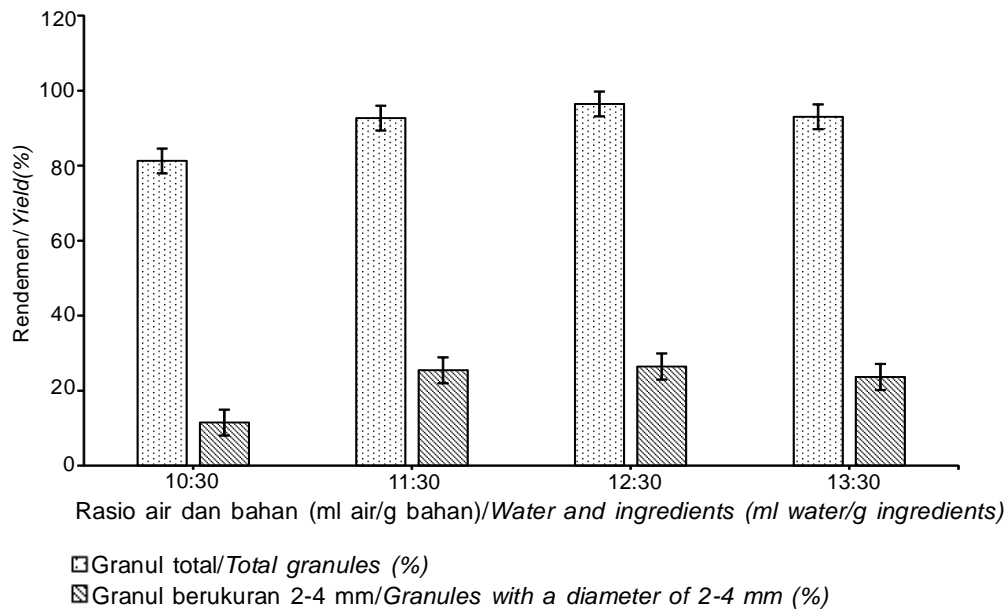
merupakan tipe ukuran untuk pupuk granula komersial (Mangwdani et al., 2013)

HASIL DAN BAHASAN

Rendemen pupuk granul disajikan pada Gambar 5. Gambar ini menunjukkan bahwa rendemen pupuk



Gambar 4. Diagram alir pembuatan pupuk organik granul
 Figure 4. Flow chart of the productions of organic granules fertilizers



Gambar 5. Rendemen pupuk organik granul
 Figure 5. The yield of organic granules fertilizer

granul total tertinggi adalah 96,43% (b/v) yaitu pada rasio air dan bahan sebesar 12:30 (ml air /g bahan). Rendemen granul yang berukuran 2-4 mm juga menunjukkan nilai tertinggi yaitu 26,43% (b/v) pada rasio air dan bahan 12:30 (ml air/g bahan).

Gambar 5 juga menunjukkan tren kenaikan rendemen pupuk granul seiring dengan penambahan air, namun pada rasio air dan bahan = 13:30 rendemen pupuk granul justru menurun. Perlakuan rasio air dan bahan ini dilakukan sebanyak 3 kali ulangan.

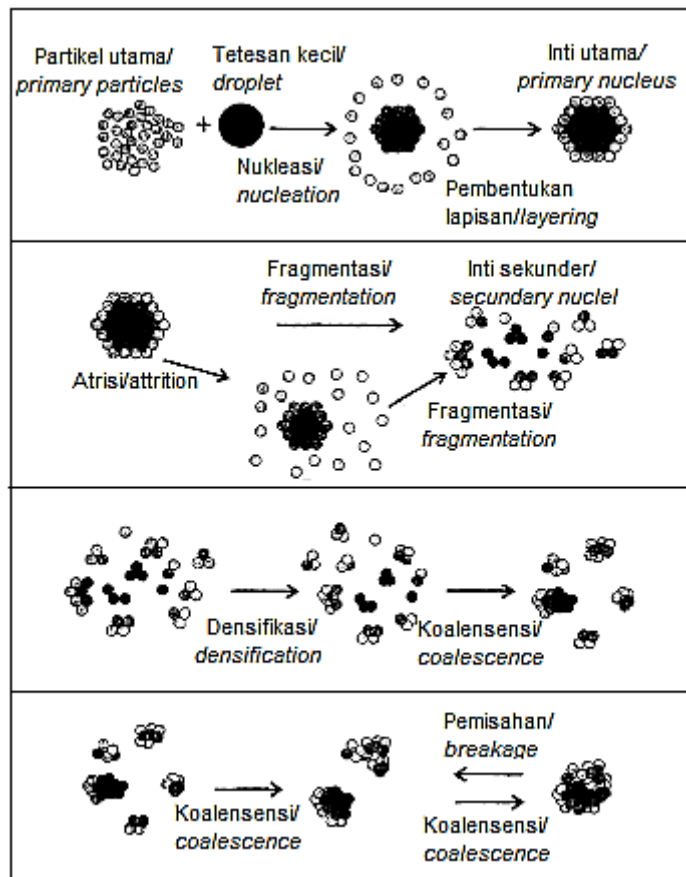
Mekanisme pembentukan granul dengan metode granulasi basah (*wet granulation*) disajikan pada Gambar 6. Granulasi basah sering dilakukan menggunakan *high-shear mixer*. Proses *high-shear granulation* adalah proses yang terjadi dalam waktu cepat dan rentan menyebabkan *over-wetting*. Dengan demikian, jumlah cairan yang ditambahkan adalah penting dan jumlah optimalnya dipengaruhi oleh sifat-sifat bahan baku (Jorgensen, 2004).

Cairan yang ditambahkan memiliki peranan yang cukup penting di mana jembatan cair yang terbentuk di antara partikel dan kekuatan ikatannya akan meningkat bila jumlah cairan yang ditambahkan meningkat (Ansel, 1989), namun pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa kenaikan rendemen pupuk granul tertinggi dicapai pada penambahan air sebanyak 1200 ml dan rendemen pupuk granul justru menurun pada penambahan air terbanyak yaitu 1300 ml. Hal ini dapat disebabkan karena kapasitas pengikatan air pada pupuk granul terbatas dan sudah mencapai kapasitas tertinggi pada penambahan air sebanyak 1200 ml.

Hasil penambahan air dengan komponen pembentuk granul lainnya (tepung rumput laut dan kapur pertanian) dapat disebut sebagai hidrat. Molekul air, karena memiliki ukuran dan kapasitas pengikatan hidrogen yang kecil, cocok untuk mengisi kekosongan dalam struktur granul dan ikatan molekul organik menjadi struktur yang stabil (Byrn, Pfeiffer, & Stowell, 1999).

Keberhasilan aglomerasi partikel primer tergantung pada pengaturan yang tepat dari gaya adhesional antara partikel, yang mendorong pembentukan aglomerat dan pertumbuhan serta memberikan kekuatan mekanik yang memadai di dalam produk. Reologi dari sistem partikulat dapat menjadi penting untuk penataan partikel yang diperlukan untuk terjadinya densifikasi dari aglomerat dan pengembangan struktur aglomerat sesuai dengan persyaratan pengguna akhir. Jika partikel berjarak cukup dekat maka kekuatan permukaan seperti gaya *Van der Waals* dan gaya elektrostatis dapat berinteraksi dengan ikatan partikel. Pengcilan ukuran partikel meningkatkan rasio massa-permukaan. Gaya *Van der Waals* tujuh kali lipat lebih kuat dari gaya elektrostatis dan meningkat secara substansial ketika jarak antar partikel berkurang, yang dapat dicapai dengan menerapkan tekanan seperti dalam metode granulasi kering

Gaya kohesif yang beroperasi selama aglomerasi lembab (*moist agglomerates*) disebabkan karena adanya jembatan cair yang berkembang di antara partikel padat. Gaya elektrostatis akan menjaga



Gambar 6. Mekanisme pembentukan granul dengan metode granulasi basah (Pujara, 2007)
 Figure 6. Mechanism of granules formation on wet granulation method (Pujara, 2007)

partikel tetap berhubungan cukup lama sampai tercapainya proses aglomerasi.

Partikel utama, dalam hal ini tepung rumput laut *Sargassum* sp., jika ditambahkan partikel air akan menyebabkan terjadinya nukleasi. Tepung rumput laut dengan partikel air akan saling membentuk lapisan (*layering*) sampai membentuk inti utama (*primary nucleus*). Inti utama ini kemudian mengalami atrisi, di mana ikatan antar partikelnya melemah sehingga pecah menjadi fragmen-fragmen yang lebih kecil (*fragmentasi*). Fragmen-fragmen ini kemudian membentuk inti sekunder (*secondary nuclei*). Inti-inti sekunder ini kemudian mengalami densifikasi (*peningkatan densitas dan kekerasan*), dan beberapa bagian ini menyatu menjadi satu bagian yang lebih besar (*koalensensi*). Bagian-bagian ini mengalami koalensensi berulang kali sehingga menjadi granul.

Pupuk granul dengan rendemen tertinggi, yaitu dengan penambahan air 1200 ml, kemudian dianalisa kandungan hara makro, C organik, kadar air, kadar hara mikro, dan logam berat. Hasil analisis pupuk granul dari tepung rumput laut kemudian dibandingkan dengan hasil analisa pupuk organik granul komersial

menurut Suriadikarta dan Setyorini (2005) dalam Simanungkalit et al. (2006). Perbandingan antara kedua pupuk organik ini disajikan pada Tabel 2.

Kandungan C organik pada pupuk granul dari tepung rumput laut tidak terlalu besar namun masih memenuhi persyaratan atau standar (Anon., 2011), yaitu minimal 15%. Sementara itu, pupuk granul komersial memiliki kadar C organik yang lebih tinggi, yaitu 20,2%. Menurut Hartatik dan Setyorini (2015), untuk mencapai produktivitas maksimal dibutuhkan C organik lebih dari 2%. C organik zat arang atau karbon yang terdapat dalam bahan organik merupakan sumber energi bagi mikroorganisme. Dalam proses pencernaan oleh mikroorganisme terjadi reaksi pembakaran antara unsur karbon dan oksigen menjadi kalori dan karbondioksida (CO_2). Karbondioksida ini dilepas menjadi gas, kemudian unsur nitrogen yang terurai ditangkap mikroorganisme untuk membangun tubuhnya (Badan Litbang Pertanian, 2011).

Kecepatan dekomposisi bahan organik ditunjukkan oleh perubahan rasio C/N. Selama proses mineralisasi, rasio C/N bahan-bahan yang banyak mengandung N akan berkurang menurut waktu.

Tabel 2. Hasil analisa pupuk organik granul
 Table 2. The result analysis of organic granules fertilizer

Parameter/Parameter	Satuan/ Unit	Pupuk granul (tepung rumput laut)/Granules fertilizer (seaweed flour)	Pupuk organik granul komersial/ Commercial organic granules fertilizer	Standar (Anon., 2011)/ Standard (Anon., 2011)
C Organik/Organic C	%	15.1	20.2	Min 15
Rasio C/N/C/N Ratio		18.41	3.1	15-25
Bahan ikutan (plastik, gelas, belang)/ Foreign materials (plastic, glass, shard)	%	0.04		Maks/Max 2
Kadar air/Moisture content	%	19.47	13.79	10-25
Logam berat/Heavy metal				
- Arsenik/Arsenic (As)		< 0.008		Maks/Max 10
- Merkuri/Mercury (Hg)	ppm	< 0.001		Maks/Max 1
- Timbal/Lead (Pb)	ppm	< 0.04	6.2	Maks/Max 50
- Kadmium/Cadmium (Cd)	ppm	< 0.012	1.3	Maks/Max 2
pH 10% larutan/pH of 10% solution		8.46		4-9
Unsur Hara Makro/Macro nutrient content				
- Nitrogen/Nitrogen (N)	%	0.82		
- P ₂ O ₅ /P ₂ O ₅	%	0.61	4.76	(N+P ₂ O ₅ +K ₂ O) min 4
- K ₂ O/K ₂ O	%	3.29	3.9	
Mikroba Kontaminan/Microbial contaminants				
- E.coli/E.coli	cfu/g	<3		Maks/Max 10 ²
- Salmonella/Salmonella	cfu/g	Negatif		Maks/Max 10 ²
Ukuran butiran 2-5 mm/Granule with size of 2-5 mm	%	79.19		Min 80
Unsur Mikro/Micro nutrient content				
- Fe total/total Fe	ppm	8,031.47	5,316	Maks/Max 9000
- Fe Tersedia/Available Fe	ppm	40.69		Maks/Max 500
- Mangan/Manganese (Mn)	ppm	361.32	357	Maks/Max 5000
- Seng/Zinc (Zn)	ppm	55.34	107	Maks/Max 5000

Kecepatan kehilangan C lebih besar daripada N, sehingga diperoleh rasio C/N yang lebih rendah. Rasio C/N yang baik antara 15-20 dan akan stabil pada saat mencapai rasio C/N 15 (Badan Litbang Pertanian, 2011). Rasio C/N pupuk granul tepung rumput laut sudah memenuhi persyaratan atau standar (Anon., 2011), yaitu 18,41, sementara nilai rasio C/N pupuk organik granul komersial tidak memenuhi standar (Anon., 2011), yaitu 3,1.

Kadar air pupuk granul dari tepung rumput laut sudah memenuhi standar yaitu 19,47%, sementara kadar air pupuk organik granul komersial juga memenuhi standar (Anon., 2011), yaitu 13,79%.

Peningkatan kadar air akan menghasilkan penurunan kekuatan butiran granul. Hal ini disebabkan karena terganggunya ikatan kimia antar partikel di dalam granul yang berasal dari air pori yang keluar saat kompresi (Muller, Russell, & Jurgens, 2015). Semakin banyak air yang terdapat dalam pori butiran granul dapat semakin mengganggu ikatan kimia antar partikel di dalam granul sehingga granul lebih mudah pecah atau retak.

Kandungan Pb pupuk granul dari tepung rumput laut sangat kecil bila dibandingkan dengan kandungan Pb pupuk organik granul komersial, yaitu < 0,04 ppm dibandingkan dengan 6,2 ppm. Namun keduanya

masih memenuhi standar (Anon., 2011) Pb disebut sebagai *non essential trace elements* yang banyak mencemari sungai (Kohar, Hardjo, & Inge, 2005).

Kandungan Cd pupuk granul dari tepung rumput laut lebih kecil dibandingkan dengan pupuk organik granul komersial, yaitu < 0,012 ppm dibandingkan dengan 1,3 ppm. Namun keduanya masih memenuhi standar (Anon., 2011).

Kandungan kadar hara makro pupuk yang dianalisa yaitu nitrogen (N), fosfor (P_2O_5) dan K_2O . Unsur hara makro adalah unsur hara yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah yang banyak (Selian, 2008). Kadar hara makro pada pupuk granul yang berasal dari tepung rumput laut yaitu : 0,82% N, 0,61% P_2O_5 , dan 3,29% K_2O atau $(N+ P_2O_5+ K_2O) = 4,72\%$. Hal ini sudah sesuai dengan standar (Anon., 2011).

Nitrogen merupakan zat penting dalam pembentukan klorofil, protoplasma, protein, dan asam-asam nukleat (Brady & Weil, 2002), N biasanya diserap tanaman dalam bentuk NH_4^+ atau NO_3^- yang dipengaruhi oleh sifat tanah, jenis tanaman, dan tahapan dalam pertumbuhan tanaman (Havlin, Beaton, Tisdale, & Nelson, 2005). Fosfor secara sederhana disebut sebagai P_2O_5 yang diekstraksikan atau larut dalam air dan asam sitrat sehingga kemudian berpengaruh terhadap banyak hal antara lain berhubungan dengan pH tanah, adanya Al, Fe, dan Ca larut, serta bahan organik dalam tanah. Fosfor memiliki peranan penting dalam pertumbuhan tanaman karena tidak semua fosfor dalam tanah tersedia untuk tanaman (Hakim, et al., 1986). Fosfor pada tanaman berfungsi dalam pembelahan sel, pembentukan albumin, pembentukan dan pematangan buah, perkembangan akar, tahan terhadap penyakit dan lain-lain. Gejala kekurangan fosfor (P) dapat menyebabkan pertumbuhan tanaman kerdil karena pembelahan sel terganggu, daun-daun tidak sempurna serta mudah terserang penyakit (Arsyad, 2011).

Kadar fosfor pada pupuk granul dari tepung rumput laut sangat kecil jika dibandingkan dengan kadar fosfor pupuk organik granul komersial, yaitu 0,61% dibandingkan dengan 4,76%.

Sementara itu, kalium adalah unsur hara makro yang banyak dibutuhkan oleh tanaman, dan diserap tanaman dalam bentuk ion K^+ . Sumber utama kalium di dalam tanah berasal dari pelapukan mineral-mineral primer seperti felspar, mika, dan lain-lain. Kalium banyak berperan dalam proses metabolisme tanaman seperti mengaktifkan kerja enzim, membuka dan menutup stomata (dalam pengaturan penguapan dan pernapasan), transportasi hasil-hasil fotosintesis (karbohidrat), meningkatkan daya tahan tanaman terhadap kekeringan dan penyakit tanaman (Selian, 2008).

Konversi kadar K_2O menjadi K yaitu dengan membagi kadar K_2O (dalam %) dengan 1,2. Dengan demikian kadar K untuk pupuk granul dari tepung rumput laut yaitu 2,74%, sedangkan kadar K untuk pupuk organik granul komersial yaitu 3,25%. Fungsi Kalium yang utama adalah untuk pengembangan sel dan pengaturan tekanan osmosis. Pengembangan sel disebabkan karena vakuola mengembang 80-90% dari volume sel. Kebanyakan tanaman yang kekurangan Kalium memperlihatkan gejala lemahnya batang tanaman sehingga tanaman mudah roboh. Turgor tanaman berkurang sehingga sel menjadi lemah, daun tanaman menjadi kering, ujung daun berwarna coklat atau adanya noda-noda berwarna coklat (nekrosis) (Selian, 2008).

Unsur hara mikro adalah unsur hara yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah yang sedikit, kalau banyak dapat menjadi racun bagi tanaman. Unsur hara mikro terdiri dari Fe, Mn, B, Cu, Zn, Cl, dan Mo (Selian, 2008). Menurut persyaratan atau standar (Anon., 2011) tentang pupuk organik, pupuk hayati, dan pembenah tanah, kadar besi (Fe) merupakan salah satu parameter dalam persyaratan teknis yang harus dipenuhi dalam pupuk organik. Dalam peraturan ini dijelaskan bahwa kadar Fe dalam pupuk organik granul tidak boleh melebihi 9.000 mg/kg pupuk organik granul. Angka ini ditetapkan agar pupuk organik padat yang ditambahkan ke dalam tanah tidak sampai meracuni tanaman. Unsur Fe termasuk unsur hara mikro yang diperlukan tanaman dalam jumlah sedikit tapi bila berlebihan dalam tanah maka akan berpotensi meracuni tanaman (Dewi, Anas, Suwarno, & Nursyamsi, 2013). Kadar Fe dalam pupuk granul dari tepung rumput laut dan pupuk organik granul komersial sudah memenuhi Permentan No.70/Permentan/SR.140/10/2011, yaitu masing-masing 8.031,47 mg/ kg pupuk organik granul dan 5.316 mg/ kg pupuk organik granul.

Mangan (Mn) termasuk dalam unsur hara mikro dan berfungsi sebagai aktivator enzim (Hakim, 2009). Kadar Mn dalam pupuk granul dari tepung rumput laut dan pupuk organik granul komersial sudah memenuhi persyaratan atau standar (Anon., 2011), yaitu masing-masing 361,32 ppm dan 357 ppm. Zinc (Zn) adalah kofaktor berbagai enzim dan sintesis protein. Zn juga berfungsi sebagai katalisator dalam pembentukan protein dan mengatur pembentukan asam indoleasetik (asam yang berfungsi sebagai pengatur tumbuh tanaman dan berperan dalam transformasi karbohidrat) (Hakim, 2009).

KESIMPULAN

Rasio air dan bahan berpengaruh terhadap rendemen pupuk organik granul yang dihasilkan. Rasio

air dan bahan sebesar 2:5 (ml air/g bahan) menghasilkan pupuk organik granul dengan rendemen total tertinggi yaitu sebesar 95,2% serta menghasilkan rendemen pupuk granul yang berukuran 2-4 mm tertinggi yaitu sebesar 26,8%.

Kualitas pupuk organik granul yang berasal dari tepung rumput laut sebagian besar sudah memenuhi Permentan No.70/Permentan/SR.140/10/2011. Keunggulan pupuk organik granul dari tepung rumput laut yaitu memiliki kandungan C/N ratio sebesar 18,41, ikutan logam berat yang sedikit, kadar air sebesar 19,47% dan kadar hara makro (N + P₂O₅ + K₂O) sebesar 4,72%.

DAFTAR PUSTAKA

- Ansel, C. H. (1989). *Pengantar Bentuk Sediaan Farmasi Edisi Keempat*. UI-Press, Jakarta
- Anonim. (2011). Permentan No.70/Permentan/SR.140/10/2011
- Anonim. (2016). *Lecture 32 : Processes for manufacturing compound fertilizers – Part 1*. Retrieved from <http://nptel.ac.in/courses/103107086/module5/lecture3/lecture3.pdf>
- AOAC. (2000). Official methods of analysis of AOAC. *International 17th edition; Gaithersburg, MD, USA Association of Analytical Communities*.
- Arsyad, F. (2011). *Reaksi P₂O₅ (kimia dan kesuburan Tanah)*. Retrieved from <http://chylenzobryn.blogspot.co.id/2011/05/v-behaviorurldefaultvml.o.html>
- Badan Litbang Pertanian. (2011). Pupuk Organik dari Limbah Organik Sampah Rumah Tangga. Sinar Tani no. 3417.
- Basmal, J. (2010). Teknologi Pembuatan Pupuk Organik Cair Kombinasi Hidrolisat Rumput Laut *Sargassum sp.* dan Limbah Ikan. *Squalen*, 5(2), 59-66.
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2002). *The nature and properties of soil* (13th ed.). New Jersey, USA : Upper Sadle River.
- Byrn, S. R., Pfeiffer, R. R., & Stowell, J.G . (1999). *Solid-State Chemistry of Drugs*. SSCI, Inc., West Lafayette, IN, USA.
- Dewi, T., Anas, I, Suwarno, & Nursyamsi, D. (2013). Pengaruh pupuk organik berkadar besi tinggi terhadap pertumbuhan dan produksi padi sawah. *AGRIC*, 25 (1), p. 58-63.
- Emady, H. N., Kayrak-Talay, D., Schwerin, W. C., & Litster, J. D. (2011). Granule formation mechanisms and morphology from single drop impact on powder beds. *Powder Technology* 212, p.69-79
- Hakim, A. M. (2009). *Asupan nitrogen dan pupuk organik cair terhadap hasil dan kadar vitamin C kelopak bunga Rosela (Hisbiscus subdariffa L.)*. Skripsi Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Hakim, N., Nyakpa, M. Y. , Lubis, A. M., Nugroho, S. G. Saul, M. R., Diha, M. H., Hong, G. B. & Bailey, H. H. (1986). *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. Universitas Lampung, Lampung.
- Hartatik, W. & Setyorini, D. (2015). *Pemanfaatan Pupuk Organik untuk Meningkatkan Kesuburan Tanah dan Kualitas Tanaman*. Retrieved from http://balittanah.litbang.pertanian.go.id/document.php?folder=ind/dokumentasi/lainnya&file_name=52%20-%20Wiwik%20Hartatik%20dan%20Diah%20Setyorini%20-%20Pemanfaatan%20Pupuk%20Organik%20untuk%20Meningkatkan%20Kesuburan%20Tanah&ext=pdf
- Havlin, J. L., Beaton, J. D., Tisdale, S. L. & Nelson, W.L. (2005). *Soil fertility and fertilizers. an introduction to nutrient management*. (7th ed.). New Jersey : Pearson Education Inc.
- Jivraj, M., Martini, L.G.,& Thomson, C. M. (2000). An overview of the different excipients useful for the direct compression of tablets. *Pharm. Sci. Technology Today*, 3, 58-63.
- Jorgensen, A. C. (2004). *Increasing process understanding of wet granulation by spectroscopic methods and dimension reduction tools*. Academic dissertation, Division of Pharmaceutical Technology, Faculty of Pharmacy, University of Helsinki, Finland.
- Kementerian Kelautan dan Perikanan. (2015). Laporan Kinerja Satu Tahun Kementerian Kelautan dan Perikanan. Retrieved from roren.kkp.go.id/arsip/file/123/buku-laporan-kinerja-kkp-27112015.pdf
- Kohar, I., Hardjo, H. P. & Inge, L. I. (2005). Studi Kandungan logam Pb dalam tanaman kangkung umur 3 dan 6 minggu yang ditanam di media yang mengandung Pb. *Makara, Sains*, 9 (2), p. 56-59.
- Litster, J., & Ennis, B. (2004). *The Science and Engineering of Granulation Process*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.
- Mangwdani, C., JiangTao, L., Albadarin, Ahmad B., Allen, Stephen J., & Walker, G. M. (2013). Alternative method for producing organic fertilizer from anaerobic digestion liquor dan limestone powder : high shear wet granulation. *Powder Technology*, 233, 245-254.
- Muller, P., Russell, A., & Jurgen T. (2015). Influence of binder dan moisture content on the strength of zeolite 4A granules. *Chemical Engineering Science*, 126, 204-215.
- Page, A. L., Miller, R. H. & Keeny, D. R. (1984). *Methods of Soil Analysis. Part 2*. , Wisconsin, USA : American Society of Ageonomy, Inc.. Soil Science Society of America, Inc.
- Perry, R. H. & Green, D. W. (1999). *Perry's Chemical Engineers' Handbook : Seventh Edition*. <https://doi.org/10.1036/0071511245>
- Peraturan Menteri Pertanian No. 70/Permentan/SR.140/10/2011. Pupuk Organik, Pupuk Hayati dan Pembenah Tanah. Kementerian Pertanian, Jakarta.
- Pujara, C. (2007). Granulation : Preparation, Evaluation, and Control. *5th Annusl Garnet E. Peck Symposium, West Lafayette*.

- Rahmanian, N., El, T., & Ghadiri, M^a. (2013). Particuology Further investigations on the influence of scale-up of a high shear granulator on the granule properties. *Particuology*, 11(6), 627-635. <http://doi.org/10.1016/j.partic.2013.02.004>
- Rahmanian, N., & Ghadiri, M. (2013). Strength and structure of granules produced in continuous granulators. *Powder Technology*, 233, 227–233. <http://doi.org/10.1016/j.powtec.2012.09.008>
- Raymundo, A. K. (1991). *Manual on microbiological technique*. Los Banos, Philippines : Technology and Livelihood Resources Center.
- Sakinah, N. (2012). Pengaruh Substitusi Tepung Terigu dengan Tepung Rumput Laut *Sargassum sp.* terhadap Kandungan Zat Gizi dan Kesukaan MP-ASI Biskuit Kaya Zat Besi. *Artikel Penelitian Program Studi Ilmu Gizi Fakultas Kedokteran Universitas Diponegoro, Semarang*.
- Salman, A., Reynolds, G. K., Tan, H. S., Gabbott, I., & Hounslow, M. J.,(2007). Breakage in Granulation, in : Salman, A.D., Hounslow, M.J., and J.P.K. Seville, (Eds.). *Chapter 21 in Handbook of Powder Technology, Granulation*, 11. Elsevier, Amsterdam.
- Simanungkalit, R. D. M., Suriadikarta, D. A., Saraswati, R., Setyorini, D., dan Hartatik, W. (2006). *Pupuk Organik dan Pupuk Hayati*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Lahan Pertanian, Bogor
- Selian, A. R. K. (2008). *Analisa Kadar Unsur Hara Kalium (K) dari Tanah Perkebunan Kelapa Sawit Bengkalis Riau secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)*. Tugas Akhir Program Studi Diploma 3 Kimia Analis, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuam Alam, Universitas Sumatra Utara, Medan.
- Wullandari, P. (2015). *Pengaruh Komposisi Bahan dan Lama Waktu Proses Granulasi terhadap Sifat Fisik Pupuk Organik Granul dari Limbah Rumput Laut*. Tesis Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.